

CONTRIBUTION
A L'ÉTUDE DES SOLS ROUGES MÉDITERRANÉENS
DU LIDAN ET DES PRODUITS D'ALTERATION
DES ROUILS DURS CARBONATÉS

par Maurice LAMOUREUX.

ORSTOM Fonds Documentaire
N° : 29488, ex 1
Cote : B

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES SOLS ROUGES MEDITERRANEENS DU LIBAN
ET DES PRODUITS D'ALTERATION DES ROCHES DURS CARBONATEES

par M. LAMOUROUX

S O M M A I R E

I - INTRODUCTION

II - PEDOCлимATS ET AIRE GEOGRAPHIQUE DE FORMATION DES SOLS ROUGES

- 1 - Les sols rouges et leur cadre climatique
- 2 - Formation actuelle des sols rouges

III - NOTION DE PROFIL DANS LES SOLS ROUGES

- 1 - Le profil
- 2 - Altération dans le profil
- 3 - Dynamique du profil

IV - ALTERATION DES CALCAIRES DURS DANS LES SOLS

- 1 - Milieux
- 2 - Les formes d'altérations
- 3 - L'altération pelliculaire
- 4 - Evolution des principaux éléments
- 5 - Résidus d'altération.

V - CONCLUSION.

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES SOLS ROUGES MEDITERRANEEENS DU LIBAN ET DES PRODUITS
d'ALTERATION DES ROUILLES CARBONATEES

I - INTRODUCTION

Les méthodes d'approche du pédologue arrivant dans un pays nouveau pour lui, dépendent dans une large mesure du milieu qu'il va rencontrer.

- En régions tropicales ou équatoriales tout évolue très vite, faune, végétation, sols, etc... les pédogénèses actuelles ou récentes y prennent une grande importance.
- En régions méditerranéennes les températures et les pluies sont plus faibles, les processus pédogénétiques sont profondément ralentis et semblent inexistantes comparés aux pédogénèses passées, situées assez précisément dans le temps par les études et datations des géographes.

Dans le premier cas la géomorphologie ne s'est pas encore bien développée, ce qui est regrettable surtout en régions tropicales relativement sèches.

Dans le deuxième cas, elle a pris, même pour les pédologues, une importance telle, que ceux-ci finissent par *accorder que peu* d'attention aux phénomènes et mécanismes pédogénétiques qui se poursuivent de nos jours, avec d'autant plus d'intensité que la région considérée est plus pluvieuse.

C'est donc avec une entière conscience du legs des pédogénèses passées, aussi bien en régions tropicales qu'en régions méditerranéennes, que l'accent sera mis ici sur des processus actuels dont la connaissance permettra peut-être d'expliquer certains *mécanismes* pédogénétiques plus anciens. J. TRICART (1965) reconnaît que la méthode consistant à avoir recours aux mécanismes existant dans le présent, est une bonne méthode scientifique. Mais cet "actualisme",

comme il l'appelle, ne serait pas suffisant pour expliquer les faits passés, ce qui se conçoit très bien.

Cette position se justifie par le milieu même dans lequel ces études ont été entreprises.

Le Liban est une barrière montagneuse calcaire, au climat méditerranéen parfait. Sous climat humide et très humide (Thermoméditerranéen) les altérations sont intenses, il y a concordances entre les sols et les facteurs de pédogénèse. Sous climat semi-aride (xérothermoméditerranéen) il y a conservation des formations quaternaires, d'autant mieux conservés et d'autant moins touchés par les processus actuels, que l'aridité croît.

II - PÉDOCLIMATS ET LEUR GÉOGRAPHIQUE DE FORMATION DES SOLS ROUGES

1 - Les sols rouges et leur cadre climatique.

Une carte pédoclimatique du Liban (carte 1) a été établie à partir de données climatiques et d'indices climatiques définis par BRYSSINE (1949) modifiés par BOULAINÉ (1965) et diminués de l'évapotranspiration (ETP) :

P = pluviométrie moyenne annuelle
T = température moyenne
R = Ruissellement = P - ETP (Thornthwaite)
 $E_1 = R \times T$
 $E_2 = R/T$.

Trois zones sont définies (littorale, montagnarde et intérieure) ainsi que trois secteurs à l'intérieur de chacune de ces zones, à partir des indices E_1 et E_2 .

.../...

Zones et secteurs pédoclimatiques

Zone littorale ($T > 17,2^{\circ}\text{C}$)

Secteur L1 $E_1 > 12.000$

Secteur L2 $12.000 > E_1 > 9.000$

Secteur L3 $9.000 > E_1 > 5000$

Zone montagneuse ($T < 17,2^{\circ}\text{C}$)

Secteur M1 $E_1 > 12.000$

Secteur M2 $E_1 < 12.000$ $E_2 < 70$

Secteur M3 $E_1 < 12.000$ $E_2 > 70$

Zone intérieure

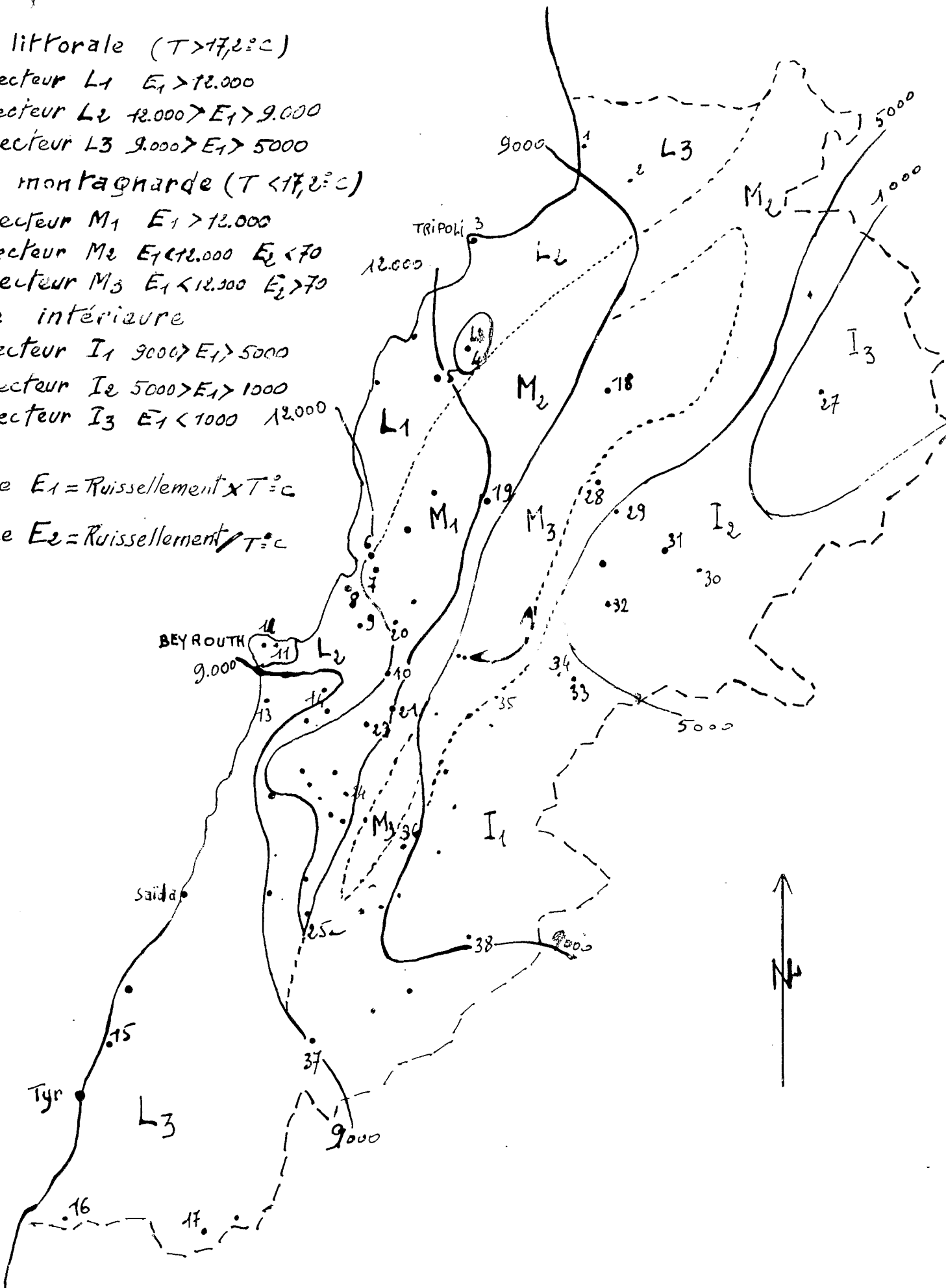
Secteur I1 $9000 > E_1 > 5000$

Secteur I2 $5000 > E_1 > 1000$

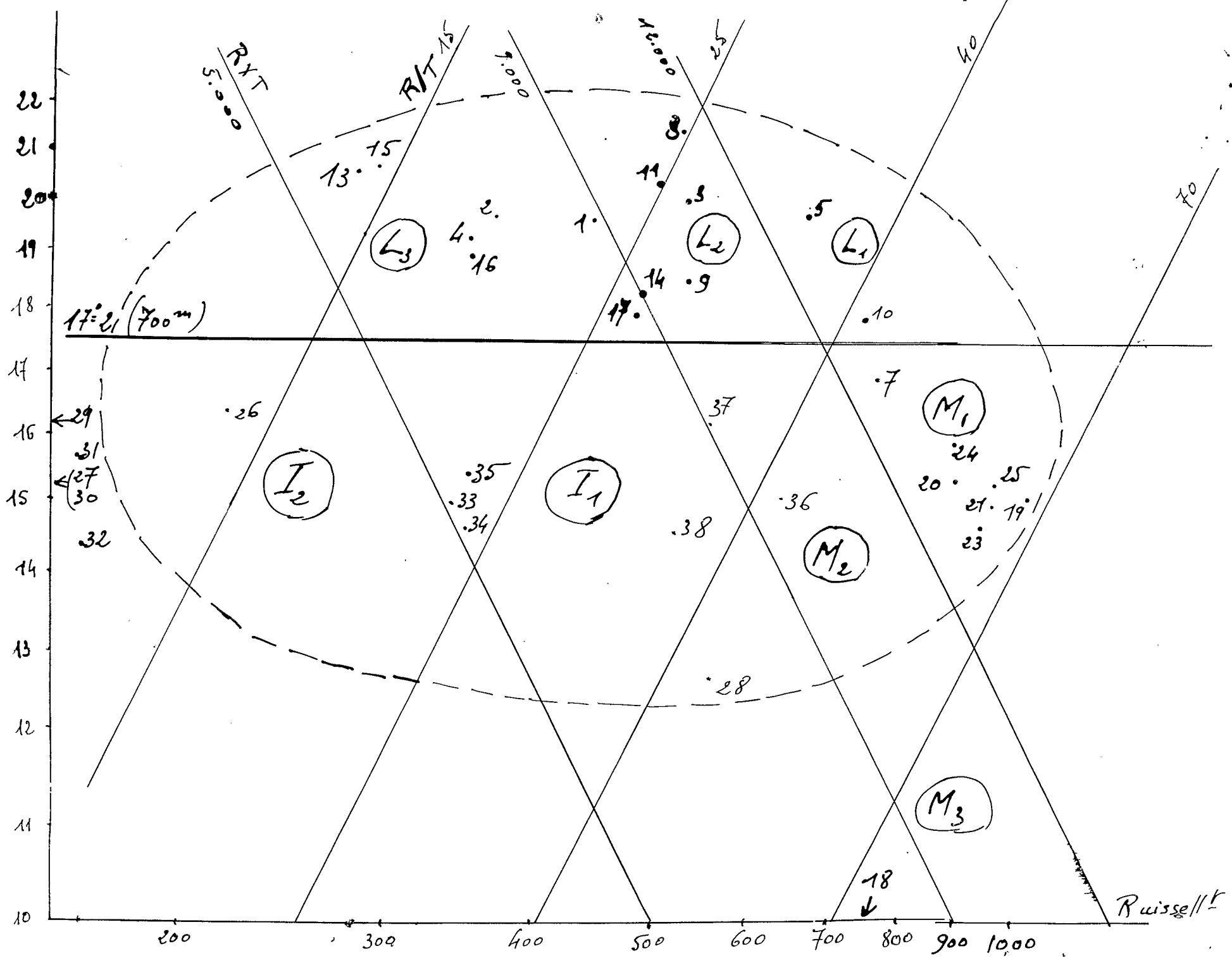
Secteur I3 $E_1 < 1000$ 12.000

Indice $E_1 = \text{Ruissellement} \times T^{\circ}\text{C}$

Indice $E_2 = \text{Ruissellement} / T^{\circ}\text{C}$



T:°C Aire climatique de formation des sols rouges et secteurs pédoclimatiques



- Sur graphique (1), à coordonnées logarithmiques, ces mêmes zones et secteurs apparaissent. Quant au choix et limites des zones et secteurs, il résulte d'observations nombreuses et d'analyses d'un 3ème facteur, l'intensité d'altération, définie par l'importance du front d'altération et des altérations elles-mêmes, notamment les altérations pelliculaires.

La juxtaposition d'altérations de roches carbonatées et de sols rouges (ou bruns) méditerranéens permettent de délimiter une aire géographique de formation actuelle de ces sols.

T° C. moyenne annuelle : 8 à 22°
P. moyenne 400 à 1400 mm. (R 200 à 1000)
 $E_1 = R \times T = 1000 \text{ à } 15.000$
 $E_2 = R/T = 12 \text{ à } 70.$

Des sols rouges méditerranéens peuvent-ils se former au-delà de ces limites :

- A moins de 8°C. soit à plus de 2000 mètres des sols bruns plus ou moins humifères, sont généralement observés. Mais ici intervient une question de pédoclimat, permettant la formation de sols rouges jusqu'à 2800 mètres.
- Au-delà de 22°C., BRYSSINE (1949) et la plupart des pédologues jusqu'à maintenant considéraient que les sols méditerranéens cédaient la place aux sols ferrallitiques ou ferrugineux tropicaux.

Des données récentes de BOULAIN (1966) MARTIN-IEFFERMANN et M. VALLEIRIE (1966) etc..., ont montré que des sols rouges de types méditerranéens existaient sous des températures moyennes voisines de 30°, avec cependant alternance de saisons sèches et pluvieuses.

- A moins de 400 mm. de pluie, l'entraînement des sels solubles est trop faible et les sols sont alors très calcaires. Les sols rouges observés dans ces zones sont des sols fossiles.
- Sous une pluviométrie supérieure à 1500 mm. (qui n'existe pas au Liban) il ne semble pas, a priori, y avoir d'empêchement à la formation de sols rouges méditerranéens.

.../...

2 - Formation actuelle des sols rouges

Quelques arguments en faveur d'une formation actuelle des sols rouges méditerranéens peuvent être cités.

- 1°/ Il y a juxtaposition d'altérations intenses de roches carbonatées et de sols rouges. S'il y avait l'formation d'un autre type de sol, il serait visible, ne serait-ce qu'à l'état de traces.
- 2°/ Au cours d'une altération progressive, en plusieurs stades, LABOUROUX (1965), la formation résiduelle devient de plus en plus rouge.
- 3°/ Les calcaires bleus dont le résidu non carbonatés, de couleur 5 Y 2/1, s'altèrent profondément par oxydation du fer ferreux et les résidus dans la roche ont alors une couleur plus rouge 10 Y R 4/4, avant de passer à 5 Y R dans le sol.
BOULAINÉ (1966) soutient cette hypothèse "la décarbonatation est un phénomène parallèle à celui de la rubéfaction et non pas un phénomène préliminaire".
- 4°/ Les altérations les plus intenses, voisines des roches et gros cailloux, sont liées à des formations très rouges et peu structurées.
- 5°/ En plusieurs points, dans un sol brun à brun rouge (5 YR) plus ou moins calcaire, des dalles calcaires présentent à l'intérieur des fissures subhorizontales, d'une part des altérations pelliculaires, d'autre part des éléments argileux peu épais, très rouges (2,5 YR), non calcaires et très peu structurés dont l'origine ne peut pas être le sol environnant, mais les résidus non carbonatés de la roche en voie d'altération.
- 6°/ En altitude, sous une forte pluviométrie, en position topographique de crête, avec érosion notable, des altérations importantes sont encore liées à des produits rouges plus ou moins bien structurés.

..//...

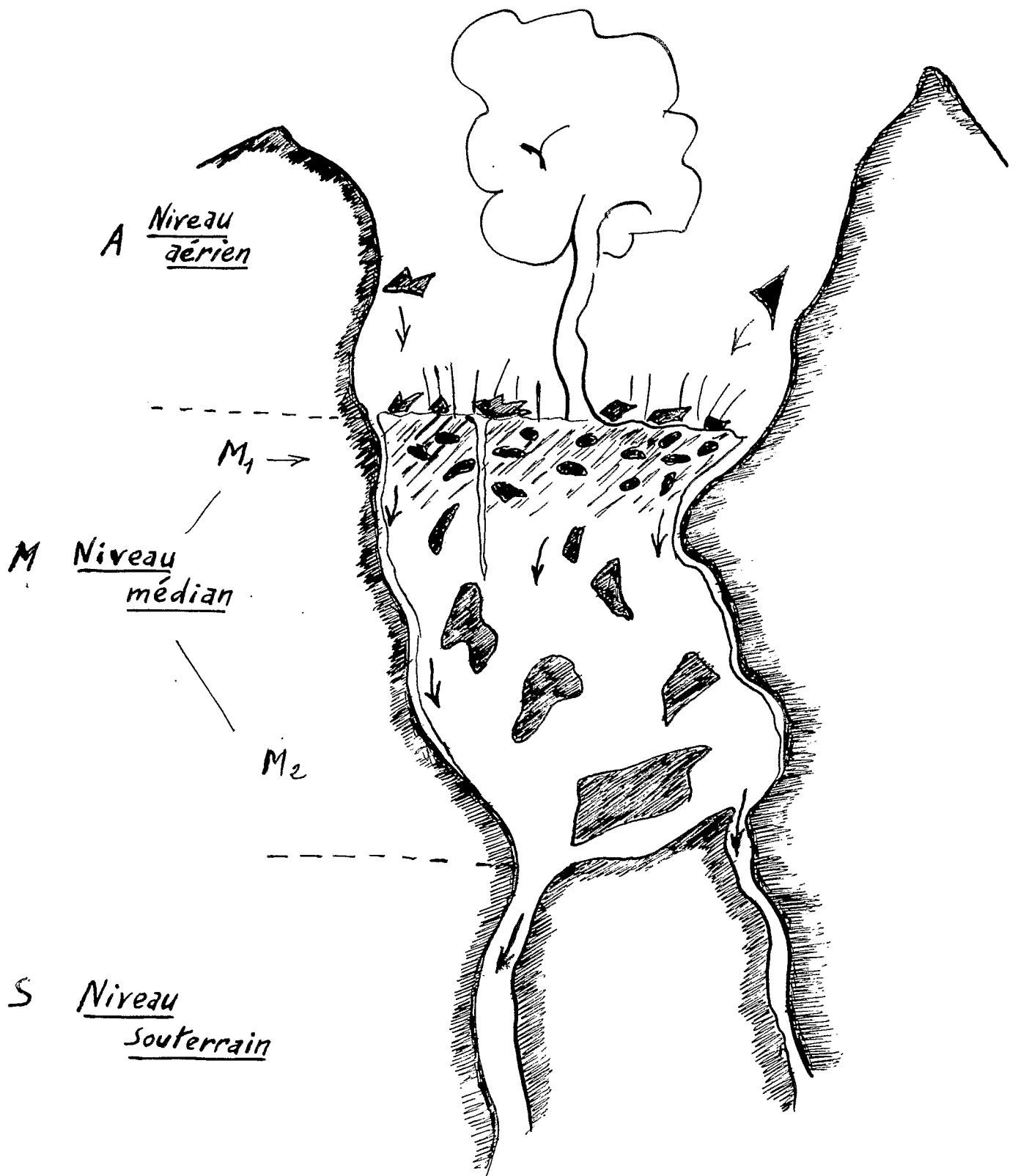


Fig. 1 - Sol rouge dans une poche karstique

III - NOTION DE PROFIL DANS LES SOLS ROUGES

1 - Le profil

Tous les sols rouges observés dans les régions karstiques ne sont généralement pas constitués par un matériau récent.

Une surface karstique est très souvent formée d'une multitude d'entonnoirs ou de poches de tailles variées. Considérons une de ces poches (schéma 1).

- Le matériau sol est très argileux (60 à 90%) avec dominance de montmorillonite, se rétractant en saisons sèches, gonflant en saisons des pluies, d'où formation de pellicules d'altération et de fentes de retraits.

Ce matériau est plastique, sans "squelette granulométrique" (sables et limons très faibles).

Partout dans la masse et surtout en surface s'observent des cailloux éroussés : "sucés", petits et nombreux dans l'horizon A éroussés, grands et peu nombreux en profondeur (B).

Cette pierrosité est fonction de la roche calcaire elle-même et de l'intensité d'altération.

2 - Altérations dans le profil

Les niveaux d'altérations observés dans ces poches sont les suivants :

- A , niveau aérien, faiblement productif, en résidus d'altération, mais il alimente l'horizon humifère en cailloux.
- M₁ , horizon de surface humifère, est par excellence l'horizon d'altération, du fait des dégagements importants de gaz carbonique et d'acides organiques divers.
- M₂ , horizon profond, est le siège d'altérations encore intenses,
- S , niveau souterrain, fissuré, favorise le soutirage des argiles et surtout le drainage des sols. Les dissolutions peuvent s'y poursuivre, mais c'est en général un milieu d'accumulation, du moins actuellement. ..//...

3 - Dynamique du profil

Les dissolutions des cailloux et roches, avec le départ des bicarbonates, provoquent des vides comblés progressivement par la masse argileuse plastique dont les mouvements, seront verticaux. ~~(sont)~~ Des éléments tombent dans les fissures et la faune joue également un rôle de brassage. Si bien que le résultat final est un enfoncement ~~avec~~ brassage mécanique et biologique du sol.

- D'où : a) - La notion habituelle de profil se trouve un peu modifiée : les mouvements sont relativement lents et ne gênent pas la formation d'un A et d'un (E), mais le C et le D sont partout ^{présents} dans le profil.
- b) - Nourri de partout et surtout par le haut, ce type de sol rouge peut difficilement se lessiver ou présenter un horizon d'argilification préférentielle.
- c) - Des argiles de décarbonatation très anciennes peuvent parfaitement subsister dans ces poches, intimement mêlées aux argiles de décarbonatation plus récentes. Il paraît donc vain de vouloir donner un âge à ces sols formés dans les régions calcaires karstiques. ~~En fait~~
- La plupart de ces notions peuvent parfaitement être élargies à tous les sols rouges méditerranéens continuant à se former de nos jours -

IV - ALTERATIONS DES CALCAIRES DURS DANS LES SOLS

1 - Milieu

Au niveau du sol, l'intensité d'altération variera suivant le milieu :

- En milieu aéré, alcalin (milieu lessivé de MILLIOT -1964) les solutions du sol circulent librement, se renouvellent et sont très agressives.
- En milieu confiné, hydraté, caractérisé par un ralentissement de la lixiviation des bicarbonates (cas des sols bruns méditerranéens), l'altération se produit en surface, diminue d'intensité puis cède la place, en profondeur, aux accumulations.

- En milieu confiné hydromorphe les phénomènes précédents ont accrues du fait d'un blocage total des solutions du sol.

Les accumulations sont très fortes, alors que les altérations sont d'autant plus faibles que l'hydromorphie est plus intense dans le profil.

Nature des constituants de ces milieux

Un des mécanismes favorisant les altérations physico-chimiques des calcaires est l'alternance des dessiccations et des humectations de la masse argileuse où baignent les cailloux et les roches calcaires. Plus cette masse sera montmorillonitique, plus elle se rétractera ou se gonflera et plus le phénomène d'attachement (étudié plus loin) sera important. La nature des argiles, leurs dimensions et la structuration du sol joueront un rôle dans la finesse du grain du matériau appliqué contre les surfaces calcaires à altérer et partant sur la continuité et l'épaisseur de la pellicule arrachée.

Nature des roches carbonatées

La nature des roches carbonatées : hétérogénéité, grosseur des cristaux, porosité, quantité de résidus non carbonatés joueront également un rôle important dans ces altérations.

2 - Les formes d'altération

Les formes d'altération vont également varier à l'infini suivant le climat, le milieu, les calcaires, etc... Cependant ~~à~~ quatre groupes seulement seront distingués :

2.1 - des altérations ponctuelles se produisant généralement en pédoclimat semi-aride. Les pluies sont faibles, l'évaporation est forte et l'eau ne subsiste que dans les fissures ou les creux. Les dissolutions vont se limiter à ces microzones et donnent à la surface des roches des aspects caractéristiques, altérations "en peau de tortue", en "mille de pain" etc..

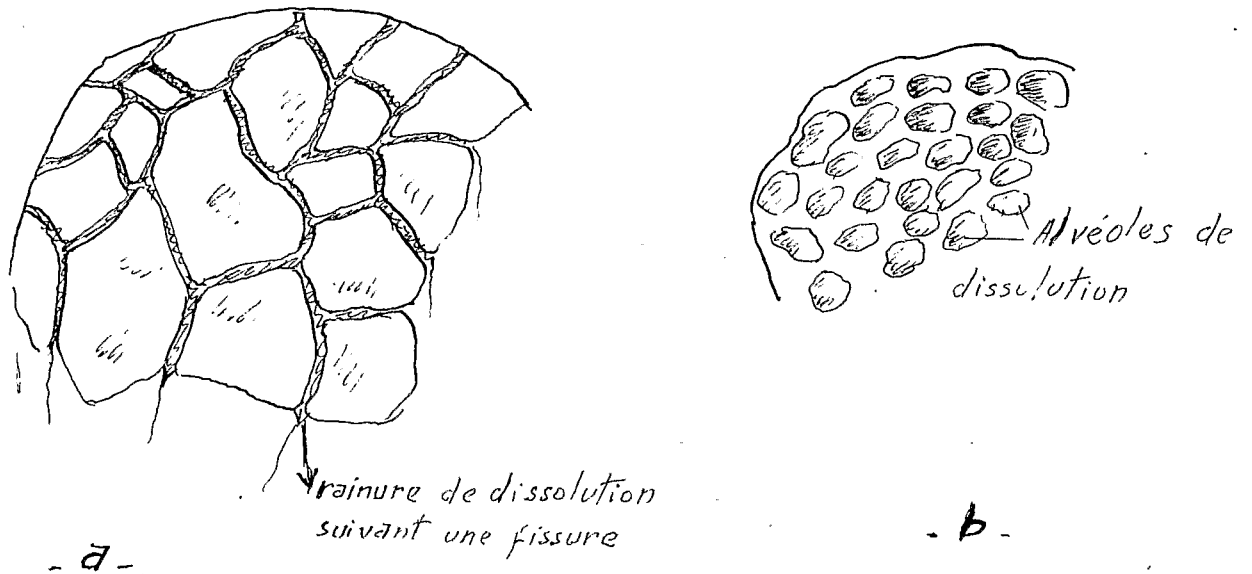


Fig 2 - Altérations en "peau de tortue" - a -
en "mie de pain" - b -

Corrélativement les phénomènes d'entraînement des éléments dissous suivent une histoire particulière, hors de propos ici. Il faut insister cependant sur cette notion de pédoclimat. Ainsi ces phénomènes d'altération ponctuelle se produisent généralement sous des pluviométries voisines de 400 mm. mais ils ont été observés à 3000 m. d'altitude où les pluies dépassent 1 mètre. Les précipitations se font là sous forme de neige et les crêtes ou plateaux balayés par les vents sont très secs, le pédoclimat y est de type semi-aride, observation également faite par l'écologiste LABOT (1959). Ce qui explique une pédogénèse très localisée, de type semi aride également -
.../...

- 2.2 - Des altérations internes se produisant dans les diaclases, les fissures, les multiples cavités de la roche. Ainsi un calcaire bleu, relativement poreux, ne conserve ~~intact~~ intact qu'un noyau, alors que le pourtour sur plusieurs décimètres est déjà altéré (de couleur ocre-jaune et a perdu 6% de carbonates).
- 2.3 - Des altérations progressives, du type de celles observées habituellement sur roches non carbonatées. Cette altération, décrite antérieurement (LAMOUROUX 1965) suivant 5 stades allant de la roche saine au sol, est assez rare sur calcaires durs, mais fréquente sur calcaires tendres. Elle est facilitée par un pédoclimat très humide, des calcaires grossièrement cristallisés et riches en éléments non carbonatés donc rapidement altérés.
- 2.4 - Des altérations périphériques ou pelliculaires, n'intéressant qu'une mince épaisseur de la roche allant de quelques millimètres à des épaisseurs inappréciables. Ce type d'altération est, de beaucoup, le mécanisme le plus important observé en pédoclimats humides et subhumides.

3 - L'altération pelliculaire

- 3.1 - Définition : Sous une pluviométrie supérieure à 500 mm., des sols argileux non ou peu calcaire, riches en montmorillonite, au contact de roches dures carbonatées, se rétractent, en périodes sèches, en arrachant une mince pellicule de carbonates.
- 3.2. - Observations: Ce phénomène a été observé en de multiples points du Liban et de Syrie, au Maroc, en Espagne et même en France. Les pellicules peuvent se former dans des déblais récents, des terres labourées. Elles ont été reproduites expérimentalement en quelques mois dans des pots de végétation et en tubes.
- 3.3. - Cycle de formation des pellicules. Ces pellicules présentes dans les sols secs, à la fin de l'été, disparaissent en Décembre après les premières fortes pluies. L'étude des bicarbonates dans les solutions du sol (tableau 1) permet de suivre au cours de l'année l'entraînement des ^{pellicules} calcaires arrachés par le sol.

3.4. - Mécanisme de formation des pellicules (dédit d'observations et d'analyses d'éléments totaux).

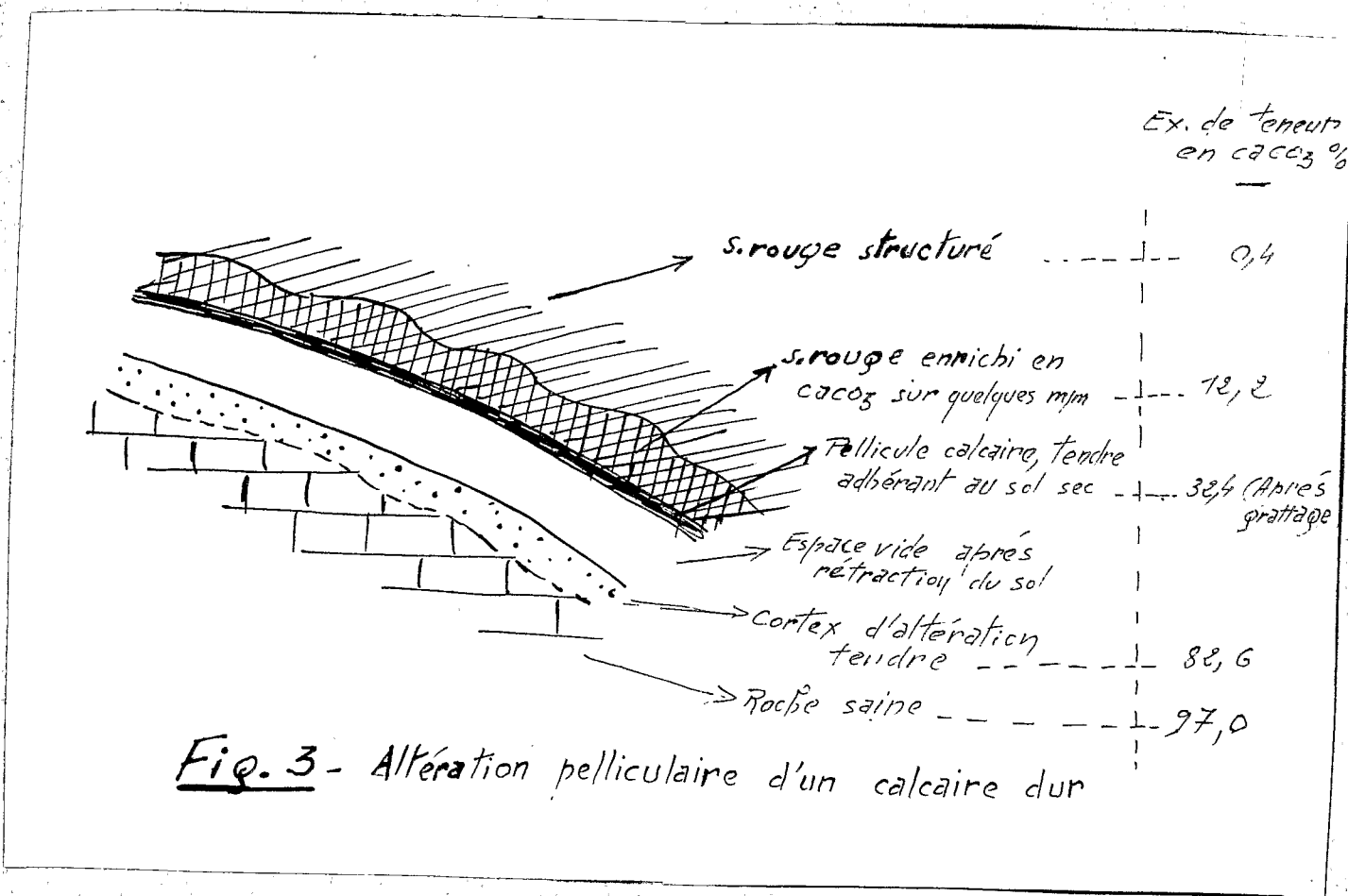
1er stade : conditionnement d'un cortex d'altération, sur quelques dixièmes de mm. avec début de dissolution (2 à 10% du $CaCO_3$).

2ème stade : Arrachement d'une pellicule calcaire quand le sol se rétracte en périodes sèches.

3ème stade : Dissolution plus ou moins complète de la pellicule par les eaux de pluies chargées en CO_2 .

4ème stade : Entraînement et lessivage des bicarbonates par les eaux de ruissellement dans les fissures, les cavernes des karsts ou tout simplement accumulation en profondeur dans le profil, ce qui est le cas en milieux confinés.

~~XXXXXXXXXX~~



3.5. - Etude au binoculaire. L'observation d'une pellicule formée en 3 mois dans un vase de végétation montre que la surface appliquée à la roche calcaire n'est pas totalement continue, du moins quand il s'agit de terre peu tassée. En séchant le sol argileux absorbe de l'humidité de la roche et entraîne des ^{amorce} cristaux de calcite qui adhèrent fortement aux éléments argileux du sol.

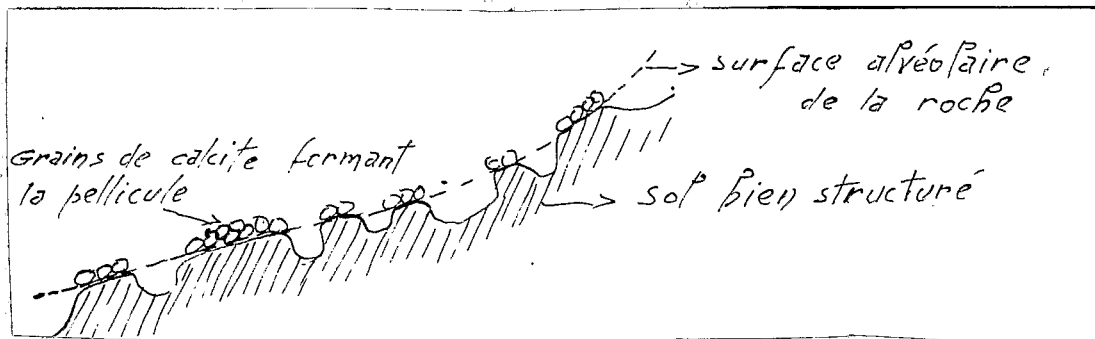
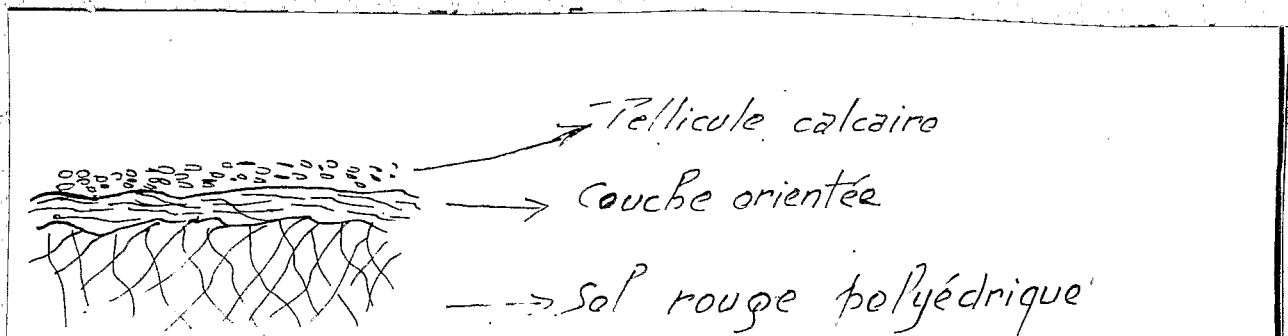


Fig.4-Surface d'une pellicule discontinue (grossie)

Quand il s'agit d'un sol très argileux, peu structuré, la pellicule peut-être continue et formée de plusieurs couches d'une poudre blanche, formée ^{d'amorces} de cristaux de calcite disjoints, collant au sol. Il est curieux de constater que la surface de contact présentée par le sol argileux est le plus souvent formée d'une mince couche dont les éléments argileux semblent orientés



- Fig. 5 - Stresscutan au contact de la roche calcaire

parallèlement à la surface de la roche (stresscutan), tandis que la structure sousjacent est polyédrique. Lors de "l'arrachement" une partie de ces stresscutan peut rester coller à la roche.

3.6 - Importance des pellicules (Tableau 2)

Le dosage du CO_2 et la mesure des surfaces de petites plaques pelliculaires a permis d'évaluer l'épaisseur de calcaire ainsi arrachée périodiquement à la roche. Ces valeurs varient considérablement suivant le pédoclimat, la roche, le sol, etc... elles oscillent entre 1/20 et quelques centimes de mm.

Tableau 2 - Importance des pellicules (P)

Echant.	Roche	Sols	Surface de pellicules cm^2 .	Quantité de $CaCO_3$ mg	Volume de $CaCO_3$ $d=2,5$ m/m^3	Epaisseur de roche arrachée m/m .
284.1	Calc.dur Jurassique	Sol rouge	47,6	642	256	0,053
Cèdres Barrouk	Calc. dur (J)	S.rouge	84	406	162	0,020
237	Calc.dur (C.4)	S.rouge	2,8	54	21,6	0,077
234	Calc.dur (C.4)	S.rouge	20	109,6	44,0	0,022
317	Calc.dur (J)	S.rouge	14	104,5	42,0	0,030
307	Calc.dur (J)	S.rouge	17	500	200	0,118
Nabatyé P1	Calc.dur C.4	S.rouge	17,8	1430	570	0,30
P2	"	"	13,6	880	350	0,25
308	Cal.dur	S.chatain	29	294	118	0,04
215	Cal.tendre	S.brun	9,25	1110 (moins témoin)	584 ($d=1,9$)	0,63

4 - Evolution des principaux éléments au cours des altérations.

Un certain nombre d'analyses de roches saines et de leur cortex plus ou moins altéré, donnent une idée des migrations préférentielles dans ce milieu saturé, mais il est très difficile d'en interpréter les résultats.

4.1 - Dissolution des carbonates

Ce travail lent des eaux de pluie est continu, assez faible quand les eaux ne font que ruisseler sur les roches ou cailloux, plus intense quand elles imprègnent le milieu et pénètrent dans le cortex d'altération.

En fait, au cours du 1er stade de "conditionnement du cortex d'altération pelliculaire", une faible partie des carbonates est dissoute (2 à 20%). Cela suffit pour désagréger l'édifice cristallin qui perd sa cohésion et se laisse facilement séparer de la roche saine.

Les carbonates de magnésie semblent être entraînés relativement plus vite que les carbonates de calcium, comme le montrent les rapports CaO/MgO de ces exemples de roches riches en dolomite.

Tableau 3 - Exportation préférentielle de la magnésie.

Echantillons	Nature	CaO%	MgO%	CaO/MgO
65 R.S.	Roche saine	32,59	19,90	1,6
R.A.	Cortex plus ou moins altéré	45,21	3,28	13,8
118 R.	Roche saine	34,47	18,18	1,8
T.	Argile des pentes au contact	26,02	5,85	4,4

Comme le montrent les rapports CaO/MgO de ces deux exemples de roches riches en dolomite. Ceci met bien en évidence également les difficultés qu'il y a d'interpréter globalement des chiffres d'analyses. Ainsi CaO semble avoir augmenté dans le cortex d'altération, en fait ce n'est qu'une augmentation relative, du fait du départ massif de MgO, masquant les exportations de CaO.

4.2. - Silice, fer et alumine.

Il est encore beaucoup plus difficile d'interpréter les données relatives à ces trois éléments, du fait de leur très faible quantité dans les roches, de leurs variations encore plus faibles atteignant les erreurs analytiques, de l'hétérogénéité des matériaux souvent considérable, enfin des apports possibles des solutions du sol dans le cortex d'altération.

Compte tenu de ces remarques les résultats globaux obtenus montrent :

- une augmentation relative constante du fer dans les résidus non carbonatés,
- des variations, dans un sens ou dans l'autre pour SiO_2 et Al_2O_3 , difficiles à interpréter.

L'examen des rapports moléculaires SiO_2/Al_2O_3 , SiO_2/Fe_2O_3 et Al_2O_3/Fe_2O_3 aboutit à l'interprétation schématisée sur le tableau n° 4. (page 16).

Les échantillons ont été placés dans ce tableau dans l'ordre croissant des rapports SiO_2/Al_2O_3 de la roche. Il est important de noter que jusqu'à la valeur 3,5 du rapport, la silice est l'élément le moins exporté, le fer le serait faiblement tandis que l'alumine le serait assez fortement dans certains cas. Ainsi dans un prélèvement de ~~de~~ stalagnite de la grotte de Jeita, Al_2O_3 représente plus de 80% du dépôt. Dès la valeur 4,2 de ce rapport, tandis que le fer et parfois l'alumine semblent très peu entraînés, la silice ~~est~~ nettement exportée -

Il serait donc logique de considérer que l'état de la silice et de l'alumine, dans les résidus non carbonatés des roches calcaires, joue un rôle prépondérant dans l'exportation relative de ces éléments. La silice et l'alumine bien englobées dans les réseaux argileux seraient peu attaquées, alors que les formes cristallines et surtout amorphes, si elles existent, peuvent être entraînées.

Tableau 4 - Lessivage relatif de SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, dans les altérations de roches calcaires.

Echant.	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	Interprétations		
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
<u>183</u>						
Congl. sain	0,5	2,5	5,0			
" altéré	4,8	6,2	1,3	Reste	Exp. forte	Exp. moy.
<u>308</u> R.	0,7	4,3	6,1			
A.	1,4	9,1	6,5	Reste	Exp. faible	" faib.
<u>237</u> R.	0,8	7,2	9,0			
croûte fer.	1,5	6,3	4,2			
A.	2,6	9,4	3,6	Reste	Exp. moy.	Exp. faibl
<u>65</u> : R.	0,9	7,3	8,1			
A.	5,4	12,1	2,2	Reste	Exp. forte	" "
<u>327</u> R.	2,6	11,6	4,4			
A.	7,2	14,3	2,0	Reste	Exp. moyen.	" "
<u>343</u> R.	3,5	5,6	1,6			
A.	4,3	18,1	4,2	Reste	Exp. faible	" "
<u>183</u> : Galet						
sain	4,2	Très élevé	Très élevé			
altéré	2,7	4,8	1,8	Exp.	Exp.	Reste
<u>215</u> : R	7,1	24,6	3,4			
Alt.	5,9	18,5	3,1			
terre	3,7	13,0	3,5	Exp. moy.		restent
<u>254</u> : R.	9,0	9,4	1,0			
A	3,6	4,6	1,3	Exp. moy.		restent
<u>Zh.1</u> : R	13,6	31,6	2,3			
2 Al	6,2	23,6	3,8			
3 A2	5,0	21,0	4,2			
4 A3	1,3	10,0	7,7	Exp. moy.	Reste	Exp. faible
<u>118</u> : R	14,5	Très élevé	Très élevé			
Terre	2,9	7,2	2,5	Exp.	Exp.	Reste
<u>336</u> : R	540	410	0,7			
croûte ext.	90	24,5	0,2	Exp.	Exp. faib.	Reste

R = roche A = altération.

Les interprétations sont des appréciations relatives par rapport à l'élément le moins entraîné, d'où le terme Reste correspondant à cet élément. Exp. signifie que l'élément a été entraîné relativement faiblement, moyennement ou fortement.

Les courbes théoriques de dissolution de ces éléments en fonction du pH ne sont pas incompatibles avec ces hypothèses. De toute façon, la présence de cations étrangers et la formation de complexes peuvent apporter de profondes modifications dans les dissolutions de SiO₂ et Al₂O₃.

Il semblerait que le milieu joue également un rôle dans l'entraînement de l'un ou l'autre de ces éléments, mais les cas sont trop complexes et trop peu nombreux pour qu'une conclusion soit tirée à ce sujet. Cependant des analyses d'eau devraient permettre de donner un sens précis à ces données et d'établir un bilan correct des entraînements par les eaux de drainage.

5 - Résidus d'altération et sols formés.

Quantitativement les résidus d'altération sont loin d'être négligeables.

Le tableau suivant donne les moyennes obtenues sur n échantillons :

Tableau 5 - Résidus non carbonatés des roches carbonatées

Typ e de roches	Age	Moyenne %	Variations	Nombre n d'échantil.
R.carbonatées dures	Jurassique, Cénomanién, Eocène Aptien supr.	2,2	0,4 à 6,6	26
R.carbonatées grossières poreuses	Aptien inférieur, Albien, Miocène	6,3	3,7 à 10,8	5
R.carbonatées tendres	Eocène	7,7	5,3 à 10,0	2

.../...

Il faut considérer que ces données ne tiennent pas compte des éléments grossiers des joints de stratifications ou des couches alternées de marnes ou calcaires tendres qui augmentent considérablement les pourcentages d'éléments non carbonatés de ces roches sédimentaires.

Partant de ces données, pour former 20 à 30 cm. de sol, moyenne largement estimée pour le versant Ouest du Mont Liban, avec 1,3 de densité pour le sol, 2,6 pour le calcaire et en évaluant dans le sol, le complexe hérité des roches à 75%, il faudrait :

- 3,5 à 4,7 mètres de carbonates durs,
- 1,2 à 1,6 mètres de carbonates grossiers
- 1,0 à 1,3 mètres de carbonates tendres.

En prenant pour base 10.000 ans, ces dissolutions représentent 1/10 à 5/10 de mm. par an. Ces valeurs sont 2 à 5 fois plus fortes que celles calculées à partir des pellicules d'altération ou de la charge en carbonates des eaux de ruissellement. Compte tenu du fait que les 20 à 30 cm. de sol considérés ne sont pas forcément formés d'argiles de décarbonatation, récentes, le mécanisme schématisé de cette pédogénèse des sols rouges ~~se~~ paraît donc assez *compréhensible*

.../...

V - CONCLUSION

Il est de la plus haute importance en pédogénèse de mettre l'accent sur les mécanismes de l'évolution des sols. Cette dynamique des altérations, des solutions, de la structure, etc... permet de comprendre un certain nombre de phénomènes aussi bien présents que passés.

Il semble qu'une ~~des~~ *des* ~~facteurs~~ *des* essentiels conditionnant la rubéfaction des sols soit l'alternance d'une saison sèche chaude suffisamment longue et d'une saison humide assez pluvieuse, mais fraîche. Des variations d'intensité telles qu'elles ont pu se produire depuis le quaternaire moyen, par exemple, n'ont certainement pas affecté le sens de cette évolution pédogénétique rubéfiante. La température élevée en saison sèche n'affecterait pas non plus cette évolution, mais en saison des pluies de fortes températures favorisent les hydrolyses et de ce fait les conditions ferralitizantes

Dans le cadre d'un tel climat à saisons alternées sèches et pluvieuses avec une pluviométrie moyenne ou élevée (700 à 1500 mm), l'eau de pluie imprègne le sol suffisamment longtemps pour produire des dissolutions, des hydrolyses managées, sans toutefois aboutir à une dégradation notable des matériaux silicatés.

Des produits initialement bruns dans les roches subissent une rubéfaction parallèlement à la dissolution des carbonates, si les conditions de milieu le permettent. En milieu aéré, bien drainé, les bicarbonates sont rapidement éliminés et les phénomènes d'oxydation peuvent intervenir pendant toute la durée de la saison sèche.

En milieu confiné, plus ou moins bien drainé, les bicarbonates ne sont pas ou sont très mal lessivés et l'oxydation des hydroxydes n'a pas le temps de se produire.

Un sol rouge dit méditerranéen est un sol complexe suivant les conditions climatiques, ce sol est ou n'est pas en "activité" :

..//...

1°/ s'il n'est pas en "activité", les phénomènes d'altération des roches carbonatées ne sont pas observables. Ce qui signifie que la pluviométrie est trop faible pour entraîner, même les éléments les plus solubles et ceci s'observe en-dessous de 400 mm. L'histoire pédologique s'inscrit alors dans une morphologie généralement bien conservée.

A côté de sols fossiles voisins de sols tropicaux, plus ou moins ferrallitiques, s'observent des sols rouges plus jeunes, décalcariés, *parfois un peu* désaturés, des sols bruns très calcaires des loess plus ou moins ferrallitiques, ~~plus ou moins ferrallitiques~~ plus évolués, etc...

L'ensemble s'ordonnant assez bien suivant un étagement chronologique déterminé.

2°/ Si le sol est "en activité", ^{avec} pluviométries élevées, les altérations de roches carbonatées sont observables et mesurables.

De ces altérations naissent des sols rouges, bruns ou blancs, plus ou moins décalcariés suivant les conditions locales. La vitesse de ces altérations, fabriquant le sol, et les phénomènes érosifs sont alors en compétition et doivent être pris en considération.

Si l'altération est lente et l'érosion minime, cas des karsts sur roches carbonatées dures, les petites quantités de résidus abandonnées par les dissolutions sont totalement décalcariées et s'amalgament parfaitement bien ⁽¹⁾ aux agrégats polyédriques des sols rouges. Les hydroxydes de fer ont alors le temps de s'oxyder dans ce milieu bien structuré et sec.

Si l'altération est rapide, cas des désagréments mécaniques des marnes, calcaires marneux, etc... les quantités de carbonates offertes aux dissolutions sont énormes eu égard au pouvoir dissolvant limité des eaux de pluies.

(1) Ces éléments contribuent à former les stresscutan recouvrent les facettes polyédriques de petits agrégats.

La masse désagrégée et sans structure, forme une pâte imperméable très facilement enlevée par l'érosion, d'autant plus que la morphologie qui caractérise ces matériaux favorise le ruissellement et le ravinement. Les résidus non carbonatés ne sont même pas libérés de leur gangue de carbonates, les sols restent à l'état de régosols, de sols peu évolués, tout au plus de rendzines grises ou blanches quand la matière organique est abondante.

Entre ces deux cas extrêmes se situe un ensemble de sols plus ou moins calcaires et souvent mal expliqués quant à leur pédogénèse : des rendzines rouges, des sols bruns calcaires, des sols bruns à caractères verticaux, des sols bruns pouvant être rattachés aux sols dits isohumiques, etc...

Il n'est pas dans ce propos d'étudier les différents cas cités, bien que chacun de ces types de sols puisse assez bien s'expliquer à partir du contexte climatique et du matériau parental. Mais ici intervient non seulement la vitesse d'altération

$$V_a = \frac{E_p}{D_s} \quad \text{où} \quad \left\{ \begin{array}{l} E_p \text{ est la quantité d'eau percolée en un point} \\ \text{et en temps donné} \\ D_s \text{ le degré de solubilité du matériau,} \end{array} \right.$$

mais également le milieu qui conditionne le paramètre E_p .

Le milieu dont il a été question dans cette note même et dont l'étude sera développée par ailleurs, concrétise cette notion de pédoclimat souvent citée, mais jamais bien définie.

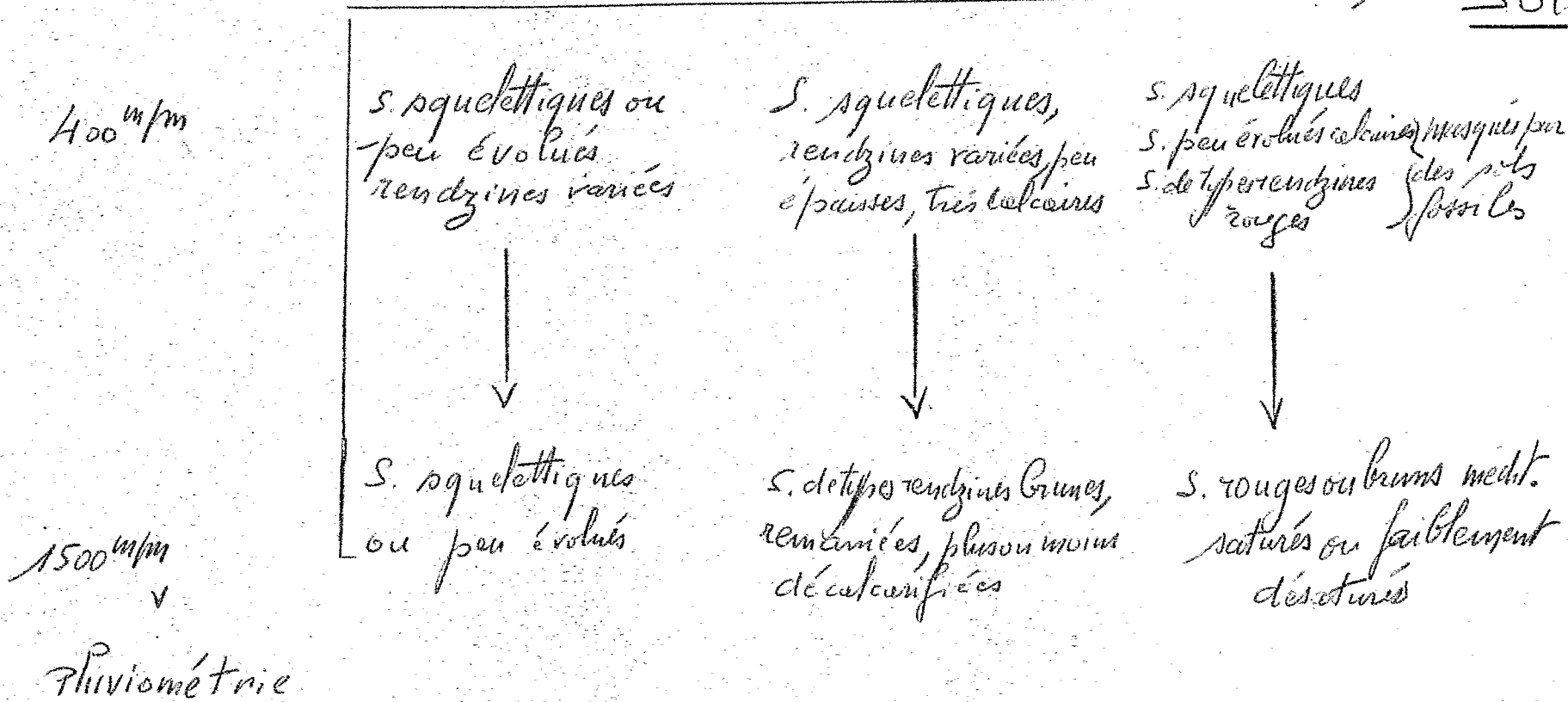
Ces différents facteurs auxquels s'ajoutent les matières organiques, les remaniements naturels ou humains contribuent à former des sols souvent très calcaires, caillouteux, plus ou moins structurés et bruns.

Le sol rouge dit méditerranéen est en fait l'aboutissement d'une évolution, souvent stoppée dès le départ ou en cours de développement suivant le schéma suivant :

.../...

Schéma 2 - Evolution pédogénétique des sols formés sur roches carbonatées dans le contexte climatique actuel

Tendre à très tendre mécanique (délitage rapide)	Pas très dur, Hétérogène riche en résidus non carbonatés	Dur, peu de résidus non carbonatés	<u>Matériau parental Carbonaté</u>
	Mécanique + dissolution (Rapide)	Dissolution lente	<u>Altération</u>
			> <u>Sols</u>



Dans un contexte plus général le sol rouge dit méditerranéen apparaît comme un sol saturé, à faiblement désaturé, dans lequel les phénomènes d'hydrolyse des silicates sont considérablement ralentis. Dans le même ordre d'idées que le schéma proposé par G. LUBERT et P. SEGALIN (1966), ces sols pourraient être classés (tableau 6) dans la sous-classe des "Rubisols et brun sols" (racines latines des mots rouge et brun). Ces termes mettent en évidence les phénomènes fondamentaux de rubéfaction et de brunification, liés aux modes d'altération et aux conditions de milieu.

Dans le 3ème groupe de sols faiblement désaturés se rangent les sols observés dans le Nord-Cameroun, au Mexique, etc... des sols fossiles formés probablement dans des conditions semblables.

Enfin le 4ème groupe de sols renaissés s'impose pour y inclure les sols où produits de formation récentes et produits de formation ancienne sont manifestement visibles et juxtaposés.

Tableau 6 - Projet de classification des sols rouges et bruns dits méditerranéens

Classe VIII - Sols à sesquioxydes et à matière organique rapidement minéralisée.

Sous-classe 1 - Rubisols et brunisols

Groupe : Rubisols et brunisols saturés, non appauvris et non lessivés

- Sous-groupes {
 Modal
 Encroûté
 Brunisols
 Hydromorphes
 Vertiques
 "Steppisé" (not à changer).

Groupe : R et B. saturés, appauvris ou lessivés

- Sous-groupes ... *idem*

Groupe : R et B. faiblement désaturés

- Sous-groupes

Groupe des R et B. : rémanés

B I B L I O G R A P H I E

- AUPLERT (G) et SIGALEM (F) - 1966 - Projet de classification des sols ferrallitiques - non publié - Réunion de l'ORSTOM - Septembre 1966.
- BOULAINÉ (G) - 1965 - Renseignements oraux
1966 - Sur les facteurs climatiques de la gènesse des sols rouges. Conférence sur les sols méditerranéens - Madrid - Septembre.
- BRYSSINE (G) - 1949 - Les facteurs climatiques de la pédogénèse au Maroc - Les Cahiers de la Recherche Agronomique - Rabat.
- DESAUNETTES (J.R) - 1966 - Sol rouge méditerranéens en altitude - Conférence sur les sols méditerranéens - Madrid - Septembre.
- DUBERTRET (L) - 1951 - Carte géologique au 50.000ème - Feuille de Beyrouth.
- GEZE (B) - 1947 - Paléosols et sols dus à l'évolution actuelle - C.R. de la Conférence de pédologie méditerranéenne - Alger - Montpellier.
- KEHREN (L) - 1965 - Dosage du Jo_2 en circuit fermé (inédit)
- LAMOUREUX (M) - 1965 - Observations sur l'altération des roches calcaires sous climat méditerranéen humide (Liban) - Cahiers ORSTOM - Pédologie - Vol. III, n° 1.
- 1966 - A propos de la formation des sols rouges méditerranéens sous le climat humide et subhumide du Liban.
Conférence sur les sols méditerranéens - Madrid -
- LAMOUREUX (M) et AUBERT (G) - Les sols bruns méditerranéens formés sur calcaires jurés du Liban -
Conférence sur les sols méditerranéens - Madrid -
- MARJELIN (P) - 1960 - Sur la terre rouge - Bulletin de la Société d'Etude des Sciences Naturelles de Nimes.
- MILLOT (G) - 1964 - Géologie des argiles - Masson & Cie - Paris
- PABOT (M) - 1959 - La végétation sylvopastorale au Liban et son écologie - FAO -
- TRICART (G.N.) (J) - 1965 - Principes et méthodes de la géomorphologie - Masson & Cie.
- YAALON (D.H) - 1955 - Clays and some non carbonate minerals in limestones and associated soils of Israël.
-