

10ème congrès international de la  
science du sol. Moscou. 1974

DIFFERENCIATION PEDOLOGIQUE ET GEOCHIMIQUE DANS  
DES PAYSAGES AFRICAINS, TROPICAUX ET MEDITERRANEENS. LA PEDO-  
GENESE LATERALE REMONTANTE

G. Bocquier, G. Millot, A. Ruellan  
Office de la Recherche Scientifique et Technique  
Outre-Mer, Bondy,  
Institut de Géologie, Strasbourg,  
France

En Afrique, de la Méditerranée aux tropiques humides, les sols ont d'abord été considérés comme des systèmes dynamiques verticaux. Ceci a permis de les définir (Aubert, 1964; D'Hoore, 1964; Murdoch, 1964; Van der Merve, 1941). Ensuite, la cartographie a montré que deux ou plusieurs types de sols se succèdent souvent d'une manière ordonnée le long des pentes (Morison et al., 1948; Nye, 1959; voir aussi note présentée au Congrès par Gavaud, Boulet et Leveque). Des études récentes (Delvigne, 1965; Bocquier, Paquet, Millot, 1970; Ruellan, 1970; Bocquier, 1971; Boulet et Paquet, 1972) nous ont montré que ces sols ordonnés sont liés génétiquement et historiquement dans des systèmes à dynamique latérale; de nouvelles relations ont alors été mises en évidence entre les pédogenèses, la géochimie des paysages, l'évolution des minéraux argileux, la formation des modes-

1. - Succession ordonnée des types de sols dans les  
toposéquences

Nous donnerons deux exemples:

- Dans le massif central du Tchad (fig. 1), en région tropicale à saisons contrastées, quatre types de sols s'ordonnent en anneaux concentriques autour des inselbergs: sols éluviaux sans horizons B puis à horizons B, sols planosoliques, solonetz solodisés, vertisols (Bocquier, 1971).

- En région méditerranéenne, au Maroc (fig. 2), l'accumulation des carbonates, dans des sols disposés sur un versant alluvial, prend

successivement, de l'amont vers l'aval, les formes suivantes: amas, granules, nodules, encroûtements non feuilletés, croûtes, dalles (Ruellan, 1970). De telles successions ordonnées ont été maintes fois observées.

2. - La différenciation pédologique en horizons est aussi  
bien latérale que verticale

Au Tchad, à la superposition verticale de deux horizons  $A_2$  et B argilique (sequum) correspond un même ensemble latéral, éluvial à l'amont, illuvial à l'aval. De même à des polysequums verticaux ( $A_2$ , B,  $A'_2$ , B') correspondent latéralement des séquences identiques d'horizons (fig. 1).

Au Maroc, la séquence verticale des accumulations, du bas vers le haut, est la même que celle décrite ci-dessus de l'amont vers l'aval (fig. 2): ainsi une accumulation nulle, puis discontinue, caractérise la base des profils et le haut des toposéquences, tandis qu'une accumulation intense et continue caractérise le sommet des profils (sous l'horizon A) et la partie aval des toposéquences.

D'une façon plus générale, on constate que les horizons éluviaux dominent à l'amont, alors que les horizons illuviaux dominent à l'aval. Entre ces deux ensembles, il y a une limite continue, elle est profonde à l'amont, voisine de la surface à l'aval; elle est généralement irrégulière et dessine parfois des marches d'escalier qui la remontent vers la surface en allant vers l'aval. Cette limite signifie clairement que, de part et d'autre de son tracé, il y a différenciation pédologique: cette différenciation, très nette, est à la fois verticale et latérale.

3. - Succession dans le temps. Accumulation  
remontante

Au Tchad, l'observation micromorphologique montre la présence dans les horizons B argiliques, de nodules d'hydroxydes avec squelette apical qui sont spécifiques des horizons  $A_2$ . Ce fait, parmi d'autres, prouve que l'illuviation a envahi des horizons  $A_2$ : cette invasion est remontante, verticalement vers la surface et latéralement vers l'amont. L'illuviation n'envahit d'ailleurs pas les horizons  $A_2$  sur toute leur épaisseur: ainsi subsistent, dans une succession d'horizons B, des parties d'horizons  $A_2$ , dénommées alors  $A'_2$  et ceci explique la genèse des profils à polysequum.

O. R. S. T. O. M.

Collection de Références

n° 860S

5 AVR. 1977

222  
Pedo

Au Maroc, on peut montrer qu'en un lieu donné, l'accumulation calcaire est passée par les stades successifs d'amas, granules, nodules, encroûtements non feuilletés, croûte, dalle. Les successions verticales, latérales et chronologiques sont donc les mêmes.

Les successions dans l'espace, d'horizons de plus en plus illuviaux, existent donc aussi dans le temps et il y a accumulation remontante le long des versants : ceci a été confirmé par des datations absolues au  $C_{14}$  de nodules carbonatés dans des positions amont et aval. Les formes d'accumulation (argileuses, calcaires, ferrugineuses) envahissent ainsi les anciens domaines éluviaux en remontant dans les profils et dans les paysages.

#### 4. - Différenciation pédologique et différenciation géochimique dans les paysages. Autodéveloppement.

Dans l'exemple tropical du Tohad, aux horizons éluviaux correspondent des accumulations relatives en minéraux primaires, la néoformation de kaolinite et une certaine immobilisation des hydroxydes. Aux horizons B de profondeur et aux profils de l'aval, correspondent des accumulations absolues de kaolinite illuviale, puis de montmorillonite transformée ou néoformée (Paquet, 1969), enfin des immobilisations de carbonates, puis de sels solubles.

Dans l'exemple méditerranéen et calcaire du Maroc, aux horizons et profils de l'amont avec accumulation relative de minéraux argileux plus ou moins dégradés, succèdent à l'aval les accumulations absolues de carbonates accompagnées de montmorillonite néoformée, puis d'attapulgite ou de sépiolite, enfin de sels (Millet, Paquet et Ruellan, 1969).

Il y a donc interdépendance entre les différenciations pédologiques et géochimiques. Dans le cas général, les accumulations absolues de l'aval sont ordonnées à la fois dans les successions verticales et horizontales des horizons, et la séquence générale des accumulations est la suivante: minéraux primaires détritiques, gibbsite, kaolinite, hydroxydes, montmorillonite, carbonates, attapulgite et sépiolite, sels, silicates alcalins.

Enfin, il apparaît que ces systèmes possèdent des propriétés d'autodéveloppement. Ceci veut dire que, par le seul effet de leur dynamique, et en l'absence de tout changement des facteurs externes (variations climatiques et tectoniques), ces systèmes biogéodynamiques voient s'entretenir l'éluviation amont et l'illuviation aval,

avec remontée des successions aval vers l'amont. En effet, une accumulation, dès qu'elle est réalisée en profondeur et en aval du système, tend à fermer les issues aval de ce système et modifie donc les conditions de l'amont, tout en constituant un piège plus ou moins efficace suivant la nature de ses constituants. Cette barrière provoque à son amont d'autres accumulations. Et le phénomène s'entretient par autodéveloppement dans une évolution remontante.

#### 5. - La séquence climatique des paysages biogéochimiques

On peut aujourd'hui ne plus caractériser un paysage et son climat par un type de sol, mais par le système biogéodynamique qui y habite. Chaque système se définit par les successions verticales et latérales des organisations pédologiques, mais aussi par l'association géochimique de ses accumulations relatives de l'amont et absolues de l'aval. Ainsi:

- A l'équateur, la gibbsite s'accumule relativement à l'amont (allitisation), et la silice évacuée entretient une kaolinisation aval (monosiallitisaiton) qui freine le drainage et envahit l'amont.

- En domaine tropical humide, la monosiallitisaiton entretient à l'amont l'accumulation relative de kaolinite. En bas de pente, il y a illuviation kaolinique. Et celle-ci crée à son amont des conditions qui favorisent la migration et l'accumulation absolue des hydroxydes: c'est le phénomène de cuirassement, qui épigénise des organisations éluviales et progresse en remontant vers l'amont.

- En domaine tropical sec, l'association est celle de la kaolinite amont et de la montmorillonite aval, qui tend à envahir le paysage.

- En climat plus aride, la bisiallitisaiton est généralisée et des accumulations absolues de calcaire se manifestent à l'aval.

- Avec une aridité plus grande encore, on assiste à la naissance de l'attapulgite au sein des encroûtements calcaires. Puis c'est, en domaine désertique, l'apparition des dernières paragenèses, avec les concentrations salines et la néoformation de silicates alcalins.

Il y a donc convergence entre la séquence générale des accumulations dans un paysage de l'aval vers l'amont, et la séquence climatique des paysages de l'humide vers l'aride.

6. - Biogéodynamique et géomorphologie inter-tropicale

Les migrations latérales de matière, et les organisations pédologiques, qui en résultent, exercent un contrôle sur le façonnement des versants. En pays équatorial, la dissolution géochimique interne est dominante et façonne le relief en coupoles. En régions tropicales à saisons contrastées, les modelés sont des associations de flancs convexes puis concaves; l'évolution des versants est marquée par leur recul, avec déplacement de la rupture de pente vers l'amont, et par leur aplanissement; au Tchad, il y a précisément, à la rupture de pente, redistribution latérale et interne de matière, et déplacement du front d'accumulation vers l'amont: recul et aplanissement peuvent donc correspondre à l'invasion remontante des accumulations plutôt qu'aux seules actions superficielles d'érosion et de sédimentation. En climat aride par contre, les accumulations devenant de plus en plus superficielles, elles commandent des écoulements et transports mécaniques de surface qui deviennent prédominants en région subdésertique.

B i b l i o g r a p h i e

- Aubert G. Int. Congr. Soil Sci., Bucarest, vol. I, 213-228, 1964.  
Bouquier G., Paquet H., Millot G. C.R. Acad. Sci. Fr., t. 270, 460-463, 1970.  
Bouquier G. Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Mém. ORSTOM, Paris, à paraître. 1971.  
Boulet R. et Paquet H. C.R. Acad. Sci. Fr., t. 275, 1203-1206. 1972.  
Delvigne J. Mém. ORSTOM, 13, Paris, 177, 1965.  
Gavaud M., Boulet R., Leveque A. Les couvertures de sols soudano-sahéliens du Tchad au Sénégal. Principes successifs de caractérisation et d'interprétation. Communication au 10<sup>e</sup> Congrès Int. de la Science du Sol, Moscou. 1974.  
DiHoore J. La carte des sols d'Afrique à 1/5.000.000ème. Mémoire explicatif. CCTA. Publ. Lagos, 93, 210, 1964.  
Millot G., Paquet H. et Ruellan A. C.R. Acad. Sci. Fr., 268, 2771-2774. 1969.  
Morison C.G.T., Hoyle A.C., Hope Simpson J.F. J.Ecol., 36, 1, 84, 1948.  
Murdoch G. Sols Afr., vol. XI, 1, 127-135. 1964.

Nye P.H. J. Soil Sci., 6, 63-72.

Paquet H. Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées. Thèse Sci. Strasbourg et Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., France, 30, 1970, 210.

Ruellan A. Mém. ORSTOM, 54, Paris, 302, p. 1970.

Van Der Merwe C.R. Dep. of Agri., Pretoria, Series, 165, 316, 1941.

Résumé

En Afrique, les sols ordonnés sur les versants sont liés génétiquement et historiquement dans des systèmes biogéodynamiques, à dynamique verticale et latérale. Ceci est démontré par l'identité de la succession des organisations pédologiques, dans l'espace (du bas vers le haut des sols et de l'amont vers l'aval des versants) et dans le temps. Cette succession résulte d'une invasion remontante, verticale et latérale, des horizons illuviaux dans des horizons éluviaux. Dans ces systèmes qui s'auto-développent, il y a interdépendance des différenciations pédologiques et géochimiques; il y a par ailleurs convergence entre la séquence générale des accumulations dans les paysages, de l'aval vers l'amont, et la séquence climatique des systèmes, de l'humide vers l'aride. Enfin, les migrations latérales de matière et les organisations pédologiques qui en résultent contrôlent le façonnement des versants.

Summary

In Africa, the soils systematically distributed on the slopes are genetically and historically bound into biogeodynamic systems with vertical and lateral dynamics. This is pointed out by the similarity of the successions of pedologic organizations in space (from the bottom toward the top of the profiles and from upslope toward downslope in the landscapes) and in time. These successions result from a vertical and lateral ascending invasion of the illuviated horizons into eluvial ones. In these "self-developing" systems, there is an interconnection between pedologic and geochemical differentiations; there is otherwise a convergence between the general sequence of the accumulations in the landscapes, from downslope toward upslope, and the climatic sequence of the systems, from the humid zones toward the arid ones. Finally, the lateral migrations of matter and the resulting pedologic organizations control the shaping of the slopes.

### Zusammenfassung

In Afrika sind die an den Hängen regelmässig übereinander folgenden Böden genetisch und geschichtlich verbunden in biogeodynamischen Systemen mit senkrichter und seitlicher Dynamik. Als Beweis dafür gelten die identischen Abfolgen der pedologischen Organisationen über Zeit und Raum (von unten nach oben in den Böden und talwärts an den Hängen). Diese Abfolgen resultieren aus einer aufsteigenden senkrechten und seitlichen Invasion der Illuvial - in die Eluvial-horizonte. In diesen sich selbst entwickelnden Systemen besteht eine gegenseitige Abhängigkeit zwischen den pedologischen und geochemischen Differenzierungen. Ausserdem besteht eine Konvergenz zwischen der allgemeinen Akkumulationssequenz in der Landschaft (von den tieferen zu den höheren Lagen) und der Klimasequenz der Systeme (von den feuchten zu den trockenen Zonen) Schliesslich sind seitliche Stoffmigration und die daraus entstehenden pedologischen Organisationen für die Hanggestaltung bestimmend.

### Резюме

В Африке закономерные ряды почв на склонах генетически и исторически связаны в биогендинамические системы с определенным типом вертикальной и латеральной миграции веществ. Это доказывается сходством типа профиля почв и почвенных рядов на склонах в пространстве (в почвах - снизу вверх по профилю и в ландшафтах - от вершины до подножия склонов) и времени. Ряды почв на склонах образуются в результате вертикального и латерального роста вверх иллювиальных горизонтов и их внедрения в элювиальные. В этих саморазвивающихся системах существует взаимосвязь почвенных и геохимических процессов дифференциации, кроме того, на закономерности аккумуляции веществ на склонах накладываются закономерности, связанные с изменением климата от гумидных зон к аридным. Латеральные миграции веществ и образующиеся в результате этого почвы и ряды почв на склонах контролируют процессы формирования склонов.

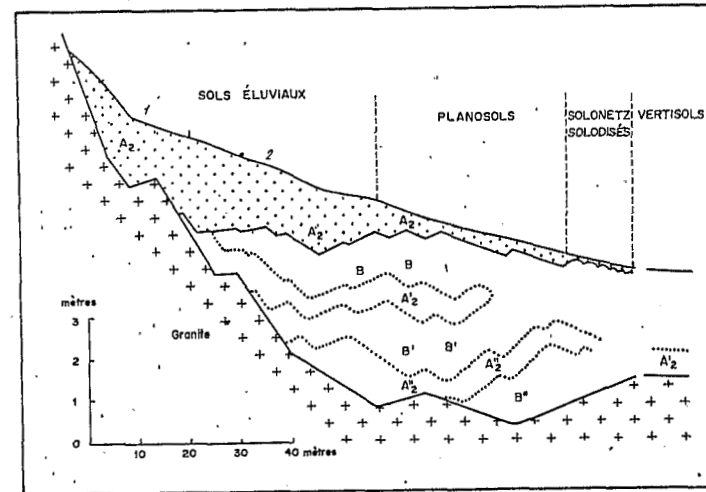


Fig. 1. Toposéquence sur granite en pays tropical à saisons contrastées (Tchad)  
Succession ordonnée des types de sols. Différenciation verticale et latérale des horizons.

1 - sans horizons B; 2 - avec horizon B.

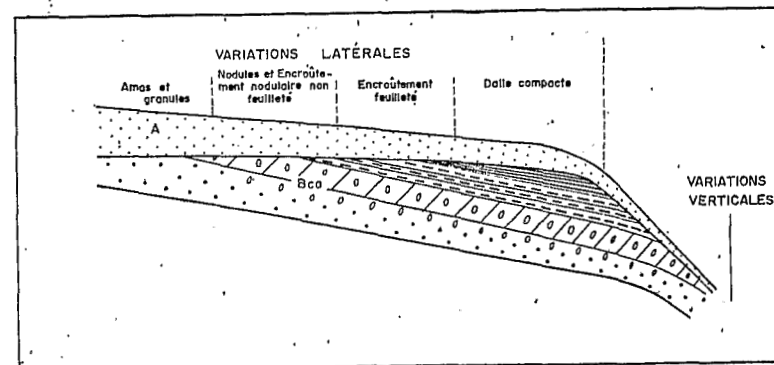


Fig. 2. Toposéquence sur alluvions en pays méditerranéen (Maroc)  
Analogie des variations verticales et latérales dans l'accumulation calcaire.