

# LES TECHNIQUES D'ÉTUDES MICROSTRUCTURALES UTILISÉES AU CENTRE DE HANN-DAKAR

par J. WACKERMANN

Des procédés d'étude microscopique des zones d'altération peuvent être directement appliqués aux études de microstructure des sols. Toutefois, le matériel servant à la fabrication et l'observation des lames minces de roches ne permettant pas la fabrication de lames de grande taille (60 × 80 mm avec la meule automatique « HF 6 » de la firme BLOHM, Hamburg-Bergedorf, ou la meule « KUBIENA-ALTEMULLER » de la firme KLAIBER, Schweningen-Neckar), il devient nécessaire d'exécuter plusieurs lames de taille normale (45 × 30 mm) par horizon étudié, si l'on désire faire une étude statistique d'un matériau hétérogène.

## 1. — ÉLABORATION DES LAMES MINCES ET SURFACES POLIES (méthode dérivée de celle préconisée par J. ETIENNE, 1963).

Les échantillons, prélevés et transportés de façon à conserver leur structure (grandes mottes, cylindres en aluminium de  $\varnothing$  55 mm × 100 mm enfoncés dans les niveaux friables, emballage dans du frison), sont débités en petits volumes possédant une face plane, d'environ 50 × 35 mm, à l'aide d'un scalpel ou d'une scie diamantée, selon le matériau, et portés à l'étuve (105-110°) durant vingt-quatre heures.

Ils sont ensuite disposés, la face plane vers le bas, sur des anneaux ( $\varnothing$  30 mm × 3-4 mm), découpés dans du carton « CANSON », placés dans une boîte (270 × 200 × 25 mm environ), également en papier « CANSON ». Chaque boîte peut contenir 20 échantillons. Le mélange 260 cc de résine « DER-331 » (S.E.A., rue de Paris, Vernon, Eure) + 130 cc d'araldite « DY-021 » (PROCHAL, 18 bis, rue d'Anjou, Paris-8°) + 40 cc de diéthylène triamine (Lab. du Bois-de-Boulogne, 33, rue Voltaire, Puteaux, Seine) est versé, à froid, dans le fond de la boîte. L'imprégnation par ce mélange très fluide se fait sous atmosphère normale (de préférence dans une petite enceinte étanche évitant les émanations qui peuvent provoquer des réactions d'allergie) et le durcissement est obtenu en deux-trois jours; les édifices gonflants ne sont pas affectés par ce traitement.

La « galette » ainsi formée est découpée à l'aide d'une scie diamantée dans un courant d'eau minimum. Les techniques de fabrication des lames et surfaces polies sont classiques, l'eau étant remplacée par le pétrole dans le cas de matériaux gonflants. Les collages sont faits à l'aide de baume du Canada ou du mélange « DER-331 » + 10 % de diéthylène triamine (dans ce cas pouvant se faire à froid). La classique lamelle couvre-objet est supprimée, afin de permettre l'observation en lumière réfléchie et la coloration des minéraux argileux. La préparation, recouverte d'une pellicule de glycérine, permet l'observation avec l'objectif 100 X; cette pellicule peut être lavée à l'alcool. En climat humide l'imprégnation, le collage et la conservation des lames doivent être effectués en atmosphère desséchée (moins de 55-60 % d'humidité).

## 2. — LES MÉTHODES D'ÉTUDE

Le microscope LEITZ « Dialux-Pol », à illuminateur, utilisé permet à la fois l'étude de ces lames en lumière transmise et en lumière réfléchie, par simple allumage successif des deux lampes incorporées. Cette possibilité est précieuse pour l'examen des matériaux constitutifs des sols et des zones d'altération, souvent opaques : oxydes-hydroxydes de fer et de manganèse, argiles teintées, nodules, cutines, étude des couleurs et des microstructures.

Le procédé de coloration ponctuelle (dépôt d'une goutte de benzidine, safranine, vert malachite, cristal violet, bleu de méthylène (cf. A. VATAN, 1958, p. 220), permet souvent de définir le type de phyllite présent et de visualiser sa répartition. Cependant, les fortes teneurs en fer altèrent la capacité de fixation de ces colorants.

Les études structurales, et tout particulièrement les études quantitatives, sont grandement facilitées par le recours aux techniques de photogrammétrie (E. GEYGER, 1962). C'est ainsi que les histogrammes de répartition des

tailles de pores sont obtenus en projetant des négatifs photographiques (24 × 36 cm) sur une grille ou en superposant une grille à une photographie obtenue par projection de l'image de l'oculaire sur un papier extra-dur : on fait le décompte des catégories de pores superposés à 1, 2, 3... points successifs d'une même horizontale de la grille (écart réticulaire de 10 ou 50 microns, par exemple).

Les pores sont mis en évidence en photographiant, sur film ou papier à forts contrastes, l'image obtenue en lumière réfléchie polarisée, avec rotation lente du polariseur et de l'analyseur rendus solidaires par une tige, ou à défaut en superposant des clichés successifs pris avec les positions 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90° des deux nicols croisés, afin d'éliminer les positions d'extinction des cristaux pour une orientation donnée de la préparation. La durée d'exposition totale est de 5-6 minutes, à éclairage moyen, pour une pellicule de sensibilité 17 DIN. Le plasma argileux apparaît ainsi en noir à gris foncé, les grains de quartz en gris et les pores en blanc sur les clichés négatifs.

### 3. — ÉLÉMENTS DE MICROSTRUCTURE DES SOLS ET DES ZONES D'ALTÉRATION

On se propose ici d'amorcer la création d'une terminologie, en langue française, destinée à l'étude microscopique des structures des sols et des matériaux d'altération des roches.

La nécessité d'un tel glossaire, à termes précis, se fait très rapidement sentir dès que l'on aborde la micrographie de ces matériaux : la terminologie pétrographique ne peut plus guère s'y appliquer — le recours à de longues périphrases, fastidieuses par leur répétition, ou à des termes de sens équivoque, rend les descriptions actuelles peu claires — ou encore l'utilisation de vocabulaires en langues allemande et anglaise existants, de consonance fréquemment étrange (« vughy argillasepic fabric », « skel-lattisepic unistrial plasmic fabric ») et surtout à implications génétiques (cas de beaucoup de termes allemands), crée un langage ésotérique. On s'est efforcé de recourir le plus possible à des termes équivalents utilisés en microscopie pétrographique, le cadre étant fourni en grande partie par le récent ouvrage de R. BREWER : « Fabric and mineral analysis of soils ».

M. GAVAUD et J. VIEILLEFON ont apporté de nombreuses corrections et suggestions à l'ébauche initiale.

3.1. MICROSTRUCTURE : taille, forme, disposition, relations mutuelles des phases minérales et organiques et des vides à l'intérieur des agrégats, et taille, forme, disposition, relations mutuelles des agrégats et des vides qui les séparent.

Les termes « microfabric », « Gefüge » font appel à la seule notion de disposition (= *arrangement*).

3.2. FACIÈS MICROMORPHOLOGIQUE (\*) (1) : ensemble des caractères minéralogiques et structuraux d'un horizon (sol) ou d'une zone (altération).

Cette notion, indépendante de toute implication génétique, doit cependant permettre de reconstituer les facteurs internes et externes qui ont conduit à la différenciation de l'horizon ou de la zone.

3.3. AGRÉGAT : plus petit système géométrique de phases minérales et organiques, dans un sol, ne possédant que des forces de liaison internes.

Cette définition englobe les « peds » (agrégats naturels), les « clods » (agrégats créés par les traitements mécaniques culturaux) et les « glaebules » (R. BREWER-J. SLEEMAN, 1964) lorsque ces derniers sont isolés du matériau environnant.

3.4. MATRICE : ensemble des phases minérales et organiques (grains, phyllites, colloïdes) et des vides constituant les agrégats (« s-matrix », R. BREWER, 1964).

Elle comprend :

3.4.1. *le squelette minéral* : ensemble des cristaux supérieurs à 2 microns.

Structure :

• Selon la granulométrie :

*squelette isogranulaire* : grains calibrés,

*squelette hétérogranulaire* : grains appartenant à de nombreuses classes de taille.

(1) Le signe (\*) correspond à la terminologie nouvelle.

- Selon la forme :
  - squelette à grains anguleux, émoussés, bourgeonnants (actions mécaniques, transport, néogène), grains corrodés, imprégnés (actions chimiques).
- Selon le ciment :
  - matrice à grains jointifs ou libres* : le plasma est réduit à une fine pellicule autour des grains,
  - matrice à grains dispersés ou empaquetés* : grains cimentés par du plasma.
- Selon la composition :
  - squelette arkosique : présence de grains de quartz et de feldspaths,
  - squelette micacé : présence de phyllites de aille supérieure à 2 microns,
  - litho-relique* : fragment identifiable de la roche-mère.

3.4.2. *Le plasma*; plasmique : ensemble des phases minérales et organiques dont la taille des cristaux échappe au pouvoir de résolution maximum du microscope optique (1 à 2 microns).

Il est préférable d'éviter de prendre en considération des propriétés interprétatives (mobilité, état colloïdal) ou relatives (stabilité vis-à-vis des facteurs pédogénétiques), ce qui est le cas pour la plupart des définitions existantes.

*Domaine plasmique* (°) : masse de plasma possédant les mêmes propriétés optiques.

#### 3.4.2.1. Microstructure du plasma :

**Homoplasma** (°) : plasma caractérisé par l'absence de domaines à orientation optique préférentielle (= argillasepic plasmic structure, R. BREWER, 1964);  
*isoplasma* (°) : homoplasma à isotropie d'extinction, soit statistique, soit due à l'isotropie des phases constitutives (= isotic fabric).

**Hétéroplasma** (°) : plasma présentant des domaines à orientation optique préférentielle (= sepic plasmic fabric, R. BREWER, 1964).

Ces phénomènes d'orientation sont liés à des tensions mécaniques et à des processus de floculation hétérogène;

*diaplasma* (°) : hétéroplasma dans lequel les domaines à orientation préférentielle, enchevêtrés, sans directions privilégiées, constituent plus de 50 % du volume plasmique;

*plasma réticulé* : hétéroplasma à deux ou plusieurs directions privilégiées de domaines orientés.

Plasma orthoréticulé : deux directions privilégiées faisant entre elles un angle de 90°;

*plasma strié* : hétéroplasma à une seule direction préférentielle;

*plasma poromorphe* (°) : plasma présentant une orientation locale, parallèlement aux parois des vides (= vosepic fabric, R. BREWER, 1964);

*plasma granomorphe* (°) : plasma présentant une orientation locale, parallèlement aux parois des inclusions squelettiques (= skelsepic fabric, R. BREWER, 1964);

*plasma granomorphe caudique* (°) : les domaines plasmiques orientés, liés aux inclusions, sont détachés partiellement des parois de ces inclusions en donnant une allure de queues de comètes.

Ces figures semblent liées à des déplacements des inclusions dans le plasma :

— appendices caudiques parallèles : mouvements de translation;

— appendices caudiques enroulés : mouvements de rotation.

**Onduliplasma** (°) : domaine plasmique présentant, en lumière polarisée, le phénomène d'extinction roulante (lors de la rotation de la platine du microscope).

Cette structure apparaît liée à des manifestations d'hydromorphie et à la présence d'hydroxydes-oxydes de fer qui provoquent une floculation intense du plasma et non à des phénomènes d'illuviation (ALTEMULLER, H. J., 1962). Elle est dénommée « undulic plasmic fabric » par R. BREWER (1964).

**Plasma pseudomorphe** (°) : plasma dont les caractères structuraux ont été déterminés par ceux du cristal à partir duquel il s'est formé.

#### 3.4.2.2. Critères quantitatifs :

R. BREWER (1964) a défini les trois catégories suivantes :

- degré d'orientation élevé : plus de 60 % du plasma orienté préférentiellement (axes principaux faisant des angles inférieurs à 30°, entre eux);
- degré d'orientation moyen : 40 à 60 % de plasma orienté;
- degré d'orientation faible : 20 à 40 % de plasma orienté.

En dessous de 20 % de plasma est dit non orienté.

*Note* : Les termes « Braun-, Roterde; Braun-, Rotlehm » (W. KUBIENA, 1953) sont des critères structuraux macroscopiques, de terrain :

- Lehm : horizon dont la matrice a une cassure lisse et un éclat brillant;
- Erde : horizon dont la matrice a une cassure rugueuse et un éclat faible.

Par extension ces termes sont utilisés dans les descriptions micromorphologiques :

- Erde : matrice riche en grains détritiques;
- Lehm : matrice surtout formée de plasma.

### 3.4.3. Les vides et leurs remplissages secondaires :

#### 3.4.3.1. Définitions.

**Pore** : vide non rempli secondairement.

*Pore intergranulaire* : vide laissé par l'empilement de grains jointifs, enrobés ou non.

*Cavité* : pore délimité par une surface fermée.

*Vésicule* : cavité délimitée par des surfaces géométriques simples (sphère, ellipsoïde, prisme...).

*Fissure* : pore dont une dimension est nettement plus faible que les deux autres.

*Joint* : fissure délimitée par deux surfaces planes parallèles.

*Chenal, ou canal tubulaire* : pore de configuration cylindrique.

**Pédotubule** (masculin) : chenal rempli par un matrice d'arrangement différent de la matrice encaissante.

*Isotubule* : matrice de remplissage à structure homogène (R. BREWER, 1963).

*Striotubule* : tubule dont la matrice de remplissage possède une structure en liaison avec la direction de l'axe du tubule (parallèlement à l'axe ou en demi-ellipsoïdes); R. BREWER, 1963.

*Tubule coaxial* : tubule dont les sections transversales présentent une structure concentrique.

*Granotubule* : tubule rempli secondairement par une matrice constituée principalement de grains squelettiques.

*Agrotubule* : tubule rempli par de petits agrégats (fréquemment d'origine fécale).

**Cristallisations authigènes** : cristaux, dépassant 2 microns, formés *in situ* dans l'horizon ou la zone.

— cristallisations poromorphes :

*géode* : cavité dont les parois sont tapissées de cristaux à allongement perpendiculaire ou parallèle aux parois.

*pore, cavité, fissure, joint, tubule authigéniques* : remplissage de cristaux authigènes, d'orientation quelconque, de vides.

— cristallisations de litho-reliques (cas très fréquent pour les nodules calcaires).

— cristallisations diffuses : voiles mycéliens, pseudomycéliums, dendrites).

#### 3.4.3.2: Classification des pores : (d'après R. BREWER, W. JOHNSON, N. KATCHINSKI).

- macropores : plus grande dimension supérieure à 75 microns (limite de porosité pour la percolation sous une charge de 40 cm).

macropores grossiers : supérieurs à 5 mm

— moyens : 2 à 5 mm

— fins : 1 à 2 mm

— très fins : 75 microns à 1 mm.

- mésopores : 30 à 75 microns (limite de circulation de l'eau et de l'air).

- micropores : 5 à 30 microns.

- ultramicropores : plus grande dimension inférieure à 5 microns.

#### 3.4.4. *Les inclusions denses* (« glæbules » - R. BREWER).

**Nodule** : agrégat ou partie d'agrégat de structure indifférenciée à force de liaisons internes nettement plus élevées que dans le plasma moyen du matériau. Il correspond généralement à une concentration accidentelle d'un constituant chimique.

**Concrétion** : nodule à caractères structuraux concentriques.

**Sphérolite** : nodule à caractères structuraux radiaux.

**Septaria** : concrétion présentant simultanément des caractères structuraux concentriques et radiaux (terminologie de pétrographie sédimentaire).

**Halo** : zone d'accumulation diffuse entourant certaines inclusions denses, ou groupes d'inclusions denses, à structure indifférenciée et à contours flous.

**Papule** : inclusion à limites nettes, de plasma à microstructure continue et/ou lamellaire, composé en majorité de minéraux phylliteux (R. BREWER, 1964).

**Nébulite** (masculin) (°) : nodule à contours diffus très peu différencié par rapport à la matrice encaissante.

Structure rencontrée dans les ségrégations naissantes de composés du fer et du manganèse; certaines taches d'hydromorphie.

#### 3.4.5. *Traits structuraux liés aux surfaces de discontinuités.*

**Cutine** (traduction proposée par M. GAVAUD), cutique (°) : modification de l'un ou de l'ensemble des facteurs de la structure d'une matrice au contact immédiat d'une surface de discontinuité consistant dans la concentration d'un composant ou dans une modification *in situ* de l'arrangement. (R. BREWER, 1960; « cutan »).

**Néocutine** (°) : modification structurale de la matrice au voisinage d'une surface de discontinuité (= « neocutan » - R. BREWER, 1964).

**Quasicutine** (°) : modification structurale de la matrice liée à la présence d'une surface de discontinuité mais séparée de celle-ci par une bande de matrice à structure non modifiée (« quasicutan » - R. BREWER, 1964).

##### *Catégories de cutines :*

- cutines de grains (libres, dispersés);
- cutines d'inclusions denses;
- cutines d'agrégats;
- cutines de pores (cavités, fissures).

##### *Structure des cutines :*

- cutine homoplasmique;
- cutine hétéroplasmique :
  - striée;
  - rubanée ou mamelonnée, selon la forme des modifications structurales.

*La nature minéralogique* de la cutine est introduite sous forme d'adjectif : cutine kaolinique, illitique, ferrugineuse...

#### 3.4.6. *Nature, des phases minérales.*

Le glossaire élaboré par G. PEDRO (1964) comporte un grand nombre de termes intéressant les descriptions micromorphologiques et qu'il est ainsi inutile de définir à nouveau ici : éluvial, néogénèse, paragenèse, phyllitisation, reliquat, résistat, syngénèse, vadoses.

C'est ainsi que la distinction entre *ferruginisation*, *ferruginisé* (maintien *in situ* du fer dans un cristal après sa libération du réseau) et *ferritisation*, *ferritisé* (mise en place de fer déplacé en solution, étranger au cristal), quoique interprétative parfois, peut servir de critère descriptif.

La notion d'*illuvial* (illuvial), soit une fraction de matrice amenée dans l'horizon ou la zone par transport mécanique ou précipitation d'une solution, est, elle aussi, parfois déductible de l'observation microscopique.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- ALTEMULLER H. (1962). — *Beitrag zur mikromorphologischen Differenzierung von durchschlämmter Parabraunerde, Podsol-Braunerde und Humus-Podsol.*  
*Zeitschr. f. Pflanz. Düng. Bod.* 98, 247-258.
- BREWER R. (1960). — *Cutans : their definition, recognition, and classification.*  
*J. Soil Sci.*, 11, 280-292.
- BREWER R. and SLEEMAN J. (1960). — *Soil structure and fabric : their definition and description.*  
*J. Soil Sci.*, 11, 172-185.
- BREWER R. and SLEEMAN J. (1963). — *Pedotubules : their definition, classification and interpretation.*  
*J. Soil Sci.*, 14, 156-166.
- BREWER R. and SLEEMAN J. (1964). — *Glaebules : their definition, classification and interpretation.*  
*J. Soil Sci.*, 15, 66-78.
- BREWER R. (1964). — *Classification of plasmic fabrics of soil materials.*  
*Soil-micromorphology* (A. Jongerius), Elsevier - Amsterdam, p. 95-107.
- BREWER R. (1964). — *Fabric and mineral analysis of soils.*  
J. Wiley, New York.
- ETIENNE J. (1963). — *Technique d'imprégnation de roches par des résines colorées pour l'étude de la porosité en lame mince.*  
*Revue IFP.* 4, p. 611-623.
- GEYGER E. (1962). — *Zur Methodik der mikromorphometrischen Bodenuntersuchung.*  
*Zeitschr. f. Pflanz. Düng. Bod.* 99, 2/3, 118-129.
- JONGERIUS A. (1962). — *Optic-volumetric measurements on some humus forms.*  
*Proc. Colloq. Soil Fauna, Oosterbeek*, p. 137-148.
- JUNG J. (1963). — *Précis de Pétrographie.*  
Masson.
- KUBIENA W. (1953). — *The soils of Europe.*  
Th. Murby, London.
- PEDRO G. (1964). — *Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. 3<sup>e</sup> partie.*  
*Ann. agron.*, 15, 4.
- VATAN A. (1958). — *Pétrographie sédimentaire.*  
Ed. Technip.

# **BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE DE PÉDOLOGIE**

rédigé par

LA SECTION DE PÉDOLOGIE  
DE L'O.R.S.T.O.M.

---

Tome XV — Fascicule 1  
1<sup>er</sup> trimestre 1966

**OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER**

*Direction Générale :*  
24, rue Bayard, PARIS-8<sup>e</sup>

*Service Central de Documentation :*  
70 à 74, route d'Aulnay, 93-BONDY (Seine-S'-Denis)

*Rédaction du Bulletin : S. S. C., 70 à 74, route d'Aulnay, 93-BONDY (Seine-S'-Denis)*