

C.R. Acad. Sci. Paris,  
t. 319, série II,  
p. 659 à 665,  
1994

# Mise en évidence d'une désalcalinisation «naturelle» des sols en région tropicale. Transformation de sols alcalins en sols bruns subarides dans un bas-fond sahélien du Niger

Laurent Barbiero et Jeanine Berrier

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : B\* 4178 Ex : 1

Laboratoire INRA/ENSA de Sciences du  
Sol et Bioclimatologie,  
65, rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes  
Cedex, France.

**Résumé** L'observation fine de l'organisation de la couverture pédologique, dans un bas-fond sahélien du Niger, permet de mettre en évidence une transformation de sols alcalins en sols bruns subarides. Cette transformation intéresse dans un premier temps les caractéristiques géochimiques, puis les traits morphologiques des sols. La démonstration est fondée sur la superposition des traits morphologiques et géochimiques, l'architecture des nodules calcaires et les formes de précipitation de la calcite au sein de ces nodules.

**Mots-clés :** Sols alcalins, Sols bruns subarides, Transformation pédologique, Sahel, Niger.

**Abstract** **Natural transformation of alkaline soils into sub-arid soils  
on a Sahelian valley bottom in Niger**

Detailed observation of the soil mantle organization in a Sahelian valley bottom reveals a transformation of alkaline soils into sub-arid soils. This transformation affects geochemical characteristics before affecting morphological characteristics of soils. The demonstration is based on the superposition of geochemical and morphological characteristics, the structure and aspect of calcareous nodules and the forms of calcite precipitation in these nodules.

**Keywords :** Alkaline soils, Sub-arid soils, Pedological transformation, Sahel, Niger.

**Abridged  
English  
Version**

**I**N the tropical sub-arid regions of Africa which present endoreical characteristics, a usual evolution frequently leads to a progressive soil alkalization, hence degradation. Soils developed on the Liptako bedrock, a crystalline geological formation of West Niger, are locally subject to alkalization, as observed by Gavaud (1977) during a systematic soil survey of the southern part of Niger. The studied surface presents principally soils with a planar contact, alkaline at depth, but in the valley bottom, alkaline soils and sub-arid soils are observed (figure 1). The boundary between alkaline soils and non-alkaline sub-arid soil is very abrupt. This boundary was observed along a 7 m long pit dug after a detailed soil survey (Barbiéro, 1994), in the valley bottom of a small catchment. A detailed study of the contact using a structural approach was performed

to show that it corresponds to a transformation and to evaluate the direction of this transformation.

Alkaline soils are grey, with a large prismatic structure and massive sub-structure, while sub-arid soils are brown with a prismatic structure and cubic sub-structure. These volumes overlie the bedrock weathered material where many calcareous precipitations are observed. The bedrock, comprised of a calco-alkaline gneiss with biotite, does not present lateral facies variations.

Morphological characteristics, especially colour, structure and organization, allow one to locate the transition between the two soil types near 4 metre in horizontal coordinates (figures 2 and 3). Geochemical characteristics represented by Total Dissolved Substances (TDS) of the "saturated paste extract" position

**Note**

présentée par  
Georges Pédro.  
remise le 28 mars 1994,  
acceptée après révision  
le 25 juillet 1994.

it near 3 m (figure 4). This gap (figure 5) shows that the rates of geochemical changes and of morphological changes induced by the transformation are different.

The orientation of the contact between the two soil types suggests a transformation of alkaline soils into sub-arid soils if this evolution is downwards (Fritsch *et al.*, 1992). Small grey volumes are observed in the brown matrix and brown volumes are observed in the grey matrix. These volumes can be interpreted as precursors or as remnants; they do not give any information about the direction of the transformation.

The direction of the evolution is proved by the structure and aspect of the calcareous nodules that are compact and stable in the alkaline environment, are destabilized near the contact zone and disappear in the sub-arid soil. The dissolution is also shown at the micro-site scale by the study of precipitation forms of calcite in these nodules. Calcite crystals are in-

tact in the alkaline environment (photo 1) and present many dissolution figures near the transition zone (Delmas *et al.*, 1987, photo 3). In the sub-arid soil, calcite precipitation is finer and in the form of spherules (photo 2). Intact nodules being attributed to alkaline soils, this dynamic of the calcite shows a regression of alkaline soils.

The detailed study of the contact clearly demonstrates a natural transformation of alkaline soils into sub-arid soils. The gap between morphological and geochemical characteristics shows that alkaline soils lost their geochemical characteristics before acquiring the morphological characteristics of sub-arid soils.

These show that natural de-alkalization is possible in sub-arid environment and that alkalization as a type of degradation is not irremediable. This study opens up the possibility of accelerating de-alkalization of certain areas suitable for agriculture.

## I. INTRODUCTION

Dans les régions tropicales subarides et à caractères endoréiques, l'évolution normale conduit fréquemment et progressivement à une alcalinisation des sols, c'est-à-dire à une dégradation que l'on tend à considérer comme irréversible. En réalité, une étude réalisée récemment au Niger montre qu'une évolution inverse, dans le sens d'une désalcalinisation, est tout à fait possible dans des conditions naturelles.

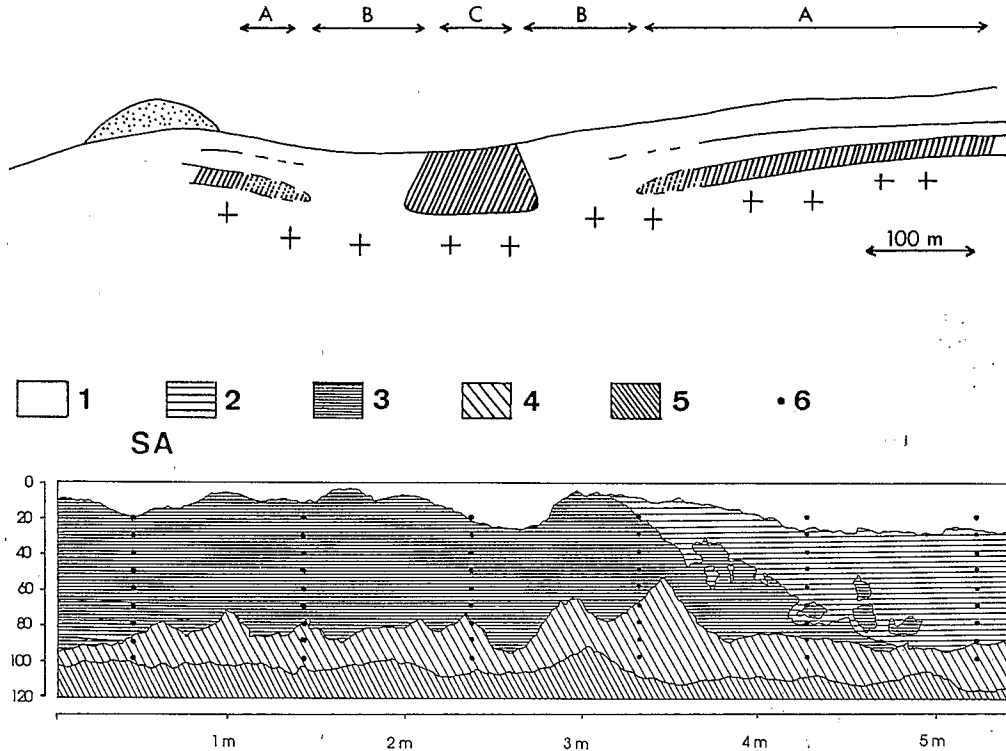
Sur le socle du Liptako, formation géologique du Niger occidental, on peut fréquemment observer des sols alcalins sous la forme de taches de quelques hectares, présentant des limites très abruptes. Ces sols sont connus des paysans locaux sous le nom assez général de *Gangani*, désignant les sols dégradés impropres à l'agriculture. Lors de l'inventaire cartographique à petite échelle du Niger méridional, Gavaud (1977) souligne l'alcalinisation très locale des matériaux issus de l'altération du socle. Les sols alcalins stériles côtoient ainsi des sols bruns subarides (non alcalins) présentant des propriétés agronomiques très convenables.

Le but de cette note est de présenter les principales caractéristiques du contact entre les sols bruns subarides et les sols alcalins et de montrer que ce contact correspond en fait à un front de transformation dont on peut préciser le sens.

## II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le travail a été mené sur un petit bassin versant situé à 75 km au NW de Niamey, sur la rive gauche du fleuve Niger. Les sols étudiés se situent plus précisément, selon une coupe transversale à la vallée, à l'aval d'un vaste glacis à pente faible et à l'amont d'un bourrelet de berge du fleuve, raccordant le glacis à la première terrasse alluviale. Ce modèle définit une zone de bas-fond. Sur le glacis, on observe généralement des sols bruns, présentant un contact planique, alcalins en profondeur. En revanche, les sols alcalins et des sols bruns subarides se développent au sein du bas-fond. La transition entre ces deux unités de sol est brutale ; elle se fait à l'échelle du mètre. La répartition des sols est représentée sur la figure 1.

Une tranchée de 7 m de long et de 1,2 m



**Figure 1** Distribution des unités de sols sur la surface d'étude. A. Sols à contact planique, alcalins en profondeur, B. Sols bruns subarides, C. Sols alcalins, Bourrelet de berge, distribution du matériel alcalinisé.

Distribution of the soil units over the studied area. A. Soils with a planar contact, alkaline at depth, B. Sub-arid soils, C. Alkaline soils, Sandy ribbons, distribution of alkaline material.

de profondeur, a été creusée sur la transition. L'organisation de la couverture pédologique a été étudiée sur une paroi latérale. Les volumes pédologiques ont été identifiés en fonction de leur couleur, texture, structure, porosité et de la nature des précipitations.

Des échantillons, dont la position est soigneusement répertoriée, ont été prélevés. Un bilan ionique a été mené sur chaque échantillon à partir de l'extrait de pâte saturée. Les caractéristiques chimiques, représentées ici par la distribution de la charge totale dissoute (CTD), ont été reportées sur la paroi de la tranchée.

Les formes de précipitation de la calcite, au sein de nodules prélevés le long de la tranchée ont été observées à l'aide du Microscope Electronique à Balayage.

### III. RÉSULTATS

Ils concernent les données morphologiques ainsi que les caractéristiques géochimiques des sols.

#### A. Caractéristiques morphologiques des sols

La paroi de la tranchée laisse clairement apparaître les deux unités de sol concernées. Les caractéristiques morphologiques permettent de distinguer les sols alcalins (à gauche de la tranchée) des sols bruns subarides (à droite en fonction de l'orientation de la figure 2).

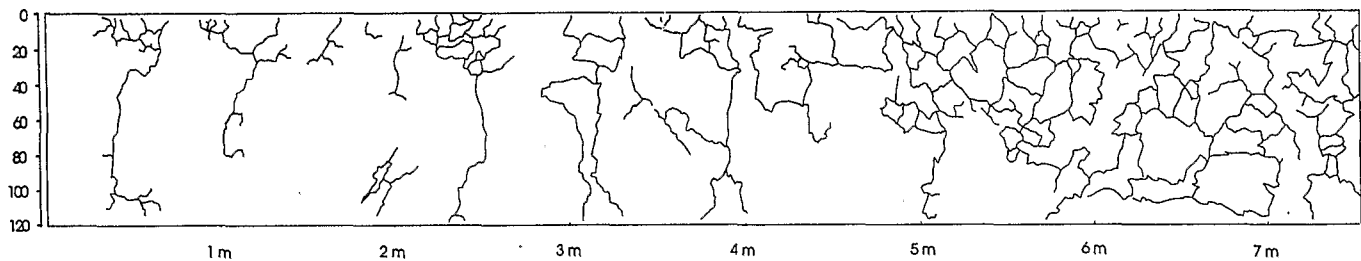
##### Les sols alcalins

Sous un épipédon gris clair, sableux, de quelques centimètres, on observe un matériel sablo-argileux grisâtre à structuration très grossière composée de prismes de 50 cm à 1,20 m de large (figure 3). Ceux-ci sont massifs. Ce niveau surmonte une altérite riche en précipitations calcaires de différents ordres: nodules, volumes pulvérulents de grande taille (5 à 10 cm), et voile pseudo-mycélien.

Vers le pôle alcalin, les nodules calcaires présentent un cortex induré blanc et un cœur grisâtre composé de quartz cimentés par de la calcite et fréquemment parcouru de fissures radiales. Les nodules sont compacts, faciles à prélever et ne se brisent pas sous la pression des doigts. Ils présentent des cris-

**Figure 2** Distribution des horizons au contact sols alcalins/sols bruns subarides. 1. épipédon sableux, 2. horizon sablo-argileux brun, 3. horizon sablo-argileux gris, 4. altérite calcaire, 5. altérite à structure pétrographique, 6. prélèvements pour analyses chimiques.

Distribution of the horizons close to the contact zone: alkaline soils/sub-arid soils. 1. sandy epipedon, 2. brown sandy clay loam horizon, 3. grey sandy clay loam horizon, 4. calcareous weathered level, 5. weathering level with petrographic structure, 6. chemical analysis sampling points.



**Figure 3** Distribution de la macro-structuration au contact sols alcalins/sols bruns subarides.

Distribution of the macro structure close to the contact zone: alkaline soils/sub-arid soils.

taux de calcite sains, sans figure de corrosion (**photo 1**).

L'altérite à structure pétrographique conservée s'observe vers 1 m de profondeur.

#### *Les sols bruns subarides*

D'un point de vue morphologique, les sols bruns subarides se distinguent par un niveau sableux de surface généralement plus épais surmontant un horizon brun, sablo-argileux à structure prismatique (taille 10 cm) et sous-structure cubique (1 à 2 cm, *non représentée sur la figure 3*). L'altérite présente beaucoup moins de précipitations calcaires; celles-ci apparaissent sous la forme de nodules friables, d'amas pulvérulents plus réduits et d'un voile pseudo-mycélien. Les nodules sont très fragiles et délicats à prélever; on note un cortex discontinu très tendre et le cœur est généralement composé d'un amas pulvérulent de calcite, mais aussi quelquefois comblé par une matrice sablo-argileuse brune. La calcite précipite sous une forme plus fine, en petites sphérules irrégulières, plus rarement anguleuses (**photo 2**).

L'altérite à structure pétrographique conservée s'observe également vers 1 m de profondeur.

#### *Étude de la transition entre les sols alcalins et les sols bruns subarides*

La matrice sablo-argileuse grisâtre observée dans les sols alcalins évolue vers la droite par apparition de volumes bruns de quelques centimètres. Ceux-ci restent cependant mineurs jusqu'à la cote 4 m (environ). On observe ensuite, toujours vers la droite, une prédominance de la matrice brune. Ces observations permettent de positionner une transition, quoique diffuse, inclinée depuis le haut du profil vers le pôle alcalin, jusqu'au bas du

profil vers le pôle brun subaride, entre les cotes 3,5 et 4,5 m.

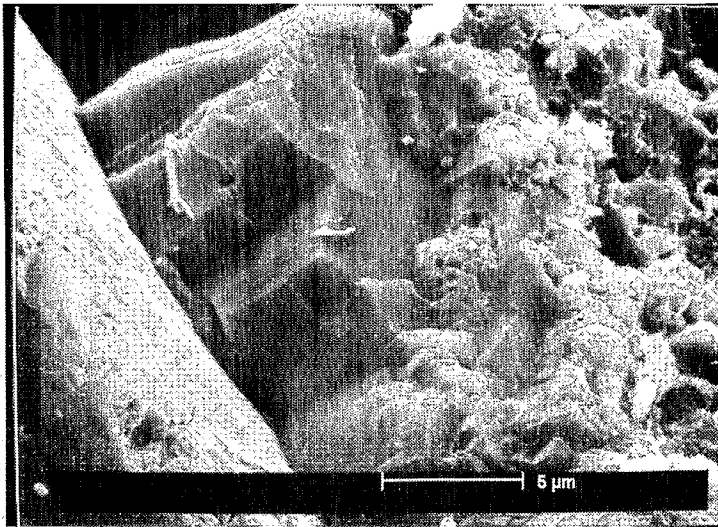
Vers cette cote, les nodules calcaires présentent un cortex fragilisé et peuvent se briser par pression d'un doigt en appui sur la lame du couteau. Au sein des nodules, on observe deux types de calcite:

- des cristaux similaires à ceux décrits vers le pôle alcalin mais qui présentent des figures caractéristiques de dissolution de la calcite en milieu basique (Delmas *et al.*, 1987, **photo 3**);
- la forme de précipitation fine, en petites sphérules, observée vers le pôle brun subaride.

L'apparition de la structure prismatique, plus fine permet de positionner la transition sensiblement à la même cote. La roche mère, un gneiss calco-alcalin à biotite, ne présente pas de variation latérale de faciès à ce niveau d'observation.

#### **B. Distribution des caractéristiques géochimiques**

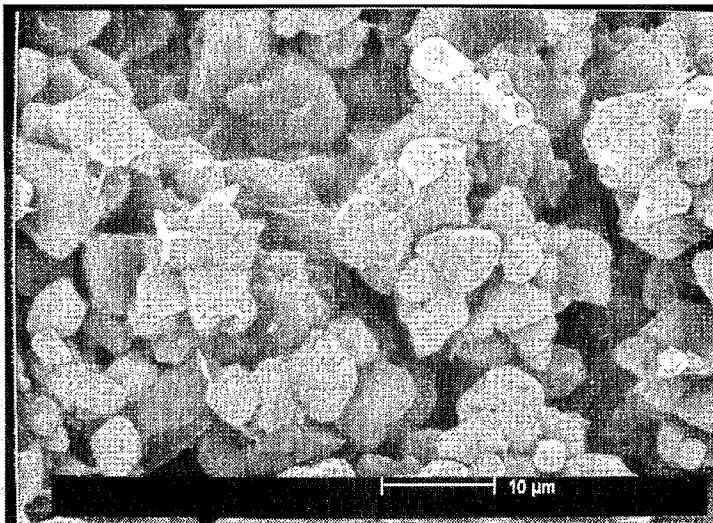
Les sols alcalins sont caractérisés par des solutions du sol, approchées par les pâtes saturées, plus concentrées que celles des sols bruns subarides. Cette concentration de la solution s'accompagne d'une modification du faciès chimique, qui est bicarbonaté calcique vers le pôle brun subaride et nettement bicarbonaté sodique vers le pôle alcalin. Les phénomènes responsables de la modification du faciès chimique d'un bout à l'autre de la tranchée, et qui ne sont pas détaillés dans cette Note, sont la précipitation d'une calcite légèrement magnésienne (2%), de la fluorine, et de silicates magnésiens (Barbiéro, 1994). Ces précipitations chimiques, qui accompagnent l'augmentation de la Charge Totale Dissoute, provoquent un appauvrissement des solutions du sol en cations bivalents,



**Photo 1** Formes de précipitation de la calcite dans les nodules vers le pôle alcalin.

-----

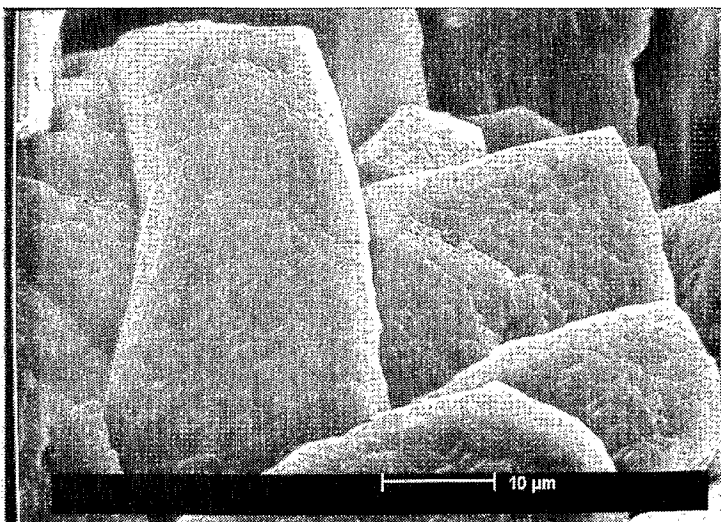
Precipitation forms of calcite in the nodules of alkaline soils.



**Photo 2** Formes de précipitation de la calcite dans les nodules vers le pôle brun subaride.

-----

Precipitation forms of calcite in the nodules of sub-arid soils.



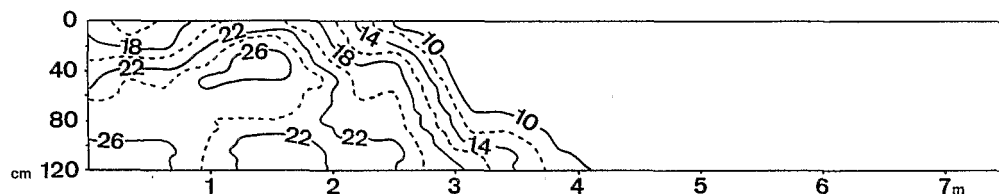
**Photo 3** Formes de précipitation de la calcite dans les nodules vers la transition.

-----

Precipitation forms of calcite in the nodules close to the contact zone.

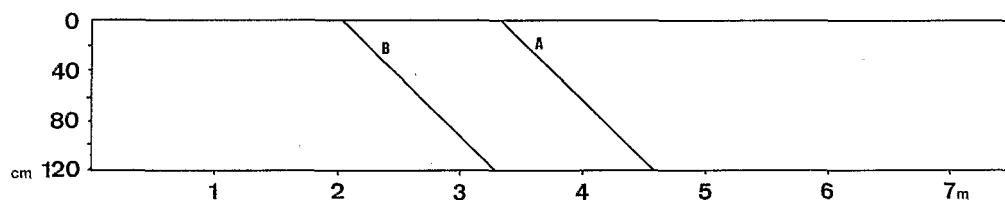
**Figure 4** Distribution des valeurs de la Charge Totale Dissoute au contact sols alcalins/sols bruns subarides (meq/l sur l'extrait de pâte saturée).

Distribution of Total Dissolved substances values close to the contact zone: alkaline soils/sub-arid soils (meq/l on the "saturated paste extract").



**Figure 5** Décalage entre la transition morphologique (A) et la transition géochimique (B).

The gap between the morphological (A) and the geochemical (B) transition.



en fonction de leur famille chimique alcaline carbonatée (Valles *et al.*, 1991). La répartition des valeurs de la Charge Totale Dissoute sur la tranchée permet de positionner une transition nette vers la cote 3 m (figure 4).

#### IV. DISCUSSION ET CONCLUSION

L'observation réalisée à l'échelle de la tranchée permet de mettre en évidence un contact entre deux types de sols dont les propriétés physiques et chimiques s'opposent, et de noter une bonne correspondance entre les traits morphologiques et géochimiques des sols. La transition est inclinée, mais décalée suivant que l'on se fonde sur des caractéristiques géochimiques ou morphologiques pour en déterminer la position sur la tranchée (figure 5). Ce contact peut traduire un front de transformation qui perturbe, avec des vitesses différentes, les traits morphologiques et géochimiques des sols. Il convient de vérifier l'existence d'une transformation en recherchant des indicateurs du sens de cette transformation.

Le contact incliné peut être interprété comme une régression des sols alcalins au profit des sols bruns subarides si l'évolution se fait *per descensum*, mais inversement comme une progression de l'alcalinisation si l'évolution résulte d'une remontée des solutions sous l'influence de l'évaporation. On observe à la fois des volumes bruns dans la matrice grise et des volumes gris dans la matrice

brune. Les volumes peuvent être interprétés comme précurseurs ou comme reliques (Fritsch *et al.*, 1992). Toutes ces informations ne nous renseignent pas sur le sens de progression du front.

Les figures de dissolution observées vers la cote 4 m traduisent, en revanche, une dynamique de la calcite. La calcite des nodules, stable en milieu alcalin, se dissout au niveau du front de transformation et reprécipite sous une forme plus fine, moins compacte et même friable dans le milieu brun subaride. De la même façon, les variations structurales des nodules montrent également le sens de la transformation. Dans le pôle alcalin, les nodules sont durs, à cœur de calcite et de quartz, compact, si l'on excepte les fentes radiales, et présentent un cortex **continu**. En allant vers le pôle brun subaride, le cortex des nodules devient discontinu, fragile, recoupé localement par la matrice sablo-argileuse brune, tandis que le cœur acquiert une phase calcitique pulvérulente. Ceci indique une dégradation des nodules qui se sont nécessairement formés dans le milieu alcalin et se sont transformés lorsque la matrice a été envahie par celle du milieu brun subaride. Les nodules calcaires durs et à cortex continu étant associés aux sols alcalins, cette évolution de la calcite traduit donc bien une transformation des sols alcalins en sols bruns subarides.

La limite entre les deux unités de sols est décalée vers le pôle alcalin, lorsque l'on a

recours à un indicateur géochimique pour localiser sa position. Ainsi, il semble que les sols alcalins perdent leurs caractéristiques géochimiques avant d'acquiescer les traits morphologiques de sols bruns subarides. Considérant l'eau comme seul vecteur possible de l'amélioration, les caractéristiques hydriques des sols suffisent à expliquer cette évolution par effet d'entonnoir au niveau du contact. Les sols alcalins sont très peu perméables; l'eau ruisselle en surface et s'infiltré dans les sols bruns subarides voisins qui présentent une perméabilité bien plus élevée (Barbiéro, 1994). De par sa faible minéralisation, l'eau qui percole ainsi provoque un lessivage des solutions carbonatées sodiques, et une dissolution progressive de la calcite qui enrichit

progressivement la solution du sol en calcium, favorisant ainsi la désalcalinisation.

En conclusion, toutes ces données montrent que la désalcalinisation naturelle est possible en milieu subaride et qu'une dégradation de ce type, même poussée, n'est jamais véritablement irréversible. L'évolution géochimique désalcalinisante constitue une première phase de la transformation; elle est suivie par des modifications morphologiques qui conduisent *in fine* à l'individualisation de nouveaux sols, non alcalins, mieux structurés: les sols bruns subarides. Cette observation renverse la fatalité de l'alcalinisation sahélienne et laisse donc envisager la possibilité d'accélérer la désalcalinisation de certaines zones aménageables.

**Remerciements** : Les auteurs remercient A. Régeard et P. Durand pour leur collaboration.  
L. B. : Travail réalisé en allocation de recherche ORSTOM.

BARBIERO, L., 1994. Les sols alcalinisés sur socle dans la vallée du fleuve Niger. Origines de l'alcalinisation et évolution des sols sous irrigation, *Thèse de Doctorat*, ENSA de Rennes, 209 p.

DELMAS, A. B., BERRIER, J. et CHAMAYOU, H., 1987. Les figures de corrosion de la calcite: typologie et séquences évolutives, in FEODOROFF, N., BRESSON, L. M. et COURTY, M. A., éd., *Micromorphologie des sols « Soil micromorphology*, p. 303-308.

FRITSCH, E., PETERSCHMITT, E. et HERBILLON, A. J., 1992. A structural approach for the regolith: identification of structures, analysis

of structural relationships and interpretations, *Sci. Géol. Bull.*, 45, p. 77-97.

GAVAUD, M., 1977. Les grands traits de la pédogénèse au Niger méridional, *Trav. Doc. ORSTOM*, 76, 102 p.

VALLES, V., PACHEPSKY, Y. A. et PONIZOVSKY, A. A., 1991. Invariant criteria for irrigation water quality assessment in arid and semi arid regions. Genesis and control of fertility of salt affected soils. ISSS Subcommission on salt affected soils Science, USSR, DOKUCHAEV, V. V., Soil Institute, Moscow, p. 330-333.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES