

Les sols fersiallitiques

M. LAMOUREUX

Orstom, Bondy, France

Dans les régions à climat méditerranéen, en particulier, et dans d'autres régions du Globe, existent des sols contenant une forte proportion de minéraux argileux 2 : 1 ou 2 : 1 : 1 et des teneurs en fer libre élevés ($> 3\%$ et $\frac{Fe_2O_3^l}{Fe_2O_3T} > 0,5$). Il s'agit de sols rouges fersiallitiques (appelés anciennement "Terra Rossa", "sols rouges méditerranéens", etc.) riches en hématite, bien drainés, bien structurés et au complexe d'échange pouvant atteindre une forte désaturation ($V = 20$ à 25% dans certains sols rouges sur schistes du Portugal). En milieux à drainage ralenti, l'hématite se transforme souvent en goethite et les sols ont alors une couleur brun-jaune à jaune et leur structure devient plus compacte à l'état sec. Des sols fersiallitiques peuvent être mis en parallèle avec les sols ferrallitiques qui n'en diffèrent que par l'évolution de la fraction argileuse. Cette évolution est ou a été plus poussée pour les sols ferrallitiques et a conduit à une dominance de minéraux argileux 1 : 1 avec corrélativement des caractères et des propriétés différents mais liés à ce type d'argile.

Nas regiões de clima mediterrâneo, em particular, e noutras regiões do Globo existem solos contendo uma grande proporção de minerais da argila 2 : 1 ou 2 : 1 : 1 e com teores em ferro livre elevados ($> 3\%$ e $\frac{Fe_2O_3^l}{Fe_2O_3T} > 0,5$). Trata-se de solos vermelhos fersialíticos (antigamente denominados "Terra Rossa", "solos vermelhos mediterrâneos", etc.) ricos em hematite, bem drenados, bem estruturados e com um complexo de troca que pode atingir uma elevada insaturação ($V = 20$ a 25% em certos solos vermelhos de xistos em Portugal). Quando a drenagem é lenta, a hematite transforma-se muitas vezes em goetite, os solos têm então uma cor pardo-amarelada a amarela e a sua estrutura torna-se mais compacta no estado seco. Os solos fersialíticos podem ser considerados em paralelo com os ferralíticos, que só diferem dos primeiros pela evolução da fracção argilosa; esta foi mais longe nos solos ferralíticos e conduziu ao predomínio de minerais da argila 1 : 1, tendo consequentemente características e propriedades diferentes ligadas com este tipo de argila.

In the Mediterranean climate regions, in particular, and in other regions of the Globe, there are soils that contain a large porportion of 2 : 1 or 2 : 1 : 1 clay minerals and high free iron content ($> 3\%$ and $\frac{Fe_2O_3^l}{Fe_2O_3T} > 0.5$). These are the red fersiallitic soils (formerly called "Terra Rossa", "red mediterranean soils", etc.). They are rich in hematite, well drained, well structured, and have an exchange complex that can attain a high degree of unsaturation ($V = 20$ to 25% in certain red soils on schists of Portugal). Under slow drainage hematite often changes to goethite and the soils turn yellowish brown to yellow and their structure becomes more compact when dry. The fersiallitic soils can be compared to the ferrallitic soils the only difference being the evolution of the clay fraction. This evolution is or has been more intense in the case of the ferrallitic soils and has led to a predominance of 1 : 1 clay minerals. Their characters and properties are consequently different but related to this type of clay.

INTRODUCTION

Le terme fersiallitique semble avoir été utilisé pour la première fois par Botelho da Costa (1959) et Botelho da Costa *et al.* (1964) pour désigner des sols tropicaux d'Angola formés de kaolinite associée à des minéraux argileux 2 : 1. La Commission française de Pédologie et de Cartographie (CPCS, 1967) a introduit une "sous-classe" de sols fersiallitiques pour désigner des sols anciennement appelés "Terra Rossa" (Comel, 1931; Agafonoff, 1936; Reifenberg, 1947; Kubiena, 1953, etc.), terres rouges (Marcelin, 1942; Bordas, 1950; Stace *et al.*, 1968), puis sols rouges ou bruns méditerranéens dans la littérature pédologique française jusqu'en 1967.

Cette note traite des sols fersiallitiques en s'appuyant sur des travaux réalisés en régions méditerranéennes surtout, en régions tempérées et en régions tropicales. De par sa définition, elle élargit le concept de sols fersiallitiques à des sols appelés, par le groupe CPCS (1967), isohumiques châtains ou marrons, vertisols "chromiques" etc. Elle place enfin les sols fersiallitiques au niveau supérieur de la classe, en parallèle avec les sols ferrallitiques qui n'en diffèrent essentiellement que par les composants minéraux, et, bien entendu, par tous les caractères que leur sont liés.

1 — DEFINITION

En se basant sur l'horizon diagnostique (B) ou B_t , les sols fersiallitiques ou mieux fersiallitiques doivent être caractérisés, comme l'indique leur nom, par leurs constituants minéraux. Mais il faut préciser que si les sols fersiallitiques sont distingués de façon spécifique uniquement par leurs ensemble minéraux, il est nécessaire d'y associer les caractères essentiels de l'horizon diagnostique (B) ou B_t pour en faire des sols:

Sol = Ensembles minéraux + organisation et différenciation de l'horizon diagnostique.

1.1 — Les oxyhydroxydes de fer libres

Il s'agit essentiellement de l'hématite (αFe_2O_3), oxyde responsable de la couleur rouge d'un grand nombre de sols, et de la goéthite ($\alpha Fe OOH$),

hydroxyde responsable des couleurs brun-jaune et jaune de certains sols.

Les oxydes sont très fins (80 à 100 Å) et fortement liés aux plaquettes de minéraux argileux, tandis que les hydroxydes ont tendance à s'individualiser et à former de petits amas tendres, rarement indurés.

Les taux de fer libre dans ces sols varient en fonction du matériau originel et plus précisément de leur texture. Il est proposé par certains pédologues (Segalen *et al.*, 1979), que pour être fersiallitiques les sols, ayant des taux d'argile supérieurs à 15 %, doivent contenir plus de 3 % de fer libre et avoir des rapports $Fe^I/Fe^T \geq 50$ % (¹).

1.2 — Les minéraux argileux

L'horizon diagnostique des sols fersiallitiques doit contenir plus de 10 % de minéraux 2 : 1 ou 2 : 1 : 1 (sepiolite, smectites, illites, chlorites etc.) par rapport au total des minéraux argileux de l'échantillon. Les rapports SiO_2/Al_2O_3 sont alors $\geq 2,2$.

En conclusion, les sols fersiallitiques se définissent, de façon spécifique, par la présence simultanée de minéraux argileux 2 : 1 : 1 ou 2 : 1 et d'oxyhydroxydes de fer libre, association qui confère à ces sols leurs caractéristiques essentielles.

2 — CARACTERISTIQUES ESSENTIELLES

2.1 — Couleur

En milieu lixiviant bien drainé, l'hématite domine et colore en rouge (10 R à 5 YR) les horizons minéraux. Dès qu'un confinement se produit la goéthite apparaît et colore le sol en brun jaune.

2.2 — Structure

Dans les sols rouges, le fer libre et les minéraux argileux sont fortement liés et contribuent à la formation d'agrégats polyédriques à facettes brillantes, anguleux et plus ou moins aplatis. Cette structure fine s'organise en surstructure plus large de type prismatico-cubique ou vertique

(¹) Pour des sols sableux, des propositions sont à l'étude.

dès que les conditions le permettent (abondance de minéraux 2 : 1, topographie plane ou bas de pente, etc.).

Dans les sols jaunes, l'association fer libre-minéraux argileux est rompue, le fer ayant tendance à rester libre et à constituer des amas indépendants, tandis que les agrégats argileux se lient plus énergiquement entre eux, donnant au sol sec une très forte compacité, à l'état sec.

2.3 Caractéristiques hydriques

Les conséquences de cette composition spécifique et de cette structuration se retrouvent dans les propriétés hydriques de ces sols: *teneur en eau utile et rétention en eau* d'autant plus fortes que le sol est plus riche en argiles de type smectite, *perméabilités* d'autant plus fortes que la texture est plus sableuse et que les liaisons fer-argile sont meilleures, donc que les sols sont plus rouges.

2.4 Complex d'échange

Suivant la nature et la quantité des minéraux 2 : 1, le complexe d'échange peut varier:

— ainsi *la somme des bases* est de 20 à 50 mé/100 g de sol dans les sols fersiallitiques argileux du Liban ou du Maroc formés sur roches carbonatées ou sur basalte, mais elle peut descendre à 5 ou 10 mé/100 g de sol quand le sol est sableux et/ou riche en minéraux argileux 1 : 1 et/ou fortement désaturé, par exemple sur les grès riches en kaolinite du Crétacé du Liban ou sur les schistes du Portugal;

— *la désaturation du complexe d'échange* est faible dans les sols fersiallitiques du karst ou dans les sols de régions à faibles précipitations (< 600 mm). Les sols sont saturés ($\geq 90\%$) quand les réserves calciques peuvent être renouvelées ou maintenues. Dès que ces réserves sont faibles (roches-mères pauvres en Ca) ou éloignées de l'horizon d'altération carbonaté (karst couvert et profond), le complexe d'échange se désature. Des taux de saturation de 20 à 25 % ne sont pas rares, avec des pH de 4 à 4,5 et apparition d'aluminium échangeable sur le complexe d'échange (Lamouroux *et al.*, 1978).

2.5 — Micromorphologie

Les sols fersiallitiques se caractérisent par l'abondance de traits micromorphologiques, en

particulier des éléments biréfringents nombreux donnant un assemblage:

— omnisépique généralisé;

— vosépiques ou skelsépiques autour de vides ou d'éléments du squelette;

— lattisépique, en forme de quadrillage.

Ces sols souvent argileux sont soumis à des alternances de dessiccation et d'humectation provoquant un autobrassage permanent et l'apparition de "cutanes de pression" (stresscutans). Cependant, en sols plus sableux, il est fréquent d'observer des "cutanes d'illuviation", indices d'un entraînement des minéraux argileux. En lame mince, le plasma des sols lixivifiés rouges a souvent une apparence floconneuse, tachetée de points brun-rouge foncé, rouge-jaune, etc. Dans les sols dont le drainage est ralenti (sols bruns hydratés), le fer a tendance à former des amas brun foncé, d'abord aux contours flous, puis ces amas s'individualisent et se détachent du plasma, en formant des nodules ferrugineux plus ou moins indurés.

Nous sommes ainsi passés de *caractères spécifiques* (ensembles minéraux)..., à des *caractères non spécifiques* fréquemment observés dans ces sols: couleurs vives (rouges, jaunes, etc.), structure polyédrique à polyédrique subangulaire, figures micromorphologiques particulières, puis à des *caractères et propriétés non spécifiques et variables* tels que le complexe d'échange, les caractéristiques hydriques. A ces derniers nous pouvons ajouter, pour être plus complets:

— une *texture argileuse* sur roches carbonatées, argilo-sableuse sur roches basiques ou schistes, plus sableuse sur grès ou granites;

— une *teneur en matière organique* généralement assez faible, d'où tendance à l'isohumisme dans les profils de régions sèches... en notant cependant que certains sols fersiallitiques ont un horizon mollique et que, sous végétation forestière, ils peuvent contenir en surface jusqu'à 10 et 15 % de matière organique;

— une *teneur en carbonates*, nulle ou très faible, à la partie supérieure du profil, mais pouvant être très élevée en profondeur.

3 — TYPOLOGIE ET VARIATIONS EN FONCTION DES FACTEURS DE L'ENVIRONNEMENT

Nous avons tenté de définir et de caractériser les sols fersiallitiques à partir d'un horizon dit diagnostique B ou (B) situé sous un A et parfois

sur un C. Examinons rapidement les différents types de sols fersiallitiques que nous pouvons observer en fonction des facteurs de l'environnement.

3.1 — Variations en fonction du milieu de pédogenèse

C'est en fonction du milieu de pédogenèse (ambiance pédologique de Boulaine, 1975) que nous distinguerons différents types de sols fersiallitiques.

a) *En milieux bien drainés, lixivians, agrosifs* (précipitations > 700 mm), les entrainements (Ca, Mg, etc.) sont supérieurs aux apports et la désaturation est possible. Les altérations sont fortes, et les dégradations de minéraux argileux sont accusées (Millot, 1964; Tardy, 1969). On aboutit à un profil de sol rouge, riche en hématite finement structuré et décarbonaté; c'est le profil type décrit dans "la littérature" sous le nom de "Terra Rossa"; "sol rouge méditerranéen" et plus récemment de sols rouges fersiallitiques.

b) *En milieux confinants hydratés*. Il s'agit de milieux dont l'engorgement est temporaire et le drainage ralenti entraînant une transformation relativement rapide et l'hématite rouge en goethite. Des carbonates de calcium peuvent s'accumuler en profondeur et des amas ferrugineux se former. Partie ou totalité du profil peut être intéressée par le processus dit "d'hydratation". Tous les intermédiaires existent entre le sol rouge lixivié et le sol jaune hydraté.

c) *En milieux confinants hydromorphes*, le drainage est déficient et les caractères d'hydromorphie atteignent plus ou moins complètement le profil. On peut ici passer de sols fersiallitiques à hydromorphie de profondeur à des sols totalement hydromorphes.

3.2 — Variations en fonction des facteurs de l'environnement

Ce tableau synthétique traitant des milieux de pédogenèse fait abstraction de chaque facteur pris isolément.

a) *Précipitations et températures* commandent en grande partie la nature du milieu, les vitesses d'altération, etc. La plus grande partie des sols fersiallitiques est observée sous des conditions climatiques dites méditerranéennes et nous avons défini (Lamouroux, 1967) à propos

des sols rouges du Liban, des conditions climatiques de formation de ces sols. En fait, ne seront retenus que deux caractères parmi les données climatiques qui paraissent orienter plus fondamentalement l'évolution de ces sols:

— une "fourchette climatique": les sols fersiallitiques se formeraient sous des climats dont les précipitations seraient comprises entre 400-600 mm et 1800-2000 mm, avec des températures moyennes, pendant les mois considérés comme non arides, variant de 5 à 25°C.

— une ou des alternances de périodes sèches et humides paraissent nécessaires à la création (ou à la destruction) des liaisons fer-argile.

Mais l'un et l'autre de ces caractères doivent exister conjointement, et nous sommes là dans les domaines xérotérique et xérochiménique décrits par Boulaine (1975).

b) *Le facteur temps agit de deux manières:*

— par des variations d'intensité des facteurs de pédogenèse au cours de l'évolution des sols. Mais les témoins du passé ne subsistent que s'ils ont pu résister à l'usure du temps.

— par la durée d'action de tel ou tel facteur les processus seront plus ou moins marquants: ainsi Bornand (1978) décrit dans la vallée du Rhône des sols fersiallitiques très anciens et profondément lessivés; inversement, sur basalte au Liban et sous des "conditions optimales", nous n'observons qu'un sol brun très jeune calcimagnésique (Lamouroux, 1972).

c) *Les roches-mères* ont, dans ce type de sols, une importance particulière et influencent certains processus de pédogenèse:

— sur *roches-mères carbonatées*, abondantes en régions méditerranéennes, domine l'altération par dissolution, qui libère un matériau silicaté très argileux, marqué par des pédogenèses beaucoup plus anciennes s'incluant dans les cycles biorhexistatiques (Erhart, 1956). La nature de ces carbonates va influencer profondément sur le type de sols.

— sur *les roches cristallines* diverses (schistes, granites, basaltes, etc.), l'hydrolyse est active et conduit aux minéraux fersiallitiques que nous avons décrits. Sur ce type de roches-mères, les matériaux de l'altération peuvent être encore très argileux (basaltes, schistes), mais souvent ils sont plus ou moins sableux (granites, schistes quartzeux) et la dynamique de l'eau en est nettement modifiée entraînant une accélération de la lixiviation et du lessivage, l'apparition d'hématite, etc.). Par ailleurs, l'érosion, intense sous ce type de climat, marque davantage les sols

formés sur roches cristallines et les rajeunit, tandis que les sols formés sur roches dures carbonatées sont piégés dans les poches karstiques où ils ont le temps de s'organiser, de rubéfier, etc.

d) *Les facteurs morphologiques* influent profondément sur le milieu de pédogenèse, ce qui paraît évident; quant aux *facteurs biologiques*, ils vont apporter des variations souvent rapides et profondes, mais qui ne sont pas propres aux sols fersiallitiques.

4 — DIFFERENCIATIONS HORIZONTALES ET PASSAGE A D'AUTRES TYPES DE SOLS

4.1 — Différenciations toposéquentielles

Suivant les conditions de climat, pente, rochemère, couvert végétal, etc., les variations toposéquentielles seront différentes.

a) *Sur roches dures carbonatées* formant un karst découvert ou sur *roches cristallines basiques*, les sols fersiallitiques de l'amont sont souvent argileux, plus ou moins érodés suivant la pente, généralement peu lessivés et peu désaturés; sur les bas de pente, les sols ont une structure élargie, prismaticocubique ou vertique allant jusqu'aux vertisols, avec parfois accumulation de carbonate de calcium en profondeur. Des sols hydromorphes peuvent se former quand le drainage est déficient. Enfin des sols peu évolués, des sols châtaîns ou bruns isohumiques sont observés, si le climat est ou a été semi-aride.

b) *Sur roches carbonatées formant un karst couvert ou sur roches cristallines acides* (schistes, granites...) aux sols fersiallitiques de l'amont plus ou moins sableux, lessivés et désaturés succèdent en bas de pente des sols sablo-argileux et hydromorphes en profondeur.

4.2 — Différenciations altitudinales et latitudinales

a) *Avec l'altitude* les précipitations augmentent, le couvert végétal devient plus dense, les entraînements sont plus importants, les sols fersiallitiques cèdent alors le pas à des sols bruns plus ou moins lessivés, à des rankers, à des sols peu évolués ou à des lithosols.

b) Des domaines xérothériques et xérochiméniques (Boulaine, 1975) vers les *domaines tempérés*, les sols fersiallitiques ont de moins en moins de fer libre et passent insensiblement à des sols bruns, à des sols lessivés, à des rendzi-

nes, etc. Ainsi en France, sur roches cristallines, les sols fersiallitiques se limitent à quelques sols sur schistes dans le midi méditerranéen; par contre, sur roches carbonatées, les sols rouges et surtout bruns (hydratés) fersiallitiques se forment et se maintiennent beaucoup plus au nord dans les régions de Dijon, Auxerre, etc., et dans le Sud-Ouest ils existent, dans les Charentes par exemple.

c) En se rapprochant des *domaines tropicaux*, deux types d'évolution se produisent:

— la première tendant à une ségrégation, suivie d'induration de plus en plus forte du fer libre, et nous avons alors des sols ferrugineux tropicaux, où domine la kaolinite; les minéraux 2 : 1 existent très souvent, l'illite dans les horizons supérieurs et même des smectites en profondeur;

— la seconde porte sur l'évolution des minéraux argileux qui sont de type 1 : 1 essentiellement, alors que le fer libre reste souvent réparti de façon homogène et de couleur rouge, donnant à ces sols, appelés alors ferrallitiques, une typologie particulière.

Dans les régions septentrionales de ces domaines tropicaux, des sols fersiallitiques ont été observés. Ils sont le plus souvent rouges ou brun-rouge sur roches basiques: ex. Cameroun, Nouvelles-Hébrides, Brésil, etc. Ils se forment sur schistes également: Gabon, Congo, Cuba, etc.

5 — GEOGRAPHIE DES SOLS FERSIALLITIQUES

Nous en arrivons à situer les sols fersiallitiques à l'échelle du Globe.

5.1 — **Dans les domaines à climats xérothérique et xérochiménique** (Boulaine, 1975) soit sensiblement entre 10 et 47° de latitude, les conditions climatiques favorisant la formation de sols rouges (voir plus haut) se trouvent réunies. C'est effectivement entre ces latitudes que s'observent beaucoup de sols fersiallitiques:

— xérothérique (saison humide en hiver): pourtour de la Méditerranée, Californie, Chili, Afrique du Sud, Sud de l'Australie;

— xérochiménique (saison humide en été): Cuba, Mexique Central, collines sous Himalaya.

5.2 — **Dans les domaines tempérés**, des sols fersiallitiques sont encore observés, surtout en bordure des domaines précédents: Europe, Argentine (jusqu'à 47°N en France).

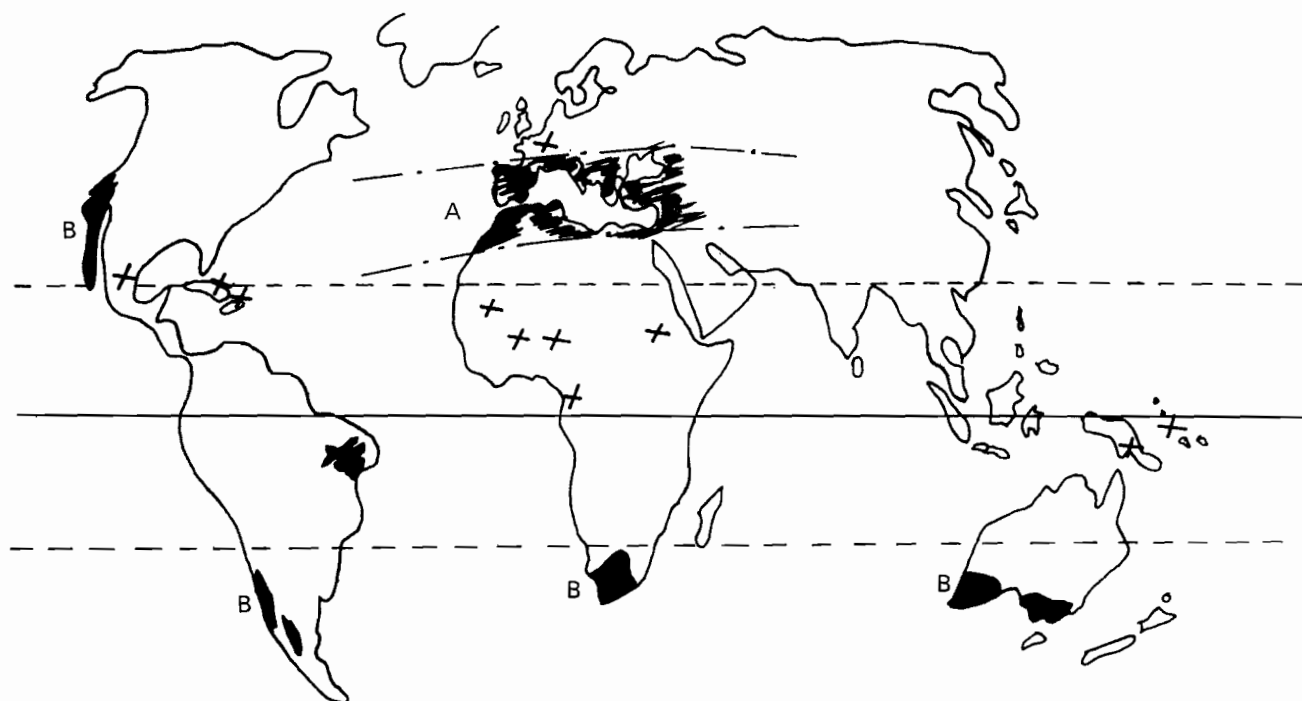


Fig. 1 — Esquisse d'une répartition géographique des sols fersiallitiques: A — Domaine méditerranéen où ces sols prédominent (surtout sur roches dures carbonatées). B — Autres domaines à saison sèche d'été où ces sols sont fréquemment observés (Californie, Chili, Afrique du Sud, Sud de l'Australie, etc.). X C — Régions où ces sols sont observés mais non dominants (répartition non exhaustive à titre indicatif)

5.3 — Dans les domaines tropicaux à saison sèche, les sols fersiallitiques, tels que nous les définissons, se forment surtout sur roches basiques et sur schistes: Sénégal, Nord-Togo, Nord-Cameroun, Ethiopie, Congo, Gabon, Nord-Est Brésil, Cuba, Costa-Rica, Antilles, Nouvelle-Calédonie et Nouvelles-Hébrides où ils représentent 5 à 10 % des sols cartographiés.

6 — SOLS FERSIALLITIQUES ET CLASSIFICATION

L'unité "Sols Fersiallitiques" telle que nous l'avons définie par ses constituants minéraux, paraît faire un ensemble parfaitement homogène et semblable à "l'ensemble ferrallitique" que de nombreuses écoles pédologiques reconnaissent. En ce qui nous concerne, nous pensons que ces sols sont à placer au niveau de la classe, dans le cas de la classification française, ou de l'ordre pour la "Soil Taxonomy".

— Deux sous-classes pourraient être distinguées:

- celle des sols fersiallitiques rouges ou hemati-fersiallitiques;
- celle des sols fersiallitiques bruns ou goethifersiallitiques.

— De nombreux groupes seraient possibles en fonction des caractéristiques de l'horizon diagnostique:

- orthique ou modal, vertique, graveleux, compact, argilanique, induré, hydromorphe, carbox-gypsi ou halique, etc.

7 — CONCLUSIONS

Cet exposé présente un type de sols fersiallitiques ou mieux ferbisiallitiques dont les caractéristiques spécifiques sont liées à la nature et à la quantité de certains constituants minéraux — minéraux argileux et ferrugineux — de la même manière que certains constituants minéraux caractérisent les sols ferrallitiques, les andosols ou les sols salés, etc.

Ces constituants conditionnent un certain nombre de caractères et de propriétés qui en font des sols parfaitement reconnaissables sur le terrain et/ou par un minimum d'analyses simples.

Les sols fersiallitiques sont très répandus à la surface du Globe et particulièrement dans les domaines à climat méditerranéen. Ils sont en outre d'un très grand intérêt pour la mise en valeur agronomique.

BIBLIOGRAPHIE

- AGAFONOFF, V. — *Les sols de France au point de vue pédologique*. Dunod édit., Paris, 1936, 154 p.
- BORDAS, J. — *Contribution à l'étude des facteurs de la production agricole du Bas-Rhône*. Thèse Sci., Aix-Marseille, 1950, 183 p.
- BORNAND, M. — *Altération des matériaux fluvio-glaciaires, genèse et évolution des sols sur terrasses quaternaires dans la vallée du Rhône*. Thèse Sci., Montpellier — INRA, Ronéo, 1978, 329 p.
- BOTELHO DA COSTA, J. V. — "Ferrallitic, tropical ferrallitic and tropical semi-arid soils. Definitions adopted in the classification of the soils of Angola". *3ème Conf. Intern. soils, Dalaba*, 1959, 317-319.
- BOTELHO DA COSTA, J. V.; FRANCO, E. P. C. & RICARDO, R. P. — "Generalized soil map of Angola (2nd approx.)". *8th Intern. Congress of Soil Sci., Bucarest*, V, 18, 1964, 153-162.
- BOULAIN, J. — *Géographie des sols*. PUF, collection SUP, 1975, 199 p.
- COMEL, A. — "La "Terra Rossa" del carso a un vero terreno climatico?". *J. du Ann. Agro.*, II, 4, 1931, 277-287.
- CPCS (COMMISSION DE PÉDOLOGIE ET DE CARTOGRAPHIE DES SOLS) — *Classification des sols*. Labo. de Géologie Pédologie, Grignon, Ronéo, 1967, 87 p.
- ERHART, H. — *La genèse des sols en tant que phénomène géologique*. Masson et Cie, Paris, 1956, 83 p.
- KUBIENA, W. L. — *The soils of Europe*. Thomas Murby and Cie, édit., Londres, 1953, 317 p.
- LAMOUREUX, M. — "Contribution à l'étude de la pédogenèse en sols rouges méditerranéens". *Sciences du sol*, 2, 1967, 55-86.
- *Etude des sols formés sur roches carbonatées. Pédogenèse fersiallitique au Liban*. Mémoires ORSTOM, 56, 1972, 266 p.
- LAMOUREUX, M. et al. — "Experimentation sur l'entraînement des produits dissous et en suspension dans un matériau fersiallitique". *Sci. du sol*, 1, 1978, 55-71.
- MARCELIN, P. — "Sur le problème des terres rouges". *Bull. Soc. Lang. de Géog.*, t. XIII, 2ème série, fasc. 1, 1942, 1-9.
- MILLOT, G. — *Géologie des argiles*. Masson et Cie édit., Paris, 1964, 499 p.
- REIFENBERG, A. — *The soils of Palestine*. Th. Murby, Londres, 1947, 72-91.
- SEGALEN, P. et al. — *Projet de classification des sols*. Centre ORSTOM, Bondy, 1979, 235 p. (Doc. hors série).
- STACE, M. C. T. et al. — *A Handbook of Australian soils*. Rellins Technical Publications, Glenside Souths Australia, XII, 1968, 435 p.
- TARDY, Y. — *Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique*. Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., 31, 1969, 199 p.