

# ETUDE COMPAREE DES PRODUITS FERRUGINEUX DANS LES SOLS ROUGES ET BRUNS MEDITERRANEENS DU LIBAN

M. LAMOUREUX \* et P. SEGALEN \*\*

## SOMMAIRE

*Des échantillons de sols rouges et de sols bruns méditerranéens ont été prélevés au Liban et étudiés au laboratoire en vue d'essayer de savoir à quoi était due la couleur de ces sols.*

*Une méthode de dissolution ménagée, associée à l'examen aux rayons X et à l'analyse thermique différentielle, permet de montrer que la couleur rouge est due essentiellement à des produits amorphes qui recouvrent les produits cristallisés du sol. La couleur brun-jaune est due à la goéthite.*

*Une grande partie du fer est incluse dans le réseau d'argiles 2/1. Il n'y a pas de silice amorphe; elle est tout entière dans le réseau des minéraux argileux.*

## INTRODUCTION

Le Liban est un pays montagneux situé à l'extrémité orientale de la Méditerranée. Le sous-sol est constitué essentiellement de roches sédimentaires jurassiques, crétacées et tertiaires, de nature calcaire et dolomitique. Ces roches ont été soulevées pour former un vaste anticlinal dont la voûte s'est effondrée par un jeu de failles orientées SSW-NNE (DUBERTRET, 1955). On observe maintenant deux séries de hauteurs parallèles (les Monts Liban le long de la mer, l'Anti-Liban à l'intérieur) séparées par un sillon, la plaine de la Bekaa, drainée vers le Nord par l'Oronte et vers le Sud par le Litani.

Le climat des régions étudiées est, d'après la classification de BAGNOULS et GAUSSEN (1957) thermo-méditerranéen atténué (1.000 à 1.200 mm de pluviométrie annuelle, avec 100 à 125 jours secs) et, pour certaines localités considérées, thermo-méditerranéen accentué (600 à 1.000 mm de pluviométrie annuelle, avec 125 à 150 jours secs). La température moyenne annuelle varie de 15 à 20° C.

(\*) M. LAMOUREUX, Mission ORSTOM au Liban, Tel Amara, Liban.

(\*\*) P. SEGALEN, Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM, Bondy.

**G. R. S. T. O. M.**

63

**Collection de Référence**

n°/3302 ex/1

17 AOÛT 1969

La végétation primitive naturelle forestière a disparu à peu près partout depuis longtemps, pour faire place à des formations arbustives à chênes, genêts, genévriers, etc..., ou bien à des plantations de pins, ou bien à des cultures (oliviers, vignes, céréales, etc...).

La topographie est assez tourmentée. Un relief de type karstique avec des affleurements de calcaire alternant avec des sols rouges ou bruns méditerranéens est la règle sur de vastes étendues. Ces sols ont déjà fait l'objet de plusieurs travaux (GEZE, 1956 ; LAMOUREUX, 1965, 1967, 1968 ; LAMOUREUX et AUBERT, 1966 ; LAMOUREUX, PAQUET, MILLOT et PINTA, 1968) et sont considérés comme se formant actuellement sous les conditions climatiques qui prévalent présentement dans le pays, tout au moins dans les Monts Liban où les sols étudiés ont été observés et prélevés.

On pouvait se demander à quoi correspondaient les différences de couleur observées. Les observations faites sur le terrain faisaient penser tout naturellement que les sols rouges étaient en cours de formation dans des karsts fissurés, drainant librement, tandis que les sols bruns correspondaient à des poches fermées montrant en profondeur des accumulations nettes de calcaire, et/ou des marques indiscutables d'une hydromorphie encore qu'assez peu accusée.

Afin d'essayer de savoir à quoi correspondaient les différences de couleur des sols, deux lots d'échantillons ont été soumis à des analyses particulières, chimiques et minéralogiques, aux laboratoires des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M., à Bondy. Les résultats obtenus ont permis d'avoir une idée de la composition chimique et minéralogique de ces sols et de conclure que la différence essentielle entre les deux catégories de sols était due à la présence de produits amorphes dans un cas (sols rouges), et à l'absence de ces produits dans l'autre cas (sols bruns), alors que ces deux types de sols présentaient, par ailleurs, d'assez grandes similitudes.

## MATERIEL ET TECHNIQUES

Les sols ont été examinés sur le terrain et décrits par M. LAMOUREUX. Certaines déterminations ont été effectuées au laboratoire de la Station agronomique de Tel-Amara, d'autres aux S.S.C. par M<sup>me</sup> F. ROBIN, sous la direction de P. SEGALEN. Des déterminations chimiques au réactif triacide ont été effectuées par le laboratoire de pédologie appliquée avec B. DABIN et P. PELLOUX. Des diagrammes X ont été établis par G. FUSIL et M. PINTA ; des diagrammes thermiques par M. KOUKOUÏ et M. PINTA.

1° **Les sols étudiés** peuvent être divisés en deux groupes, **les sols rouges méditerranéens**, **les sols bruns méditerranéens**. Une rendzine rouge et un sol brun calcaire ont été également examinés à titre de comparaison.

a) **Les sols rouges.** Les données essentielles des échantillons étudiés sont présentées au tableau 1.

Prof. 205 Étudié près de la localité de Bechlet, à proximité de Bourouth, Le

## LE FER DANS LES SOLS DU LIBAN

- **Profil 317.** Examiné également à Daraya, sur une pente de 10 %. La roche-mère est un calcaire dur dont l'altération est pelliculaire. L'échantillon 317-3 a été prélevé entre 100 et 120 cm ;
- **Profil 319.** Examiné à Koutaryé sous une pluviométrie de 800 mm, température moyenne annuelle de 20° C. La roche-mère est un calcaire dur cénomamien. La végétation est clairsemée, à base de **Potérium**. L'échantillon 319-2 a été prélevé entre 20 et 30 cm. L'échantillon 319-4 et 5, à 110 cm.

b) **Les sols bruns.** Ils ont été observés dans la même zone géographique. Ils constituent le plus souvent des plages distinctes au milieu des sols rouges. Il existe en outre des sols dont une partie seulement du profil est de couleur brune. Les deux types ont été échantillonnés.

- **Profil 151.** L'échantillon 151-4 correspond à une poche brune dans un sol rouge. Il a été prélevé à 90 cm ;
- **Profil 316.** L'échantillon 316-5 correspond à une poche brune dans un sol rouge. Prélèvement effectué à 100 cm ;
- **Profil 248.** Ce profil a été examiné et prélevé à Baabdat à une altitude de 700 m. La roche-mère est une roche calcaire dure en lits alternés avec quelques niveaux argileux. La topographie actuelle est une terrasse. Les cailloux sont nombreux dès la surface. Le prélèvement 248-3 a été fait à 90 cm ;
- **Profil 324.** Examiné à Bekaata, près de Reyfoun. La pluviométrie est de 1.200 mm, la température de 15° C. La roche-mère est un calcaire dur du Jurassique, le relief est un karst « fermé ». L'échantillon 324-2-3 a été prélevé entre 40 et 100 cm.

L'observation sur le terrain montre que tous les sols sont très argileux, que leur structure naturelle est polyédrique, moyenne à fine, bien développée. Les sols (ou poches) bruns sont souvent calcaires en profondeur et plus cohérents que les sols rouges.

Les caractéristiques chimiques essentielles, établies aux laboratoires de Tel Amara et de Bondy montrent (tableau 1) une certaine homogénéité en ce qui concerne le pH, la teneur en argile, le degré de saturation, la teneur en fer total.

La constitution minéralogique des sols des deux catégories est identique. Aux

La différence fondamentale demeure la couleur. Elle a été estimée au Munsell color chart ; les sols rouges correspondent aux teintes 2,5 et 5 YR, les sols bruns aux teintes 7,5 YR et 10 YR.

## 2° Techniques utilisées :

La coloration de ces sols par la matière organique ne peut être invoquée, aucune corrélation n'existant entre la couleur et une forme quelconque de matière organique. Ce sont, en outre, les parties du profil les moins humifères qui présentent souvent des couleurs brunes. La couleur apparaît due essentiellement aux produits ferrugineux. La constitution minéralogique ne fait pas apparaître de différences qualitatives entre les deux groupes. Il a été supposé que les différences de couleur pouvaient être attribuées aux produits amorphes.

La méthode mise au point pour l'étude de ces constituants a été utilisée (SEGALEN, 1968). Elle consiste en l'attaque du sol par l'acide chlorhydrique 8 N et la soude 0,5 N appliqués alternativement. Elle permet une dissolution ménagée des constituants en commençant par les produits amorphes. Un certain nombre d'attaques a été effectué et

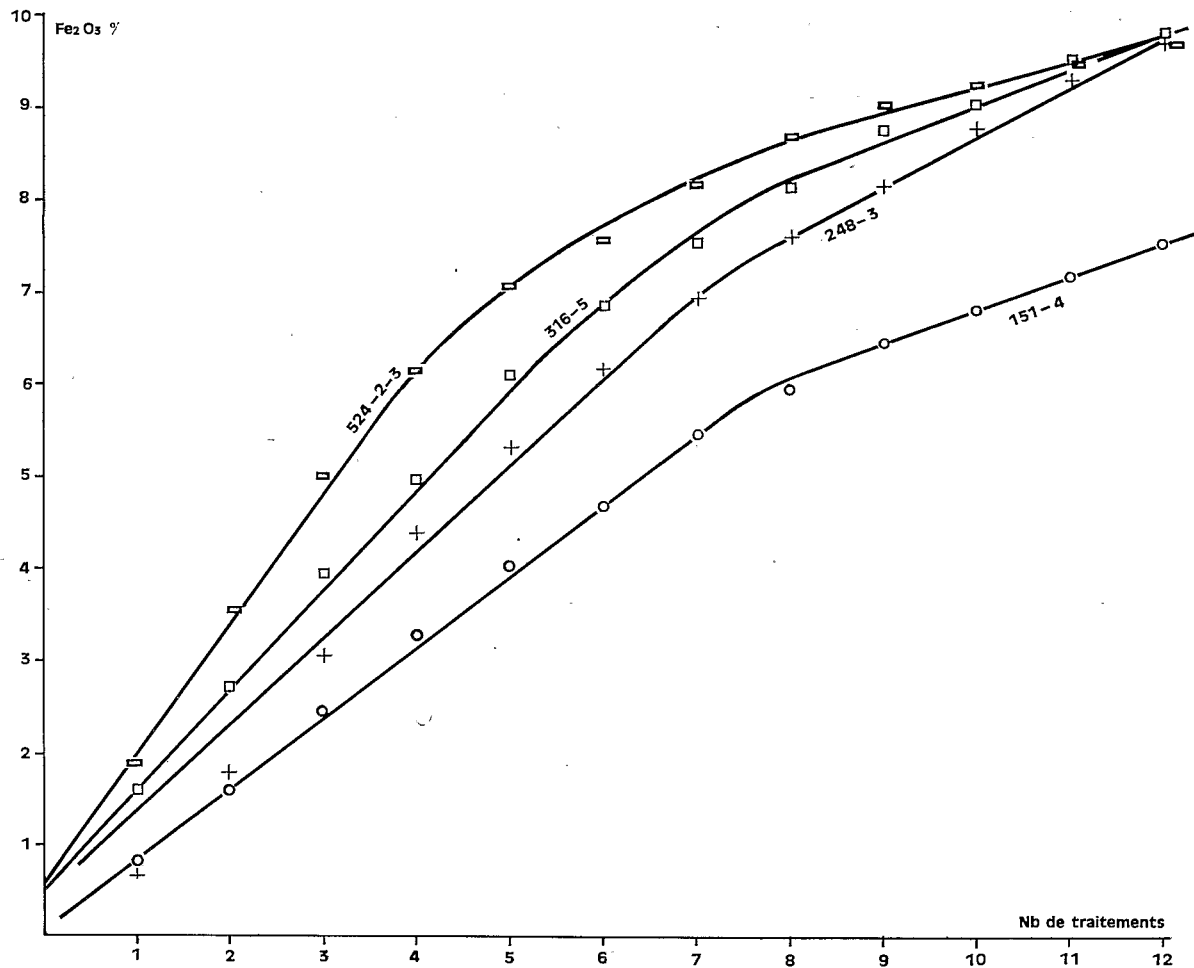


FIGURE I. — Courbes de déferrification des sols bruns

Sol Brun 316-5

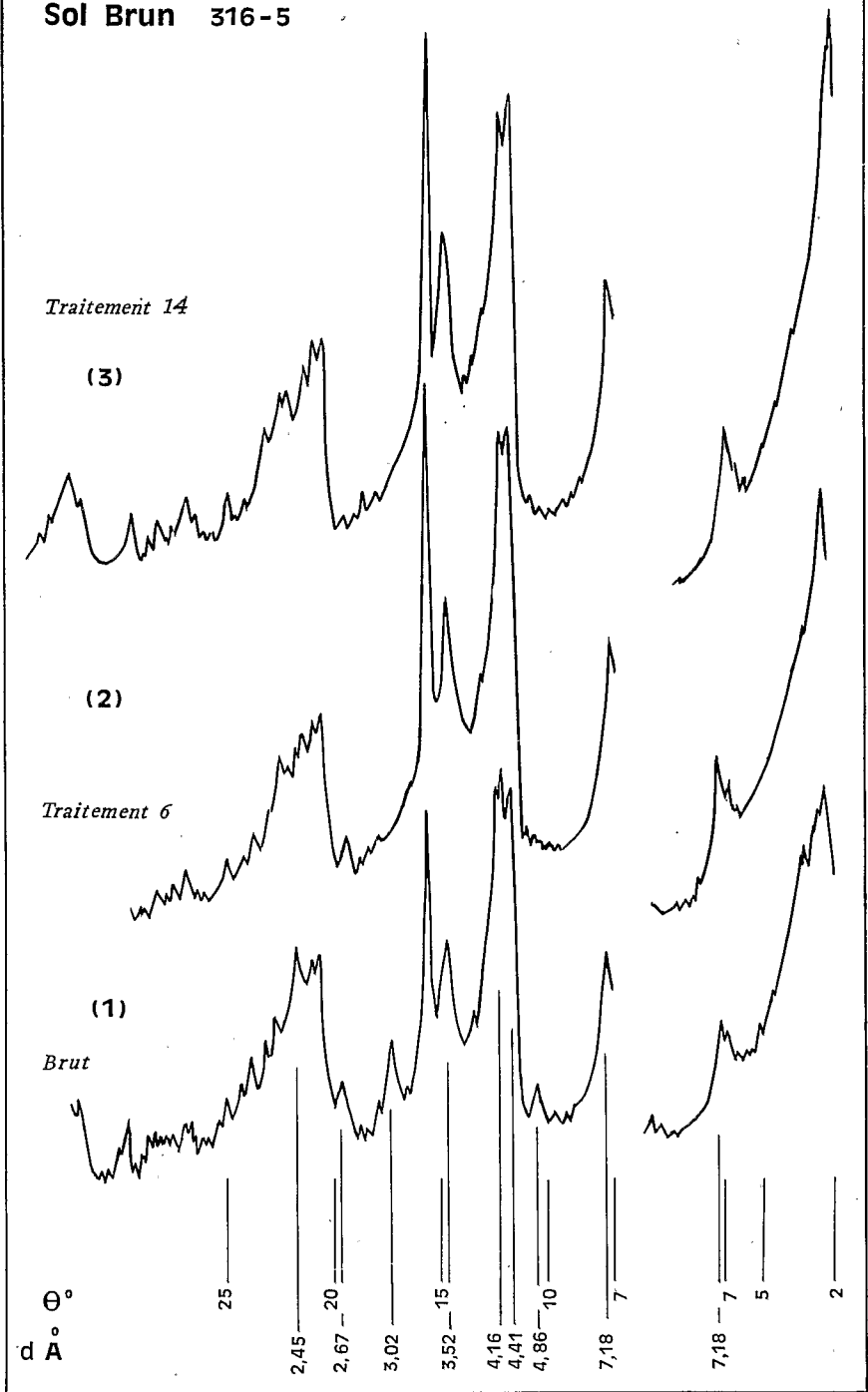


FIGURE II. — Variation du diagramme X de l'échantillon 316,5, en fonction des traitements. Noter la disparition graduelle des pics à 2,67 et 4,16 Å de la goëthite; la gibbsite (4,86 Å) et la calcite (3,02 Å) disparaissant totalement

**Examen de la couleur.** Tous les échantillons peuvent être classés comme brun-jaune, correspondant aux deux teintes 7,5 YR (3 échantillons) et 10 YR (10 échantillons). Au cours des traitements, la couleur des échantillons devient généralement plus claire, mais ne subit pas de changement important (tableau 2).

TABLEAU 2  
VARIATION DE LA COULEUR AU COURS DE LA DEFERRIFICATION

Echantillons	Sol brut	Trait. 1 30 min.	2 1 H	4 2 H	6 3 H	8 4 H	14 7 H
225-3	5 YR 4/6	5 YR 4/4	5 YR 5/4	→ id →	→ id →	5 YR 5/3	5 YR 5/3
151-3	5 YR 4/4	5 YR 4/3	5 YR 5/4	→ id →	→ id →	5 YR 6/2	5 YR 5/2
316-2	5 YR 4/6	7,5 YR 5/4	→ → →	7,5 YR 4/2	10 YR 4/3	10 YR 5/3	10 YR 5/2
317-3	2,5 YR 3/6	7,5 YR 5/6	→ → →	id →	id →	7,5 YR 6/4	10 YR 5/3
319-4-5	2,5 YR 3/6	5 YR 4/4	5 YR 5/4	7,5 YR 5/4	10 YR 6/2	→ → →	→ → →
248-3	7,5 YR 5/6	→ → →	→ → →	→ → →	→ → →	→ → →	10 YR 6/4
151-4	10 YR 5/4	→ → →	10 YR 6/4	→ → →	→ → →	→ → →	10 YR 6/2
316-5	7,5 YR 5/6	7,5 YR 4/2	7,5 YR 4/4	7,5 YR 5/4	→ → →	7,5 YR 6/2	7,5 YR 6/4
324-2-3	7,5 YR 5/4	→ → →	7,5 YR 6/6	10 YR 6/4	→ → →	10 YR 6/3	10 YR 6/2

**Discussion et explication proposée.** Les sols bruns sont constitués d'une très petite quantité de produits amorphes, de goéthite et d'une smectite (avec, en outre, une certaine quantité de produit kaolinitique et de quartz). Au cours de la dissolution, l'oxyde de fer amorphe est dissous rapidement et après le troisième traitement a disparu. Il s'ensuit une légère variation de la couleur.

Il reste alors en présence, en ce qui concerne le fer, la goéthite et la smectite. La première doit se dissoudre plus vite que la seconde car :

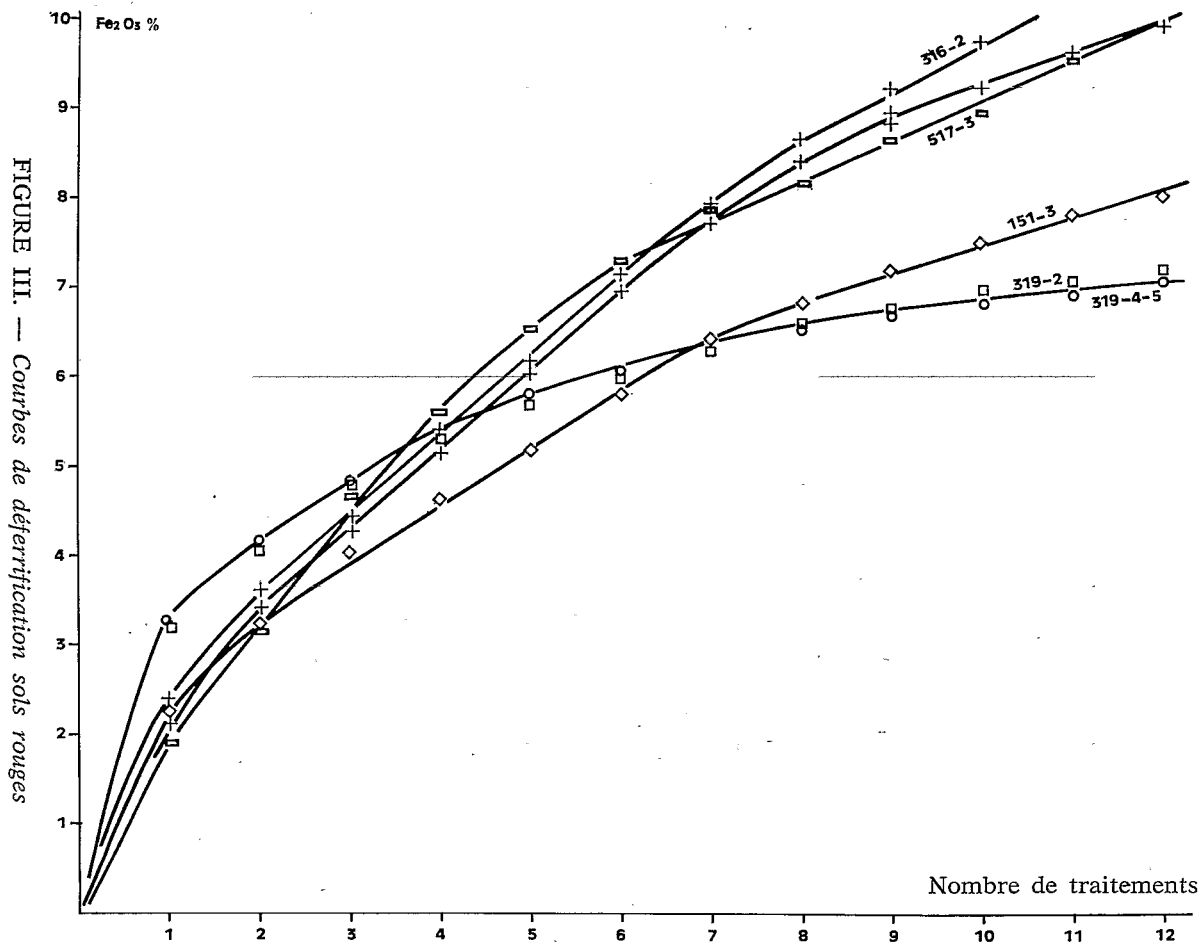
- la goéthite, encore visible après le traitement 6, ne l'est plus après le traitement 14 ;
- le taux de fer présent après le 12<sup>e</sup> traitement est proche de 30 % du fer total et ne peut plus être attribué à la goéthite ;
- la smectite, qui a certes été fortement dégradée par le traitement, est loin d'avoir été entièrement démolie, car seulement des proportions faibles de silice et d'alumine sont passées en solution. Entre 3 et 4 % de silice, 4 et 6 % d'alumine ont été dissous, alors que les échantillons contiennent 28 à 38 % de silice et 18 à 28 % d'alumine.

Par conséquent, la couleur jaune-brun doit être attribuée à la goéthite. La dissolution de celle-ci fait passer la couleur de l'échantillon à une teinte grisâtre.

## 2° SOLS ROUGES :

**Examen des courbes d'extraction** (figure III). L'allure générale des courbes est assez semblable à celle de sols bruns, sauf au départ. En effet, si l'on peut mettre en évidence, pour les sols bruns, une teneur en produits amorphes inférieure à 0,5 %, les sols rouges ont une teneur en produits amorphes comprise entre 2 et 3 %. La suite de la courbe d'extraction montre une succession de zones droites. A la fin de la 12<sup>e</sup> extraction, près de 30 % de l'oxyde de fer total ne sont pas encore passés en solution.

**Examen des diagrammes X.** Comme pour les sols bruns, les échantillons initiaux renferment de la goéthite. Au 6<sup>e</sup> traitement, elle est visible sur tous les échantillons, elle a disparu au 12<sup>e</sup> traitement. Une smectite est présente dans tous les échantillons, son degré de cristallinité est médiocre et le pic à 14 Å disparaît très rapidement au cours des traitements. L'examen des diagrammes X de l'échantillon 317-3 est donné à la figure IV. L'échantillon initial (1) montre la présence de montmorillonite, kaolinite, quartz. La goéthite est identifiée par les pics à 4,16 et 2,67 Å<sup>w</sup>. Ils sont encore reconnaissables en (2), mais ont disparu en (3). La montmorillonite, qui n'est pas reconnaissable sur (2) et (3), le devient après traitement de l'échantillon au calcium.





Sol Rouge 317-3

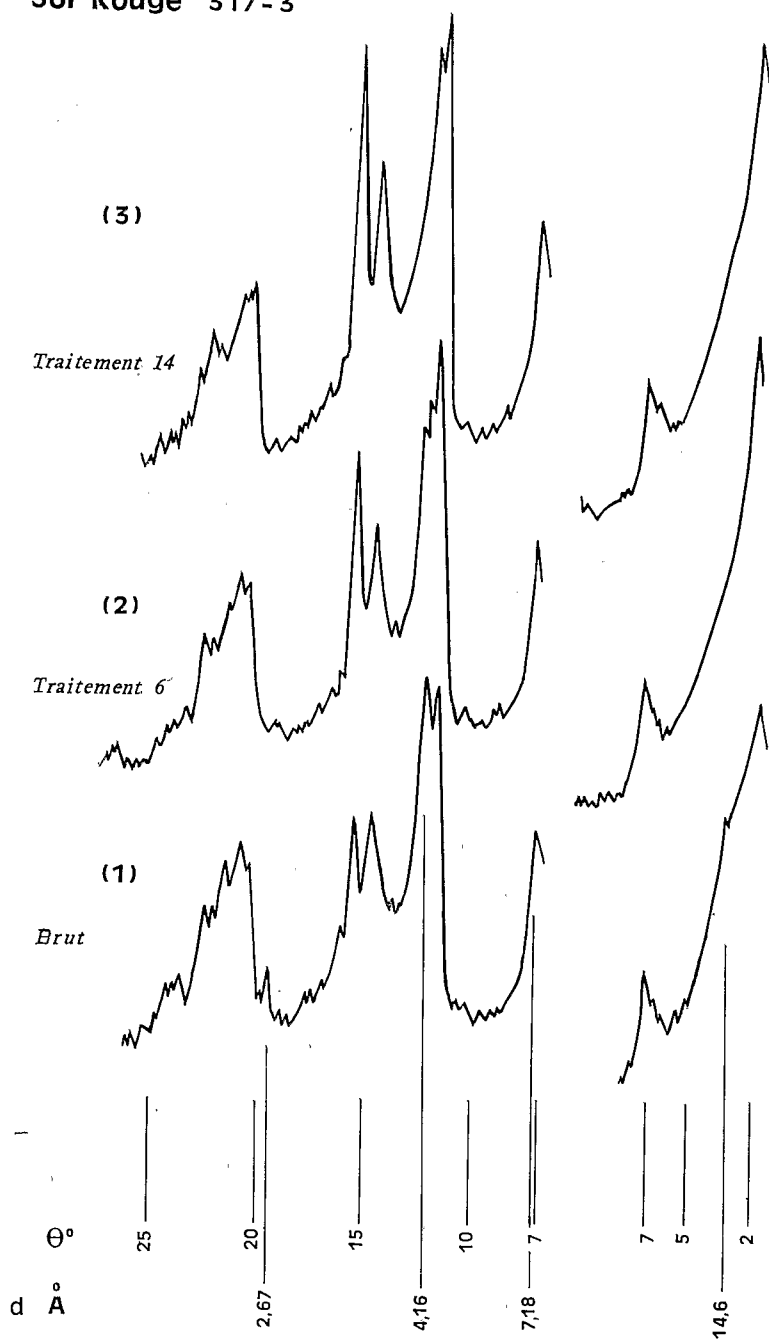


FIGURE IV. — Variation du diagramme  $\bar{X}$  de l'échantillon 317.3 en fonction des traitements. Noter la disparition de la goéthite (pics à 4.16 et 2.67 Å). Ni-silicate.

TABLEAU 3

REPARTITION DU FER DANS LES DIFFERENTS CONSTITUANTS  
DES SOLS ROUGES ET BRUNS MEDITERRANEENS DU LIBAN

		% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dans le sol				% du Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total		
		Prod. Am.	Goethite	Smectite	Total	Prod. Am.	Goethite	Smectite
Sols rouges	225-3	2,0	3,5 <sup>(1)</sup>	7,0	12,5	15	28	57
	151-3	2,5	2,0 <sup>(1)</sup>	6,5	11,0	23	18	59
	316-2	2,0	2,5	8,2	12,7	16	19	65
	317-3	2,0	3,0	8,0	13,0	15	23	62
	319-4-5	2,5	3,0	5,5	11,0	23	27	50
Sols bruns	243-3	0	3,5	10,0	13,5	--	26	74
	151-4	0	2,5	7,5	10,0	--	25	75
	316-5	0,5	5,3	6,5	12,3	4	43	53
	324-2-3	0,5	6,5	4,0	11,0	4	60	36

(1) Contient un peu d'hématite.

**Examen de la couleur.** La plupart des échantillons initiaux peut être classée comme rouge à brun-rouge, leur couleur appartient aux planches 2,5 YR ou 5 YR. Au cours de la déferrification, on constate que la couleur passe à des teintes de plus en plus jaunes, déterminables sur les planches 5 YR ou 10 YR. Au 14<sup>e</sup> traitement, les couleurs prennent des teintes grisâtres. Deux échantillons (225-3 et 151-3) ont une teinte légèrement rougeâtre par suite de la présence d'un peu d'hématite. La couleur reste 5 YR. Par contre, les trois autres échantillons, qui ne renferment pas d'hématite, voient leur couleur passer de 2,5 YR à 5 YR, 7,5 YR et finalement 10 YR.

**Discussion et explication proposées.** La constitution des sols rouges est très semblable à celle des sols bruns : produits amorphes, goethite, hématite et smectite avec de la kaolinite et un peu de quartz. Mais la teneur en produit amorphe est notablement plus élevée, 2 à 3 %. L'enlèvement de ce produit amorphe se traduit (vers le 2-4<sup>e</sup> traitement) par un changement net de la couleur qui, de rouge, passe au brun pour les sols sans hématite. Il reste alors en présence la goethite et la smectite ; l'explication proposée pour les sols bruns est également valable pour les sols rouges. Par conséquent, la couleur des sols rouges méditerranéens doit être attribuée à une petite quantité de produits ferrugineux amorphes qui cachent la goethite.

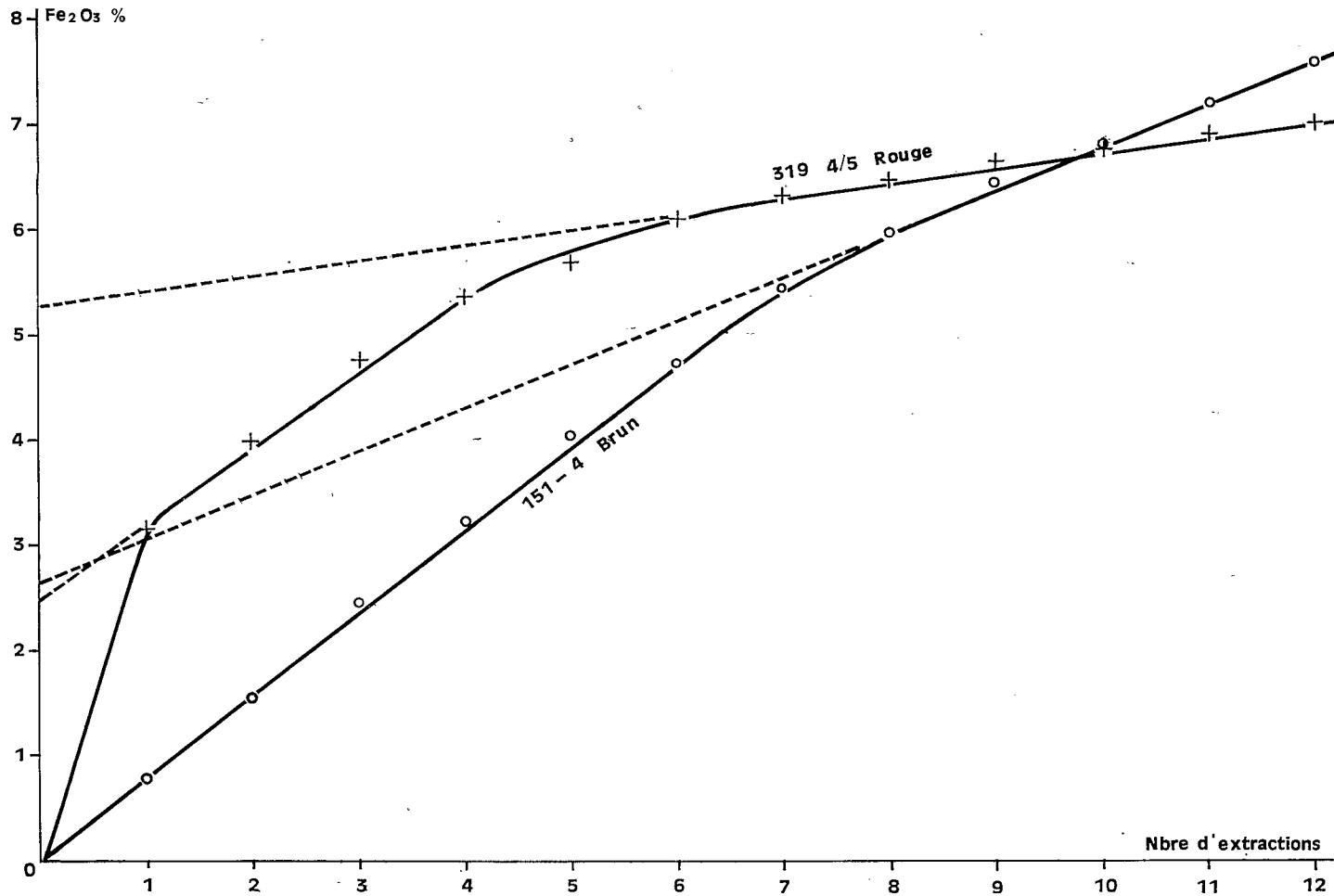
## 3° ESSAI D'EVALUATION DU FER DANS LES SOLS ETUDIES :

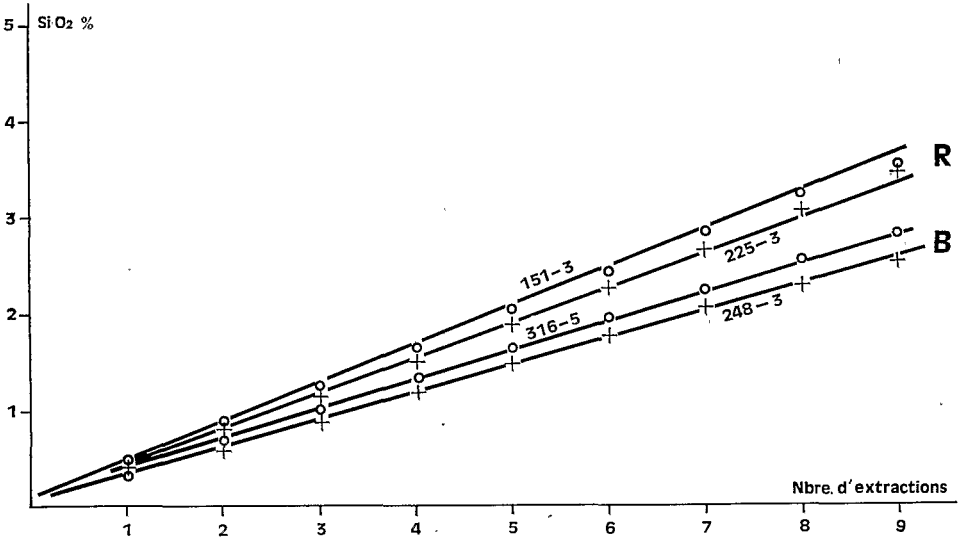
L'examen des courbes de dissolution du fer fait apparaître que ces courbes sont marquées par des zones à pentes très variées. En rapprochant ces courbes des données de l'analyse chimique et des diagrammes X, on peut tirer les conclusions suivantes illustrées par les courbes de la figure 5 :

- Sol brun 151-4. Deux parties distinctes de pente différente avant et après le 7<sup>e</sup> traitement. La première branche correspond à la dissolution de la goethite qui est identifiable avant mais non après le 7<sup>e</sup> traitement. La deuxième branche correspond à la dissolution de la montmorillonite. En prolongeant la droite vers l'axe des ordonnées, on peut attribuer 2,5 % du fer à la goethite et 7,5 % à la montmorillonite ;
- Sol rouge 319-4-5. La courbe de dissolution fait apparaître trois parties. La première correspond à la dissolution des produits amorphes (2,5 %), la deuxième à celle de la goethite (3 %), le reste (5,5 %) à la montmorillonite.

Une estimation analogue a été effectuée pour les autres sols. Les résultats obtenus sont portés au tableau 3. Ils montrent que la composition globale des échantillons en ce qui concerne le fer est assez peu différente d'un groupe à l'autre ; seules les teneurs en

FIGURE V. — Evaluation des différentes formes du fer dans un sol rouge et un sol brun



FIGURE VI. — *Dissolution de la silice*

oxydes de fer libre (oxydes amorphes et cristallisés) diffèrent sensiblement. Dans les sols rouges, 15 à 23 % du fer présent dans l'échantillon est sous forme de produits amorphes, 18 à 28 % sous forme de goéthite (et hématite) et 50 à 65 % est inclus dans le réseau d'une phyllite 2/1. Dans les sols bruns, 0 à 4 % du fer est sous une forme amorphe, tandis que 26 à 60 % est inclus dans la goéthite ; 36 à 74 % du fer est inclus dans le réseau d'une phyllite 2/1.

#### 4° DONNÉES CONCERNANT LA SILICE ET L'ALUMINE :

Les graphiques de dissolution de la silice sont toujours des droites (figure VI) mon-

- Dans les deux lots de sols étudiés, une quantité très notable de fer n'est pas incluse dans des oxydes ou hydroxydes cristallisés ou amorphes, mais dans le réseau d'une argile de type montmorillonite. Entre 50 et 75 % du fer total, des échantillons sont ainsi associés à un minéral argileux ;
- La dissolution ménagée de la silice des échantillons ne permet pas de mettre en évidence la présence de ce produit sous une forme amorphe. Le mode de passage très régulier en solution est en faveur d'une dissolution graduelle des minéraux argileux.

(Reçu pour publication : juillet 1968.)

## COMPARATIVE STUDY OF FERRUGINOUS PRODUCTS IN THE RED AND BROWN MEDITERRANEAN SOILS OF LEBANON

### SUMMARY

*Samples of red and brown mediterranean soils have been collected in Lebanon and laboratory studies carried out in order to find out what was the cause of the soils.*

*A method involving a gradual dissolution together with X ray diffraction studies and differential thermal analysis allows to show that the red colour is due to amorphous iron oxides which cover all cristallized material. The yellowish-brown colour is due to goethite.*

*However, the greater part of the iron is included in the octahedral layer of 2/1 clay minerals. No amorphous silica could be determined ; all the silica belongs to clay minerals lattice.*

### Bibliographie

- DUBERTRET L. (1955). — Carte géologique du Liban au 1/200.000. Ministère des T.P. Beyrouth.
- BAGNOULS F. et GAUSSEN H. (1957). — Les climats biologiques et leur classification. Ann. Géog. Bull. Sci. Géog. 193-220.
- GEZE B. (1956). — Carte de reconnaissance des sols du Liban, Institut de Tel Amara (Liban).
- LAMOUREUX M. (1965). — Observations sur l'altération des roches calcaires sous climat méditerranéen humide. Cah. Pédol., vol. III, n° 1, 21-41.
- LAMOUREUX M. (1967). — Contribution à l'étude de pédogénèse en sols rouges méditerranéens. Science du sol, 2, 55-86.
- LAMOUREUX M. (1968). Les sols bruns méditerranéens et les sols rouges partiellement brunifiés du Liban. Cah. ORSTOM sér. Pédol., vol. VI, n° 1, p. 63-93.
- LAMOUREUX M. et AUBERT G. (1966). — Les sols bruns méditerranéens formés sur les calcaires durs du Liban. Conf. sur les sols méditerranéens. Madrid. 203-206.
- LAMOUREUX M., PAQUET H., MILLOT G. et PINTA M. (1968). — Note préliminaire sur les minéraux argileux des altérations et des sols méditerranéens du Liban. Bull. Serv. Cart. Géol. Als Lor., 20, 4, p. 227-292
- SEGALEN P. (1968). — Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes. Cah. ORSTOM Sér. Pédol. vol. VI, 1, 105-126.
- SEGALEN P. (1969). — Contribution à la connaissance de la couleur des sols à hydroxydes de la zone intertropicale : sols jaunes et sols rouges. Cah. ORSTOM Sér. Pédol. (A paraître).

Extrait de « Sciences du Sol », n° 1, 1969.

Supplément au Bulletin de l'Association pour l'Etude du Sol.

# Etude comparée des produits ferrugineux dans les sols rouges et bruns méditerranéens du Liban

M. LAMOUREUX \* et P. SEGALEN \*\*

---