

LE PROCESSUS DE FERRALLITISATION ET SES LIMITES

par

P. SEGALEN*

PLAN

Introduction

Les horizons des sols ferrallitiques
C, B, A

Les limites de la ferrallitisation

Limites dans le domaine des constituants

Limites dans le domaine des caractéristiques physiques et chimiques

Limites dans le domaine de la morphologie

Conclusion

Bibliographie

INTRODUCTION

Sous l'influence d'une pluie chaude et abondante, la plupart des matériaux originels subissent des modifications aboutissant à leur décomposition complète. Le passage par le stade ionique paraît nécessaire, mais fugace. Au contact de l'eau ou par réaction entre eux, ces ions donnent naissance à des produits nouveaux dont la genèse a été envisagée dans l'article précédent. Par élimination d'un grand nombre de constituants (bases alcalines, alcalino-terreuses, d'une partie ou de la totalité de la silice), il se produit une concentration relative des constituants nouvellement formés.

Mais le processus de ferrallitisation n'est pas seulement cela. Il y a développement d'une morphologie particulière, c'est-à-dire organisation d'un profil dont les horizons ont des caractéristiques particulières. Ce sont ces caractéristiques que l'on va essayer de dégager.

* Inspecteur général de Recherches. Services Scientifiques Centraux, 93. Bondy.

1 - LES HORIZONS DU SOL FERRALLITIQUE

Horizon C

Dès le niveau de la roche-mère, commencent les processus d'altération envisagés précédemment. L'action de l'eau est prépondérante et elle agit par dissolution, par hydrolyse. Cette action est renforcée par la présence de CO_2 dissous et éventuellement de produits organiques. La conjonction de ces actions enlève un certain nombre d'éléments dans un ordre qui a été précisé par LENEUF (1959) : Mg, Ca, K, Si. L'alumine libérée peut cristalliser directement en gibbsite ou bien passer par le stade gel. En cas de rencontre avec la silice, il y a genèse de kaolinite. Un bon drainage se traduit par l'introduction d'oxygène dissous apporté de la surface. Le fer est alors libéré et séparé des minéraux qui en renfermaient.

Si le drainage est médiocre, les bases sont libérées mais non éliminées totalement. Elles maintiennent un pH plus élevé, favorable à la genèse d'argiles 2 : 1 qui fixent la silice. Des espèces comme vermiculite, illite, chlorite, montmorillonite se maintiennent en mobilisant du fer sous forme ferreuse ou ferrique. Le rétablissement d'un bon drainage fait disparaître ces minéraux.

Cet horizon est caractérisé par le fait que les différents minéraux ont gardé leur forme, parfois leur couleur, et leur mode d'assemblage général. Ils ont été vidés d'une partie de leur substance et ne résistent pas à la pression du doigt.

Horizon B

Dans cet horizon, la ferrallitisation va se développer au maximum. La constitution, la nature de la roche-mère qui étaient bien reconnaissables dans l'horizon C, cessent de l'être dans B. Les minéraux primaires altérables (sauf le quartz et un très petit nombre d'autres) ont disparu. Les produits de synthèse sont présents en abondance mais sont intimement mélangés, sans doute sous les effets combinés de la faune du sol, de la végétation et de l'effondrement des structures des minéraux primaires.

L'épaisseur est variable, mais peut atteindre plusieurs mètres. La couleur est le plus souvent vive, rouge ou jaune, mais aussi brun-rouge ou brune. La teneur en matière organique est, en général, faible ; la texture tend vers le pôle argileux (s'il n'y a pas trop de minéraux difficilement altérables) ; la structure est généralement fine, le sol étant facilement friable à l'état sec.

La disparition des minéraux primaires s'accompagne de celle des bases. Le complexe absorbant s'appauvrit en bases et s'enrichit en ions H^+ et Al^{3+} , entraînant une acidification très nette (pH 4 à 6). La capacité d'échange est fournie par la kaolinite (moins de 10 méq./100 g) ; le degré de saturation s'abaisse. Les réserves s'amenuisent avec la disparition des minéraux primaires.

Corrélativement avec la perte de certains constituants, les teneurs en produits de synthèse augmentent. Les quantités de kaolinite, hydroxydes de fer, d'alumine, de titane, deviennent importantes.

Si le sol reste mouillé pendant la majeure partie de l'année, sans jamais se déshydrater complètement, la kaolinite se maintient très longtemps ; les solutions du sol, susceptibles de s'enrichir en silice, restent longtemps au contact des particules et cela favorise la synthèse de la kaolinite. Si le drainage est activement assuré, les solutions contenant la silice sont bien évacuées et la synthèse de la gibbsite est alors possible à partir de la kaolinite.

Le fer est sous forme d'hydroxyde qui se fixe à la surface des argiles (FRIPIAT et GASTUCHE 1952). Lorsque celles-ci sont saturées, le fer commence à concrétionner. Cet élément est certainement le plus mobile dans cet horizon. Il peut migrer de bas en haut (alimentation par une nappe réductrice en profondeur) ou de haut en bas, généralement obliquement, par suite de la formation de

complexes ou produits réduits en surface. Le fer complexé peut effectuer des déplacements assez importants et amener des concentrations locales absolues (DHOORE 1954, MAIGNIEN 1958).

L'horizon B est donc caractérisé par :

- une épaisseur importante, des couleurs le plus souvent vives ;
- une acidité forte, une capacité d'échange et des teneurs en bases échangeables faibles, un degré de saturation réduit ;
- l'absence ou la présence en quantité réduite de minéraux primaires altérables ;
- une concentration relative ou absolue de minéraux secondaires, généralement de très petite taille.

Horizon A

A la surface du sol, tombe une quantité importante de matière organique qui se transforme très rapidement, ce qui fait que dans les conditions normales d'humidité et de température, les teneurs sont peu importantes.

La vie animale est intense et assure un brassage très efficace de la partie supérieure par les vers, les termites, les fourmis, etc.. A cet horizon humifère, sont souvent associées des teneurs en éléments fertilisants plus élevées.

Les teneurs en argile sont parfois un peu plus faibles. On peut invoquer le plus souvent une migration oblique comme responsable de ce déplacement.

Le processus de ferrallitisation se traduit donc par une altération complète des minéraux constitutifs des roches, et la genèse de minéraux entièrement nouveaux. Par ailleurs, il se traduit par l'établissement d'un profil dont l'on vient de voir les caractéristiques essentielles. Ce profil est un profil idéal où aucun autre processus que celui envisagé pour la ferrallitisation n'est intervenu de manière notable. On admettra qu'il s'est formé à basse altitude dans les conditions qui prévalent généralement dans la zone ferrallitique de l'Afrique. En altitude, des variations interviennent dans la couleur du sol et les teneurs en matière organique. De plus, il n'a pas été tenu compte des remaniements de surface si fréquemment observés en Afrique. Il correspond donc à un orthotype idéal.

L'on va essayer de voir maintenant quelles sont les limites que l'on peut assigner à chacune des caractéristiques évoquées plus haut.

2 - LIMITES DE LA FERRALLITISATION

2.1 - Limites dans le domaine des constituants

Parmi les produits dont l'inventaire a été dressé précédemment, quels sont ceux que l'on peut considérer comme nécessaires pour caractériser le processus de ferrallitisation ?

Parmi les constituants **ferrugineux**, goethite et hématite sont tout à fait courants et normaux. On les trouve dans tous les sols ferrallitiques, mais aussi dans d'autres sous-classes des sols à hydroxydes et dans d'autres sols de la zone tempérée. Par conséquent, ils n'ont rien de spécifique.

Parmi les constituants **alumineux**, la **kaolinite** est également très banale, mais non caractéristique, puisqu'elle existe dans toutes sortes de sols. La **gibbsite** (et les autres hydroxydes amorphes et cristallisés) par contre, paraît être un constituant plus sûr puisqu'elle résulte de l'altération la plus poussée tant de minéraux primaires que secondaires. On peut donc dire que la présence de ce minéral dans un horizon B de sol est un signe sûr de ferrallitisation.

Mais, l'on a vu que certaines conditions d'évacuation incomplète de la silice ne permettaient pas à l'alumine individualisée de se maintenir, et c'est alors la kaolinite qui est seule observée. Par conséquent, l'absence de gibbsite ne permet pas de conclure qu'un sol n'est pas ferrallitique. Il faut alors se reporter à d'autres critères que ceux de la minéralogie (pH, degré de saturation, capacité d'échange, etc.), et bien entendu à la morphologie.

La plupart des autres espèces minérales, comme les argiles 2 : 1 (illites, vermiculites, montmorillonites, etc.), sont normalement exclusives de la ferrallitisation. Ces espèces peuvent exister dans des conditions particulières de mauvais drainage ou de jeunesse. Leur présence en fortes quantités ne doit pas permettre le classement d'un sol dans la sous-classe ferrallitique. Mais la limite ici reste à préciser.

Le rapport silice/alumine est souvent employé pour caractériser les sols ferrallitiques. Un rapport supérieur à 2,0 implique la présence d'argiles 2 : 1, donc il n'y a pas ferrallitisation. Un rapport inférieur à 2,0 peut impliquer la présence d'alumine libre, donc ferrallitisation (mais en cas de beaucoup d'allophanes, on peut avoir des rapports assez bas). La valeur 2 peut correspondre à un sol uniquement kaolinique, ou bien au passage à une autre catégorie de sols. Ici encore, il faudra utiliser d'autres critères.

Par conséquent, la gibbsite contribue seule à caractériser la ferrallitisation. La kaolinite et les minéraux ferrugineux hématite et goéthite sont également propres à la ferrallitisation, mais non spécifiques. Les autres minéraux (minéraux argileux 2 : 1, allophanes) sont le signe de stades de jeunesse, de mauvais drainage local.

2.2 - Limites dans le domaine des caractéristiques physiques et chimiques

GRANULOMÉTRIE

Il n'y a aucune limite "a priori" dans le domaine de la granulométrie proprement dite. Rien ne s'oppose à ce qu'un sol très sableux puisse être considéré comme ferrallitique. Cependant, des sols qui présentent des teneurs excessives en sables peuvent-ils vraiment être considérés comme ferrallitiques ? N'y a-t-il pas là une limite à préciser ?

La ferrallitisation permet d'aboutir à des produits très fins de la taille de l'argile ; peu de limon subsiste. Les rapports limon/argile de 10 à 15 % ont été proposés (SYS 1961, VAN WAMBEKE 1962).

pH

Un pH acide est de règle au cours de la ferrallitisation. L'on ne descend que très rarement au-dessous de 4,0. Les pH neutres sont à exclure. Ils indiquent la présence de bases en quantité non compatible avec la ferrallitisation.

COMPLEXE ABSORBANT

La kaolinite est le plus souvent le seul produit à posséder une **capacité d'échange** ; c'est pourquoi les valeurs mesurées sur l'argile sont toujours très faibles, 10-15 mé. et souvent moins. Mais la présence de produits halloysitiques ou de certains produits amorphes (FIELDES *et al.* 1952) provoque une élévation très sensible de la capacité d'échange.

La **somme des bases** fixées sur le complexe de l'horizon B est toujours très faible (alors que dans A, les valeurs peuvent être parfois élevées). N'y a-t-il pas une valeur limite à choisir ?

Le **degré de saturation** est normalement faible à très faible. La valeur généralement retenue est de 40 %.

MATIÈRE ORGANIQUE

Les teneurs en matière organique ne doivent pas entrer en ligne de compte, puisqu'aussi bien on parlera de sol ferrallitique humifère dans certaines régions montagneuses. Le rapport C/N est normalement compris entre 12 et 8. Les valeurs élevées accompagnent les teneurs élevées. La composition de la fraction humifiée permet-elle dès maintenant une distinction (acide humique, acide fulvique) ? Travaux de DUCHAUFOR et DOMMARGUES, 1963 ; THOMANN, 1964).

RÉSERVES MINÉRALES

Elles sont forcément très faibles dans l'horizon B. Est-on en mesure de fixer une limite supérieure ou des ensembles de limites ?

2.3 - Limites dans le domaine de la morphologie

Les caractéristiques morphologiques sont-elles sujettes à des critères chiffrés, à des limitations nettes ?

HORIZON C

On a coutume de dire que l'horizon C est très épais, qu'il est très meuble, que les minéraux s'écrasent sous les doigts, car ils sont très fortement altérés, etc.. Ceci est vrai pour des granites, gneiss, qui intéressent de vastes étendues en Afrique, à Madagascar et ailleurs. Si bien que dans ces régions, la seule "auscultation" de cet horizon indique rapidement si la ferrallitisation est en cours ou non.

Mais il n'y a pas que ces roches. Certes, on a des horizons identiques sur **basalte**, mais, le plus souvent, il n'en est rien. L'horizon C est très peu épais tout en restant très tendre (structure en pain d'épice). Sur **calcaire**, il n'y a pratiquement pas d'horizon C. Les résidus aluminosilicatés qui servent de point de départ à la ferrallitisation s'altèrent dès que le calcaire est dissous et l'on passe directement du calcaire à l'horizon B. Sur **sables**, l'horizon C est difficile à apprécier.

Par conséquent, la spécificité de l'horizon C existe dans certains cas, mais pas dans d'autres.

HORIZON B

La **couleur** de cet horizon est souvent vive, mais peut prendre des teintes brunes dues à la matière organique ou la conjugaison de minéraux argileux de type halloysitique et de matière organique. Les variations de couleur sont généralement graduelles. La texture est généralement homogène dans tout l'horizon, sans revêtement argileux.

La structure tend à être grumeleuse fine ou médiocrement développée. A sec, on obtient facilement une poudre fine. Mais il y a aussi des structures mieux développées avec une tendance prismatique accusée lorsqu'il y a des minéraux halloysitiques.

Les concrétions de forme, taille et composition variées peuvent exister, mais n'ont rien de spécifique.

HORIZON A

Il existe ici de grandes variations dans la couleur, l'épaisseur. Les teneurs en matière organique varient de 2-3% à 10 ou 12%. La texture ne présente rien de particulier. Rien dans cet horizon ne paraît devoir être retenu pour caractériser la ferrallitisation.

CONCLUSION

Le processus de ferrallitisation peut être envisagé sous un triple aspect : minéralogique, physico-chimique et morphologique. Chacun d'eux paraît avoir des caractéristiques particulières qu'il est cependant difficile de définir. Tous ces aspects doivent être considérés solidairement et des recherches doivent être encore faites pour apporter le plus possible de précision dans leurs limites.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.) - 1954 - Les sols latéritiques. *Congr. Intern. Sci. Sol*, 5, Léopoldville, 1, p.103-108.
- AUBERT (G.) - 1964 - La classification des sols utilisée par les pédologues français en zone tropicale ou aride. *Sols afric.*, IX, 1, p.97-106.
- D'HOORE (J.) - 1954 - *L'accumulation des sesquioxides libres dans les sols tropicaux*. Publ. I.N.E.A.C., sér. scient., 62, Bruxelles, 132 p.
- DUCHAUFOUR (Ph.), DOMMERGUES (Y.) - 1963 - Etude des composés humiques de quelques sols tropicaux et sub-tropicaux. *Sols afric.*, VIII, 1, p.5-23.
- FIELDS (M.), SWINDALE (L.D.), RICHARSON (J.P.) - 1952 - Relation of colloidal hydrous oxides to the high cation-exchange capacities of some of the Cook Islands. *Soil Sci.*, 73, p.197-206.
- FRIPIAT (J.J.), GASTUCHE (M.C.) - 1952 - *Etude physico-chimique des surfaces des argiles. Les combinaisons de la kaolinite avec les oxydes de fer trivalent*. Publ.I.N.E.A.C., sér. scient., 54, Bruxelles, 60 p.
- LENEUF (N.) - *L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés*. Thèse Sc. Nat., Paris, O.R.S.T.O.M., Paris, 210p.
- MAIGNIEN (R.) - 1958 - Le cuirassement des sols en Guinée. *Mém. Serv. Car. Géol. Als. Lorr.*, 16, Strasbourg, 239 p.
- SYS (C.) - 1961 *La cartographie des sols au Congo. Ses principes et ses méthodes*. Publ. I.N.E.A.C., sér. techn., 66, Bruxelles, 149 p.
- THOMANN (C.) - 1964 - Les différentes fractions humiques de quelques sols tropicaux de l'Ouest africain. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, 11, 3, p.43-79.
- VAN WAMBEKE (A.R.) - 1962 - Criteria for classifying tropical soils by age. *J. Soil Sc.*, 13, 1, p.124-132.