

Cah. O.R.S.T.O.M.. sér. Pédol., vol. VIII. n° 1. 1970.

OBSERVATIONS SUR DES SOLS ROUGES DÉRIVÉS DE ROCHES VOLCANIQUES BASIQUES DANS LE BAJIO (MEXIQUE CENTRAL)

G. LEON VALLEJO* et P. SEGALEN**

RÉSUMÉ

Des sols rouges dérivés de basalte ont été observés au Mexique, entre Mexico et Guadalajara. Leurs caractéristiques morphologiques, chimiques et minéralogiques ont été étudiées. Une comparaison a été effectuée avec des sols dérivés des mêmes roches mères développés dans des situations analogues ainsi qu'avec d'autres développés dans des zones plus humides ou plus sèches. Il est proposé de les classer comme ferrallitiques faiblement désaturés typiques.

ABSTRACT

Red soils derived from basalt have been observed in Mexico, between the capital and Guadalajara. Morphological, chemical and mineralogical features have been studied. The soils have been compared with others derived from the same parent material in similar situations and with others developed under wetter or drier climates. A proposition is made to classify these soils as typical weakly desaturated ferrallitic soils.

RESUMEN

Suelos rojos derivados de basalto se observaron en México, entre las ciudades de México y Guadalajara. Se estudiaron sus características morfológicas, químicas y mineralógicas.

Se hizo una comparación con suelos derivados de las mismas rocas madres y desarrollados en situaciones análogas, así como con otros desarrollados en zonas más húmedas o más secas. Se propone clasificarlos como ferralíticos débilmente desaturados típicos.

* Collège des Post-Gradués de l'Ecole Nationale d'Agriculture de Chapingo (Mexique).

** Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM, Bondy.

PLAN

1. INTRODUCTION
2. CONDITIONS DE LA PÉDOGENÈSE
3. CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES, PHYSICO-CHIMIQUES ET MINÉRALOGIQUES
 - 3.1. Morphologie
 - 3.2. Propriétés physiques et chimiques
 - 3.3. Minéralogie
4. COMPARAISON AVEC D'AUTRES SOLS DÉRIVÉS DE ROCHES BASIQUES
 - 4.1. Comparaison avec des sols de régions climatiques analogues
 - 4.2. Comparaison avec des régions plus humides
 - 4.3. Comparaison avec des régions plus sèches
5. CONCLUSIONS
6. BIBLIOGRAPHIE

1. INTRODUCTION

Il existe, dans la région du Mexique dénommée « Bajío » entre Mexico et Guadalajara (fig. 1), un certain nombre d'affleurements de sols rouges dérivés de basalte. Un premier examen morphologique avait pu être effectué en 1963 par les deux auteurs mais, faute des données analytiques indispensables, leur place dans la classification des sols n'avait pu être envisagée de manière précise. Il avait été jugé possible de les ranger dans les sols à hydroxydes, soit comme « ferrugineux tropicaux », soit comme « sols rouges méditerranéens ». Des prélèvements récents ont permis d'obtenir les renseignements qui faisaient défaut. Les observations morphologiques, jointes aux résultats analytiques, permettent de les comparer à d'autres sols dérivés de basalte, dans des conditions de genèse assez semblables à celles du Bajío. La confrontation des sols étudiés avec ceux d'autres régions du globe permet de penser qu'il s'agit de sols ferrallitiques faiblement désaturés typiques.

2. CONDITIONS DE LA PÉDOGENÈSE

Le Bajío est un plateau qui s'étend à l'Ouest de Mexico, entre cette ville et Guadalajara (en gros vers 20°20' de latitude nord et entre 100 et 103° de longitude ouest). Il s'appuie, au Sud, à la chaîne vol-

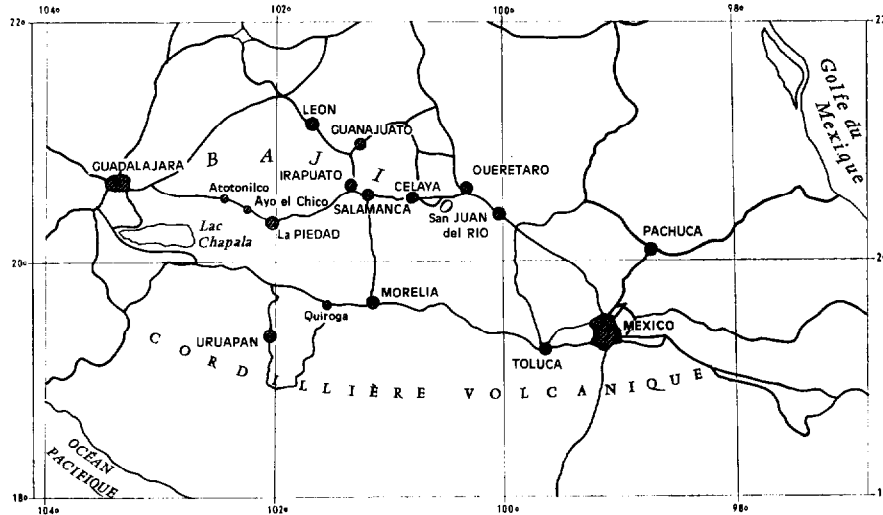


FIG. 1. — Emplacement de la zone étudiée

canique récente ¹ qui traverse le Mexique d'Est en Ouest, jalonnée par un certain nombre d'appareils encore en activité et dont l'altitude dépasse parfois 4 000 m. Le plateau s'étend assez loin vers le Nord. Dans la région qui nous intéresse, l'altitude est comprise entre 1 500 et 2 100 m. Les observations pédologiques ont été faites près de Palmillas, entre San Juan del Rio et Querétaro ; à Atotonilco, à l'est de Guadalajara. L'ensemble des données sur cette région a été fourni par l'Atlas Général du Mexique (TAMAYO, 1949).

Le climat est caractérisé par une alternance saisonnière très marquée : 6 mois de saison sèche où les précipitations sont faibles à très faibles, 6 mois de saison des pluies avec une précipitation totale comprise entre 560 et 885 mm. Les mois de juin, juillet et août sont les plus pluvieux. La température moyenne annuelle est tempérée par l'altitude et est comprise entre 16 et 20 °C. Le mois le plus frais est janvier (12 à 15 °C), le plus chaud est mai (20 à 23 °C) (cf. tableaux 1 et 2). Dans la classification de PÉGUY (1961), ce climat est caractérisé par 6 mois arides et 6 mois tropicaux. Il s'agit donc d'un climat tropical type mais modéré par l'altitude.

Le calcul de l'indice d'aridité de De MARTONNE (1958) donne une valeur comprise entre 25 et 30.

TABLEAU 1

DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES EN MM DE QUELQUES STATIONS DU BAJIO ET DES ENVIRONS

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
San Juan del Rio..	16,4	2,4	0,5	26,4	55,6	92,6	124,0	98,7	84,9	46,6	13,3	4,8	566,2
Guadalajara	5,9	0,5	2,0	8,0	33,1	129,8	279,6	206,8	138,8	58,4	9,8	12,6	885,2
Guanajuato	12,0	5,0	6,0	14,0	31,0	130,0	144,0	132,0	130	46	18	13,0	683,0
Morelia	13	6	7	15	42	135	171	153	134	59	19	9	763
Mexico	8	5	10	23	55	118	160	145	129	49	17	6	726

¹ Dite « cordillère volcanique » ou « axe volcanique central ».

TABLEAU 2
TEMPÉRATURES MOYENNES DE QUELQUES STATIONS DU BAJIO ET DES ENVIRONS

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
San Juan del Rio...	12,2	13,8	16,7	18,5	19,3	19,3	17,8	18,2	17,2	15,4	14,1	12,3	16,2
Guadalajara	15,2	16,8	19,2	21,5	22,8	22,5	20,4	20,6	20,2	19,2	17,5	15,5	19,3
Guanajuato	14,1	15,8	18,2	20,2	21,2	20,2	18,9	19,0	18,4	17,6	16,1	14,7	17,9
Morelia	13,5	15,9	18,0	19,7	20,7	19,9	18,5	18,4	18,2	17,4	15,8	14,5	17,5
Mexico	12,1	13,8	16,1	17,1	17,4	17,0	15,9	15,9	15,6	14,7	13,3	12,2	15,1

Suivant la classification de Thornthwaite, la région envisagée se situe dans une zone à climat semi-aride de type subtropical à tempéré, sans hiver bien défini ($C_i B_1 a_1$ à $C_i B_2 a_1$), c'est-à-dire à hiver sec.

Dans des stations voisines (San Juan del Rio et même Tacubaya, quartier de Mexico), mais à une altitude plus élevée (2 200 m) et, par conséquent, à une température moyenne annuelle plus faible, le climat se caractérise par 6 mois arides, mais aussi 6 mois tempérés. Le climat présente des caractéristiques méditerranéennes (bien que la pluie tombe pendant la période la plus chaude de l'année).

La roche-mère est une roche basaltique dont l'âge est tertiaire. Le modelé est constitué soit par de petites collines alternant avec des plaines à drainage médiocre, soit par des plateaux séparés par des vallées assez larges.

D'après la carte de la végétation établie par J.L. TAMAYO (1949), cette région appartient à une zone où abondent des conifères (pins, cyprès, cèdres blancs, etc.), ainsi que des chênes. La végétation secondaire observée est une véritable savane avec quelques espèces arborées où domine le mesquite (*Prosopis juliflora*). Les cultures et les pâturages y sont l'utilisation principale.

Il s'agit donc d'une zone basaltique d'altitude, peu accidentée, dont la végétation n'est pas sans rappeler par son aspect actuel celle qu'on peut observer dans d'autres régions du globe où règne le même type de climat. Celui-ci peut être qualifié de soudanien¹ d'altitude. Il passe, par diminution de la pluviosité et de la température, à un climat très proche du climat méditerranéen (association de mois arides et tempérés). Alors qu'en Afrique Occidentale et Centrale, on passe, par accentuation de la sécheresse, du soudanien au sahélien puis au désertique, ici s'intercale, au lieu du sahélien qui est un climat tropical encore plus contrasté et plus sec que le type soudanien, un type véritablement méditerranéen avant de passer à un climat de type désertique, très répandu au nord de la zone étudiée.

La situation pédologique générale du secteur étudié se présente très schématiquement de la manière suivante.

Au sud, dans la cordillère volcanique, le relief est très accidenté par suite des éruptions fréquentes (le Paricutin appartient à cette chaîne). On y observe des sols peu évolués, des andosols, dont certains sont activement mis en valeur. Parfois, sous la couverture volcanique récente, apparaissent des sols ferrallitiques profonds, plus anciens.

La zone du Bajío est constituée de plateaux et plaines portant des sols rouges d'épaisseur modeste. Ils alternent avec des plaines ou des lacs (Chapala, Patzcuaro, etc.). Dans les plaines, constituées d'éléments

¹ Climat tropical de l'Ouest africain où la saison sèche et la saison des pluies ont une longueur à peu près égale (6 mois chacune).

provenant des hauteurs volcaniques, se développent des sols noirs ayant beaucoup de parenté avec les vertisols. Cette association est assez semblable, en ce qui concerne la morphologie, les données physiques, chimiques et minéralogiques, avec celle qui est décrite par NAGELSCHMIT, MUIR et DESAI (1940), aux Indes¹.

Plus au Nord, le climat devient plus sec et le drainage se fait de moins en moins bien dans les plaines. Les sols perdent leur teinte rouge, pour devenir bruns ou noirs. Le carbonate de calcium s'accumule sous forme d'encroûtement lamellaire (tepetate), surtout en bas de pente, tandis que les plaines voient des accumulations de carbonate de sodium.

3. CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET MINÉRALOGIQUES

Les observations morphologiques ont été effectuées sur le terrain par les auteurs. Les déterminations de laboratoire ont été faites aux Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM à Bondy par les soins de MM. DABIN et PELLOUX pour les caractéristiques physiques et chimiques ; de M. PINTA et Melle FUSIL pour les analyses minéralogiques.

3.1. CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

Profil au km 109-110, route de Mexico à Queretaro

Profondeur

- 0-35 cm : Brun ; argilo-limoneux ; faiblement prismatique sur 10-12 cm, tendance nuciforme-polyédrique ; beaucoup de racines ; poreux.
A
- 35-100 cm : Brun-rouge ; argileux, massif donnant polyèdres ; assez poreux ; quelques fragments de basalte avec enduit jaune, pas d'horizon C visible ; quelques petites taches noires, comme si concrétions débutaient.
B
- Nombreux affleurements de basalte aux alentours, quelques nopal, érosion en rigoles abondante.

Profil près de la route Mexico-Palmillas à San Martin

Profondeur

- 0-2 cm : Sec ; mousses avec racines entrelacées dans un limon ou sable fin de la même couleur (partie minérale) que l'horizon inférieur.
A₀-A
- 2-10 cm : Sec, 5 YR 3/4, peu de matière organique, argilo-limoneux, granulaire moyen à tendance polyédrique, meuble, peu poreux, beaucoup de racines fines, limite inférieure tranchée.
A-B
- + de 10 cm : Sec, 2,5 YR 3/4, avec 5 % de petites concrétions meubles de couleur 2,5 YR-3/0 et sans matière organique, argileux, polyédrique très dur, peu de porosité, peu de racines fines.
B

¹ Une association identique a été également observée par l'un des auteurs en Ethiopie.

Profil près de la route Mexico-Queretaro à San Miguel de la Victoria.

Profondeur

- 0-20 cm : Sec, 5 YR 3/3 ; matière organique argilo-limoneux ; granulaire moyen, meuble, peu poreux, racines fines ; limite inférieure brutale.
 A
- 20-50 cm : Peu humide, 5 YR 2/2 ; avec un peu de matière organique ; argileux ; polyédrique grossière, friable, peu poreux, peu de racines fines ; limite inférieure tranchée.
 B
- 50-70 cm : Peu humide, 2,5 YR 3/4 ; argileux ; polyédrique grossier ; friable, peu poreux, sans racines ; limite inférieure distincte.
 B-C
- + de 70 cm : Très peu humide, entre 2,5 YR 4/4-3/4 de fond, avec 30 % de concrétions de couleur 2,5 YR 3/0, dures, sans racines.
 C

Profil entre « Ayo el Chico » et « Atotonilco », près de Guadalajara.

Végétation : « mesquite », quelques cultures et pâturages sur un vaste plateau basaltique.

Profondeur

- 0-20 cm : Brun à brun-rouge foncé ; argilo-limoneux ; nuciforme ; poreux.
- 20-200 cm : Rouge foncé ; argile luisante ; polyédrique, assez cohérent ; eu peu poreux. Boules de balsate altéré.

Epaisseur moyenne du sol 1 à 2 m, altération du B en boules sur environ 2 m.

3.2. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

L'ensemble des caractéristiques physiques et chimiques est donné au tableau 3. Ces données appellent les observations suivantes :

Les teneurs en matière organique varient entre 2 et 6 %, ce qui correspond aux teneurs des sols en altitude et sous savane ou cultures. La décroissance est graduelle dans le profil, ce qui est également très courant dans les sols dérivés de roches basiques.

Dans l'horizon B, la capacité d'échange se situe entre 16 et 20 mé/100 g, ce qui est compatible avec une argile de type métahalloysite et une certaine proportion de matière organique. Les bases échangeables atteignent 10 mé et sont dominées par le calcium (7 mé) et le magnésium (3 mé) ; on note 0,4 mé pour le potassium et 0,05 mé pour le sodium.

Le degré de saturation est compris entre 50 et 60 %. Il a tendance à augmenter légèrement à mesure qu'on approche de la roche-mère. Il n'a pas été mis en évidence de carbonate de calcium dans ces sols. Le pH est modérément acide et compris entre 6,1 et 6,5.

TABLEAU 3

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS ÉTUDIÉS

N°	Profondeur (cm)	Argile (%)	pH		C (%)	N (‰)	C.I.C. mé %	Ca mé %	Mg mé %	K mé %	Na mé %	S mé %	V (%)
			H ₂ O	KCl									
11.....	0-2	36,0	6,4	6,4	4,35	3,16	22,5	10,2	3,84	1,05	0,03	15,1	67,0
12.....	2-10	41,0	6,2	5,3	2,56	2,08	19,1	7,00	2,00	0,62	0,03	9,6	51,0
13.....	> 10	64,5	6,3	5,5	0,66	0,69	17,5	6,00	4,00	0,40	0,03	10,4	59,0

N°	Profondeur (cm)	Argile (%)	pH		C (%)	N (‰)	C.I.C. mé %	Ca mé %	Mg mé %	K mé %	Na mé %	S mé %	V mé %
			H ₂ O	KCl									
21.....	0-20	57,5	5,9	5,1	2,05	1,60	24,3	7,00	3,00	0,38	0,03	10,4	43,0
22.....	20-50	44,5	6,0	5,3	1,80	1,27	19,9	7,50	2,50	0,22	0,10	10,3	52,0
23.....	50-70	69,0	6,3	5,5	0,71	0,60	17,3	6,50	3,00	0,42	0,13	10,1	58,0
24.....	> 70	65,0	6,5	5,7	0,49	0,60	16,1	6,00	3,00	0,47	0,07	9,5	59,0

3.3. CARACTÉRISTIQUES MINÉRALOGIQUES

L'étude aux rayons X de la fraction inférieure à 2μ des horizons B de ces sols a permis d'identifier un produit à 7 \AA que l'on peut considérer comme de la métahallosite (pics à $7, 23 \text{ \AA}$ et surtout $4,41$ et $3,57 \text{ \AA}$). Des produits cristallisés ferrugineux ont été également identifiés, hématite et goéthite. Aucun hydroxyde cristallisé d'aluminium n'a pu être détecté. La recherche des produits amorphes permet d'évaluer à 2-3 % les oxydes de fer et à 0,5-1 % les oxydes d'aluminium. Dans un profil, un petit pic à $4,05 \text{ \AA}$ est visible ; il est attribué à la cristoballite.

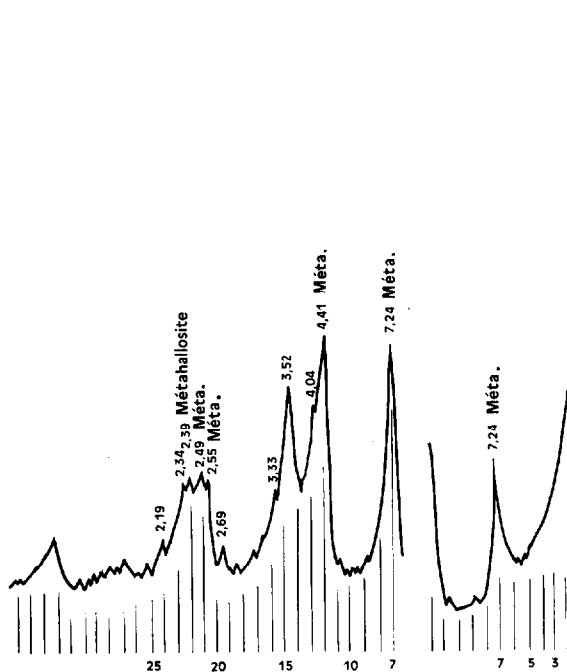


FIG. 2.

FIG. 2. — Diagramme X de la fraction inférieure à 2μ d'un horizon B de sol rouge du Bajío.

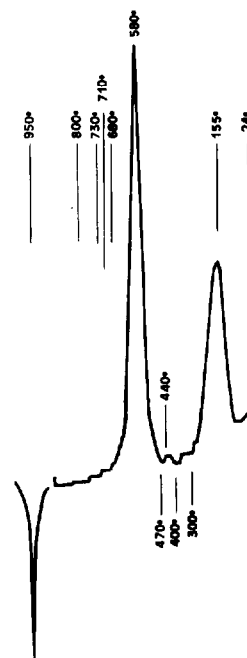


FIG. 3.

FIG. 3. — Diagramme d'analyse thermique différentielle d'un échantillon prélevé dans un horizon B de sol rouge du Bajío.

Par conséquent, les sols rouges du Bajío présentent les caractéristiques suivantes :

a Du point de vue morphologique, il sont peu épais, l'horizon B est coloré en rouge (2,5 YR à 5 YR), la texture est fine, la structure présente une prismation très fruste ; l'horizon C est très réduit, voire inexistant.

b Du point de vue physique et chimique, la fraction argile domine, la teneur en matière organique est moyenne, les bases échangeables sont abondantes avec un degré de saturation de 50 à 60 %, un pH modérément acide ; il n'y a pas de calcaire, même au contact de la roche.

c Du point de vue minéralogique, les constituants sont la métahalloysite et la kaolinite, la goethite et l'hématite, il n'y a pas de gibbsite.

4. COMPARAISON AVEC DES SOLS DÉVELOPPÉS DANS D'AUTRES RÉGIONS DU GLOBE

Afin de situer les sols du Bajío par rapport aux sols du globe, un certain nombre de comparaisons a été effectué. Tout d'abord avec des sols développés sous des climats comparables à ceux du Bajío : pour cela on a choisi des sols du Brésil, de Madagascar et de Rhodésie ; ensuite un ensemble de sols de régions plus humides (Madagascar, Brésil, Cameroun) et un ensemble de sols de régions plus sèches ont été retenus afin de mieux comprendre leurs caractéristiques actuelles.

4.1. COMPARAISON AVEC DES SOLS DÉVELOPPÉS DANS DES CONDITIONS ANALOGUES

Dans l'état de Sao Paulo, les pédologues brésiliens (1960) ont étudié en détail les sols dérivés de roches volcaniques basiques. Deux catégories ont été reconnues : les « Terra Roxa¹ Estruturada » (terres violacées structurées) et « Terra Roxa¹ Legítima » (terres violacées normales). C'est sur les « terra roxa extruturada » que portera la comparaison.

Ces sols sont observés sous 23° de latitude Sud, entre 400 et 500 m d'altitude sous une pluviométrie comprise entre 1 000 et 1 400 mm avec une température moyenne annuelle de 20 °C.

Les sols ne sont plus occupés par la végétation primaire, mais sont intensivement cultivés en café et canne à sucre.

L'épaisseur du sol est de l'ordre de 2,0 à 2,5 m. La variation de couleur le long du profil est faible et l'horizon B présente des couleurs qui vont de 2,5 YR3/4 à 10 R3/4. Les teneurs en argile de l'horizon B vont de 45 à 80 %. Le rapport des teneurs en argile des horizons B/A est de 1,1 à 1,2.

La somme des bases échangeables se situe entre 3 et 10 mé/100 g, avec une tendance à s'élever dans l'horizon C. La capacité d'échange de bases va de 5 à 13 mé et le degré de saturation est de 50 à 90 %. Les valeurs du pH (eau) sont comprises entre 5,0 et 6,0.

¹ Cette expression ne doit pas être confondue avec les « terra rossa » des régions méditerranéennes d'Europe et d'Afrique.

Le rapport moléculaire $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ varie entre 1,9 et 2,1, ce qui indique la présence de minéraux 1/1 sans gibbsite ; des hydroxydes de fer sont présents.

Dans le nord et le nord-ouest de Madagascar (SEGALEN, 1957), les sols dérivés de roches volcaniques basiques ont fait l'objet d'une cartographie à 1/200 000. Ils se développent dans des conditions climatiques caractérisées par une pluviométrie variant de 0,9 à 1,4 m, tombant en quatre à cinq mois, avec une saison sèche très longue. La température moyenne annuelle est de 24° environ. La végétation primaire est une forêt tropophile remplacée la plupart du temps par une savane arborée. Les sols sont peu épais (1,5 m). L'horizon C est quasi-inexistant et on passe pratiquement sans transition de l'horizon B à la roche-mère. La couleur de l'horizon B est rouge à rouge foncé. La texture est argileuse et la structure est assez affirmée, avec quelques fentes verticales et avec des éclats plus ou moins nuciformes à polyédriques.

Les caractéristiques du complexe absorbant sont un pH faiblement acide (6,3 à 6,9), une capacité d'échange de bases de 13 à 20 mé et un degré de saturation de l'ordre de 70 %.

Les constituants minéraux sont toujours un produit kaolinitique et de la goethite. Il existe également un léger excès de silice qui a été attribué à l'anauxite pour l'ouest de Madagascar, aucun minéral 2/1 ne pouvant être mis en évidence. La gibbsite est absente.

En Rhodésie, ELLIS (1952), décrit des sols rouges dérivés de dolérite à olivine, dans une région située à 1 500 m d'altitude sous une précipitation annuelle de 850 mm et une température moyenne de 18°.

L'épaisseur des profils est de l'ordre de 3 m. La couleur va de brun-rouge en surface à rouge en profondeur. La structure est massive en profondeur.

Le pH est de 5,6 dans l'horizon B et augmente avec la profondeur. Les bases échangeables sont de 5,0 à 6,7 mé ; la capacité d'échange est de 8 mé ; le degré de saturation est de l'ordre de 70 %.

La kaolinite est l'élément essentiel de la fraction fine associée à des hydroxydes de fer.

4.2. COMPARAISON AVEC DES SOLS DÉVELOPPÉS DANS DES RÉGIONS PLUS HUMIDES

Au Brésil, la « terra roxa legitima » présente des caractéristiques morphologiques différentes de celles présentées par les « terra roxa estruturada » ; absence de structure polyédrique à prismatique, mais structure très fragmentaire (grumeleuse fine). La couleur est très voisine de celle observée précédemment.

Le pH est nettement plus acide, la somme des bases et le degré de saturation nettement plus faibles.

La composition minéralogique est caractérisée par la présence de gibbsite qui devient un constituant important de ces sols.

Des caractéristiques analogues ont été observées dans les zones pluvieuses de Madagascar ou du Cameroun (SEGALEN, 1967) ou sous une saison des pluies plus longue, des sols plus profonds, à structure très fragmentaire, à pH très acide, où les bases échangeables sont faibles (1 à 2 mé) et le degré de saturation très faible (5 à 20 %), contiennent de la kaolinite et des hydroxydes de fer et d'alumine.

La pluviométrie dépasse 1 200 mm, la longueur de la saison des pluies est de 6 à 8 mois, la température moyenne annuelle 18 à 26 °C, l'indice de De Martonne supérieur à 30.

4.3. COMPARAISON AVEC DES SOLS DÉVELOPPÉS DANS DES RÉGIONS PLUS SÈCHES

Deux régions de roches basiques ont été retenues : la partie nord du Cameroun entre 8 et 10° de latitude Nord, la zone orientale du bassin méditerranéen.

Au Cameroun, MARTIN, SIEFFERMANN et VALLERIE (1966), ont étudié des sols dérivés de roches basiques (basaltes, « roches vertes », amphibolites) formant des affleurements discontinus entre la Bénoué et les bords sud-ouest de la cuvette tchadienne.

Le climat est tropical à saisons très fortement contrastées, de type soudano-sahélien avec une pluviométrie de 800 à 1 000 mm, une température moyenne annuelle de 28-29 °C, une saison sèche supérieure à 6 mois. L'indice d'aridité de De Martonne est de 20-25.

Du point de vue morphologie, le profil est de type ABC et d'une épaisseur modeste généralement inférieure à 1 m.

L'horizon B a une couleur rouge à rouge foncé, 2,5 à 5 YR, la structure est polyédrique à nuci-forme, généralement développée. La texture est argilo-sableuse à sablo-argileuse suivant les roches-mères ; l'horizon B est toujours plus riche en éléments fins que A ou C.

Le pH est modérément acide (6 à 7) ; la somme des bases échangeables est variable, mais toujours élevée (10 à 26 mé/100 g) ; le degré de saturation est élevé et situé entre 70 et 90 %.

Les constituants minéraux de la fraction argile sont caractérisés par une abondance de minéraux 2/1 : montmorillonite et illite, à côté de la kaolinite. Les produits ferrugineux sont surtout de la goethite.

Dans la partie orientale du bassin méditerranéen, des sols sur basalte sont connus en Israël, au Liban et en Syrie. Ils sont formés dans des conditions climatiques caractérisées par une longue saison sèche (7 à 8 mois arides) et une saison pluvieuse d'hiver (4 à 5 mois tempérés).

Les caractéristiques des sols sont les suivantes : l'épaisseur des profils est médiocre, 50 à 60 cm ; la morphologie apparaît être du type A B/D, le passage de l'horizon B à la roche-mère se faisant très brutalement. Mais certains sols de Syrie et du Liban présentent un horizon C épais lorsque la pluviosité

TABLEAU 4

CARACTÉRISTIQUES COMPARÉES DE SOLS DÉRIVÉS DE ROCHES VOLCANIQUES BASIQUES
DES DIFFÉRENTES RÉGIONS CLIMATIQUES DU GLOBE

Climat	Nombre de mois			Caractéristiques morphologiques		Caractéristiques chimiques			Minéralogie			Indice de DE MARTONNE
	Aride	Chaud et hum.	Tempéré	Struct.	Horizon C	pH	S mé/100 g	V (%)	G	1/1	2/1	
Equatorial ou trop. humide	< 4	> 8	0	Polyéd. émoussé à grumeleuse fine	Souvent épais	4,5-5,5	1-2	5-20	Abon.	Abon.	0	> 30
Tropical sec	6	6	0	Assez bien struct.	Peu épais	5-6	3-10	50-70	0	Très Abon.	0	25-30
Bajio	6	6	0	Assez bien struct.	Peu épais	6-6,5	10	50-60	0	Abon.	0	25-30
Sahélien Méditerranéen ...	> 6	< 4	< 6	Bien struct.	Variable	6-7	15 à 25	70-90	0	Assez abon.	Présent	20-25

est élevée et (ou) lorsque la roche-mère est divisée ou altérable (scories par exemple). L'horizon B est rouge-brun foncé (5 YR3/2 ou 5 YR3/3). La texture est finie et la structure est légèrement prismatique ou polyédrique. Le pH est presque neutre, 6,4 à 7,0. La somme des bases échangeables est élevée, 40 à 60 mé et le degré de saturation proche de 100 %.

Les minéraux argileux sont variables. En Galilée, SINGER (1966) a trouvé de la kaolinite et de la montmorillonite à côté de produits ferrugineux et alumineux amorphes et cristallisés. Il apparaît une relation très nette entre la montmorillonite et la pluviométrie. Les régions les plus sèches sont caractérisées par une prédominance de smectice, tandis que la kaolinite domine dans les secteurs les plus humides (nord du lac Tibériade). Au Liban, LAMOUREUX et al. (1967) trouvent une dominance de montmorillonite. En Syrie, MUIR (1951), où la pluviométrie est comprise entre 500 et 750 mm, les minéraux argileux sont tantôt un produit halloysitique associé à de la goethite et des produits amorphes, tantôt de la montmorillonite et des produits ferrugineux amorphes.

Par conséquent, lorsque la pluviométrie descend au-dessous d'une certaine valeur, variable suivant les endroits, 700-800 mm au Nord-Cameroun, 500 à 700 mm au Moyen-Orient, le profil devient moins épais et l'horizon C est pratiquement absent ; cependant, l'horizon B reste rouge à rouge foncé (2,5 à 5 YR), la texture est fine, la structure devient polyédrique à légèrement prismatique. La réaction devient presque neutre, les bases échangeables sont élevées, le degré de saturation approche 100 %. Les minéraux argileux ne sont plus uniquement kaolinitiques. On voit apparaître des smectites, de l'illite en proportions variables, à côté de produits ferrugineux amorphes ou cristallisés. On a donc quitté le domaine des sols ferrallitiques pour celui des fersiallitiques (AUBERT et SEGALIN, 1966).

5. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

PLACE DES SOLS ÉTUDIÉS DANS LA CLASSIFICATION

Lors des premiers examens, en 1963, on ne disposait que des observations morphologiques, jointes à celles des conditions pédogénétiques générales de la région. Il avait été envisagé de les classer alors dans les sols ferrugineux tropicaux, suivant la définition générale mise au point par le Bureau Interafricain des sols pour la notice de la carte des sols d'Afrique de DHOORE (1964). Un certain nombre de caractères pouvaient également faire penser à des « sols rouges méditerranéens ».

Mais, depuis cette date, une orientation plus restrictive par rapport à la précédente a été donnée par MAIGNIEN (1964) aux « sols ferrugineux tropicaux ». Les processus de lessivage, d'hydromorphie, manquent totalement aux sols envisagés. De même, les critères morphologiques de structure, propres aux sols rouges méditerranéens et précisés par BOTTNER et LOSSAINT (1967), ne sont pas observés.

On a donc tenté de classer ces sols suivant le schéma présenté par AUBERT et SÉGALEN en 1966 et voir comment ils s'inséraient dans l'ensemble des sols ferrallitiques et fersiallitiques.

Il était difficile d'espérer avoir une réplique exacte des sols du Bajio dans d'autres régions du globe. Plusieurs points, cependant, ont paru offrir des critères de comparaison valable à Madagascar, en Rhodésie et au Brésil. Dans tous ces points, les sols dérivés de roches volcaniques basiques sont peu épais avec un horizon C modeste, voire inexistant. La couleur de l'horizon B est rouge foncé à brun-rouge foncé. L'argile est la fraction dominante ; la structure est faiblement différenciée, avec parfois une faible prismatique. Le pH est faiblement acide, la somme des bases échangeables assez élevée, le degré de saturation est de 50 à 70 %. Des produits kaolinitiques, des hydroxydes ou oxydes de fer amorphes ou cristallisés sont les constituants essentiels ; il n'y a pas d'hydroxyde d'aluminium.

Dans les régions plus humides et plus chaudes du globe, les profils s'approfondissent, l'horizon C est parfois important. Le pH est plus acide, les bases échangeables se raréfient et le degré de saturation s'abaisse. Mais le contenu minéral, à l'hydroxyde d'alumine près, demeure le même. Mais l'importance qu'on avait pu donner par le passé à ce produit apparaît devoir être réduite (SÉGALEN, 1965).

Par tous ces caractères, les sols examinés sont bien à rattacher à la classe des sols ferrallitiques. En effet, par leur contenu minéral, les caractères de leur complexe absorbant, la disposition de leurs horizons, ils appartiennent aux sols ferrallitiques, sous-classe faiblement désaturés, groupe typique.

Un abaissement de la pluviométrie et de la température se traduit par un profil moins épais mais où l'horizon C est pratiquement absent. La structuration est beaucoup plus accusée car des minéraux 2/1 sont présents. Le fer existe encore sous forme d'hydroxydes, mais également il est inclus dans les réseaux des minéraux argileux (SINGER, 1966). Le pH est presque neutre, le degré de saturation tend vers 100 %. On est passé du domaine de la monosiallisation à celui de la bisiallisation (PEDRO, 1966). On passe alors aux sols fersiallitiques.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.), SEGALEN (P.), 1966. — Projet de classification des sols ferrallitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, IV, 4, pp. 97-112.
- BOTTNER (P.), LOSSAINT (P.), 1967. — Etat de nos connaissances sur les sols rouges du bassin méditerranéen. *Sci. Sol*, 1, pp. 49-80.
- Comissao de Solos, 1960. — Levantamento de reconhecimento dos solos do estado de Sao Paulo (Bresil). *Bol. Serv. nacion. Pesq. agronom.* n° 12, 634 p.
- D'HOORE (J.), 1964. — Carte des sols d'Afrique à 1/5 000 000. CCTA, Publ. 93. Lagos, 210 p.
- ELLIS (B.S.), 1952. — Genesis of a tropical red soil. *J. Soil Sci.*, 3, pp. 52-62.
- LAMOUROUX (M.), PAQUET (H.), PINTA (M.), MILLOT (G.), 1967. — Notes préliminaires sur les minéraux argileux des altérations et des sols méditerranéens du Liban. *Bull. Serv. Carte géol. Als.-Lorr.*, 20, 4, pp. 277-292.
- MAIGNIEN (R.), 1964. — Les sols ferrugineux tropicaux. *Congr. int. Sci. Sol.*, 8. 1964. Bucarest, vol. V, pp. 569-575.
- MARTIN (D.), SIEFFERMANN (G.), VALLERIE (M.), 1966. — Les sols rouges du Nord Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, IV, 3, pp. 3-28.
- MARTONNE (Em. de), 1958. — Traité de géographie physique. A. Colin, Paris, t. 1, 496 p.
- MUIR (A.), 1951. — Notes on the soils of Syria. *J. Soil Sci.*, 2, 2, pp. 163-182.
- NAGELSMIDT (G.), DESAI (D.), MUIR (A.), 1940. — The minerals in the clay fractions of a black cotton soil and a red earth from Hyderabad, Deccan state, India. *J. agric. Sci.*, 30, pp. 639-653.
- Normales climatologiques (CLINO) relative aux stations climat et climat ship pour la période 1931-1960, — 1963 — WMO/OMN, n° 117, TP 52. Genève, 22 p. + add.
- PEDRO (G.), 1966. — Essai sur la caractérisation géochimique des différents processus zonaux résultant de l'altération des roches superficielles (cycle alumino-silicique). *C.R. Acad. Sci.*, D, 262, 17, pp. 1828-1831.
- PEGUY (Ch. P.), 1961. — Précis de climatologie. Masson et Cie, Paris, 347 p.
- SEGALEN (P.), 1957. — Etude des sols dérivés de roches volcaniques basiques à Madagascar. *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, VIII, pp. 1-181.
- SEGALEN (P.), 1965. — Les produits alumineux dans les sols de la zone tropicale humide. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, III, 2, pp. 149-176 ; 3, 179-205.
- SEGALEN (P.), 1967. — Les sols de la vallée du Noun. Leurs conditions de formation, leurs caractéristiques, les problèmes posés par leur mise en valeur. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, V, 3, pp. 287-349.
- SINGER (A.), 1966. — The mineralogy of the clay fraction from basaltic soils in Galilee, Israël. *J. Soil sci.*, 17, 1, pp. 136-147.
- TAMAYO (J.L.), 1949. — Atlas geografico general de Mexico. Talleres graficos de la Nacion, Mexico, 24 pl.
- World weather records 1951-1960. 1965. — vol. I. North America. Washington D.C.

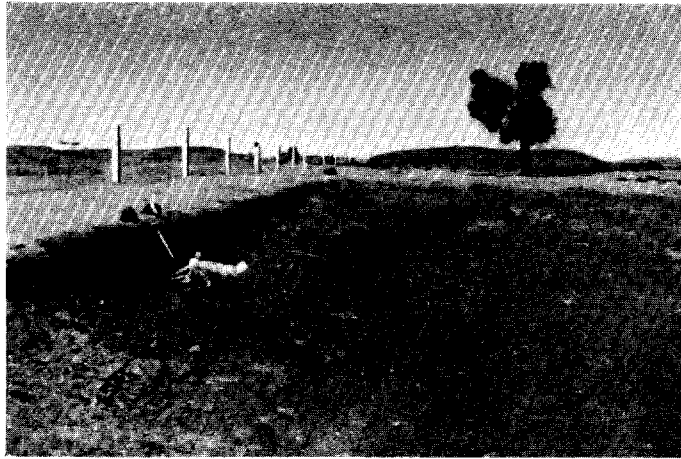


Photo 1. — Sols rouges et modelés de petites collines et plateaux. Près de San Juan del Rio.



Photo 2. — Vertisol grumosolique à faible distance du sol rouge.



Photo 3. — Sol rouge ferrallitique.