

PRINCIPES ET METHOLOGIE DE LA DESCRIPTION
MICROSCOPIQUE DES SOLS

N. Fedoroff⁽¹⁾ P. Bullock⁽²⁾

INTRODUCTION

Pourquoi vouloir élaborer un nouveau système de description microscopique des sols, alors que plusieurs ont déjà été proposés (KUEIENA, 1938, BREWER, 1964, FITZPATRICK, 1974).

KUEIENA a jetté les bases d'une classification micromorphologique complète, englobant aussi bien les individus élémentaires que les organisations pédologiques d'ordre supérieur. Il a ramené toutes les organisations pédologiques aux concepts de lehm et de erde, concepts qui se sont révélés inexacts ultérieurement. Des propositions de KUEIENA n'est restée qu'une classification d'unités élémentaires.

BREWER, dont l'ouvrage sert de référence quasi-universelle, propose:

- . un système de description hiérarchique, ainsi que des schémas permettant de décrire les distributions des éléments constitutifs du soi;
- . une classification assez complète des unités pédologiques élémentaires; mais il n'a pas:
- . clairement défini, ni le point de départ, ni les règles de cette description hiérarchique, ce qui explique que ses schémas des distributions soient actuellement sous-utilisés;
- . proposé de classification pour les organisations pédologiques d'ordre supérieures.

FITZPATRICK ne propose pas de système de descrip-

(1) I. N. A. P.C 78850 GRIGNON, FRANCE

(2) Soil Survey of England Wales, ROTHAMSTED, HARPENDEN
Herts, UNITED KINGDOM

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SOLS

tion hiérarchique, mais il décrit des unités élémentaires, en particulier des unités résultant de l'altération des minéraux primaires, complétant celles données par EREWER.

1. PRINCIPES

Une description microscopique doit être conduite suivant les principes suivants:

- . aller du plus simple au plus complexe (sur le plan des organisations);
- . aller du mieux connu au moins connu (sur le plan de la composition minéralogique et chimique);
- . le schéma général de description microscopique doit être indépendant du niveau de connaissances et des techniques de Microscopie;
- . la description doit être uniquement morphographique l'interprétation suivant la description;
- . s'appuyer dans la mesure du possible sur des référentiels qui puissent être révisés.

Par ailleurs, à l'heure actuelle, il n'est plus concevable de faire des descriptions qui ne puissent pas être stockées et exploitées par une banque de données.

Le premier principe conduit à adopter une description hiérarchique. On commence par décrire les individus formés par un seul constituant, puis on décrit les unités primaires constituées de deux (ou plus) types d'individus, on continue en décrivant les unités secondaires formées de deux (ou plus) unités primaires ou d'une unité primaire et d'un (ou plus) type d'individus, etc...

Le second et le troisième principe conduisent à prendre comme base de la description des constituants ayant à la fois une composition précise et une distribution universelle; ceci amène à prendre les minéraux et pour les corps non cristallisés; les composés chimiques comme ba-

se de la description. Lorsqu'il reste dans un échantillon des volumes non identifiés minéralogiquement ou chimiquement, on recherche par approximation successive une définition de moins précise, mais qui soit exacte.

2. METHOLOGIE

Le schéma de description proposé s'applique à l'examen avec l'ensemble des techniques microscopiques de tout échantillon non perturbé de sol et de roche.

Nous pensons que toute description microscopique doit:

- . être précédée d'une description du sol ou de la roche sur le terrain, ainsi pour un sol, on doit disposer de la description du profil, de la situation de celui-ci dans le paysage et de la position de la position des échantillons au sein du profil;
- . débuter par l'examen de lames minces au microscope polarisant;
- . être éventuellement complétée par des examens en microscopie photonique spéciale et en microscopie électronique en vue de lever des indéterminations apparues au cours de l'examen en microscopie optique.

La description micromorphologique reste donc, à notre avis, la pierre angulaire de toute description microscopique. Les référentiels proposés sont établis pour une observation de lame mince au microscope polarisant, sauf celui des minéraux qui se réfère aussi aux autres techniques microscopiques.

21. Préliminaires techniques de la description microscopique.

Il est utile de pouvoir juger de la valeur d'une lame mince. S'il paraît impossible de faire apprécier par l'observateur lui-même de son aptitude à la description microscopique, par contre, il est indispensable qu'il note:

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SOLS.

- . les conditions de prélèvement et de séchage des échantillons;
- . la surface de lame mince observée par horizon ou échantillon;
- . la qualité technique des lames minces et celle du microscope utilisé;
- . éventuellement les autres techniques microscopiques employées.

Mais, il ne nous paraît pas nécessaire d'indiquer les grossissements mis en oeuvre; on suppose que l'observateur utilise les grossissements les plus appropriés.

22. Identification des constituants.

Au microscope polarisant, on identifie d'abord les minéraux et éventuellement les composés chimiques, nous les appelons, constituants simples. Nous leur assimilons les tissus végétaux non transformés.

Si des roches, comme le granite, se résolvent au microscope polarisant en des constituants simples, pour un sol dans la quasi-totalité des cas, il reste une fraction souvent très importante de la lame mince indéterminée minéralogiquement ou chimiquement. En théorie, les techniques de microscopie électronique permettent de résoudre cette surface en constituants simples. Mais en pratique, cette résolution est rarement possible par suite de difficultés techniques, mais aussi financières. On se trouve dans l'obligation d'identifier cette surface indéterminée de façon moins précise, à l'aide de constituants complexes.

Un CONSTITUANT COMPLEXE est un constituant dont la nature minéralogique ou chimique ne peut être déterminée au microscope polarisant. C'est un assemblage de minéraux de taille ultramicroscopique, souvent en mélange avec des composés chimiques. On le caractérise par des

caractères de couleur et d'autres caractères, comme des caractères optiques, des micro-inclusions contrastées, etc....

On identifie les constituants simples en utilisant le référentiel de tous les minéraux connus, auquel on a ajouté celui des composés chimiques pouvant être présents dans les sols et les roches, ainsi que les tissus végétaux.

Celui des constituants complexes comprend:

- . les matrices minérales du sol,
- . la matrice minérale amorphe,
- . le voile microcristallin,
- . les imprégnations et les matrices ferrugineuses,
- . les matrices et les imprégnations organiques.

La MATRICE MINERALE DU SOL se présente en lumière naturelle, aux faibles grossissements, comme une masse amorphe relativement continue en couleur et en densité, ayant un aspect poussiéreux d'intensité variable. Aux forts grossissements, elle se résout en:

- . une masse fine, parfaitement continue, ne renfermant aucune micro-inclusion contrastée,
- . des micro-inclusions contrastées, distribuées au sein de la masse fine (responsables de l'aspect poussiéreux de la matrice minérale du sol).

Le terme de matrice minérale du sol est équivalent à celui de plasma, mais il n'a pas le sens génétique de ce dernier.

On classe les matrices minérales du sol en:

MATRICES MINERALES HYALINES (les micro-inclusions sont absentes),

MATRICES MINERALES A MICRO-INCLUSIONS CONTRASTEES TRIEES,

MATRICES MINERALES A MICRO-INCLUSIONS CONTRASTEES NON TRIEES, PEU A ASSEZ NOMBREUSES,

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SOLS

MATRICES MINÉRALES A MICRO-INCLUSIONS CONTRASTÉES NON TRIÉES, NOMBREUSES A TRES NOMBREUSES.

A un niveau inférieur, on subdivise ces types en sous-types d'après la couleur et le degré de triage des micro-inclusions contrastées.

La MATRICE MINÉRALE AMORPHE se caractérise par:

- . une grande hyalinité et une absence de relief, et souvent de couleur,
- souvent de couleur,
- . une isotropie en lumière polarisée,
- . la présence fréquente de fragments de minéraux primaires présentant une extinction commune.

Le terme de gel, défini par DELVIGNE (1965) est équivalent à celui de matrice minérale amorphe.

On classe les matrices minérales amorphes en:

MATRICES MINÉRALES AMORPHES INCOLORES
MATRICES MINÉRALES AMORPHES GRIS CLAIR
MATRICES MINÉRALES AMORPHES JAUNE PALE
A JAUNE

Le VOILE MICROCRISTALLIN se caractérise par:

- . en lumière naturelle, une absence de contraste, de couleur et une grande limpidité; un léger relief peut être observé aux forts grossissements à l'émplacement des cristallites,
- . en lumière polarisée, la présence de cristallites biréfringents dont la taille dépasse rarement 5-10 μ .

Le voile microcristallin a été défini par DELVIGNE (1965)

Une IMPREGNATION FERRUGINEUSE se caractérise par:

- . une opacité variable, mais pouvant être totale aux faibles grossissements,
- . une couleur, soit rouge plus ou moins foncé, soit violette, soit brune plus ou moins foncé (observée aux forts grossissements et en lumière convergente).

- . une couleur dans les teintes rouges en lumière réfléchie,
- . la présence d'une organisation sur laquelle la ferrugineisation s'est superposée (Fréquemment cette organisation n'est observable qu'aux forts grossissements et en lumière convergente).

Une MATRICE FERRUGINEUSE se caractérise par:

- . une opacité totale ou quasi-totale aux faibles grossissements,
- . une couleur, soit rouge foncé, soit brun foncé, soit violet foncé, soit noir (observée aux forts grossissements et en lumière convergente),
- . une couleur dans les teintes rouges en lumière réfléchie,
- . l'absence d'une organisation sur laquelle la ferrugineisation aurait pu se superposer.

On classe les impregnations et les matrices ferrugineuses en:

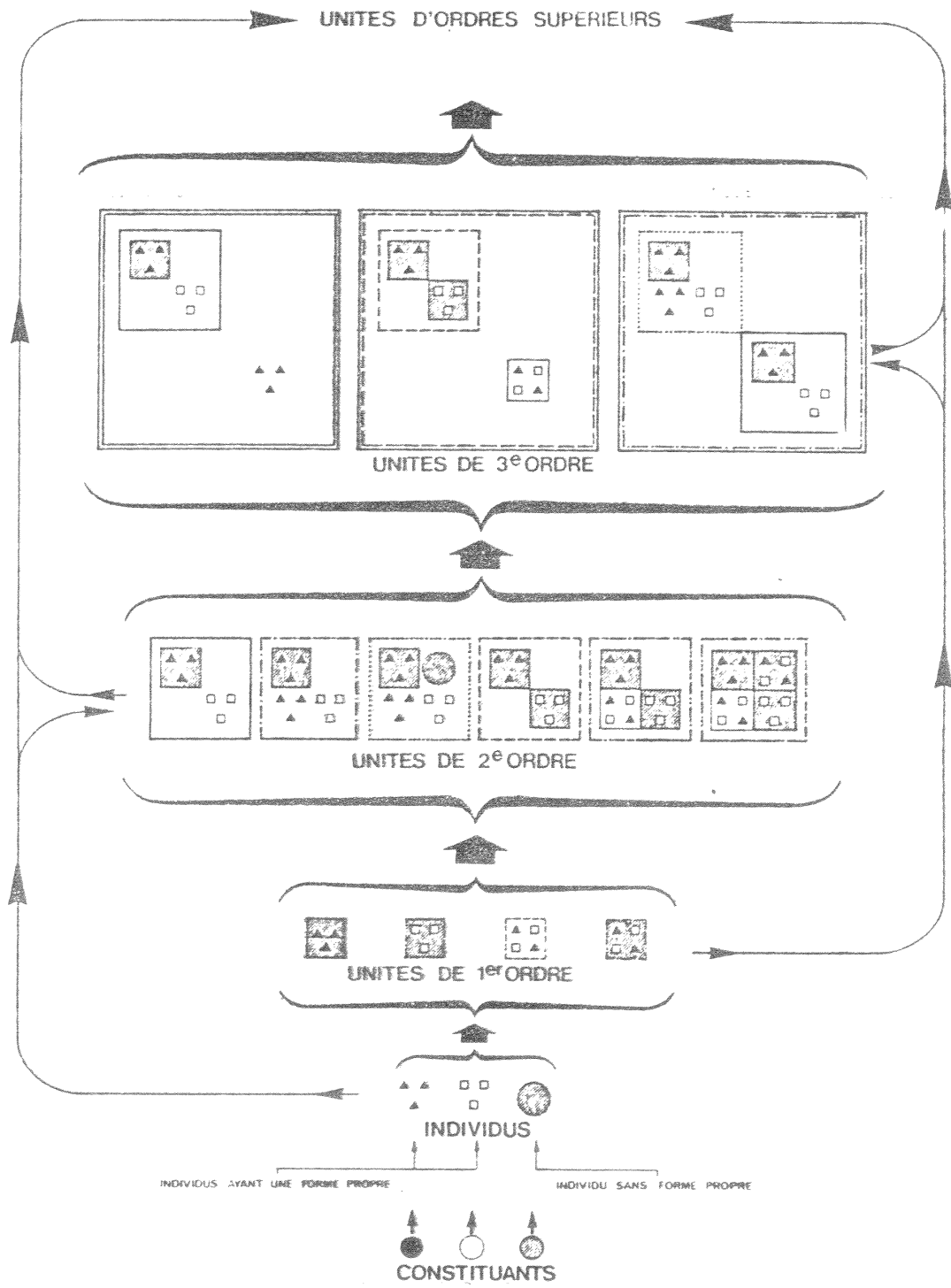
IMPREGNATIONS FERRUGINEUSES BRUNES (OCRES)
IMPREGNATIONS FERRUGINEUSES ROUGES A
NOIRES (ROUGES)
IMPREGNATIONS FERRUGINEUSES VIOLETTES
IMPREGNATIONS OU MATRICES FERRUGINEUSES
VERT-CREMEUX EN LUMIERE POLARISEE
MATRICES FERRUGINEUSES BRUNES (OCRES)
MATRICES FERRUGINEUSES ROUGES A NOIRES
(ROUGES)

La couleur entre parenthèses correspond à la couleur observée aux forts grossissements et en lumière convergente.

Une MATRICE ORGANIQUE se caractérise par:

- . une couleur grise en lumière réfléchie,
- . un fensillage si l'échantillon a été séché à l'air (caractère non obligatoire),
- . soit par la présence de micro-fragments de végétaux en son sein, soit par sa localisation à l'intérieur

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SOLS



LES NIVEAUX DE DESCRIPTION MICROMORPHOLOGIQUE
(Cas théorique avec 3 constituants)

SCHEMA DE DESCRIPTION DES INDIVIDUS A FORME PROPRE

Pour les individus formés d'un même constituant, simple ou complexe, décrire dans l'ordre:

1. FREQUENCE GLOBALE (par comptage ou à l'aide de tableaux d'estimation)
2. FREQUENCE PAR CLASSES GRANULOMETRIQUES
3. DEGRE DE CLASSEMENT

Morphologie externe, soit pour l'ensemble des individus présents, soit classe par classe si la forme des individus dépend de la taille

Individus à forme externe d'origine
cristalline

- 4A. FORME DES CRISTAUX (utiliser le référentiel des formes cristallines)
- 5A. DEGRE DE DEVELOPPEMENT DES CRISTAUX (utiliser le schéma de description des degrés de développement des cristaux)
- 6A. CORROSION (éventuellement)

Individus à forme externe d'origine
détritique

- 4B. SPHERICITE
- 5B. EMOUSSE
- 6B. RUGOSITE
- 7B. CORROSION (éventuellement)
(utiliser les schémas de description de la sphéricité, de l'émoissé, de la rugosité et de la corrosion)

d'un tissu végétal en voie d'humification (caractères non obligatoires),

. une destruction à la suite d'une attaque à l'hypochlorite de sodium.

Les IMPREGNATIONS ORGANIQUES se caractérisent par les mêmes caractères que les matrices organiques, mais:

- . ils sont moins marqués,
- . on observe une organisation minérale sur laquelle la matière organique s'est superposée.

On classe les matrices et les impregnations organiques en:

MATRICES ORGANIQUES POLYMORPHES
MATRICES ORGANIQUES HOMOGENES (OU MONOMORPHES)

IMPREGNATIONS ORGANIQUES POLYMORPHES
(OU MATRICES ORGANO-MINERALES POLYMORPHES)

IMPREGNATIONS ORGANIQUES HOMOGENES

A un niveau inférieur, on subdivise ces types en sous-types d'après l'opacité, la couleur et pour les impregnations d'après la teneur estimée en matière organique.

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SOLS

SCHEMA DE DESCRIPTION DES UNITES

Décrire dans l'ordre pour chaque type d'unité:

1. FREQUENCE GLOBALE (par comptage ou l'aide de tableaux d'estimation)
et éventuellement,

2. FREQUENCE PAR CLASSES GRANULOMETRIQUES

3. DEGRE DE CLASSEMENT

Morphologie externe, soit pour l'ensemble des unités, soit classe par classe si la forme des unités dépend de la taille

4. SPHERICITE

si la limite de l'unité est brutale

5A. EMOUSSE

6A. RUGOSITE

7A. CORROSION (éventuellement)

(utiliser les schémas de description de la sphéricité, de l'émoussé, de la rugosité et de la corrosion)

si la limite de l'unité n'est pas brutale

5B. NETTETE DE LA LIMITE (utiliser le schéma de description de netteté des limites)

Morphologie interne

8. COMPOSITION DE L'UNITE (énumérer uniquement des unités déjà décrites et des constituants simples ou complexes)

9. POURCENTAGE DES COMPOSANTS DE L'UNITE

10. VARIATIONS DU POURCENTAGE DES COMPOSANTS DANS L'UNITE

11. DISTRIBUTION DE CHACUN DES COMPOSANTS DE L'UNITE (distribution de base)

12. DISTRIBUTION DES COMPOSANTS ENTRE EUX AU SEIN DE L'UNITE (distribution relative)

13. DISTRIBUTION REFEREES DES COMPOSANTS DE L'UNITE

14. ORIENTATION DE CHACUN DES COMPOSANTS DE L'UNITE (orientation de base)

15. ORIENTATION DES COMPOSANTS ENTRE EUX AU SEIN DE L'UNITE (orientation relative)

16. ORIENTATION REFEREES DES COMPOSANTS DE L'UNITE

23. Le premier niveau de description

A ce niveau on décrit:

- les individus ayant une forme propre, formés d'un seul constituant, simple ou complexe, suivant le schéma général de description des individus; ce sont, par exemple, des grains de quartz, mais aussi un lit d'une accumulation argileuse;

- . la morphologie interne des constituants, simples ou complexes, n'ayant pas une forme propre; les assemblages matriciels (ou assemblages plasmi-ques) sont décrits à ce niveau.

24. Le deuxième niveau de description: unites de 1er ordre

A ce niveau, on décrit des unites dites de 1er ordre qui sont constituees soit:

- . d'un assemblage d'individus ayant la même cons-titution; par exemple, un entassement de grains de quartz tries;
- . d'un assemblage d'individus de deux (ou plus) constituants, simples ou complexes; par exemple, un plagioclase altéré dont il reste encore des fragments et des cristaux de gibbsite;
- . d'un assemblage d'individus de un (ou plus) cons-tituants, simples ou complexes et d'un constituant sans forme propre; par exemple, un fond matriciel, comprenant des grains de minéraux primaires au sein d'une matrice minérale, l'ensemble étant par-couru par des vides.

A ce niveau, on utilise le schéma général de descrip-tion des unites, éventuellement des schémas de descrip-tion spécifiques. On constate que la plupart des unites pédologiques élémentaires, ainsi que les unites d'altera-tion sont des unites de 1er ordre. Au lieu de décrire ana-lytiquement les unites déjà référentiées, on peut se con-tenter de les identifier.

Nous donnons ci-dessous à titre d'exemple, deux référentiels, celui des acumulations texturales et celui des unites résultant de l'alteration des biotites.

A. REFERENTIEL DES ACCUMULATIONS TEXTURALES

Une accumulation texturale est une concentration granulométrique se présentant comme une unité au sein

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SOLS

SCHEMA DE DESCRIPTION DES UNITES D'ALTERATION DES MINERAUX PRIMAIRES

1. NATURE DU MINERAL PRIMAIRE
 2. FREQUENCE GLOBALE (par comptage ou à l'aide de tableaux d'estimation)
 3. TAILLE MOYENNE ET ECART
- ou
- 3'. FREQUENCE PAR CLASSES GRANULOMETRIQUES
 - 4'. DEGRE DE CLASSEMENT

MORPHOLOGIE EXTERNE

Unités ayant conservé la forme cristalline externe du minéral primaire

- 4A. FORME DES CRISTAUX (utiliser le référentiel des formes cristallines)
- 5A. DEGRE DE DEVELOPPEMENT DES CRISTAUX (utiliser le schéma de description des degrés de développement des cristaux)

5A. CORROSION

et éventuellement pour toutes unités d'altération

8. AUGMENTATION DE VOLUME PAR RAPPORT AU MINERAL PRIMAIRE (exprimée en pourcentage)

MORPHOLOGIE INTERNE

On décrit: A. L'altération primaire, c'est-à-dire la disparition progressive du minéral primaire et son éventuelle épigénie par des produits de néoformation

9. POURCENTAGE DU MINERAL PRIMAIRE NON ENCORE ALTERE
10. POROSITE (exprimée en pourcentage)
11. TYPE DE POROSITE (utiliser le référentiel des types de porosité des minéraux primaires en voie d'altération)
12. NATURE DU (OU DES) PRODUIT DE NEOFORMATION (utiliser le référentiel des constituants)
13. POURCENTAGE DU (OU DES) PRODUIT DE NEOFORMATION

Les individus, dans la mesure où ils ont une forme propre, qu'ils soient des restes du minéral primaire ou de néoformation ont déjà été décrits (1er niveau).

14. DISTRIBUTION DE BASE DES RESIDUS DU MINERAL PRIMAIRE ET DES INDIVIDUS DU (OU DES) PRODUIT DE NEOFORMATION (utiliser le référentiel des distributions de-base).

N. FEDOROFF & P. BULLOCK

15. DISTRIBUTION RELATIVE DES RESIDUS DU MINERAL PRIMAIRE ET DU (OU DES) PRODUIT DE NEOFORMATION (utiliser, soit le référentiel général des distributions relatives, soit le référentiel des distributions relatives spécifique à l'altération des minéraux primaires)
16. DISTRIBUTION REFERENCEE DES RESIDUS DU MINERAL PRIMAIRE ET DU (OU DES) PRODUITS DE NEOFORMATION (utiliser le référentiel des distributions référées des minéraux primaires en voie d'altération)
17. ORIENTATION DE BASE DES INDIVIDUS DU (OU DES) PRODUITS DE NEOFORMATION (utiliser le référentiel des orientations de base)
18. ORIENTATION RELATIVE DES INDIVIDUS DU (OU DES) PRODUIT DE NEOFORMATION PAR RAPPORT AUX RESIDUS DU MINERAL PRIMAIRE ET AUX VIDES

B. L'altération secondaire, c'est-à-dire la disparition progressive du (ou des) produit de néoformation de première génération et son éventuelle épigénie par un (ou des) produit de néoformation de seconde génération

Suivre le schéma de description de l'altération primaire, mais remplacer partout minéral primaire par produit de néoformation de première génération et produit de néoformation par produit de néoformation de seconde génération.

et éventuellement:

C. L'altération tertiaire, c'est-à-dire la disparition progressive du (ou des) produit de néoformation de seconde génération et son éventuelle épigénie par un (ou des) produit de néoformation de troisième génération

Suivre toujours le schéma de description de l'altération primaire.

et éventuellement la présence au sein du minéral en voie d'altération d'un (ou plus) constituant et même d'une unité pédologique indépendants du processus d'altération

19. NATURE DU (OU DES) CONSTITUANT (OU DE L'UNITE)
20. POURCENTAGE DU (OU DES) CONSTITUANT
21. DISTRIBUTION DE BASE DU (OU DES) CONSTITUANT
22. DISTRIBUTION RELATIVE DU (OU DES) CONSTITUANT, DES RESIDUS DU MINERAL PRIMAIRE ET DES INDIVIDUS DE NEOFORMATION
23. DISTRIBUTION REFERENCEE DU (OU DES) CONSTITUANT PAR RAPPORT AUX VIDES

et éventuellement, si le constituant se présente sous forme d'individus

24. ORIENTATION DE BASE DES INDIVIDUS DU CONSTITUANT
25. ORIENTATION RELATIVE DES INDIVIDUS DU CONSTITUANT PAR RAPPORT AUX RESIDUS DU MINERAL PRIMAIRE, DES PRODUITS DE NEOFORMATION ET DES VIDES.

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SOLS

d'un ensemble de composition granulométrique différente.
Terme général désignant toute accumulation résultant de transferts sous forme figurée, positifs; il englobe les termes d'argilane, de siltane, de matrane, etc,...

Classification des accumulations texturales

1. Accumulations texturales non litées, bien à assez triées

ACCUMULATIONS ARGILEUSES

ACCUMULATIONS LIMONEUSES

ACCUMULATIONS SABLEUSES

2. Accumulations texturales non litées, moyennement à mal triées

ACCUMULATIONS ARGILO-LIMONEUSES

ACCUMULATIONS LIMONO-ARGILEUSES

ACCUMULATIONS TEXTURALES HETEROGENES

3. Accumulations texturales litées

ACCUMULATIONS ARGILEUSES MICRO-LITEES

ACCUMULATIONS TEXTURALES HETEROGENES

LITEES

ACCUMULATIONS TEXTURALES ALTERNEES

4. Accumulations texturales hydromorphes

ACCUMULATIONS ARGILEUSES HYDROMORPHES

PRIMAIRES

ACCUMULATIONS TEXTURALES HYDROMORPHES

SECONDAIRES

ACCUMULATIONS TEXTURALE HETEROGENES

HYDROMORPHES

B. REFERENTIEL DES BIOTITES ALTEREES

L' examen des minéraux primaires altérés révèle que:

. chaque minéral primaire s'altère suivant une (ou un nombre très limité de) séquence d'altération morphologique (et dans une moindre mesure minéralogique) qui lui est spécifique;

. en fonction des conditions de milieu dans lesque-

lors il est plongé, un minéral primaire s'altère en donnant des produits de néoformation liés à ce milieu et la morphologie de l'unité d'altération en dépend aussi, mais dans une moindre mesure;

.. l'altération d'un minéral primaire peut aboutir soit à :
.. à la disparition pure et simple du minéral primaire sans qu'il se forme à l'intérieur du minéral primaire de produits de néoformation, (lixiviation totale),

.. au remplacement partiel ou total du minéral primaire (épigénisation) par des produits de néoformation (de première génération),

nous appelons altération primaire d'un minéral, soit sa disparition, soit son remplacement par des produits de néoformation de première génération;

.. à la disparition des produits de néoformation de première génération ou à leur remplacement par des produits de néoformation de seconde génération,

nous considérons cette phase comme l'altération secondaire du minéral; pour certains minéraux, il existe une phase d'altération tertiaire;

.. des constituants et même une unité pédologique indépendants du processus d'altération peuvent pénétrer dans un minéral en cours d'altération.

Le schéma de description des unités d'altération des minéraux primaires que nous proposons est bâti à partir de ces constatations; les référentiels des minéraux primaires altérés s'y appuyent également. Voici à titre d'exemple, le référentiel des biotites altérées.

Au niveau supérieur, on classe les biotites altérées d'après leur transformation en vermiculite (altération primaire), puis d'après celle de la vermiculite en kaolinite (altération secondaire) et enfin d'après la disparition de la kaolinite.

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SOLS

Classification des biotites altérées

- STADE D'ALTERATION 1 des auréoles faiblement pléochroïque et de biréfringence de la fin du 1er ordre s'observe autour des feuillets de biotites; la vermiculite est présente.
- STADE D'ALTERATION 2 Des taches et (ou) des bandes abondantes faiblement pléochroïques et de biréfringence de la fin du 1er ordre s'observe au sein de la biotite; la vermiculite est abondante, mais des minéraux à 10 \AA sont encore présents.
- STADE D'ALTERATION 3 Au sein d'un ensemble faiblement pléochroïque et à biréfringence de la fin du 1er ordre, présence de taches ou d'auréoles irrégulières, non pléochroïques, à biréfringence dans les gris; des taches à biréfringence des 2^{ème} et 3^{ème} ordre peuvent encore être présentes. La vermiculite est dominante, mais la kaolinite est présente et des minéraux à 10 \AA peuvent être identifiés.
- STADE D'ALTERATION Dominante de zones non pléochroïques, à biréfringence dans les gris, mais des taches faiblement pleochroïques et de biréfringence de la fin du 1er ordre sont présentes. La kaolinite est dominante tandis que la vermiculite est présente.
- STADE D'ALTERATION 5 Le minéral altéré polarise entièrement dans les gris; la kaolinite est seule présente.
- STADE D'ALTERATION 6 A l'intérieur d'une trame ferrugineuse matérialisant les bords des feuillets, certaines mailles polarisent dans les gris tandis que d'autres correspondent à des vides. Seule la kaolinite est présente.
- STADE D'ALTERATION 7 De la biotite, il ne reste qu'une trame ferrugineuse. Aux niveaux inférieurs, on subdivise chaque stade d'altération d'après:

- . le degré de déformation et d'exfoliation,
- . l'état des oxydes de fer,
- . la présence éventuelle de constituants ou d'unités pédologiques indépendants du processus d'altération.

25 Le troisième niveau de description: unités de 2ème ordre

A ce niveau, on décrit des unités dites de 2ème ordre qui sont constituées, soit:

- . d'un assemblage de deux (ou plus) unités de 1er ordre par exemple des accumulations argileuses hydromorphes (unité de 1er Ordre) incluse dans un fond matriciel (autre unité de 1er ordre);
- . d'un assemblage d'une unité de 1er ordre et d'un (ou plus) constituant, simple ou complexe, à forme propre ou sans forme propre; par exemple, un fond matriciel imprégné par une ferruginisation.

A ce niveau, comme aux précédents, on utilise le schéma général de description des unités, éventuellement des schémas de description spécifiques.

Certaines des unités de 2ème ordre sont encore des unités pédologiques élémentaires, mais la plupart sont déjà des organisations pédologiques ou d'altération que l'on peut identifier à l'aide des référentiels des organisations diagnostiques pédologiques ou d'altération.

26. Les niveaux de description supérieurs: unités d'ordre supérieur

Comme aux niveaux inférieurs, les unités d'ordre supérieur, par exemple l'unité d'ordre n est constituée, soit:

- . d'un assemblage de deux (ou plus) unités d'ordre n-1
- . d'un assemblage d'une unité d'ordre n-1 et d'une (ou plus) unité d'ordre n-2, ou d'une (ou plus) unité d'ordre n-3 et ceci jusqu'à l'assemblage d'une unité d'ordre n-1 et d'un (ou plus) constituant, simple ou complexe, à forme propre ou sans forme propre.

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SOLS

Aux niveaux supérieurs, on utilise également le schéma général de description des unités. Les unités d'ordre supérieur correspondent à des organisations pédologiques ou d'altération.

3. LES ORGANISATIONS PÉDOLOGIQUES ET D'ALTÉRATION DIAGNOSTIQUES

Aux niveaux supérieurs, il n'est pas possible de prévoir des référentiels intégrant tous les cas de figure possibles, ceux-ci sont en nombre quasi-infinis. Mais l'expérience montre que parmi la multitude, il existe un nombre restreint de cas de figure que l'on observe très fréquemment, nous les appelons organisations diagnostiques.

Une organisation pédologique diagnostique est caractérisée par la présence d'unités pédologiques spécifiques, souvent à distribution caractéristique, le fond matriciel étant quelconque.

Une organisation d'altération diagnostique est caractérisée par la présence d'unités d'altération de minéraux primaires spécifiques.

Les organisations diagnostiques peuvent se juxtaposer et se superposer, c'est à-dire que sur une lame mince on peut observer, soit:

. des unités pédologiques caractérisant une autre organisation pédologique accolées à une première organisation pédologique, les deux organisations sont dites juxtaposées; par exemple, à une organisation argilique simple partielle peut se juxtaposer une organisation accumulative argileuse localisée;

. des unités pédologiques caractérisant une autre organisation pédologique recouvrant (aux grossissements du microscope optique) une première organisation pédologique, les deux organisations sont dites superposées; par exemple, à une organisation argilique simple partielle peut se superposer une organisation à concrétions ferrugineuses diffuses.

En juxtaposant et en superposant les organisations diagnostiques, il est possible de décrire toutes les unités d'ordre supérieur jusqu'au niveau de l'horizon quelque soit la complexité de ce dernier.

Exemples de référentiels d'organisations pédologiques

A. REFERENTIEL DES ORGANISATIONS ARGILIQUES

Une organisation argilique se définit par:

- . un (ou plusieurs) type d'accumulations argileuses,
- . une distribution généralisée et dense de ces accumulations au sein de l'horizon (ou de l'échantillon), tapissant et colmatant des vides et (ou) intégrées au fond matriciel,
- . une surface occupée par les accumulations argileuses dans l'horizon (ou l'échantillon) vu en lames minces supérieure à 5%.

On les classe d'après:

- . le nombre de types d'accumulations texturales présents,
- . la morphologie des accumulations argileuses,
- . le degré d'intégration des accumulations argileuses au fond matriciel,
- . la surface occupée par les accumulations argileuses.

On distingue:

1. Organisations argiliques simples, à accumulations argileuses, bien à assez bien triées, microlitées, bien à moyennement orientées.

11. Organisations argiliques simples partielles, des plages y conservent l'organisation du matériau parental.

Organisations argiliques simples partielles sans intégration

Organisations argiliques simples partielles à intégration faible à moyenne

Organisations argiliques simples partielles fragmentées

Organisations argiliques simples partielles à forte intégration

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SOLS

12. Organisations argiliques simples moyennes, les accumulations argileuses occupent entre 20 et 40 % de la surface, les pleges conservant l'organisation du matériau parental sont rares ou absentes.

Organisations argiliques simples moyennes sans integration

Organisations argiliques simples moyennes a integration faible a moyenne

Organisations argiliques simples moyennes fragmentees

Organisations argiliques simples moyennes a forte integration

13. Organisations argiliques simples totales, les accumulations argileuses y occupent plus de 40 % de la surface.

Organisations argiliques simples totales sans integration

Organisations argiliques simples totales a integration faible a moyenne

Organisations argiliques simples totales fragmentees

Organisations argiliques simples totales a forte integration (supposees)

2. ORGANISATIONS ARGILIQUES A ORIENTATION FAIBLE, à accumulations argileuses, très épaisses, sans microlitage, a biréfringence faible, mais continue.

3. ORGANISATIONS ARGILIQUES COMPOSEES, à accumulations alternées (à lits, les uns argileux, les autres limoneux) tapissant et surtout colmatant les macropores, et à accumulations argileuses (relativement grossières) dans les vides plus fins.

4. ORGANISATIONS ARGILIQUES AQUIQUES, à accumulations argileuses à argilo-limoneuses, épaisses, gris clair à microlits sinueux et d'épaisseur irrégulière, à biréfringence discontinue, de type tacheté entrelardant un fond matriciel ou constituant un ensemble continu.

5. ORGANISATIONS ARGILIQUES COMPLEXES, résultant de la juxtaposition de deux (ou plus) organisations argiliques ou d'une organisation argilique et de une (ou plus) organisation accumulique.

Les organisations argiliques simples caractérisent les horizons B de sols lessives, monophasés, non ou peu hydromorphes; les termes partiel, moyen et total traduisent l'illuviation. L'intégration est due au retrait-gonflement des argiles, dans certain cas au colluvionnement. Les organisations argiliques à orientation faible sont observée en profondeur dans des karsts et des horizons d'al ration de roches éruptives. Les organisations argiliques composées caractérisent les horizons B de sols lessivés dégradés boréaux tandis que les organisations argiliques aquiques sont présentes, entre autres, dans les sols lessivés hydromorphes des régions à climats atlantiques.

B. REFERENTIEL DES ORGANISATIONS ACCUMULIQUES

Une organisation accumulique se définit par, soit:

- . un (ou plusieurs) types d'accumulations granulaires (grains à partir de 2 μ),
- . un (ou plusieurs) types d'accumulations argileuses, soit:

- .. à distribution localisée,
- .. occupant une surface inférieure à 5% dans l'horizon (ou l'échantillon) vu en lames minces.

On les classe d'après:

- . la granulométrie des accumulations texturales présentes,
- . la morphologie des accumulations,
- . leur distribution au sein de l'horizon (ou de l'échantillon).

On distingue:

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SOLS

1. Organisations accumuliques bien triées

11 ORGANISATIONS ACCUMULIQUES SABLEUSES (peuvent être subdivisées d'après la granulométrie des sables), les grains formant des amas peu denses, sans forme propre.

12. Organisations accumuliques limoneuses (peuvent être subdivisées d'après la granulométrie des limons)

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES LIMONEUSES EN LITS

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES LIMONEUSES EN COLMATAGE DE VIDES

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES LIMONEUSES DISCONTINUES A COIFFES, accumulations limoneuses recouvrant (en général la face supérieure) des grains de sable ou de gravier, mais aussi des agrégats

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES LIMONEUSES CONTINUES A COIFFES, accumulations limoneuses recouvrant des grains de sable ou de gravier, mais aussi des agrégats, fréquemment liées les unes aux autres, formant des bandes parallèles, irrégulières.

13. Organisations accumuliques argileuses, les accumulations argileuses si leur distribution est généralisée occupent quelles soient en place, intégrées au fond matriciel, ou fragmentées, moins de 5% de la surface de l'horizon (ou de l'échantillon) vu en lames minces.

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES ARGILISEES GENERALISEES SIMPLES, les accumulations argileuses, fréquemment microlitées, sont distribuées régulièrement

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES ARGILEUSES GENERALISEES COMPOSEES, à accumulations alternées

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES ARGILEUSES GENERALISEES AQUIQUES

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES ARGILEUSES CONCENTREES SIMPLES, les accumulations argileuses colmatent, plus rarement tapissent uniquement les macrovides, en général des fissures verticales ou horizontales

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES ARGILEUSES CONCENTREES COMPOSEES

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES ARGILEUSES CONCENTREES AQUIQUES

2. Organisations accumuliques moyennement triées

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES MOYENNEMENT TRIEES EN LITS

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES MOYENNEMENT TRIEES EN COLMATAGE DE VIDES

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES MOYENNEMENT TRIEES A COIFFES

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES MOYENNEMENT TRIEES AQUIQUES

3. Organisations accumuliques mal à non triées

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES MAL A NON TRIEES EN COLMATAGE DE VIDES

ORGANISATIONS ACCUMULIQUES AQUIQUES

4. ORGANISATIONS ACCUMULIQUES BETA (β)

Les organisations accumuliques sableuses caractérisent les plages les plus éluviales de l'horizon A et B de sols lessivés dégradés; les organisations accumuliques en colmatage de vides les prolongent fréquemment vers la profondeur. Les organisations accumuliques à coiffes s'observent fréquemment sous les horizons Bh des podzols boréaux sur sables; dans l'horizon A_2 , elle est discontinue, mais elle devient continue dans l'horizon B_{1x}. Les organisations accumuliques argilleuses

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SOLS

généralisées s'observent le plus fréquemment dans des horizons d'altération de roches éruptives ou dans des sables. Les organisations accumuliques argileuses concentrées caractérisent la base de l'horizon B des sols lessivés dégradés. Enfin les organisations accumuliques non triées en colmatage de vides sont fréquentes dans l'horizon B des vertisols.

C. REFERENTIEL DES ORGANISATIONS SPODIQUES

Une organisation spodique est caractérisée en principe par la présence de matière organique homogène (ou monomorphe), mais assez fréquemment au microscope polarisant il n'est possible de le mettre en évidence directement. En pratique, une organisation spodique est caractérisée par:

- . une matière organique homogène en couleur et en contraste, brun foncé à brun rouge, si cette matière n'est décelable, l'organisation spodique est caractérisée par, soit:

- . une matière organique polymorphe,
- . une structure à agrégats arrondis, bruns à brun clair et obligatoirement par la présence d'alumine et de fer libre mise en évidence par l'analyse chimique.

On les classe d'après:

- . la granulométrie du matériau parental dans lequel l'organisation spodique s'est développée,
- . le mode de distribution de la matière organique homogène et de son abondance,
- . l'abondance de la matière organique polymorphe et éventuellement de sa distribution,
- . l'abondance des débris végétaux.

On distingue:

1. Organisations spodiques développées sur sables et saprolithes

11. Organisations spodiques simples sur sables, caractérisées par des revêtements de matière organique homogène autour des grains de sables, avec éventuellement des ponts joignant ces revêtements.

ORGANISATIONS SPODIQUES SIMPLES SUR SABLES PEU DEVELOPPEES, les revêtements sont peu épais et les ponts sont absents.

ORGANISATIONS SPODIQUES SIMPLES SUR SABLES MOYENNEMENT DEVELOPPEES, les revêtements sont épais et les ponts fréquents entre eux

ORGANISATIONS SPODIQUES SIMPLES SUR SABLES TRES DEVELOPPEES, la plupart des vides d'entassement sont comblés par de la matière organique homogène.

12. Organisations spodiques polymorphes sur sables, caractérisées par la présence de granules de matière organique polymorphe, fréquemment regroupés en agrégats et de débris fortement transformés.

ORGANISATIONS SPODIQUES POLYMORPHES MODALES SUR SABLES, la matière minérale fine y est quasi-absente

ORGANISATIONS SPODIQUES POLYMORPHES A REVETEMENTS SUR SABLES

ORGANISATIONS SPODIQUES POLYMORPHES A BOULETTES FECALES

13. ORGANISATIONS SPODIQUES SUR SAPROLITHES, revêtements de matière organique homogène tapissant et colmatant les fissures intra et inter-minérales de saprolithes

2. Organisations spodiques développées sur des matériaux sablo-limoneux à argileux

21. ORGANISATIONS SPODIQUES AGREGÉES COMPLEXES, caractérisées par un entassement libre d'agrégats de taille et de forme diverses, constitués de grains de poussières, de microfragments végétaux et d'une matrice fine.

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SOLS

22. ORGANISATIONS SPODIQUES AGREGÉES MODALES caractérisées par un entassement libre d'agrégats circulaires, de diamètre 50-100 μ , brun jaune à brun rouge, constitués de grains fins, de poussières, de microfragments végétaux humifiés et d'une matrice fine.
23. ORGANISATIONS SPODIQUES A ENROBAGE DE GRAINS, les grains de sables sont enrobés de grains fins, de poussières, de microfragments végétaux humifiés et d'une matrice fine
24. ORGANISATIONS SPODIQUES AGREGÉES DEGRADÉES, caractérisées par un entassement libre d'agrégats, sans forme définie, à limite diffuse, pouvant se fondre en une masse continue jaune à brun clair, constitués de grains fins, de poussières, de microfragments végétaux humifiés (rares) et d'une matrice fine

3. Organisations apparentées aux organisations spodiques

- 31 ORGANISATIONS DYSTROCHRISQUES DEVELOPPEES caractérisées par des agrégats comparables à ceux des organisations agrégées spodiques, mais leur teneur en matière organique homogène est plus faible
32. ORGANISATIONS DYSTROCHRIQUES MOYENNEMENT DEVELOPPEES, le taux d'agrégation est compris entre 60 et 30 %
33. ORGANISATIONS DYSTROCHRIQUES PEU DEVELOPPEES, le taux d'agrégation est inférieur à 30%

Les organisations spodiques simples caractérisent d'une part les horizons B₂₂h des podzols atlantiques d'autre part les niveaux indurés (indépendant du profil) associés aux podzols boréaux. Les organisations spodiques polymorphes s'observent dans les podzols atlantiques le type modal dans les horizons B₂₁h des podzols indurés et les B₂h des podzols meubles, le type à revêtements étant un type intergrade et le type à boulettes fécales étant caractéristique des podzols hydromorphes. Les organisations spodiques agrégées caractérisent les pod-

zols boréaux, le type complexe correspondant à l'horizon spodique supérieur Bh₁ le type modal à l'horizon spodique majeur, Bh₂, le type dégradé à l'horizon spodique inférieur, Bh₃ tandis que le type à enrobage de grains correspond à l'horizon Bh de podzols boréaux peu développés. Les organisations dystrochriques caractérisent les horizons A et B de la séquence des sols brun acide, brun ochreux et ocre podzolique.

CONCLUSIONS

Le système de description élaboré propose donc deux voies de description parallèles:

- . une voie purement descriptive, basée uniquement sur l'utilisation de schémas de description,
- . une voie basée sur l'identification d'unités et d'organisations.

La première voie, longue et fastidieuse, il faut le reconnaître, est destinée à l'initiation à l'observation micromorphologique d'une part et à la description d'unité et d'organisations non encore décrites d'autre part.

Nous avons modifié la classification des unités pédologiques avant de constituer les référentiels; comme critères de classification, nous avons adopté des caractères constants, aisément identifiables, permettant dans la mesure du possible des corrélations avec les observations de terrain et les analyses et éliminé tout caractère génétique. Ainsi nous avons abandonné la notion de cutane: unité pédologique liée aux parois d'un vide au profit de la composition; ainsi argilane est remplacé par accumulation argileuse: un enrichissement en argiles, localisé par rapport à un matériau adjacent de granulométrie différente.

Nous proposons également une première ébauche d'une classification des unités d'ordre supérieur; elle est basée sur une classification d'organisations diagnos-

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SOLS

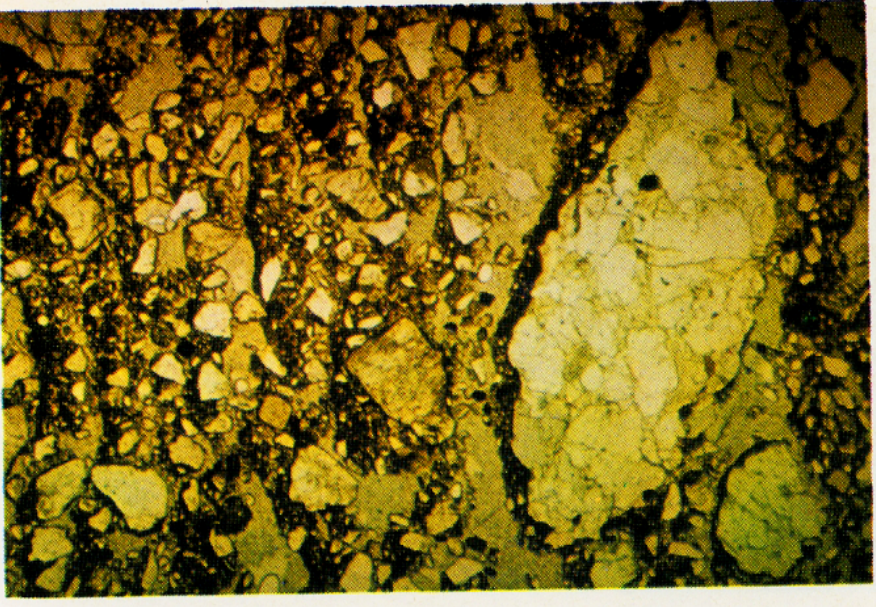
tiques et la possibilité de combiner par juxtaposition et superposition ces organisations. A titre d'exemples, nous donnons la classification des organisations argiliques, accumuliques et spodiques. Nous pensons qu'à l'avenir ces organisations diagnostiques devront constituer l'aboutissement au niveau microscopique des classifications pédologiques.

Ce travail n'aurait pas vu le jour si les auteurs n'avaient pas participé aux nombreuses séances de travail sur le schéma de description qui se sont tenues au sein du Groupe international de Micromorphologie depuis 1970. Que les membres du groupe ayant participé à ces séances trouvent ici un remerciement sincère.

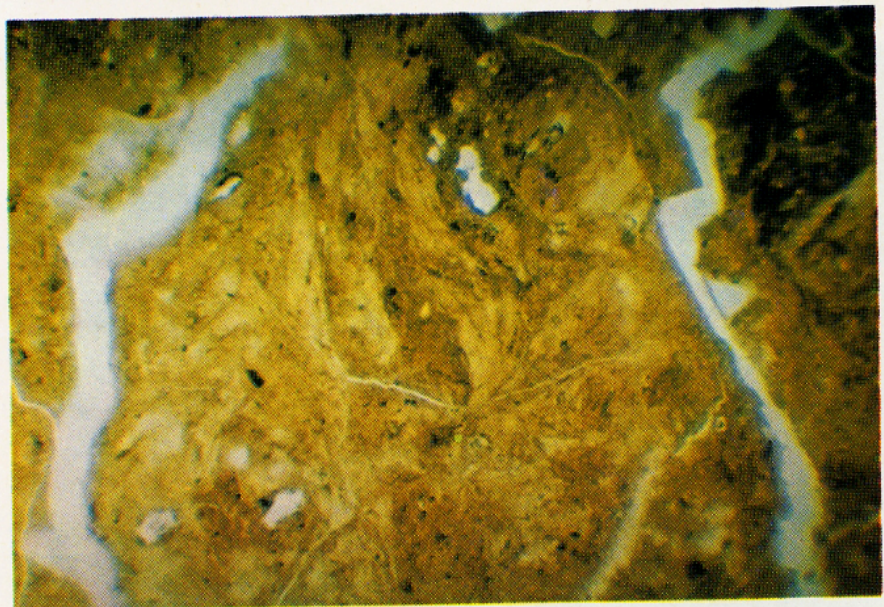
LEGENDE DES PHOTOGRAPHIES

- Photographie 1. ORGANISATION ARGILIQUE SIMPLE PARTIELLE A INTEGRATION MOYENNE, Horizon B_{2t} d'un sol brun lessivé sur limon loessique de la fin du Würm (Grignon, France). Les accumulations argileuses sont jaunes.
- Photographie 2. ORGANISATION ARGILIQUE AQUIQUE Argiles à meulière (sensu stricto) de Trappes-Elancourt (S-W de Paris). Formation géologique continentale palustre de l'Aquitainien.
- Photographie 3. ORGANISATION ACCUMULIQUE LIMONEUSES DISCONTINUES A COIFFES, Horizon B_x d'un podzol boréal sur sables limoneux (profil repère des Laurentides, Québec).
- Photographie 4. ORGANISATION SPODIQUE SIMPLE SUR SABLES MOYENNEMENT DEVELOPPEE, Niveau induré sous un podzol boréal sur sables (profil repère de Manicouagan, Québec).
- Photographie 5. ORGANISATION SPODIQUE AGREGEE MODALE, Horizon B_{2h} (décrit aussi comme humo-

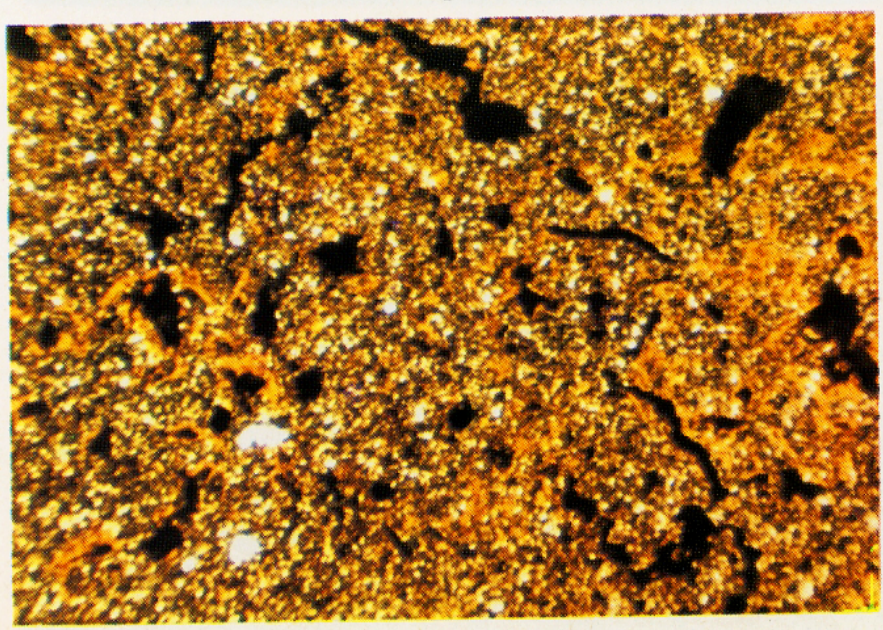
3

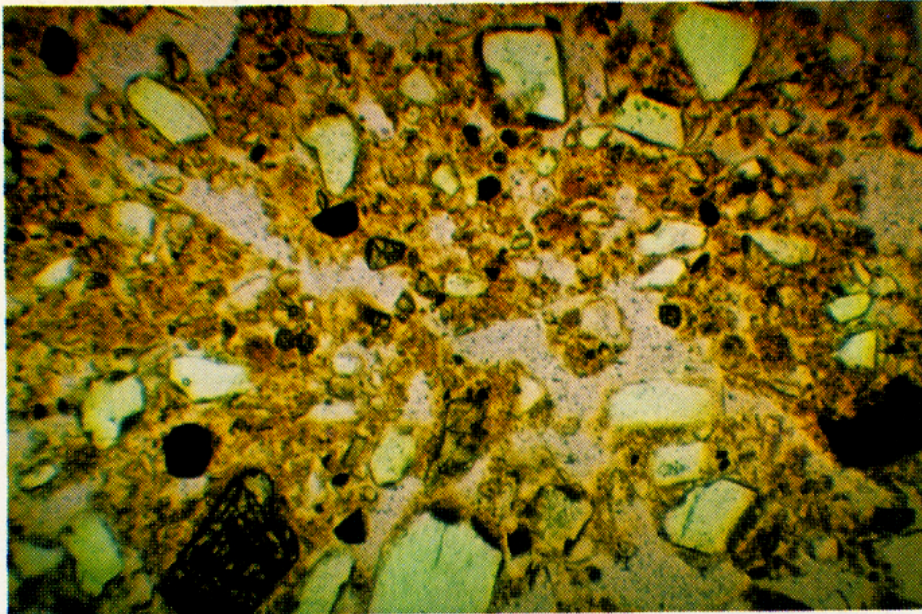


2

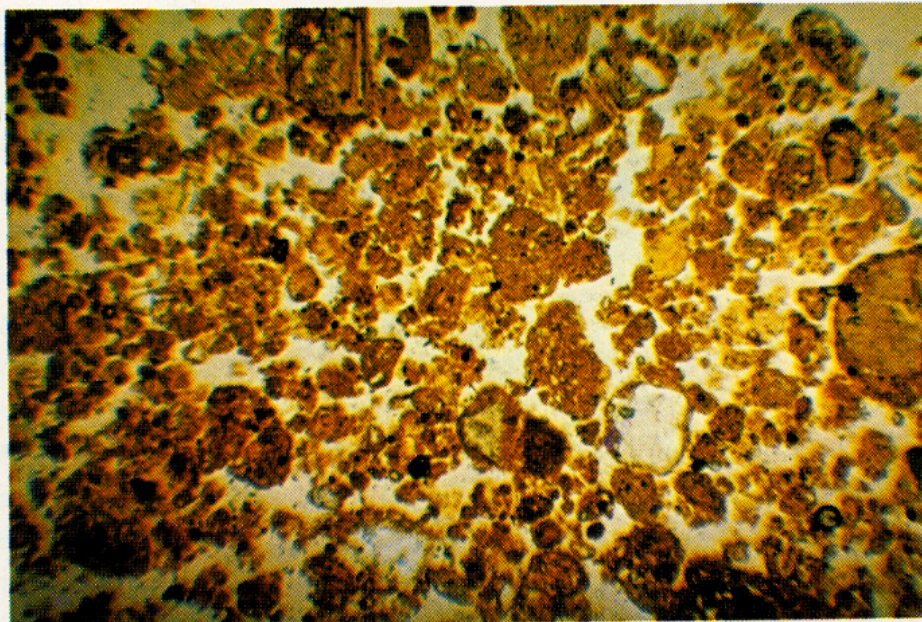


1

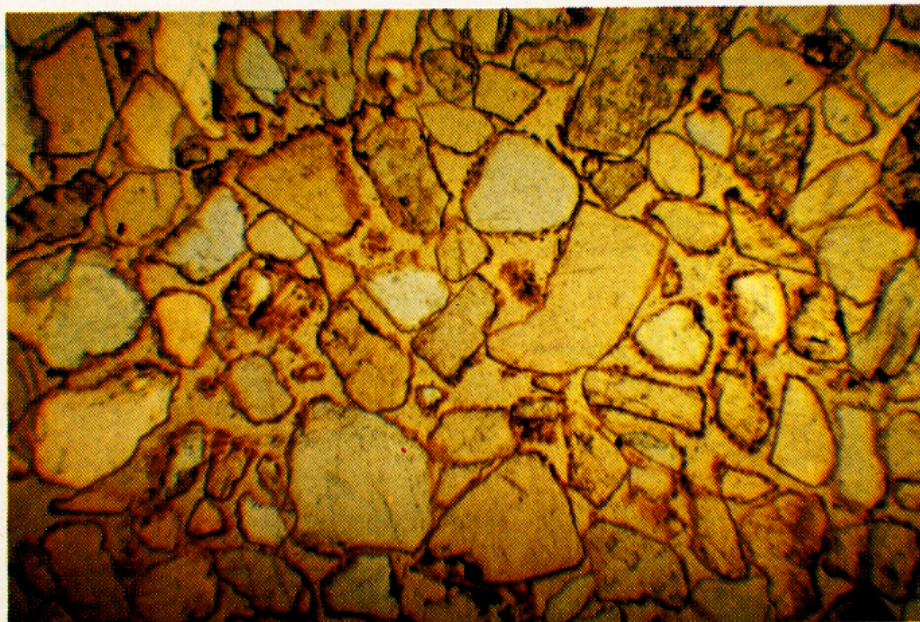




6



5



4

ferrique) d'un podzol boréal sur sables limoneux
(profil repère des Laurentides, Québec).

Photographie 6. ORGANISATION SPODIQUE AGREGÉE
DEGRADÉE, Horizon B₃h (décrit aussi comme la base
de l'horizon humo-ferrique) d'un podzol boréal sur
sables limoneux (profil repère des Laurentides, Québec).

RESUME

Présentation d'un système de description microscopique des sols et des formations superficielles morphographique et logique, dont les données sont susceptibles d'être traitées par l'Informatique. Il est basé sur la description de niveaux d'organisation; au premier niveau, on décrit les constituants; ils sont soit simples, par exemple le quartz, les fragments de végétaux, soit complexes, par exemple la matrice basale. Au second niveau, on décrit les individus constitués par des individus d'un seul constituant, et au troisième, des combinaisons de deux (ou plus) constituants; au-delà, le principe de l'analyse reste le même. Au second niveau, les organisations correspondent surtout à des traits pédologiques, concrétions, accumulations texturales, figures d'allération de minéraux primaires, etc. . . .

Aux niveaux supérieurs, on constate que le nombre d'organisations est quasi-illimité, mais que l'on retrouve des organisations types que nous appelons organisations diagnostics. Un référentiel des organisations diagnostics actuellement identifiées est donné.

DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SOLS.

BIBLIOGRAPHIE

- BREWER, R., 1964 Fabric and mineral analysis of soils. Wiley, New-York, N. Y., 470 pp.
- DELVICNE, J. 1965. PEDOGENESE EN ZONE TROPICALE. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique. O. R. S. O. M. Dunod Edts, 157 pp.
- FEDOROFF, N., 1973. Classification of accumulations of translocated particles, *Proced. IV Int. Work-Meet. on soil micromorphology.* pp. 695-714
- FITZPATRICK, E. A., 1974, The preparation and description of thin sections of soils. Department of Soil Science. Univ. Aberdeen. 127 pp.
- KUBIENA, W., 1938. Micropedology. Collegiate Press Inc., Ames, Iowa, 243pp.
- KUBIENA, W., 1953. The soils of Europe. Thomas Murby and Co., London, 318 pp.
- PARFENOVA, E. I. et YARILOVA, E. A., 1972. Groupement schématique des micro-éléments constitutifs des sols. Université d'état de Moscou, faculté de Géographie, 47 pp. (en russe).
- SUB-GROUP ON ORGANIC MATTER of the WORKING-GROUP ON SOIL MICROMORPHOLOGY of the INTER. SOC. of SOIL SCIENCE. A progress report. 5th inter. working meeting on soil micromorphology. Grenada 1977, 10-21p.