

GÉOCHIMIE. — *Un nouveau type d'accumulation oblique dans les paysages géochimiques : l'invasion remontante de la montmorillonite.* Note (\*) de M. **Gérard Bocquier**, M<sup>lle</sup> **Hélène Paquet** et M. **Georges Millot**, présentée par M. Marcel Roubault.

En pays tropical et subtropical à saisons alternées, la montmorillonite se forme en aval des séquences de sols, à partir des produits d'hydrolyse de l'amont. A climat constant, son accumulation est entretenue et remontante dans les paysages.

I. DEUX SÉQUENCES DE SOLS AU TCHAD. — Les séquences étudiées [(<sup>1</sup>), (<sup>2</sup>), (<sup>3</sup>)] appartiennent à la zone climatique sahélo-soudanaise : pluviosité de 850 mm, saison sèche de 8 mois, température moyenne annuelle de 29 °C.

1. *La séquence de Kosselili* est typique du paysage granitique à inselbergs du Massif du Guéra. En auréole sur 200 m, autour de l'inselberg et sur une pente de 3 %, la succession (*fig.*) est la suivante :

— *Sols ferrugineux tropicaux lessivés* : fraction argileuse composée de biotite fine et de kaolinite ; — *Sols planosoliques* : interstratifiés (10-14<sub>M</sub>)-M qui s'ajoutent à la biotite et kaolinite dans ces horizons A amincis et dans le sommet des horizons B ; montmorillonite à la base des horizons B ; — *Solonetz solodisés* : interstratifiés limités aux très minces horizons A ; montmorillonite dominante à la partie supérieure des horizons B ; — *Vertisols* à l'aval : montmorillonite dominante.

2. *La séquence de Mindera* est développée sur les alluvions sablo-argileuses quaternaires de la plaine du Logone-Chari. Entre une faible crête sableuse et la plaine d'inondation, avec une pente de 1 %, se succèdent à nouveau sur 120 m : *sols ferrugineux tropicaux lessivés, planosols, solonetz solodisés et vertisols.*

Les minéraux argileux présents sont : kaolinite, illites plus ou moins ouvertes, interstratifiés gonflants I-(10-14<sub>M</sub>)-M et (10-14<sub>M</sub>)-M et montmorillonite. De l'amont vers l'aval, les horizons lessivés A s'enrichissent en interstratifiés et les horizons B en montmorillonite, qui devient dominante dans les vertisols.

3. Il y a *opposition de deux milieux géochimiques* dans ces deux séquences comparables malgré la différence des roches mères :

— *Un milieu géochimique lessivant*, hydrolysant, désaturé, appauvri en silice et en bases, qui caractérise la totalité des sols lessivés de l'amont et les horizons lessivés de l'aval, jusqu'aux vertisols. La kaolinite s'y forme et les minéraux micacés s'y dégradent. Seuls des hydroxydes (Fe, Mn) s'accumulent localement sous forme de nodules.

— *Un milieu géochimique confinant*, alcalin, qui caractérise les horizons d'accumulation de la partie aval et la totalité des vertisols. La montmorillonite y apparaît, soit par transformation des minéraux micacés, soit par néoformation à partir des ions en solution [(<sup>2</sup>), (<sup>4</sup>)]. Le calcaire s'accumule à l'aval sous forme de nodules.

— Les minéraux interstratifiés se situent à la frontière de ces deux milieux.

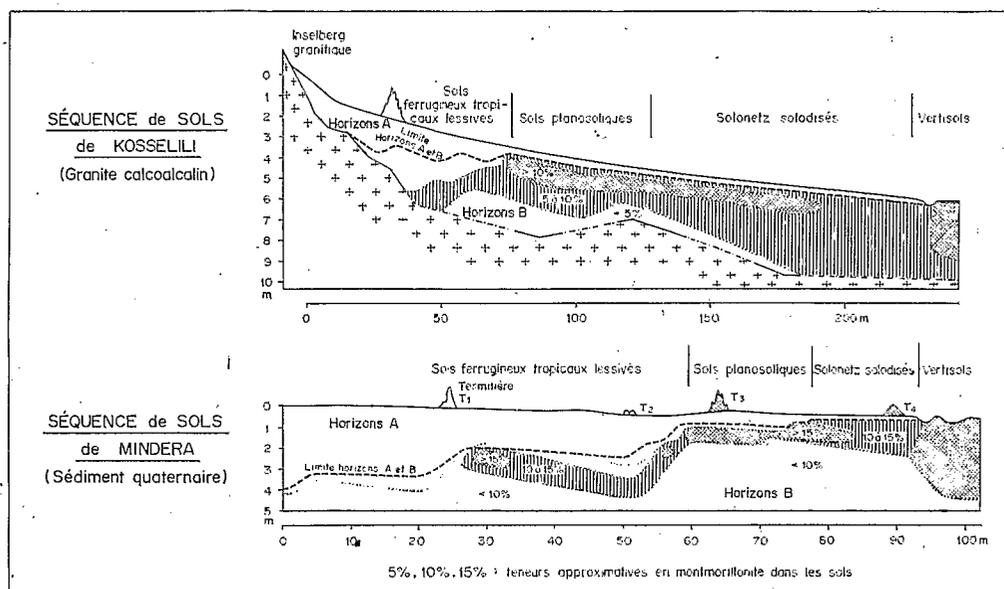
20 AVR. 1970

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

Collection de Référence

n° 13955 ex 1

II. DIFFÉRENCIATION BIOGÉODYNAMIQUE LATÉRALE PAR MIGRATIONS OBLIQUES. — Types de sols, minéraux argileux et milieux géochimiques présentent une distribution ordonnée le long de la pente indépendamment des roches mères. Nous considérons cette distribution comme une différenciation proprement *pédologique*. Habituellement étudiée sur un profil vertical, cette différenciation pédologique est ici latérale. Les hydrolyses et lessivages amont sont à relier aux accumulations et néoformations aval.



Deux arguments parmi d'autres étayent cette proposition :

— En tous points de la séquence, il y a *passage latéral* des horizons  $A_2$  lessivés aux horizons B d'accumulation. C'est pourquoi, la géométrie de leur frontière est en marches d'escalier (*fig.*) : chaque palier présente une pente plus forte que celle de la surface. Nombre de caractères des horizons  $A_2$  se retrouvent dans les horizons B. Ces horizons B sont d'anciens horizons  $A_2$  où s'est produite une accumulation.

— Le régime hydrique montre que les infiltrations météoriques sont limitées de plus en plus vers l'aval par les horizons B, de plus en plus imperméables. Chaque palier est le siège d'une nappe temporaire perchée. Celle-ci se rassemble en bas de palier, où elle ne peut s'épuiser que par évapo-transpiration, ce qui engendre un gradient de concentration croissant d'amont en aval.

Ainsi, chaque séquence est un système pédologique et géochimique. A l'amont, il y a hydrolyse et naissance de kaolinite. Entre l'amont et l'aval, il y a migration d'ions en solution. En aval, il y a formation de montmorillonite. Dans ce système biogéodynamique, il y a transfert de matière d'amont en aval et accumulation de matière de l'aval vers l'amont. *L'amont nourrit l'aval, mais l'aval envahit l'amont.*

III. AUTRES PAYSAGES. L'INVASION REMONTANTE DE LA MONTMORILLONITE. — On sait que les produits d'hydrolyse de l'altération superficielle sont responsables

de la néoformation de la montmorillonite, de l'attapulgite et de la sépiolite, dans les bassins sédimentaires aval. Ainsi fut interprétée la sédimentation chimique basique [(<sup>5</sup>) à (<sup>8</sup>)]. C'est Jackson [(<sup>9</sup>), (<sup>10</sup>)] qui a généralisé ce phénomène aux accumulations de montmorillonite dans les horizons B des sols. Les auteurs russes de leur côté ont raisonné sur les paysages [(<sup>11</sup>), (<sup>12</sup>)].

Nous avons étudié des séquences de sols dans plusieurs zones subtropicales ou tropicales. Au Maroc [(<sup>2</sup>), (<sup>13</sup>), (<sup>14</sup>)], au Liban [(<sup>15</sup>), (<sup>16</sup>)], dans les pays africains tropicaux à saisons alternées (<sup>2</sup>), les hydrolyses amont se sont montrées responsables des néoformations de montmorillonite aval.

Tous ces cas ajoutés aux exemples du Tchad montrent que non seulement il y a accumulation oblique de montmorillonite, mais que cette accumulation est remontante. En effet :

— L'aval des séquences se colmate, le drainage se réduit et le confinement apparaît. La néoformation de la montmorillonite aggrave ce confinement. Le phénomène s'entretient et les nouvelles générations de montmorillonite s'accumulent avant, c'est-à-dire en amont, des précédentes. *La montmorillonite remonte le versant.*

— Dans chaque profil, l'accumulation de la montmorillonite commence par la base, puis par confinement progressif, elle s'accroît de bas en haut. *La montmorillonite monte dans le profil.*

— Dans l'ensemble d'un paysage subtropical ou tropical à saisons alternées, par montée de la montmorillonite dans les profils et remontée dans les versants, la frontière entre sols lessivés et sols confinés se déplace vers les hauteurs. *Il y a invasion remontante du paysage par la montmorillonite.*

IV. CONCLUSIONS. — Les travaux des dix dernières années nous ont révélé les phénomènes d'accumulation oblique dans les paysages géochimiques. En pays ferrallitique Delvigne (<sup>17</sup>), en pays tropical soudano-guinéen Maignien (<sup>18</sup>), en pays subtropical méditerranéen Ruellan (<sup>19</sup>) et Millot et coll. (<sup>20</sup>), nous ont démontré l'accumulation absolue, par migration des ions en solution, de la kaolinite, du fer, du calcaire et de l'attapulgite.

1. Ici nous décrivons un nouveau type géochimique d'accumulation oblique dans les paysages : l'accumulation de la montmorillonite.

2. Cette accumulation de montmorillonite remonte dans les profils, dans les versants et dans les paysages. L'invasion de la montmorillonite est remontante.

3. Dans tous les cas évoqués, il y a transfert de matière en solution de l'amont vers l'aval. Dans tous ces cas, le transfert de matière se fait de haut en bas, mais la matière, prise au piège biogéochimique, s'accumule de bas en haut.

4. L'invasion remontante de la montmorillonite peut s'intensifier par évolution des facteurs externes : aridification du climat tropical, réduction du drainage. Mais, à facteurs externes constants, elle possède elle-même son mécanisme d'autodéveloppement (<sup>21</sup>) : toute genèse de montmorillonite favorise par confinement remontant sa propre naissance.

5. Au Sud des pays tempérés, au Nord des pays équatoriaux et tropicaux

humides, à l'écart des pays trop arides, apparaît une vaste zone où l'invasion remontante de la montmorillonite est de règle. Elle se situe géochimiquement entre le cuirassement en fer et le cuirassement en calcaire.

6. Cette montmorillonitisation est une bisiallitisisation au sens de Pedro (22). Elle mord sur les pays tempérés (4) et surtout sur les pays tropicaux humides, en pleine zone de kaolinisation, c'est-à-dire de monosiallitisisation. Et ce sont les produits de la monosiallitisisation qui, ventilés dans les paysages, alimentent les bisiallitisations aval.

En climat subtropical et tropical à saisons alternées, ces deux types d'altération coexistent. Entre les hauteurs et les bas-fonds, leur frontière est remontante. De nombreux pays de tous les continents sont concernés, dans leur géographie, leur hydrologie de surface et leur développement agricole par l'invasion remontante de la montmorillonite.

(\*) Séance du 15 décembre 1969.

- (1) G. BOCQUIER, *IXth Intern. Congr. Soil Sc.*, Adélaïde, 4, 1968, p. 605-612.
- (2) H. PAQUET, *Thèse Sc.*, Strasbourg, et *Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, 1969 (à paraître).
- (3) G. BOCQUIER, *Thèse Sc.*, Strasbourg, 1970 (à paraître).
- (4) Y. TARDY, *Thèse Sc.*, Strasbourg, et *Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, 1969 (à paraître).
- (5) G. MILLOT, *Bull. Gr. Fr. Argiles*, 6, 1954, p. 41-42.
- (6) G. MILLOT, H. RADIER et M. BONIFAS, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7, 1957, p. 425-435.
- (7) G. MILLOT, P. ELOUARD, J. LUCAS et M. SLANSKY, *Bull. Gr. Fr. Argiles*, 12, 1960, p. 77-83.
- (8) G. MILLOT, Masson et Cie, Paris, 1964, 499 pages.
- (9) M. L. JACKSON, *Soil Sc.*, 99, 1965, p. 15-22.
- (10) M. L. JACKSON, *IXth Intern. Congr. Soil Sc.*, Adélaïde, 4, 1968, p. 281-292.
- (11) B. B. POLYNOV, Murby Publ. co, London, 1937, 220 pages.
- (12) V. A. KOVDA, E. M. SAMOILOVA, V. D. VASILEVSKAYA et I. V. YAKUSHEVSKAYA, *IXth Intern. Congr. Soil Sc.*, Adélaïde, 4, 1968, p. 293-301.
- (13) H. PAQUET, A. RUELLAN, Y. TARDY et G. MILLOT, *Comptes rendus*, 269, Série D, 1969, p. 1839-1842.
- (14) A. RUELLAN, *Thèse Sc.*, Strasbourg, 1970 (à paraître).
- (15) M. LAMOUREUX, H. PAQUET, M. PINTA et G. MILLOT, *Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, 20-4, 1967, p. 277-292.
- (16) M. LAMOUREUX, *Thèse Sc.*, Strasbourg, 1970 (à paraître).
- (17) J. DELVIGNE, O. R. S. T. O. M., Dunod, 1965, 177 pages.
- (18) R. MAIGNIEN, *Thèse Sc.*, Strasbourg, et *Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, 16, 1958, 239 pages.
- (19) A. RUELLAN, *Cahiers O. R. S. T. O. M.*, série Pédol., 5, 1967, p. 421-460.
- (20) G. MILLOT, H. PAQUET et A. RUELLAN, *Comptes rendus*, 268, Série D, 1969, p. 2771-2774.
- (21) A. A. RODE, *Israel Program for scientific translations*, Jérusalem, 1961, 100 pages.
- (22) G. PEDRO, *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 10, 1968, p. 457-470.

(Services Scientifiques centraux O. R. S. T. O. M.,  
route d'Aulnay, 93-Bondy, Seine-Saint-Denis ;  
Centre de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface du C. N. R. S.  
Institut de Géologie, 1, rue Blessig, 67-Strasbourg, Bas-Rhin.)