

**Sur l'existence au Zaïre de sols bruns eutrophes,  
précurseurs probables des "sols rouges tropicaux".  
Aspects de la dynamique du fer lors de la formation de ces sols**

A.J. HERBILLON

*Musée Royal de l'Afrique Centrale et Université Catholique  
de Louvain*

M.N. MAKUMBI

*Université Nationale du Zaïre, Kinshasa XI*

R. FRANKART

*Université Catholique de Louvain*

*Laboratoire de Physico-Chimie Minérale, de Croylaan 42  
3030 Heverlee (Belgique)*

RÉSUMÉ

*Cette note compare les caractéristiques climatiques, topographiques, minéralogiques et physico-chimiques de sols bruns eutrophes du Bas-Zaïre et des « sols rouges tropicaux » du Nord Cameroun tous deux développés sur des roches vertes. Cette comparaison établit la filiation existant entre ces deux types de sols et fournit l'occasion d'évoquer les raisons structurales et cristallographiques de l'inertie que manifeste le fer à s'individualiser complètement dans ces deux situations.*

*Dans les roches vertes, le fer, principalement ferreux est contenu dans des silicates primaires hydroxylés. Dans ces minéraux, l'oxydation du fer ou d'une partie de celui-ci est possible sans modification profonde du réseau silicaté. Les silicates ferriques qui dérivent de cette oxydation, plus stable dans le milieu de surface, sont moins aisément désilicifiés que les silicates ferreux primaires qui leur ont donné naissance.*

SUMMARY

*In this paper the mineralogical and physico-chemical similarities between a typical young « sol brun eutrophe » found in Zaïre and the mature « sols rouges tropicaux » from North Cameroun are pointed out. This comparison allows to establish the genetic link existing between the young and the mature soils which are both developed from the same kind of green rocks.*

*In both soils, in spite of climatological and topographical conditions favouring the complete iron individualization, this element shows a strong tendency to remain silicated. This behaviour is related to the peculiar mineralogical and chemical composition of the green rocks where a part of the ferrous iron can be oxidized in situ without important modification of the parent mineral. As both primary and secondary ferric silicate are more stable in the weathering zone than the ferrous species, this in situ oxidation helps to explain the peculiar behaviour of iron observed in the described soils.*

## INTRODUCTION

La composition chimique et minéralogique, les propriétés physico-chimiques et la couleur vive des « sols rouges tropicaux » décrits par MARTIN *et al.* (1966) au Nord-Cameroun n'ont pas manqué d'étonner les pédologues familiers des sols ferrallitiques. Ainsi, en milieu tropical et en situations topographiques assurant un bon drainage, certaines roches basiques et plus particulièrement les « roches vertes » peuvent donner naissance à des sols évolués où coexistent, même dans les minéraux secondaires, du fer individualisé et du fer silicaté et qui, dès lors, montrent plus de similitudes avec les sols des régions méditerranéennes qu'avec ceux des régions tropicales humides.

Le but de cette note est de montrer les analogies que présentent les sols bruns eutrophes tropicaux développés sur les roches vertes de Gangila au Zaïre avec les « sols rouges tropicaux » du Cameroun et de discuter brièvement d'un aspect commun de la dynamique du fer lors de l'altération de ce type de roche.

## COMPARAISON ENTRE LES SOLS BRUNS EUTROPHES TROPICAUX DE TSHIMPI ET LES SOLS ROUGES TROPICAUX DU NORD CAMEROUN

Les roches qui président à la genèse des sols bruns de Tshimpi (près de Matadi) sont comme la plupart de celles qui supportent les sols rouges du Cameroun d'anciennes laves basiques métamorphisées. Dans le cas précis auquel il est fait référence ici (et pour lequel plus de détails peuvent être trouvés dans MAKUMBI 1972 et MAKUMBI et HERBILLON 1973 *a* et *b*) la roche mère est un chloritoschiste et le sol occupe le sommet d'une avancée structurale appartenant à une colline par ailleurs coiffée d'une cuirasse tabulaire. Le drainage interne et externe de ce profil est bon.

Le tableau 1, dans lequel ont été mises en regard une synthèse des observations faites par MARTIN *et al.* (1966) sur les « sols rouges » développés sur les seules roches vertes et les observations faites sur le sol brun type dérivé du chloritoschiste, illustre mieux que de longues descriptions les profondes analogies existant entre ces deux types de sols.

Il peut encore être utile de préciser qu'à Tshimpi seuls les profils protégés de l'érosion possèdent un horizon B de couleur. Sur les flancs des avancées structurales, où l'érosion est importante, le manteau d'altération est plus mince et le développement de profil est du type A-C. Ces différences n'affectent cependant pas les autres propriétés rapportées.

## ASPECT DE LA DYNAMIQUE DU FER LORS DE LA FORMATION DE CES SOLS

Pour que se réalise la transformation sol brun - sol rouge, il semble nécessaire et suffisant que se poursuive le processus de soustraction de silice et de base actuellement en cours dans le sol brun. Cette soustraction conduira irréversiblement à l'approfondissement du profil et à l'individualisation du fer. D'autre part, le temps nécessaire pour que ces phénomènes se réalisent favorisera aussi un développement morphologique plus accentué du profil. En fait, l'examen plus détaillé du sol brun révèle que tant l'évolution soustractive que la différenciation morphologique y sont effectivement en cours puisque les horizons A et B de ce sol contiennent plus d'argile, plus de kaolinite, plus de fer individualisé et manifestent, malgré la présence de matières organiques, des couleurs plus vives que l'horizon C.

Toutefois, malgré cette évolution, la nontronite domine largement dans les fractions argileuses et la valeur maximale du rapport fer libre (extrait au dithionite) fer total sur argile n'atteint guère que 30 %. Cette observation qui est évidemment l'indice le plus évident de la parenté des deux types de sols décrits, témoigne aussi de l'inertie que manifeste le fer à s'individualiser brutalement et massivement dans le sol brun, au contraire de ce qu'il fait habituellement dès la zone de départ dans la plupart des sols ferrallitiques bien drainés.

On peut estimer comme le suggèrent MARTIN *et al.* (1966) que cette inertie à l'individualisation du fer, phénomène duquel dérive la plupart des caractères originaux des « sols rouges tropicaux », est liée à un régime climatique particulier tel celui du Nord Cameroun où une longue saison sèche induit l'existence temporaire d'un milieu confiné même dans les positions topographiques assurant un bon drainage. En effet un tel milieu pourrait favoriser la synthèse de silicates ferrifères secondaires aux dépens du fer

TABLEAU 1

Comparaison entre les sols rouges du Nord Cameroun et les sols bruns de Tshimpi

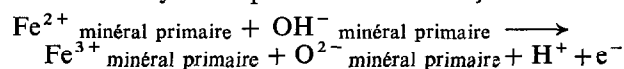
CARACTÉRISTIQUES	SOLS ROUGES	SOLS BRUNS
Roche-mère	roches vertes (volcaniques légèrement métamorphisées)	roches vertes (volcaniques métamorphisées)
Profil	A(B)C ou AB <sub>2s</sub> ou B <sub>2t</sub> C	A(B)C
Épaisseur du profil	< 100 cm	70 cm
Couleur B	5 YR ou 2,5 YR ou 10 R 4/6	10 YR 5/6-4/4
Bases échangeables	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> (Mg <sup>2+</sup> dominant)	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> (Mg <sup>2+</sup> dominant)
Taux de saturation	70-100 %	100 %
Capacité d'échange T	20 méq/100 g	18-25 méq/100 g
C.E.C. des argiles	> 45 méq/100 g	73-99 méq/100 g
pH	6-7	6,7-7,1
Pourcentage d'argile dans l'horizon B	40-60 %	38 %
Réserve minérale	élevée	élevée
Minéralogie des fractions argileuses	montmorillonite (importante) kaolinite illite goethite	nontronite (dominante) kaolinite interstratifié irrégulier chlorite-beidellite fer libre non cristallisé
Fer libre/fer total :		
a) sol	~40 %	~15 %
b) argile	—	12-30 %
Relief	paysage très disséqué	paysage très disséqué
Drainage	interne et externe : bon	interne et externe : bon
Position	surface d'aplanissement très disséquée	sommet anguleux des avancées structurales
Caractéristiques du climat	durée saison sèche : 5-6 mois pluie : 800-1 000 mm d'eau température : 28 °C	durée saison sèche : 4 mois pluie : 1 150 mm d'eau température : 24 °C

individualisé au cours d'une étape antérieure et de la silice soluble concentrée par évaporation.

Sans exclure absolument la possibilité de néoformations de smectites ferrifères dans ce type de sols, nous pensons cependant que l'argument climatique doit surtout être envisagé sous l'angle d'une compétition entre phénomène d'oxydation et phénomène de désilicification et d'élimination des bases et qu'il faut, pour évaluer les conséquences de cette oxydation, tenir compte de la structure et de la composition chimique particulière des minéraux habituels des roches vertes.

Dans ce type de roches, le fer, le plus souvent ferreux, est localisé dans les sites octaédriques d'inosilicates ou de phyllosilicates mixtes, tels les amphiboles, les chlorites et les biotites, où l'accompagne le magnésium mais aussi l'aluminium voire le manganèse et le titane. Une autre singularité de ces silicates est que des hydroxyles sont généralement présents dans la sphère de coordination des cations ferreux octaédriques.

On sait, particulièrement pour les phyllosilicates, qu'un des premiers stades de l'altération de tels minéraux ferrifères hydroxylés peut être une oxydation du fer in situ sans modification fondamentale de la charpente silicatée du minéral. Schématiquement cette réaction d'oxydation peut s'écrire de la façon suivante :



Les mécanismes de cette réaction sont assez bien connus à haute température non seulement pour les phyllosilicates mais aussi pour les amphiboles. Dans ces conditions l'accepteur d'électron est le proton et la réaction produit de l'hydrogène (voir par exemple ROUXHET *et al.* 1972). A basse température, où le même type de schéma réactionnel est souvent suggéré, il n'a cependant pas été possible de mettre en évidence la production d'hydrogène. Selon FARMER *et al.* (1971), qui étudient l'oxydation de biotites à basse température, une des conséquences de cette réaction, qui provoque une concentration locale de charges positives dans la couche octaédrique,

pourrait être l'expulsion (c'est le phénomène d'individualisation) d'une partie du fer ferrique hors du réseau silicaté tandis qu'une autre partie se trouverait ainsi stabilisée au sein du même réseau. Le bien-fondé de ces hypothèses vient d'être confirmé par les expériences de GILKES *et al.* (1973). Pour notre part, nous avons également présenté quelques évidences suggérant le même double comportement du fer lors de l'altération de la chlorite qui donne naissance au sol brun décrit ci-dessus. (MAKUMBI et HERBILLON 1972).

Quoi qu'il en soit exactement de la réaction d'oxydation du fer ferreux au sein des silicates hydroxylés, des considérations de nature thermodynamique, montrent aussi que, toutes choses étant égales par ailleurs, un silicate ferrique est plus stable qu'un silicate ferreux. Parmi les minéraux primaires, il en est clairement ainsi de l'oxyannite par rapport à l'annite (BEANE cité par TARDY, 1973). Tirant profit de semblables données, TARDY (1973) vient de montrer que l'inclusion de quantité croissante d'ions ferriques au sein des sites octaédriques de smectites et d'illites élargit proportionnellement leur domaine de stabilité. Ces considérations ne traduisent finalement rien d'autre qu'une propriété bien connue du fer ferrique, à savoir la faible solubilité de ses oxydes et hydroxydes. Ainsi, tant dans les silicates primaires que dans les silicates secondaires, la plus grande stabilité des formes ferriques peut rendre compte de l'inertie que manifeste

cet élément à s'individualiser lorsqu'il est présent sous sa forme oxydée au sein d'un silicate.

En conclusion, l'exemple fourni par les « sols rouges » du Cameroun, et les sols bruns de Tshimpi (dont on pourrait aussi souligner les analogies qu'ils présentent avec les sols bruns eutrophes décrits par KALOGA (1970) en Haute Volta) nous suggère qu'en ce qui concerne la dynamique du fer au cours de la pédogenèse, il n'est pas indifférent que cet élément (qui se trouve habituellement à l'état ferreux dans le matériau parental) ait la possibilité d'être oxydé avant d'être désilicifié ou soit désilicifié et oxydé simultanément. Les minéraux ferrifères hydroxylés, phyllosilicates et amphiboles, qui sont abondants dans les roches vertes, peuvent d'autant plus facilement suivre la première voie qu'ils évoluent en conditions de drainage et sous un régime climatique tels que pendant toute une saison, la désilicification (et la soustraction des bases) est défavorisée tandis que l'oxydation reste autorisée. Cette oxydation qui provoque l'individualisation d'une partie du fer, conduit aussi à une plus grande stabilité du fer qui reste silicaté. Cette plus grande stabilité doit de toute évidence être prise en considération pour rendre compte de la coexistence relativement « pacifique » des deux formes de fer rencontrées dans les deux types de sols tropicaux dont traite cette note.

*Manuscrit reçu au S.C.D. le 6 juin 1973.*

## BIBLIOGRAPHIE

- FARMER (V.C.), RUSSEL (F.D.), HARDY (M.C.), NEWMAN (A.C. D.), AHLRICHS (J.L.) et RIMSARTE (J.V.H.), 1971. — Evidence for loss protons and octahedral iron from oxidized biotite and vermiculites. *Min. Mag.* 38, pp. 121-137.
- GILKES (R.J.), YOUNG (R.C.) et QUIRK (J.P.), 1973. — Artificial weathering of oxidized biotite. *Soil Science Soc. Am. Proc.* 37, 1, pp. 25-33.
- KALOGA (B.), 1970. — Etude pédologique des bassins versants des Volta blanche et rouge (3<sup>e</sup> partie). Sols associés aux vertisols 1) Sols bruns eutrophes. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, vol. VII, n° 1, pp. 3-31.
- MAKUMBI (L.), 1972. — Etude des sols développés sur chloritoschistes de Gangila (Zaïre). Thèse de Doctorat, Université de Louvain, 81 pages (*multigr.*).
- MAKUMBI (L.) et HERBILLON (A.J.), 1972. — Vermiculitisation expérimentale d'une chlorite. *Bull. Groupe Franc. Argiles*, 24, pp. 153-164.
- MAKUMBI (L.) et HERBILLON (A.J.), 1973. — Description d'une chaîne de sols sur roches vertes de Gangila (Zaïre). *Pédologie* (sous presse).
- MAKUMBI (L.) et HERBILLON (A.J.), 1973. — A study of weathering of chlorite in a soil derived from a chloritoschist under humid tropical conditions. *Geoderma* (sous-presse).
- MARTIN (D.), SIEFFERMANN (G.) et VALLERIE (M.). — Les sols rouges du Nord Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. IV, n° 3, pp. 3-28.
- ROUXHET (P.G.), GILLARD (P.L.) et FRIPIAT (J.J.), 1972. — Thermal decomposition of amosite, corcidolite and biotite. *Min. Mag.*, 38, pp. 583-592.
- TARDY (Y.), 1973. — Calculations on the stability field of gibbsite, kaolinite, pyrophyllite, montmorillonites and illites. Influence of the chemical composition (*en préparation*).