

## Intervention simultanée des phénomènes d'enfoncement vertical et de transformation latérale dans la mise en place de systèmes de sols de la zone tropicale humide. Cas des systèmes sols ferrallitiques-podzols de l'Amazonie Brésilienne

Yves LUCAS, René BOULET et Armand CHAUVEL

*Résumé* — Dans les systèmes de transformation sols ferrallitiques-podzols de l'Amazonie brésilienne, le déplacement latéral de la transformation appauvrissante et podzolisante est apparent. Il résulte à la fois d'une progression latérale vraie de fronts de transformation, et d'une transformation consécutive à l'enfoncement vertical de la couverture de sols dans le matériau originel durant l'évolution *in situ* au cours du temps.

### Importance of the vertical subsidence of soil cover in parent material on the genesis and evolution of soil systems in humid tropics. Example of laterite-podzol systems in Amazonia

*Abstract* — In laterite-podzol transformation systems of Brazilian Amazonia, the apparent lateral displacement of the leaching and podzolising transformation is the resultant of (1) true lateral displacement of transformation fronts and (2) transformations resulting from the vertical subsidence of soil cover due to the dissolution of soil materials during its evolution.

*Abridged English Version* — In soil systems of central Amazonia, the lateritic cover developed on Cretaceous sandy-loam sediments is being replaced by podzols [4]. The initial soil on the plateaux is a thick clay overlying a gibbsitic and ferruginous nodular horizon. These kaolinitic soils are formed by relatively greater accumulation of aluminium than silica as the soil cover subsides in the parent material, due to weathering in depth and dissolution in the upper horizons [3]. On the slopes, the soils are more sandy with giant podzols developed on the lower part of long slopes (*Fig. 1*). There is a range of intermediate types between the clay laterite soils of the plateaux and the sandy podzols downslope, and most of the pedologic features vary progressively between these two extremes. This soil differentiation is formed in place ([2], [3]). The leaching and podzolising processes begin downslope and progress upslope as the slope develops (*Fig. 1*). The cause of this transformation is internal, related to the lateral circulation of percolating water on the slopes [4]. However, the quartz grains in podzolic sand differ less in morphology from sediment quartz than from clay laterite quartz which have been much more weathered (*Fig. 2*). Thus, podzolic sands are not a residue after leaching of the clay soils.

These facts would seem inconsistent with the lateral displacement of the transformation sketched in Figure 1. This apparent contradiction is explained by the descent of the soil cover into the parent material as the system evolves, as seen in Figure 3a, in which the different stages of evolution of a landscape unit are referred to the sediment level. The

Note présentée par Georges PEDRO.

cross indicates successive positions of a given material with regard to slope evolution. The sequence which leads to podzol material does not include a clay laterite stage. Thus, the apparent lateral displacement of the transformation is the result of (1) a real lateral displacement of the transformation fronts, (2) a renewal of soil material due to the subsidence of the soil cover, which, on slopes, gives more sandy material due to leaching by lateral water-flow.

An estimation of the current rate of plateau soil subsidence can be calculated from the density and chemical composition of the materials, and the rate and composition of the percolating solutions. Assuming the variability of sediment composition, results give 34 to 84 m as the subsidence of the surface corresponding to clay soil formation under present-day conditions. As the soils studied may have evolved under meteoric conditions since the late Cretaceous, and as weathering was probably more abrasive in the past ([6], [7]), these results are certainly below the real subsidence. In any case, such values are in accordance with the hypothesis explained herein.

CONCLUSIONS. — In laterite-podzol transformation systems of Brazilian Amazonia, the lateral displacement of the leaching and podzolising transformation is apparent. It is mainly a function of vertical subsidence of the soil cover into the parent material. These systems are thus different from most of the transformation systems already described ([8], [9], [10]), where lateral displacement of the transformation is fast compared to the subsidence of the soils into the parent material (*Fig. 3 c*).

I. INTRODUCTION. — Dans la partie centrale de l'Amazonie brésilienne, de climat actuel de type Amazonien (pluviosité moyenne 2 100 mm, saison sèche peu marquée), d'importantes surfaces présentent une morphologie de bas-plateaux aux sols ferrallitiques épais et très argileux, et de versants supportant des sols ferrallitiques plus sableux associés à des podzols. Ces sols reposent sur une formation sédimentaire meuble, sablo-argileuse, du groupe Alter do Chão, d'âge Crétacé [1]. Des études précédentes ([2], [3], [4]) ont montré que les sols des plateaux et des versants se sont formés *in situ* par altération du sédiment sablo-argileux, et qu'ils constituent en outre des systèmes de transformation sols ferrallitiques-podzols. Le propos de cette Note est de montrer l'importance sur la dynamique évolutive de ces systèmes de l'enfoncement vertical de la couverture pédologique dans le matériau originel, consécutivement à la disparition par dissolution *in situ* des matériaux du sol.

II. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS. — La couverture de sols étudiée est schématisée figure 1. Les sols des plateaux comportent un horizon à nodules ferrugineux et gibbsitiques surmonté d'un horizon très argileux de 5 à 8 m d'épaisseur. Il a été montré [3] que ces deux niveaux se sont formés par dissolution progressive des quartz du sédiment sablo-argileux, avec accumulation relative de kaolinite et dans une moindre mesure de gibbsite et d'hématite. Une telle évolution géochimique suppose un abaissement important de la surface du sol au cours de la pédogenèse, due à la progression de l'altération en profondeur et aux dissolutions liées à l'activité organique à la partie supérieure des profils. Les sols des versants, organisés en toposéquences, sont d'autant plus sableux qu'ils sont situés bas sur le versant, et que le versant est allongé, c'est-à-dire éloigné de la tête de vallée. Les podzols sont présents à la base des versants les plus longs. La plupart des caractères pédologiques (granulométrie, couleur, structure, etc.) varient très

progressivement le long de chaque toposéquence, et d'une toposéquence à l'autre en descendant la vallée. Il a été établi antérieurement ([2], [4]) que ces couvertures de sols constituent des « systèmes de transformation » dans lesquels l'appauvrissement et la podzolisation progressent latéralement de l'aval vers l'amont des versants (cf. fig. 1), aux dépens des matériaux ferrallitiques plus argileux, au fur et à mesure d'une évolution géochimique des versants initiée par des circulations latérales des solutions de percolation.

Par ailleurs, l'étude de la morphologie des grains de quartz dans les premiers mètres de sol fait apparaître l'existence d'une séquence progressive depuis les sols des plateaux jusqu'aux podzols. Les quartz des podzols ont en effet une morphologie proche de celle des quartz du sédiment sablo-argileux, qui sont de grande taille et quelquefois polycristallins, alors que ces derniers sont absents des horizons argileux des sols de plateaux dans lesquels les quartz ont subi une corrosion beaucoup plus intense (fig. 2). Dans ces conditions, les sables podzoliques ne peuvent donc être considérés comme un simple résidu de sols ferrallitiques argileux après appauvrissement et départ du plasma.

En réalité, la contradiction entre cette constatation et les conclusions de la figure 1 n'est qu'apparente si l'on tient compte de l'enfoncement vertical de la couverture de sol dans le matériau originel au cours de la pédogenèse. Sur la figure 3 a, les différents stades d'évolution d'un versant sont référés au sédiment. Le point marqué d'une croix permet de suivre la séquence évolutive du matériel pédologique depuis le sédiment jusqu'au podzol. On constate ainsi que l'évolution en ce point ne passe pas par l'état de matériau ferrallitique argileux. La séquence obtenue est schématisée d'une autre manière par la ligne pointillée de la figure 3 b, construite par superposition, référée à la limite des sols argileux, des stades 1 et 3 de la figure 3 a. Il résulte de cela que le déplacement latéral « apparent » de l'appauvrissement et de la podzolisation au cours de l'évolution du système est donc la résultante de deux phénomènes :

- un déplacement latéral vrai des fronts de transformation, attesté par la géométrie de l'enveloppe des sables podzoliques;
- une évolution vers un pôle plus quartzeux des matériaux sur lesquels s'appliquent ces processus, en raison du renouvellement au moins partiel des matériaux du sol dû à

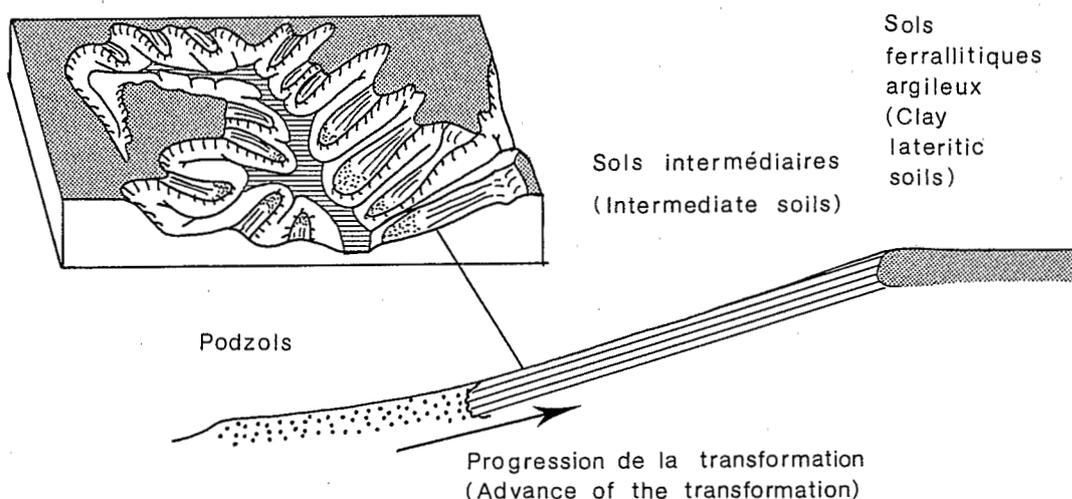


Fig. 1. — Système sols ferrallitiques-podzols en Amazonie Brésilienne.

Fig. 1. — Laterite-podzols soil system in Brazilian Amazonia.

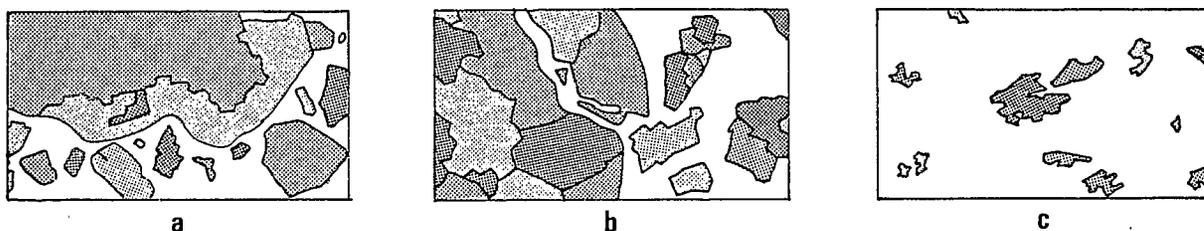


Fig. 2. — Morphologie des grains de quartz. (a) sable blanc podzolique, (b) sédiment, (c) horizon de surface (0-10 cm) des sols argileux des plateaux. Les grisés représentent les cristaux de quartz, le blanc le plasma argileux et les vides.

Fig. 2. — Morphology of quartz grains. (a) podzolic white sand, (b) sediment, (c) topsoil horizon (0-10 cm) of plateau clay soils. In grey, quartz crystals, in white, clay plasma and voids.

l'enfoncement vertical de la couverture pédologique dans le sédiment. Cet enfoncement aboutit alors à des matériaux plus quartzeux sur les versants en raison des exportations par circulation latérale.

L'interprétation proposée ci-dessus est d'autre part confortée par les données dont on dispose sur la composition et l'évolution géochimique actuelle de ces formations. La composition chimique des profils et leur densité apparente permet de calculer une valeur minimale du rapport volumétrique (sédiment altéré/profil formé). L'incertitude sur la composition du sédiment (25 à 35 % de kaolinite) amène à calculer un intervalle d'estimation pour les résultats. Les données calculées pour les sols de plateaux sont les suivantes :

- Compositions moyennes :
  - Sols de plateaux :  $0,51 \text{ t/m}^3 \text{ Al}_2\text{O}_3$ ,  $0,74 \text{ t/m}^3 \text{ SiO}_2$ .
  - Sédiment :  $0,16 \text{ à } 0,22 \text{ t/m}^3 \text{ Al}_2\text{O}_3$ ,  $1,4 \text{ à } 1,3 \text{ t/m}^3 \text{ SiO}_2$ .
- Rapport volumétrique minimal (sédiment altéré/profil formé) : 2,3 à 3,2.

A partir de ces résultats, on constate que, quelles qu'aient été les conditions de formation du profil, l'épaisseur minimale de sédiment nécessaire pour former les 16 m de profil observés en moyenne sur les plateaux est de 37 à 51 m, et l'abaissement de la cote de surface du sol correspondante de 21 à 35 m. Il faut ajouter en outre que ces valeurs, supposant l'absence d'exportation d'aluminium hors du système lors de son évolution, sont évidemment inférieures à l'abaissement réel. En effet, la composition moyenne des solutions exportées actuellement hors de ces systèmes étant connue ([5],  $80 \mu\text{g/l Al}$ ,  $2,1 \text{ mg/l Si}$ ), on peut aussi calculer que le rapport volumétrique (sédiment altéré/profil formé) dans les conditions du fonctionnement actuel est compris entre 6 à 3 selon la composition du sédiment. Dans ces conditions, ce sont 50 à 100 m de sédiment qui sont nécessaires pour constituer les sols observés, ce qui correspond à un abaissement de la surface de 34 à 84 m. Encore ces valeurs peuvent-elles être considérées comme des bornes inférieures, compte tenu que les formations étudiées ont pu évoluer en conditions d'altération météorique depuis la fin Crétacé et que cette altération a probablement été plus agressive au cours du passé ([6], [7]).

L'abaissement d'origine géochimique de la cote de surface du sol au cours de la formation de ces systèmes est donc certainement supérieure à 21-35 m, et probablement supérieure à 34-84 m. Ces valeurs, comparées aux dénivelées de l'ordre de 30 m pour des versants à partie inférieure podzolisé, confirment l'importance de l'enfoncement vertical dans le matériau originel au cours de la pédogenèse.

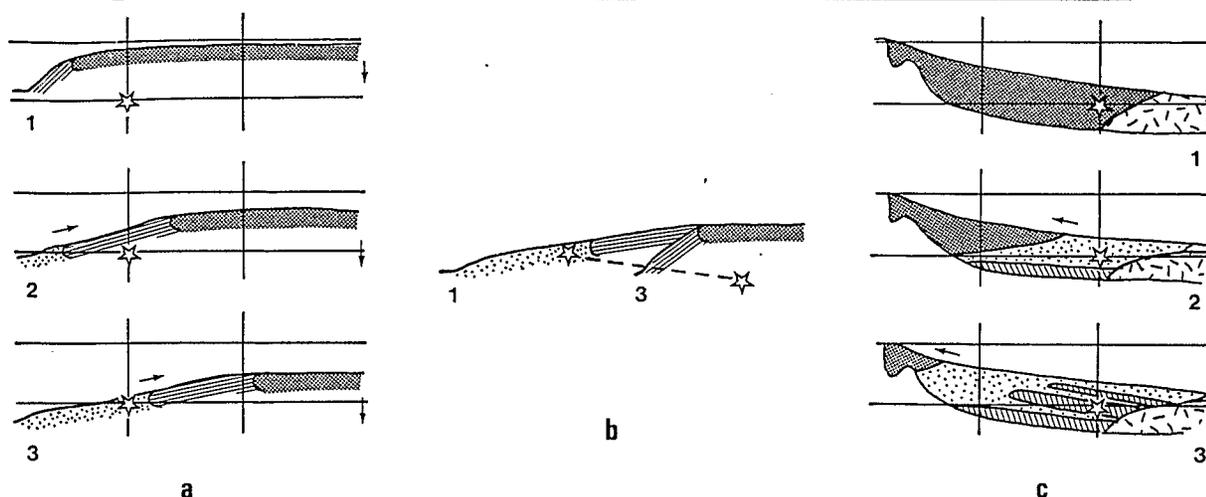


Fig. 3. — Dynamique des systèmes de transformation et enfoncement de la couverture pédologique. (a) Système sols ferrallitiques-podzols, stades d'évolution référés au sédiment; (b) système sols ferrallitiques-podzols, superposition des stades 1 et 3; (c) exemple de système dans lequel le déplacement latéral de la transformation est rapide comparé à l'enfoncement (système éluvial-illuvial de Burkina-Faso, d'après Boulet, 1978 [9]).

*Dynamic of transformation systems and vertical subsidence of the soil cover. (a) Laterites-podzols systems, stages of evolution referred to the sediment; (b) laterite-podzols systems, superposition of stages 1 and 3; (c) example of system in which the lateral displacement of the transformation is fast compared to the subsidence (from Boulet, 1978 [9]).*

III. CONCLUSIONS. — Dans les systèmes de transformation des sols ferrallitiques-podzols d'Amazonie brésilienne, le déplacement latéral de la transformation appauvrissante et podzolisante est un déplacement apparent qui dépend pour une part importante de l'enfoncement vertical de la couverture de sols dans le matériau originel au cours de son évolution. En d'autres termes, *il y a apparition de nouveaux matériaux pédologiques au fur et à mesure de l'évolution du système*. Ceci constitue une différence importante de dynamique évolutive par rapport à la plupart des systèmes de transformations décrits antérieurement ([8], [9], [10]) et schématisés dans la figure 3 c, dans lesquels le déplacement latéral de la transformation est rapide comparé à l'enfoncement vertical au sein du matériau originel.

Note reçue le 21 mars 1988, acceptée le 31 mars 1988.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] H. PUTZER, *Monographiae Biologicae*, 56, 1984, p. 15-46.
- [2] Y. LUCAS, A. CHAUVEL, R. BOULET, G. RANZANI et F. SCATOLINI, *R. Bras. Ci. Solo*, 8, 1984, p. 325-335.
- [3] Y. LUCAS, A. CHAUVEL et J. P. AMBROSI, *Proc. 1° Int. Symp. on Geoch. of the Earth Surface*, Granada (Spain), 1986.
- [4] Y. LUCAS, R. BOULET et L. VEILLON, In *Podzols et podzolisation*, D. RIGHI et A. CHAUVEL éd., A.F.E.S.-I.N.R.A., Paris, 1987, p. 53-65.
- [5] K. FURCH, *Monographiae Biologicae*, 56, 1984, p. 167-199.
- [6] W. BERNER, A. LASAGA et R. M. GARRELS, *Am. J. Sci.*, 283, 1983, p. 641-683.
- [7] Y. TARDY, *Le cycle de l'eau. Climats, paléoclimats et géochimie globale*, Masson, Paris, 1987, 338 p.

- 
- [8] G. BOCQUIER, *Mém. n° 62, O.R.S.T.O.M.*, Paris, 1971, 350 p.  
[9] R. BOULET, *Mém. n° 85, O.R.S.T.O.M.*, Paris, 1978, 272 p. Toposéquence de sols tropicaux en Haute-Volta. Équilibres dynamiques et bio-climatiques.  
[10] R. BOULET, A. CHAUVEL et Y. LUCAS, In *Livre jubilaire du Cinquantenaire, A.F.E.S.*, Paris, p. 167-179.

Y. L. : *O.R.S.T.O.M., Laboratoire de Pédologie, Université de Poitiers,*  
40, avenue du Recteur Pineau, 86022 Poitiers Cedex;

R. B. : *O.R.S.T.O.M., B. P. n° 165,*  
97323 Cayenne Cedex;

A. C. : *O.R.S.T.O.M., Laboratorio de Ecologia, C. P. n° 478,*  
C.E.P. 69000 Manaus (AM), Brésil.