

# BIOGÉOCÉNOSES ET MORPHOGENÈSE ACTUELLE DE CERTAINS PÉDIMENTS DU BASSIN TCHADIEN

G. BOCQUIER

*Centre ORSTOM de Fort-Lamy, République du Tchad*

Une importante partie du piedmont granitique bordant le bassin endoréique tchadien est caractérisée—sous un climat tropical sec (Pm: 700 mm—Tm: 28 C)—par la grande extension de Solonetz Solodisés sur les vastes surfaces planes, régulières, à pente faible, des pédiments (: “glacis de piedmont”) (Biro et Dresch 1966).

Deux autres types de différenciation pédologique sont associés à celle des Solonetz Solodisés pour caractériser ce modelé:

- En haut de pédiment, dans la zone de raccordement (“knick”) au massif granitique résiduel (“inselberg”), une séquence de sols lessivés à caractère successivement Ferrugineux Tropical, Hydromorphe et Halomorphe.
- En bas de pédiment, des Vertisols.

L'étude de la distribution de ces sols dans le paysage ainsi que de leur dynamique en liaison avec l'évolution actuelle du modelé, a débuté par des travaux ne concernant que la caractérisation et la pédogenèse de ces seuls Solonetz Solodisés Tropicaux. Ce sont les difficultés rencontrées lors de l'interprétation des premières données obtenues qui ont conduit à reconnaître que ces différenciations pédologiques devaient être étudiées:

- au sein d'un système dynamique incluant d'autres composants que ceux du sol lui-même (“Biogéocénose”: Rode 1947).
- en relation avec les systèmes biogéodynamiques voisins, qui définissent ensemble le type de “paysage géochimique” (Glazovskaya 1966).
- en relation avec des facteurs généraux externes pouvant modifier l'évolution des biogéocénoses ou des paysages géochimiques (Nikiforoff 1949, Butler 1959).

Dans ces perspectives, deux biogéocénoses ont été plus particulièrement étudiées à partir de données de caractérisation morphologique et analytique (Bocquier 1964) de régimes hydriques (Clavaud 1967) et de composition minéralogique de la fraction argileuse (Paquet, Bocquier et Millot 1966).

## LA BIOGÉOCÉNOSE DU PÉDIMENT GRANITIQUE À SOLONETZ SOLODISÉS

Elle se caractérise par:

- une remarquable constance sur toute l'étendue du pédiment proprement dit d'une différenciation en Solonetz Solodisés sur une faible épaisseur (30 à 50 cm).

Fonds Documentaire ORSTOM



010012653

605 Fonds Documentaire ORSTOM  
Cote: Bx 12653 Ex: 1

—un matériau originel présentant une accumulation de sodium et de carbonates. Sa fraction argileuse comprend en proportions variables de la kaolinite, de l'illite et de la montmorillonite. Mais la caractéristique essentielle de ce matériau et de la zone de passage au granite non altéré (ensemble: 50 à 80 cm d'épaisseur) est l'absence actuelle d'approvisionnement en eau, limitant toute évolution et rendant compte du très faible développement de la végétation naturelle arbustive.

—une pente faible (1 à 2 %) sur toute l'étendue du pédiment, mais remarquablement régulière et souvent de très grande longueur (plusieurs kilomètres). La surface topographique "interne" définie par la partie supérieure du granite non altéré est—à faible profondeur (de l'ordre de 1 m)—sensiblement parallèle à la surface externe, hormis quelques rares affleurements de granite sous forme de "chicots".

—une activité biologique très réduite, principalement limitée au développement saisonnier d'une courte strate graminéenne à couverture discontinue et à enracinement superficiel. Les arbustes, très clairsemés, tendent à se localiser par plages. Les activités animales sont très faibles.

Les traits essentiels de la dynamique et de l'évolution de cette biogéocénose paraissent être les suivants:

La différenciation pédologique superficielle en Solonetz Solodisés est liée à la présence d'une accumulation de sodium et de carbonates dans le matériau. La solodisation, par une dégradation différentielle des minéraux argileux (Paquet, Bocquier et Millot 1966) et par lessivage, a pour effets principaux:

—l'accumulation relative dans des horizons superficiels humifères, lessivés et très peu épais (inférieur à 10 cm) de produits résiduels de la solodisation (silice, argiles dégradées, produits amorphes . . .) et d'éléments fins et grossiers du squelette (quartz).

—l'imperméabilisation et l'augmentation de consistance du B colonnaire.

Le régime hydrique qui s'établit est fortement déficitaire par rapport au climat régional et il est remarquablement superficiel. La pénétration saisonnière de l'eau ne dépasse pas généralement 50 cm et, correspondant à la base du B 2 marquée par une limite de décarbonatation, définit ainsi des horizons inférieurs ( $B_{Ca}$  et  $N_1$ ) comme un matériau originel presque inerte. De l'ordre de 40 % des eaux pluviales (Clavaud 1967) correspondent à un ruissellement diffus sur la surface encroûtée du sol et à une circulation subsuperficielle à la base de l' $A_2$ , sur le B colonnaire imperméabilisé. Cette circulation subsuperficielle (Hallsworth et Waring 1964), liée à des saturations périodiques des minces horizons supérieurs, entraîne latéralement des produits résiduels de la solodisation: ainsi se trouve intensifié le lessivage des horizons supérieurs et accentuée—par l'accumulation corrélative d'éléments grossiers à la base de l' $A_2$ —une discontinuité texturale et structurale entre les horizons A et B.

Cette discontinuité facilite l'enlèvement mécanique de l'ensemble de cette mince tranche d'horizons lessivés. Alors que le ruissellement diffus sur la surface encroûtée des horizons superficiels n'assure que de très faibles enlèvements de matière, c'est cette ablation, par plages, de la totalité de ces horizons qui représente l'enlèvement mécanique le plus essentiel pour l'évolution de la surface de ces pédiments.

Ces ablations localisées, peu limitées par la végétation, laissent sur place les éléments les plus grossiers déjà accumulés différentiellement à la base de l' $A_2$  et donne ainsi à la surface érodée l'aspect d'un "reg de dissociation" (hydrique). Les dépôts qui se réalisent à courte distance et généralement sur des plages déjà érodées peuvent contribuer à fournir un matériel dans lequel se différencient de nouveaux horizons supérieurs. En raison de ce "transit" superficiel de matériel résiduel fin sur le pédiment, certains horizons supérieurs des Solonetz Solodisés peuvent donc être considérés comme non strictement autochtones. Cependant ces actions mécaniques de transport ne font qu'affiner le tri d'une partie d'un matériel pédologiquement élaboré et reproduire ainsi une distribution de matériaux, favorable à la reprise de cette différenciation.

En tenant compte également des migrations subsuperficielles—qui sont peut-être géochimiquement les plus importantes à l'échelle du paysage—on peut donc considérer que par la nature et les modalités de déplacement des produits transitant sur le pédiment, la morphogénèse actuelle de celui-ci est subordonnée à la différenciation pédologique superficielle en Solonetz Solodisés.

TABLEAU 1  
DISTRIBUTION DES POURCENTAGES MOYENS DES MINÉRAUX ARGILEUX DANS LES MATÉRIAUX  
ORIGINELS (PAQUET, BOCQUIER ET MILLOT 1967)

|                 | Zone de raccordement "knick" | Pédiment s.s.      |              | Plaine basse |
|-----------------|------------------------------|--------------------|--------------|--------------|
|                 |                              | Partie haute       | Partie infér |              |
| Kaolinite       | 50                           | 30                 | 30           | 30           |
| Illite          | 50                           | 20                 | 10           |              |
| Montmorillonite |                              | 50                 | 60           | 70           |
|                 | Sols lessivés profonds       | Solonetz Solodisés |              | Vertisols    |

Ainsi l'étude de cette différenciation pédologique peut rendre compte de la plus grande partie de la dynamique actuelle de cette biogéocénose correspondant à un abaissement du "front de solodisation" sensiblement parallèle à la surface topographique interne.

D'autre part, la solodisation apparaît secondaire à l'élaboration du matériau originel dont elle fige les caractères particuliers en appauvrissant

et en raccourcissant le régime hydrique. Mais ce matériau originel—actuellement inerte—présente des caractères d'horizons B: accumulation de sodium, variations verticales de la structure, séquences des formes d'immobilisation des carbonates; il accuse également une variation générale le long de la pente dans la teneur et la composition de sa fraction argileuse qui, par comparaison à celles des autres éléments du modelé, est schématiquement comme dans le Tableau 1.

Ces caractéristiques du matériau originel ne correspondant pas à la dynamique actuelle de cette biogéocénose, il est apparu nécessaire de les étudier comparativement à celles existant dans les matériaux et les sols des biogéocénoses voisines et notamment dans la biogéocénose qui lui est immédiatement supérieure:

#### LA BIOGÉOCÉNOSE DE LA ZONE DE RACCORDEMENT DU PÉDIMENT AU RELIEF GRANITIQUE RÉSIDUEL (KNICK)

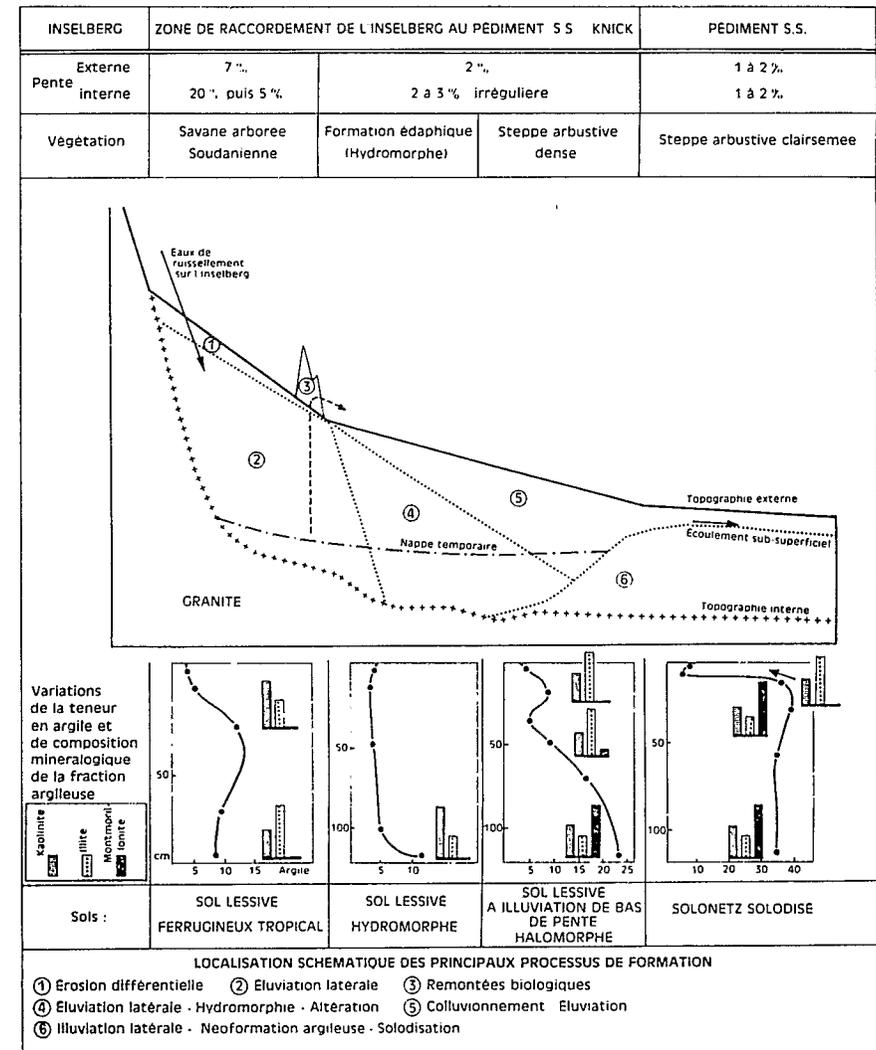
Incomparablement plus complexe que celle du pédiment s.s., elle peut être caractérisée par:

- de faibles dimensions: (quelques dizaines à quelques centaines de mètres de longueur)
- une pente externe concave, plus forte que celle du pédiment (composée en fait de deux pentes, successivement de l'ordre de 7 puis 2 %). La pente de la surface topographique "interne" est très différente: d'abord forte et convexe dans le prolongement de la paroi de l'inselberg (20 à 25 %), elle devient rapidement concave (5 %), très irrégulière, puis se raccorde à la pente faible du pédiment s.s. (1 à 2 %)
- un régime hydrique temporairement excédentaire par des apports externes importants dûs au ruissellement sur les pentes fortes de l'inselberg. S'infiltrant pour la plus grande part dans la partie supérieure perméable du knick, ces eaux le traversent pour s'accumuler au contact du pédiment en une nappe temporaire qui s'épuisera principalement par évapotranspiration. Ces excédents d'eau par apport latéral ont pu être estimés à environ 50 % de la pluviométrie (Clavaud 1967). Malgré les pentes relativement élevées, le ruissellement superficiel est limité par les perméabilités de surface et la végétation.

—des activités biologiques beaucoup plus importantes que sur le pédiment s.s.: ainsi trois formations végétales se succèdent de haut en bas du knick: une savane arborée soudanienne à strate graminéenne haute mais irrégulière, une formation arborée et arbustive édaphique liée à l'existence de la nappe temporaire à faible profondeur, une steppe arbustive sahélienne à strate graminéenne discontinue et courte. La limite entre les deux premières formations végétales est jalonnée par la présence de termitières.

—une séquence de différenciations pédologiques apparaissant particulièrement complexe mais dominée en fait par des migrations internes latérales liées à ce régime hydrique. Trois types principaux de différenciation ont pu être identifiés sur une aussi courte distance,

SCHEMA DES CARACTERISTIQUES GENERALES DU HAUT DE PEDIMENT



en recherchant—verticalement et latéralement—les principales relations génétiques pouvant exister entre les différents horizons. Schématiquement, ces différenciations sont successivement les suivantes:

1. Sol érodé lessivé, verticalement et latéralement, à caractère Ferrugineux Tropical. Il est développé dans un matériau correspondant à des horizons B et à la zone d'altération d'un Sol Ferrugineux Tropical lessivé. En surface, par départ latéral d'éléments fins, s'accumulent différenciellement des graviers quartzeux et felds-

pathiques. L'intensité du lessivage—portant principalement sur les argiles (kaolinite, illite) et les sesquioxydes—augmente vers la base du profil jusqu'au contact de la roche non altérée à pente forte. Il n'y a pas d'horizon d'accumulation.

2. Sol lessivé, verticalement et latéralement, à caractère Hydromorphe. Le lessivage intense intéresse la totalité du profil constitué d'un matériau résiduel grossier quartzeux et feldspathique. Dans les horizons humifères superficiels la texture est plus fine en relation avec des remontées biologiques et des apports par ruissellement. Les horizons lessivés sont caractérisés par une discrète accumulation discontinue en raies (argile, sesquioxydes) et au contact de la zone d'engorgement temporaire de la nappe par une légère immobilisation des sesquioxydes. Le passage à la roche altérée est brutal et souligné par un début d'illuviation argileuse au contact du type de sol suivant. L'altération correspond principalement à une intense désagrégation avec dégradation préférentielle des ferromagnésiens et conservation avec les quartz, des feldspaths devenus blancs et friables. Les seuls minéraux argileux identifiés dans cette zone sont la kaolinite et l'illite dans des proportions variables.
3. Sol lessivé à horizons d'accumulation de bas de pente, à caractère Halomorphe (Solod de nappe, Solonetz Solodisé profond). Les horizons lessivés, différenciés dans des matériaux en partie colluviaux, présentent progressivement des épaisseurs de plus en plus faibles devenant équivalentes à celles des Solonetz Solodisés du pédiment. Le passage entre la base de l'A<sub>2</sub> et le front de solodisation (à structure prismatique) est brutal car il devient le siège comme sur le pédiment d'une circulation latérale. La solodisation apparaît au sommet des horizons d'accumulation de bas de pente enrichis latéralement en argile, sesquioxydes, carbonates et bases, dont le sodium en quantité importante (Na/T de 6 à 13 %). Cette illuviation latérale, soulignée par d'abondants revêtements argileux, est manifeste aussi bien dans un matériel colluvial assez fin que dans un matériel graveleux de désagrégation et elle pénètre jusqu'au granite non altéré. Les hydroxydes sont immobilisés sous forme de ségrégations et de fines concrétions sphériques, caractéristiques des milieux saturés. Les carbonates s'immobilisent également sous diverses formes en relation avec les fluctuations de la nappe temporaire. Dans la fraction argileuse des horizons illuviaux, on identifie une dominance de montmorillonite par rapport à la kaolinite et l'illite, alors que vers la surface cette montmorillonite se dégrade et disparaît par solodisation comme dans les Solonetz Solodisés.

La dynamique et l'évolution de cette biogéocénose peuvent être schématiquement présentées ainsi :

Le "knick" est le siège d'intenses migrations latérales internes dues à l'infiltration d'eaux additionnelles superficielles. Sur une courte distance s'opère une forte éluviation—surtout argileuse—puis une illuviation en

bas de pente qui—en limitant le drainage interne latéral (et vertical)—est à l'origine de l'établissement d'une nappe temporaire. Celle-ci entretient localement l'altération du granite la plus intense de tout le pédiment, précisément au pied de l'inselberg. En s'épuisant—principalement par évapotranspiration—cette nappe assure une concentration d'éléments solubles et de bases dans la zone illuviale.

Dans les zones d'éluviation et d'altération du knick, seules la kaolinite et l'illite sont présentes et migrent latéralement; l'apparition de la montmorillonite dans la zone d'illuviation argileuse de bas de pente, colmatée et enrichie également en sesquioxydes, bases et sels, est interprétée comme une néoformation argileuse dans ce milieu, alors que les kaolinites et illites y sont principalement héritées et illuviales: les montmorillonites ainsi formées sont ferrifères et sodiques de la série nontronite-beidellite (Nagelschmidt, 1944, Paquet, Bocquier et Millot 1966, Trauth, Paquet, Lucas et Millot 1967).

Ainsi, la comparaison de ces horizons illuviaux de la base du knick avec le matériau originel inerte observé sur tout le pédiment s.s., montre des analogies certaines aussi bien pour la composition minéralogique de la fraction argileuse que pour des caractéristiques d'horizons B ou pour le type de passage à la roche non altérée. Ce matériau originel du pédiment s.s. peut donc être considéré comme représentant d'anciens horizons illuviaux résultant de l'action de processus sensiblement analogues à ceux qui définissent actuellement toute la dynamique d'ensemble de cette biogéocénose du knick.

Les matériaux dans lesquels s'opèrent les diverses différenciations du knick, sont particulièrement complexes car, s'ils dérivent presque généralement de la seule altération de la roche mère sous-jacente, leurs caractères et leur distribution résultent d'une manière interdépendante des migrations différentielles internes, des actions biologiques et des déplacements mécaniques de surface. Ces derniers, bien que secondaires à la dynamique interne du knick, maintiennent la forte perméabilité de la partie supérieure du knick par l'enlèvement différentiel des éléments fins des horizons de surface; ils assurent ensuite le ruissellement diffus superficiel par l'épandage de ces éléments fins ainsi que des remontées biologiques et amorcent en bas de pente le transit de surface lorsque s'établit sur le pédiment s.s. un écoulement subsuperficiel.

Ainsi apparaissent des relations génétiques très particulières entre ces deux ensembles dynamiques du knick et du pédiment s.s.

#### CONCLUSIONS

Au point de vue pédogénétique, l'existence de cette séquence signifierait que dans ce milieu tropical, la solodisation puisse résulter directement d'un mode original de concentration et d'accumulation localisées de sels et de sodium à l'échelle du paysage plutôt qu'à l'échelle du profil. Par comparaison avec la théorie classique de la genèse des sols solodisés par désalinisation verticale superficielle et alcalisation progressive du complexe

absorbant, on pourrait admettre que ce type de sols solodisés tropicaux résulte d'une désalinisation latérale interne d'un milieu voisin, relativement pauvre en sels solubles: l'accumulation et la concentration qui se réalisent dans des zones illuviales favorables à des néoformations argileuses, sont donc liées à la formation et à l'évolution de ces zones illuviales dans le modelé.

Au point de vue morphogénétique, c'est vraisemblablement sur les bases:

- d'une part de cette liaison entre milieu éluvial et d'altération du knick et milieu illuvial et de dégradation du pédiment;
- d'autre part des possibilités de déplacements relatifs de ces deux milieux dans le paysage (remontée des zones illuviales le long du pédiment), qui peuvent être conditionnées soit par leur autodéveloppement, soit par l'intervention de facteurs généraux externes (variations climatiques, abaissement du niveau de base),

que l'on pourrait introduire une nouvelle hypothèse concernant l'évolution sinon la formation de ce type de pédiment, pour lequel les actions mécaniques superficielles sont apparues secondaires et subordonnées à une biogéodynamique surtout interne et particulièrement complexe.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Biro, P. et Dresch, J. (1966)—Pédiments et glaciers dans l'Ouest des Etats-Unis. *Annls. Geogr.* 411, 513-552.
- Bocquier, G. (1964)—Présence et caractères de Solonetz Solodisés tropicaux dans le bassin tchadien. *Trans. 8th Congr. Int. Soil Sci. Soc.*, Bucharest V, 687-695.
- Butler, B. E. (1959)—Periodic phenomena in landscapes as a basis for soil studies. *Soil Publ. CSIRO Aust.* 14.
- Clavaud, G. (1967)—Carte pédologique au 1/50.000 du bassin versant du Bam Bam établie en vue d'un essai de définition d'unités à comportements hydrologiques différents. *ORSTOM. Fort Lamy. Doc. inédit.* 39 p. dacty.
- Glazovskaya, M. A. (1966)—Principles for classifying soils of the world. *Pochvovedenie* 1966 (8), 1-22.
- Hallsworth, E. G. and Waring, H. D. (1964)—Studies in pedogenesis in New South Wales—VIII. An alternative hypothesis for the formation of the Solodized-solonetz of the Pilliga district. *J. Soil Sci.* 15, 158-177.
- Nagelschmidt, G. (1964)—The mineralogy of soil colloids. *Tech. Commun. imp. Bur. Soil Sci.* 42.
- Nikiforoff, C. C. (1949)—Weathering and soil evolution. *Soil Sci.* 67, 219-230.
- Paquet, H., Bocquier, G., Millot, G. (1966)—Néoformation et dégradation des minéraux argileux dans certains Solonetz Solodisés et Vertisols du Tchad. *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.* 19, 295-322.
- Rode, A. A. (1947)—"The soil forming process and soil evolution." (Israel Program for Scientific Translations. Jerusalem 1961).
- Trauth, N., Paquet, H., Lucas, J. et Millot, G. (1967)—Les montmorillonites des vertisols lithomorphes sont ferrifères: conséquences géochimiques et sédimentologiques. *C.R. heb. Séanc. Acad. Sci., Paris* 264, 1577-1579.

#### RÉSUMÉ

Aux trois éléments du modelé de certains pédiments granitiques du bassin tchadien, correspondent des différenciations pédologiques, des

matériaux originels, des types d'altération et des activités biologiques particulières, qui composent des systèmes biogéodynamiques interdépendants ("Biogéocénoses").

L'étude de deux de ces biogéocénoses (pédiment proprement dit et zone de raccordement à l'inselberg) montre que la solodisation, qui affecte la surface de tout le pédiment s.s. et qui règle les modalités de sa morphogénèse actuelle, est liée à une accumulation du sodium par migration latérale dans d'anciens horizons illuviaux.

Une accumulation analogue de sodium ainsi qu'une intense illuviation d'argile et de sesquioxides se réalisent actuellement et sur une très courte distance dans la biogéocénose voisine de la zone de raccordement du pédiment s.s. à l'inselberg ("knick"). Cette migration d'argile, de type kaolinite et illite, conduit à la formation, à la base du knick, d'horizons illuviaux également enrichis en sesquioxides, bases et sels, et dans lesquels la montmorillonite serait néoformée.

Les analogies existantes entre ces horizons illuviaux de la base du knick et les anciens horizons illuviaux constituant le matériau originel des Solonetz Solodisés du pédiment s.s., suggèrent une nouvelle hypothèse concernant l'évolution morphogénétique de ces pédiments granitiques.

#### SUMMARY

The pedological differentiations of the original materials, the types of alteration and the special biological activities, which make up the interdependent biogeodynamic systems, correspond to three elements in the relief of certain granite pediments in the Chad basin.

The study of two of these biogeocénoses (the pediment proper and its junction zone with the inselberg) shows that the solodisation which affects the whole surface of the pediment proper and which controls the conditions of its present morphogenesis, is bound up with an accumulation of sodium by lateral migration in old illuvial horizons.

An analogous sodium accumulation as well as an intense illuviation of clay and sesquioxides is at present taking place over a very short distance in the neighbouring biogeocénosis of the junction zone of the pediment proper with the inselberg (the knick). This migration of kaolinite and illite clays leads to the formation, at the base of the knick, of illuvial horizons which are also enriched in sesquioxides, bases and salts and in which montmorillonite could be newly formed.

Existing analogies between these illuvial horizons at the base of the knick and the old illuvial horizons, which form the original material of the solidized solonetz of the pediment proper, suggest a new hypothesis for the morphogenetic evolution of these granite pediments.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Den drei Elementen des Reliefs einiger Granit-Pedimente des Tchad-Beckens entsprechen pedologische Unterschiede der Ausgangsmateriale, der

Verwitterungsarten und der besonderen biologischen Tätigkeiten, welche biogeodynamische eng zusammenhängende Systeme bilden (:“Biogeozenose”).

Die Untersuchung von zwei dieser Biogeozenosen (der eigentliche Pediment und die Verbindungszone mit “Inselberg”) hat gezeigt, dass die Solodisation, welche die Oberfläche des gesamten Pediments beeinflusst und die Modalität ihrer gegenwärtigen Morphogenesis regelt, mit einer Natriumakkumulation durch Seitenwanderung in alten Illuvialhorizonten verbunden ist.

Eine ähnliche Natriumanreicherung sowie eine starke Ton- und Sesquioxiddilluviation entsteht auf kurzer Entfernung in der “Biogeozenose” neben der Verbindungszone des Pediments mit Inselberg (“Knick”). Diese kaolinit- und illitartige Tonwanderung führt zur Bildung von knickartigen illuvialen Horizonten, ebenfalls angereichert in Sesquioxiden, Basen und Salze, und in welchen der Montmorillonit neugebildet zu sein scheint.

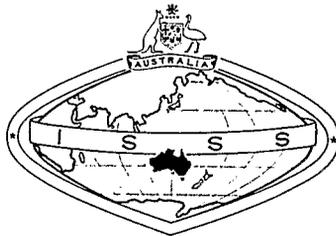
Die Analogien zwischen den knickartigen Illuvialhorizonten und den alten Illuvialhorizonten, welche das Ausgangsmaterial des solodierten Solonetzes des Pediments bilden, deuten auf eine neue Hypothese hinsichtlich der morphogenetischen Entwicklung dieser Granit-Pedimente hin.

9th INTERNATIONAL CONGRESS  
OF SOIL SCIENCE

# TRANSACTIONS

ADELAIDE, AUSTRALIA, 1968

In Four Volumes  
VOLUME IV



INTERNATIONAL SOCIETY OF SOIL SCIENCE  
AND  
ANGUS AND ROBERTSON

8702 ex 1