

LA MICROAGREGATION DANS LES SOLS

Alain G. BEAUDOU

Juillet 1975

INTRODUCTION

Dès le début du 19^{ème} siècle, l'importance de la structure des sols vis-à-vis des pratiques agricoles a été reconnue. Puis avec le développement des méthodes de la science du sol, les agrégats identifiables sur le terrain ont été minutieusement décrits et classés suivant leurs tailles, leurs formes et leurs états de surface. Les plus petits d'entre eux, qui se rapprochent des microagrégats présentés plus loin, ont été définis par les termes de "structure granulaire fine" ou de "structure granulaire très fine". Il s'agit d'un assemblage en éléments plus ou moins arrondis, d'un diamètre inférieur à un millimètre. A ce niveau, les limites de l'observation visuelle naturelle sont pratiquement atteintes. Ce sont les techniques de laboratoire, permettant d'appréhender directement ou indirectement des organisations de tailles plus petites encore, qui ont progressivement conduit à la notion de microagrégation.

Tout d'abord, l'analyse granulométrique a amené DEUSS (repris par VAGELER 1930) à reconnaître l'existence de "pseudo-sables" dans certains sols tropicaux. Malgré une composition minéralogique nettement argileuse, la teneur en argile granulométrique de ces sols reste faible. L'examen de la fraction sableuse isolée par l'analyse granulométrique révèle la présence de particules rouges, arrondies ou ovoïdes, parfois de formes plus irrégulières, assez friables, en mélange avec les grains de quartz qui constituent les sables vrais. Les pseudo-sables sont des assemblages polyminéraux formés principalement d'argile, de grains de quartz très fins et de fer. Par la suite, de nombreux auteurs ont à leur tour reconnu des pseudo-sables ou des éléments plus fins dénommés "pseudo-limons". Le terme général de "pseudo-particule" a été proposé pour tous ces édifices, mis en évidence par les analyses granulométriques, et qui entrent dans la catégorie plus générale des microagrégats.

Les microstructures pédologiques sont devenues directement observables lorsque FIGULEVSKI a réalisé, en 1930, les premières imprégnations de sols avec de la cire et leur examen en lames minces

sous le microscope. KUBIENA a développé les techniques micromorphologiques. Etudiant un Rotlehm d'Iwatoka (Soudan), il a décrit des "exsudations" brun-rouge foncé, ressemblant à des caillots de sang, réparties dans toute la "fabrique" du sol et responsables de sa grande friabilité. D'après les photographies publiées, il semble bien actuellement que ces figures représentent des microagrégats. Le processus correspondant a été dénommé par KUBIENA "Iwatokaphänomen". Par la suite, de nouveaux auteurs l'ont présenté comme une "microfloculation". Dans les publications actuelles, les figures découvertes par KUBIENA sont couramment décrites comme "micropeds" ou "microagrégats".

Deux démarches distinctes ont donc permis de préciser une même notion sous des appellations différentes. "Microagrégat", qui a un sens très général tout en restant purement descriptif, paraît préférable à "pseudo-sable" ou à "pseudo-particule", ces deux derniers termes exprimant un comportement particulier par rapport à une méthode de dispersion des argiles.

LES DIFFERENTS TYPES DE MICROAGREGATS ET LES FACTEURS DE LEUR DIFFERENCIATION

Les microagrégats se présentent à l'œil nu et sous le microscope comme des assemblages plus ou moins arrondis ou ovoïdes, ou parfois de forme polyédrique plus irrégulière. Ces variations de formes ont permis de distinguer deux grandes variétés morphologiques. La première, "granulaire", assez nettement ovoïde à arrondie, la seconde "fragmentaire", polyédrique anguleuse à subanguleuse. Les dimensions des microagrégats sont extrêmement variables et oscillent entre de larges limites qui vont de quelques microns à un ou deux millimètres. La limite inférieure est, en fait, celle imposée par les possibilités du microscope optique. Les colorations, relativement hétérogènes, sont en liaison avec le type d'horizon, le type de sol et la nature des éléments constitutifs des microagrégats. Bruns à brun-rouge plus ou moins foncé dans les horizons humifères, rouges à rouge-jaunâtre ou plus franchement jaunes dans les sols ferrallitiques, les microagrégats sont gris, gris-blanchâtre et gris-jaunâtre.

tre dans les horizons hydromorphes.

Les facteurs et les caractéristiques bio-physico-chimiques des sols directement liés à la pédogenèse, tels que les teneurs et la nature de l'argile, l'état et les teneurs du fer, les composés organiques, l'activité biologique, les cations, le pH, les variations périodiques de sécheresse et d'humidité, le gel et le dégel, les racines, la faune, etc. . . , semblent responsables de la microagrégation. Leurs effets sont variables, difficiles à étudier et les connaissances actuellement en notre possession sont encore très fragmentaires.

L'effet des variations périodiques du degré d'humidité et des différents états de l'eau dans le sol est assez mal connu. On suppose cependant que leur action est essentiellement mécanique et qu'elle provoque le morcellement des agrégats de grande taille en unités plus petites à la suite de phénomènes de gonflement et de retrait. Ces phénomènes sont en étroite relation avec la nature des argiles existant dans le sol.

Les racines sont une des principales sources de matière organique dans les sols et agissent ainsi directement sur la microagrégation, mais leur rôle direct demeure, lui aussi, relativement imprécis. On peut admettre, malgré tout, que les racines sont à l'origine de la fragmentation d'une partie des agrégats. Cette fragmentation serait due à la pression qu'elles exercent localement au cours de leur pénétration à l'intérieur des agrégats à la faveur de fentes déjà existantes. Leur action paraît donc secondaire et ne fait qu'accentuer celle des agents climatiques et hydriques.

La nature des cations et le pH du sol influencent directement la floculation des argiles. Les valeurs de pH proches de la neutralité apparaissent les plus favorables à la formation de microagrégats. Le nombre de valence des cations métalliques joue un rôle déterminant dans la stabilité des microagrégats formés. Les cations servent, en effet, de liens entre les particules d'argile et de matière organique et les cations des valences les plus élevées réalisent les associations les plus stables. L'expérience a montré que leur remplacement par des cations monovalents donne une

plus grande fragilité aux microstructures.

Certaines associations kaolinite-fer ont été décrites il y a assez longtemps par KUBIENA à la suite de ses observations des "Braun-erden" et des "Roterden". Il remarque alors la précipitation d'oxydes et d'hydroxydes de fer, cristallisés ou amorphes et la formation de petits granules qui flocculent et édifient des microagrégats stables à l'eau. Une partie assez importante de ce qu'il appelle "oxydes et hydroxydes de fer amorphes" représente, vraisemblablement, de très fines particules d'argile. L'apparition de ces caractères correspond, en fait, à la transformation, par microagrégation, d'une structure massive appelée "Lehm" en une structure granulaire, flocculée, à cassure poudreuse, appelée "Erde".

Par la suite, les liaisons de la kaolinite et du fer ont été particulièrement étudiées, de façon expérimentale, par FRIPIAT et GASTUCHE en 1952. Ils décrivent la structure des complexes kaolinite-fer qui peut être soit compacte, ordonnée et non poreuse, soit, au contraire, désordonnée et poreuse.

Plus récemment, BLACKMORE en 1972 et CHAUVEL en 1975 ont réussi la reconstitution expérimentale de microagrégats en mettant en présence l'argile (kaolinite, illite et bentonite) et les produits de l'hydrolyse d'une solution de chlorure ferrique. Les liaisons résistantes qui se forment nécessitent, dans un premier temps, la fixation sur la surface des argiles de cations hydroxy-ferriques. Les particules sont liées, ultérieurement, par un ciment et forment alors des microagrégats particulièrement résistants aux traitements usuels de dispersion et qui se présentent, au microscope, sous un aspect isotrope.

Les associations de l'argile et du fer sont donc relativement bien connues et conditionnent, en partie, le type, la taille et la stabilité des microagrégats. Le développement des liaisons kaolinite-fer et la création de microagrégats qui en résulte est en étroite corrélation avec l'acquisition, par certains sols ferrallitiques, d'une structure particulière, dénommée "alitique" par CHATELIN et MARTIN et qui se caractérise par une microagrégation généralisée. Cette microagrégation a pour conséquen-

ce essentielle d'immobiliser une fraction, parfois importante, de l'argile existant dans ces sols.

Les microagrégats présents dans les horizons humifères résultent, en majeure partie, de la liaison des argiles par les différents composés organiques. Ces liaisons interparticulaires sont plus résistantes dans les microagrégats que dans le reste du matériau pédologique environnant et nécessitent, pour être rompues, l'application d'une quantité d'énergie mécanique importante. Il se forme ainsi des complexes stables de type argile-métal-complexe organo-métallique. Les métaux sont fixés en position d'échange et assurent la cohésion des microagrégats. La rupture de ces liaisons par des moyens uniquement mécaniques apparaît comme un processus réversible. En effet, les liaisons se reforment dès que les particules sont en contact étroit les unes avec les autres par l'effet d'une dessiccation suffisamment intense. Des unités plus simples peuvent être réalisées soit par des associations argile-fer identiques à celles décrites précédemment, soit par des associations matière organique-métal ou matière organique-argile. Effectivement, les acides humiques, observés sous forme floculée au microscope électronique, apparaissent en chafnettes composées de corpuscules arrondis qui constituent des ponts entre les particules argileuses. Ces différentes unités primaires sont reliées entre elles par des liaisons de même nature que celles décrites dans les unités simples ou encore par des mucilages bactériens qui semblent jouer un rôle marquant dans l'agrégation.

Des expériences récentes révèlent la très grande complexité des interactions entre les composés organiques et l'argile, ainsi que la diversité de leurs effets sur les propriétés physiques du sol. Ces composés organiques de nature variée peuvent se localiser soit autour de domaines argileux où ils se disposent en couches successives, soit à la surface des particules argileuses. Leur action qui s'exerce alors par la création de surfaces hydrophobes ou par le renforcement des liaisons interparticulaires s'oppose, dans les deux cas, à la dissociation des microagrégats. La matière organique, en plus de son action particulière dans la microagrégation, assure donc une certaine protection des microagrégats surtout grâ-

ce à ses propriétés hydrofuges qui donnent aux microstructures une assez grande résistance à l'action de l'eau circulant dans le sol et évite ainsi la destruction trop rapide des liaisons réunissant les éléments constitutifs.

L'argile et la matière organique auxquelles s'ajoutent certains métaux participent intimement à la microagrégation et se révèlent être les constituants essentiels des microagrégats. De la même façon que dans les sols ferrallitiques, la formation de microagrégats bloque une fraction non négligeable de l'argile se trouvant dans les horizons humifères et, en plus, rend inaccessible à l'action des microorganismes une partie importante de la matière organique.

La faune du sol est aussi à l'origine de certains microagrégats qui présentent des caractères de taille, de forme et surtout de localisation très particuliers. Ils apparaissent à l'intérieur des profils ferrallitiques comme de petites unités de forme très régulièrement arrondie, à parois lisses qui sont pratiquement toujours situées dans des vides d'origine biologique. Les termites semblent en être à l'origine. La répartition de ces microagrégats dans le sol est extrêmement vaste et ils ont été observés depuis les horizons humifères jusque dans les altérites qui se trouvent parfois à plusieurs dizaines de mètres de profondeur. Dans les horizons humifères des sols des régions tempérées aussi bien que tropicales, il existe des formations semblables, mais en général de plus grandes dimensions et dont les vers de terre sont responsables. Tous ces assemblages sont désignés par les termes de "copropeds", "grumeaux fauniques" ou de "boulettes fécales". La faune est-elle capable de créer ces édifices à partir de simples particules isolées ou utilise-t-elle les microagrégats déjà présents dans le sol et qui résultent de l'action des facteurs physico-chimiques de la pédogenèse ? L'incertitude existe, mais dans la seconde hypothèse, les vers de terre et les termites effectueraient alors un tri parmi les matériaux des microagrégats et modifieraient ainsi leur composition chimique et leur morphologie. La faune serait donc la cause de la forme arrondie d'un certain nombre de microagrégats et son rôle se limiterait à un remaniement des formes déjà existantes dont l'importance reste encore à préciser.

De nombreuses études de la dissociation des microagrégats donnent des indications sur la résistance des liaisons interparticulaires qui assurent la cohésion des assemblages. Généralement, la séparation totale des matériaux ne peut être assurée que par des quantités importantes d'énergie mécanique soit sous forme d'agitation prolongée, soit par l'action de vibrations sonores ou ultra-sonores. La peroxydation de la matière organique ou le remplacement des métaux polyvalents par des métaux monovalents diminuent la résistance des liaisons interparticulaires. Dans les sols ferrallitiques, il est souvent nécessaire de faire intervenir, avant les actions mécaniques, des traitements réducteurs, complexants ou stabilisateurs afin de libérer complètement les particules d'argile.

La microagrégation est donc liée aux différentes conditions bio-physico-chimiques de formation du sol ainsi qu'à la composition et aux propriétés du sol lui-même. Les microagrégats sont des structures relativement ubiquistes qui s'observent aussi bien dans les horizons humifères des sols tempérés et tropicaux que dans l'ensemble des profils ferrallitiques et dans les sols hydromorphes qui leur sont associés. C'est cependant dans les horizons B ferrallitiques meubles, structurés et de couleur vive dénommés "structichrons" par CHATELIN et MARTIN qu'ils sont les plus abondants et les mieux exprimés. Leur quantité est fonction du degré d'évolution et de l'ancienneté des sols et ils représentent alors un des résultats les plus caractéristiques de la pédogenèse des pays ferrallitiques.

LA MICROAGREGATION DANS LES SOLS ROUGES FERRALLITIQUES

Les microagrégats sont fréquemment reconnus dans les fractions sableuses et limoneuses des sols ferrallitiques rouges des régions de savane et de bordure de la grande forêt équatoriale. Dans les sols ferrallitiques jaunes des zones équatoriales très humides, les microagrégats ont été plusieurs fois décrits mais les observations micromorphologiques sont trop peu nombreuses pour permettre de préciser à l'heure actuelle, leur importance dans ces sols. Dans les sols rouges, par contre, les nombreuses études de terrain et de lames minces confirment leur extrême abondance. Ils représentent parfois plus de la moitié de la quantité

totale des sables et des limons séparés par l'analyse granulométrique. Ils ont été observés surtout dans les structichrons, mais aussi dans les horizons hydromorphes des sols de bas de pente.

Le comportement des microagrégats des sols ferrallitiques rouges, vis-à-vis de l'eau a été longuement étudié, principalement par CHAUVEL. Les microagrégats présentent une résistance sensible à l'érosion. Lorsqu'ils sont soumis à une contrainte mécanique, après humectation, ils manifestent une certaine rigidité et la majorité d'entre eux ne se rompt, sans déformation, que par l'application d'une force relativement élevée. Ce n'est qu'à ce moment que les microagrégats révèlent leur plasticité et leur nature essentiellement argileuse. Les microagrégats ne montrent pratiquement pas de phénomènes de gonflement au cours de l'humectation et les relations sol-eau dans les structichrons aliatiques sont très proches de celles observées dans les sables. La majeure partie de ces propriétés se retrouve dans les assemblages formés expérimentalement.

Observée au microscope, la morphologie des microagrégats est variable selon le type d'horizon où se trouvent ces microstructures.

Dans les structichrons rouges sensu stricto, les microagrégats les plus généralement représentés sont des édifices arrondis et ovoïdes, d'un diamètre variant entre quelques microns et 500-600 microns, de coloration rouge habituellement homogène et qui contiennent de 40 à 70 % d'argile. Tous ces microagrégats sont, le plus souvent, bien isolés les uns des autres. Un certain nombre d'entre eux possède quelquefois une zone, approximativement centrale, plus intensément colorée. En lumière polarisée analysée, leur fond matriciel ne montre aucune orientation particulière excepté à la périphérie où se trouve, de temps à autre, un très fin cortex orienté plus ou moins continu. Ce cortex n'est pas visible en lumière polarisée non analysée.

Dans les structichrons hydromorphes et dans les rétichrons (horizons à redistribution de fer en marbrures généralement rouges et blanches) plus profonds, les microagrégats sont, dans la plupart des cas, plus ou moins liés entre eux et les individus isolés demeurent encore assez rares. Un nombre assez important des microagrégats, isolés ou non, présente une

zonation accentuée, du centre vers la périphérie, qui se traduit principalement par des variations de couleurs. La partie centrale, rouge assez vif, est entourée d'une zone de fond matriciel jaune-rougeâtre, elle-même limitée extérieurement par un cortex plus jaune. Le cortex montre, en lumière polarisée analysée, une nette orientation de ses éléments. Des microagrégats identiques à ceux des structichrons s. s. existent aussi, mais en quantité relativement faible.

Dans les bas de versants des paysages ferrallitiques se trouvent les sols hydromorphes. Analysés en lames minces, ils révèlent la présence de microagrégats d'un type particulier qui se caractérise par des contours sensiblement arrondis. Leur forme se rapproche du type polyédrique subanguleux et leur couleur se cantonne dans des teintes plus ternes, blanc, blanc-jaunâtre ou gris-jaunâtre. Ils se distinguent encore par la présence systématique d'un cortex orienté continu, parfois important, très nettement visible en lumière polarisée analysée et par un arrangement plasmique de type insépique quelquefois accentué, ainsi que par l'absence d'une zone centrale plus fortement colorée.

Les analyses minéralogiques et géochimiques des microagrégats sont extrêmement délicates à conduire du fait de leur taille réduite. Si la nature minéralogique globale est relativement bien connue, on ne peut émettre que des hypothèses sur la distribution relative des différents éléments. Dans l'ensemble, les microagrégats sont constitués de kaolinite et d'oxyhydrates de fer plus ou moins cristallisés. Quelques variations apparaissent dans les microagrégats des structichrons aliatiques les plus anciens où de la gibbsite est décelée aux rayons X. Dans les microagrégats des horizons hydromorphes existe de l'illite et les oxyhydrates de fer ne se trouvent qu'en très faible quantité. Kaolinite et fer ne montrent apparemment pas de distribution particulière dans les microagrégats rouges des structichrons s. s. Par contre, dans les microagrégats des structichrons hydromorphes et des réticichrons, la zonation pourrait correspondre à une répartition particulière de l'argile et du fer.

La différenciation des microagrégats semble résulter de la fragmentation d'un fond matriciel continu et s'accompagner de la réorgani-

tion de l'arrangement plasmique.

La fragmentation s'observe déjà sur le terrain où MULLER remarque une relation étroite entre des structichrons à structure continue et des structichrons microstructurés partiellement aliatiques, par l'intermédiaire de formations possédant à la fois des plages continues et des microagrégats. Il interprète alors les microagrégats comme le résultat de la dégradation des structures continues qui débute par l'apparition de vides subverticaux. L'orientation des vides devient ensuite anarchique et ils séparent des unités centimétriques qui se fragmentent à leur tour en noyaux argileux de tailles variées. Les plus cohérents ne se dégradent que superficiellement, prennent une forme subanguleuse et sont considérés comme les reliques de l'horizon à structure continue d'origine. Les plus fragiles se morcellent en éléments de plus en plus fins et se transforment ainsi en microagrégats.

Le microscope précise les modalités de la fragmentation du fond matriciel continu, hypothèse possible de la formation des microagrégats. Les premières ébauches de microagrégats ne sont que des taches plus ou moins diffuses et plus rouges que le reste du fond matriciel. De fines séparations plasmiques, renforcées par une micro-fissuration approximativement orthogonale, apparaissent ensuite et délimitent des plages de fond matriciel de tailles variées. Les taches rouges s'intensifient, leurs limites se précisent du fait de la concentration croissante des oxyhydrates de fer, les fentes de retrait s'élargissent pour aboutir à l'isolement plus ou moins complet de microagrégats zonés dans les structichrons hydromorphes et dans les rétichrons. Dans les structichrons plus franchement aliatiques, la concentration en oxyhydrates de fer s'accroît et la zonation disparaît ou ne subsiste qu'exceptionnellement.

On ne sait pas exactement de quels mécanismes géochimiques procèdent les concentrations en oxydes et hydroxydes de fer qui semblent à l'origine de la formation des microagrégats et de la disparition de la zonation. Ces concentrations seraient dues soit à une accumulation absolue de fer, soit à une accumulation relative provoquée par le départ de la silice et de l'alumine. Ces deux modes d'accumulation peuvent aussi coexister simultanément

ou être décalés dans le temps. Le mouvement des éléments dans les structichrons, s'il existe, doit être envisagé sous forme ionique plutôt que sous forme figurée car les cutanes d'illuviation ne semblent pas exister dans les horizons microstructurés composés essentiellement de microagrégats non zonés.

La modification de l'arrangement plasmique paraît accompagner les phénomènes de fragmentation et de concentration des oxyhydrates. Les zones non fragmentées, où apparaissent les premières concentrations, présentent un arrangement plasmique de type masépique ou bi-masépique. L'arrangement devient lattisépique lorsque les fissures se dessinent, puis au fur et à mesure que les microagrégats s'isolent, l'arrangement se transforme encore pour devenir insépique puis asépique. L'arrangement insépique des microagrégats des horizons hydromorphes résulte-t-il d'un arrêt de la transformation à ce stade ou d'une évolution particulière due aux conditions d'hydromorphie particulièrement accentuées présentes dans ces horizons ? Le doute n'est pas encore levé. La fragmentation peut être à l'origine de la disparition de l'orientation mais l'orientation plasmique peut aussi diriger cette fragmentation. La concentration progressive en oxydes et hydroxydes de fer a la possibilité de masquer l'orientation plasmique existant dans les microagrégats des horizons aliatiques, si cette concentration est absolue. Dans l'hypothèse d'un enrichissement relatif en fer, la disparition de l'arrangement plasmique serait une des conséquences du départ de la silice et de l'alumine et de la destruction de l'argile.

La microagrégation dans les sols ferrallitiques rouges résulterait en définitive d'une réorganisation et/ou d'une différenciation géochimique à l'intérieur du fond matriciel, dont les modalités exactes restent à préciser, suivie d'une fragmentation qui partage ce fond matriciel en microagrégats isolés. Ces transformations s'accompagnent d'une modification de l'arrangement plasmique. Les facteurs agissent-ils dans cet ordre ou la fragmentation intervient-elle la première ? Il est cependant vraisemblable d'imaginer la participation simultanée de ces phénomènes.

Les conditions de drainage existantes dans les différents horizons paraissent, à la suite des faits morphologiques, influencer sur la diffé-

renciation des microagrégats. Dans les structichrons rouges sensu stricto fortement drainés, on observe l'apparition de structures arrondies de couleur rouge, mais dans les structichrons moins bien drainés et dans les ré-tichrons une zonation se développe dans les microagrégats. Dans les horizons hydromorphes de bas de pente fréquemment engorgés, la forme, la coloration et la structure des microagrégats deviennent complètement différentes. S'il est encore possible d'envisager une filiation entre les microagrégats des structichrons s. s. et ceux des structichrons hydromorphes ou des ré-tichrons, il devient extrêmement difficile de les rapprocher des microagrégats des horizons hydromorphes.

Les hypothèses de formation des microagrégats tendent à confirmer ces observations. C'est en effet dans les horizons où l'hydromorphie s'exprime assez nettement que les concentrations en oxyhydrates de fer, premiers stades possibles de la microagrégation, sont les plus nombreuses et les plus visibles. L'existence d'une période d'hydromorphie est-elle alors nécessaire pour que la microagrégation s'amorce ? Cette éventualité doit être envisagée car, dans les structichrons à caractères aliatiques assez marqués, la présence de concentrations en oxydes et hydroxydes de fer à l'intérieur d'une masse plasmique continue est rarement observée. Cependant, les quelques fois où elles se remarquent, ces taches rouges de concentration de fer se trouvent dans des zones de fond matriciel plus ou moins continues et moins fortement colorées que les microagrégats environnants. Cette coloration moins intense est peut-être l'indice d'une hydromorphie temporaire très faible et très localisée ?

D'après toutes ces observations, la concentration en oxydes et hydroxydes de fer et l'individualisation des microagrégats paraît s'accroître à partir des structichrons hydromorphes et des ré-tichrons vers les structichrons aliatiques. Par contre, vers les horizons hydromorphes de l'aval des versants, les concentrations visibles à l'intérieur des microagrégats sont beaucoup plus rares mais l'individualisation des microagrégats reste cependant marquée. Il existe peut-être deux modes de formation de ces microstructures en relation avec les conditions d'hydromorphie ?

L'analyse des lames minces d'horizons ferrallitiques variés permet donc d'imaginer l'existence d'au moins un mode de formation des

microagrégats qui s'ajoute à celui de la faune dont les modalités et le moment d'intervention sont encore plus ou moins hypothétiques. Mis à part la liaison de l'argile et du fer, phénomène relativement bien connu qui est un fait caractéristique de la pédoplasation en général, ces deux mécanismes qui interfèrent probablement au cours de la microagrégation sont-ils les seuls possibles ? L'état actuel de nos connaissances ne permet pas de répondre définitivement à cette question.

CONCLUSION

Pourtant connue depuis longtemps, la microagrégation n'est étudiée en détail que depuis une dizaine d'années. Les multiples observations de terrain et l'analyse de lames minces ont contribué à l'acquisition d'une assez bonne connaissance de la morphologie des microagrégats. De nombreuses expériences mettent en évidence les liaisons existant entre les différents éléments qui les constituent et permettent de tester leur résistance. Ces expériences offrent aussi la possibilité de réaliser des assemblages pratiquement identiques à ceux observés dans les sols et d'examiner le comportement des microstructures naturelles et artificielles en fonction de divers paramètres.

La part de la microagrégation dans l'évolution des sols apparaît extrêmement importante et ses conséquences affectent les propriétés physiques des sols, les bilans organiques et minéraux et les problèmes d'utilisation et de mise en valeur des terres. La présence généralisée de microagrégats est responsable d'une grande porosité qui a été remarquée dans les horizons humifères et surtout dans les structichrons ferrallitiques. Cette forte porosité facilite la pénétration des racines dans le sol ainsi que la percolation et la circulation de l'eau et des éléments nutritifs et permet aussi une excellente aération du sol. Tous ces faits ont tendance à favoriser le développement des microorganismes et accélèrent la minéralisation de la matière organique. Par contre, une fraction assez importante des composés organiques contribue à la formation des microagrégats et se trouve ainsi soustraite à l'influence des microorganismes minéralisateurs. La résistance marquée des microagrégats à l'action destructrice de l'eau, la percolation facile de cette eau dans les horizons microstructurés protègent les sols d'une érosion trop rapide. De ce fait, la microagrégation participe

plus ou moins directement à l'évolution des modelés. Cette influence est particulièrement sensible dans les paysages ferrallitiques. La connaissance des différents mécanismes de la microagrégation est donc nécessaire à la compréhension de l'évolution des sols et des paysages.

La microagrégation se révèle donc comme une des manifestations les plus originales de la pédogenèse, particulièrement de la pédogenèse ferrallitique, et l'étendue du domaine géographique qu'elle affecte suffirait à elle seule pour justifier l'intérêt porté à son étude.

BIBLIOGRAPHIE

- BEAUDOU (A. G.)-1972- Expression micromorphologique de la microagrégation et de l'illuviation dans certains horizons de sols ferrallitiques centrafricains et dans les sols hydromorphes associés. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. vol. X, pp. 357-371.
- BEAUDOU (A. G.), CHATELIN (Y.)-1974- Les mouvements d'argile dans certains sols ferrallitiques centrafricains. Trans. Xth Intern. Cong. Soil Sci., Moscow, vol. VII, pp. 247-255.
- BLACKMORE (A. V.)-1973- Aggregation of clay by the product of iron (III) hydrolysis. Aust. J. Soil Res., 11, pp. 75-82
- BREWERS (R.)-1964- Fabric and mineral analysis of soils. John Wiley & Sons, Inc., New-York, Sydney, London, 470 p.
- CHATELIN (Y.), MARTIN (D.)-1972- Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. X; n°1, pp. 25-43.
- CHAUVEL (A.)- Thèse à paraître
- CHAUVEL (A.), MONNIER (G.)-1967- Sur la signification générale de l'analyse granulométrique en pédologie; examen des problèmes posés par la caractérisation de la texture de certains sols tropicaux. C. R. Acad. Sci. Paris, sér. D, t. 264, pp. 1969-1972.
- CHAUVEL (A.), PEDRO (G.)-1967- Considération sur l'analyse granulométrique et le problème de la détermination de la constitution minéralogique élémentaire de certains sols tropicaux. Nécessité et limite de la déferri-fication. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 264, pp. 2089-2092.

- CHAUVEL (A.), FAUCK (R.)-1969- Sur la mise en évidence et la caracté-
risation d'un horizon B "dit de comportement" dans les sols rouges de
Casamance (Sénégal). C.R. Acad. Sci. Paris, t. 269, pp. 2080.
- CHESTERS (G.), ATTOE (O. J.), ALLEN (O. N.)-1957- Soil aggregation in
relation to various soil constituents. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21, pp.
272-277.
- EDWARDS (A. P.), BREMNER (J. M.)-1967- Microaggregates in soil. J.
Soil Sci., 10, pp. 235-244.
- FRIPIAT (J. J.), GASTUCHE (M. C.)-1952- Etude physico-chimique des
surfaces des argiles. Les combinaisons de la kaolinite avec les oxydes
de fer trivalents. Publ. INEAC, Sér. Scientifique, n°54, 60 p.
- GREENLAND (D. J.)-1965- Interactions between clays and organic com-
pounds in soils. III-Adsorption of soil organic compounds and its effect
on soil properties. Soils and Fertilizers, vol. XXVIII, n°6, pp. 521-530.
- JEANSON (C.)-1971- Etude expérimentale de l'action des vers de terre sur
les sols artificiels. In "La vie dans les sols. Aspects nouveaux. Etudes
expérimentales" Gauthiers-Villars Ed., 472 p.
- KUBIENA (W. L.)-1948-Entwicklungslehre des Bodens. Springer Verlag. Wien
- KUBIENA (W. L.)-1950-Zur Mikromorphologie der Braunen and Roten Tro-
penböden. Trans. IVth Intern. Cong. Soil Sci. Amsterdam, vol. 1, pp. 304-307
- LARUELLE (J.)-1956- Quelques aspects de la microstructure des sols du
nord-est du Congo belge. Pédologie, VI, pp. 38-57.
- MULLER (J. P.)- à paraître.
- ROMASHKEVICH (A. I.)-1965- Micromorphological features of processes
leading to the formation of red earth and weathering crust of the Black
Sea coast of the Caucasus. Soviet Soil Sci., 4, pp. 407-415.
- VAGELER (P.)-1930- Grundris der tropischen und subtropischen Bodenkun-
de. Verlagsgesellschaft für Ackerbau, Berlin, 2°8 p.

1-Microagrégat dans un horizon hydro-
morphe. La forme est polyédrique sub-
anguleuse à arrondie. Tous les micro-
agrégats sont entourés d'un fin liséré
brillant d'argiles assez fortement orien-
tées. Les taches blanches représentent
des grains de quartz et les zones noires
des vides.
100x - L. P. A.

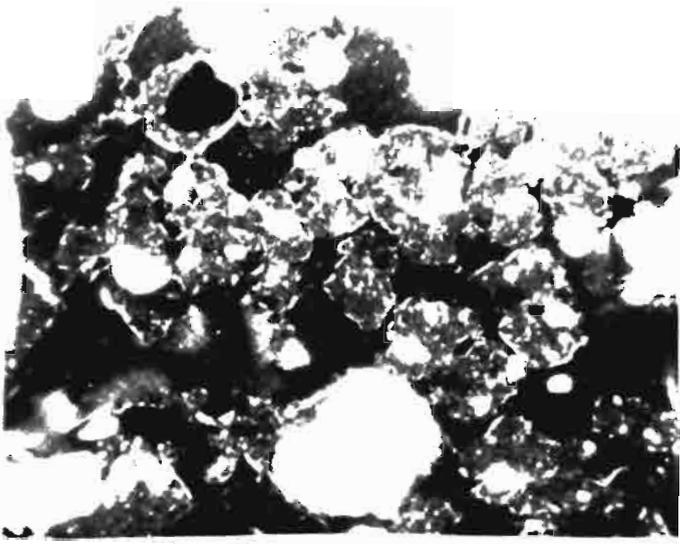
3-Microagrégats d'origine biologique. Au
centre de la photographie, présence d'un
tubule en coupe transversale rempli de
"copropeds" arrondis et de petite dimen-
sion. A droite, un tubule est coupé lon-
gitudinalement et il contient aussi de
très nombreux "copropeds". Le reste
de la photographie représente un fond
matriciel continu.
400x - L. P. N. A.

5-Concentration d'oxyhydrates de fer à
l'intérieur du fond matriciel et appa-
rition d'un fin réseau de fentes. Les
concentrations sont représentées par
les taches noires arrondies ou ovoïdes.
Les petites zones blanches plus ou moins
allongées sont des fentes qui commencent
à apparaître. La plage blanche dans le
coin supérieur droit est un grain de
quartz.
100x - L. P. N. A.

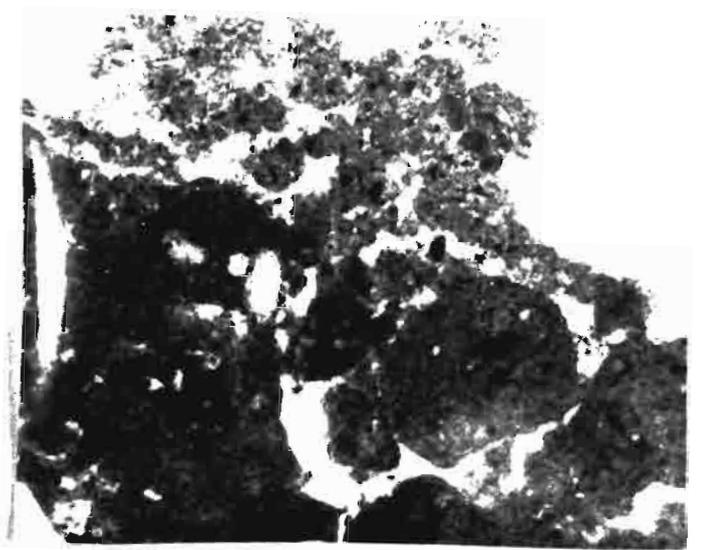
2-Microagrégats dans un structichron
La partie droite de la photographie
montre des microagrégats de tailles
variées et de forme assez nettement
arrondie. A gauche, le fond matriciel
n'est pas fragmenté et montre quel-
ques taches plus sombres d'hydroxy-
des et quelques très petites fentes.
100x - L. P. N. A.

4-Microagrégat zoné. Le centre de la
photographie est occupé par un micro-
agrégat qui possède un noyau central
gris foncé et qui est entouré d'une
zone de fond matriciel gris plus clair
A gauche et à droite, le fond matri-
ciel n'est que partiellement fragmen-
té et d'assez nombreuses petites fen-
tes sont visibles.
400x - L. P. N. A.

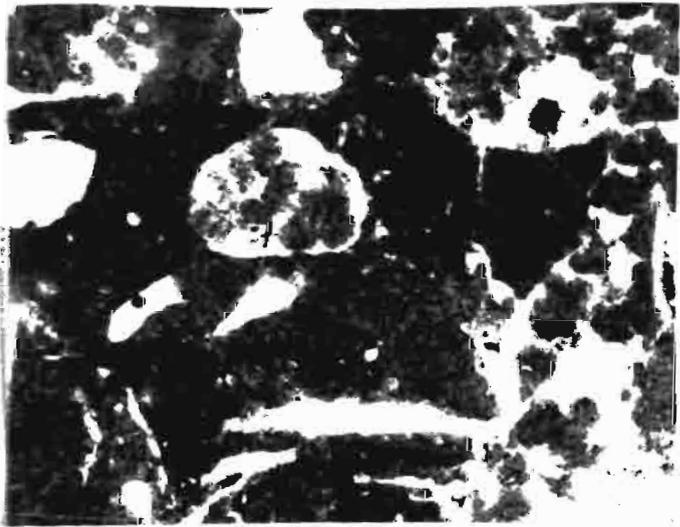
6-Cortex orienté autour d'un microagré-
gat. Dans cette photographie le cortex
orienté est représenté par le liséré
blanc qui entoure la zone gris foncé
située au centre. Le reste du fond ma-
triciel révèle une faible orientation
plasmique visualisée par les nombreu-
ses petites taches blanches. A gauche
et à droite, deux vides de couleur
gris très foncé.
400x - L. P. A.



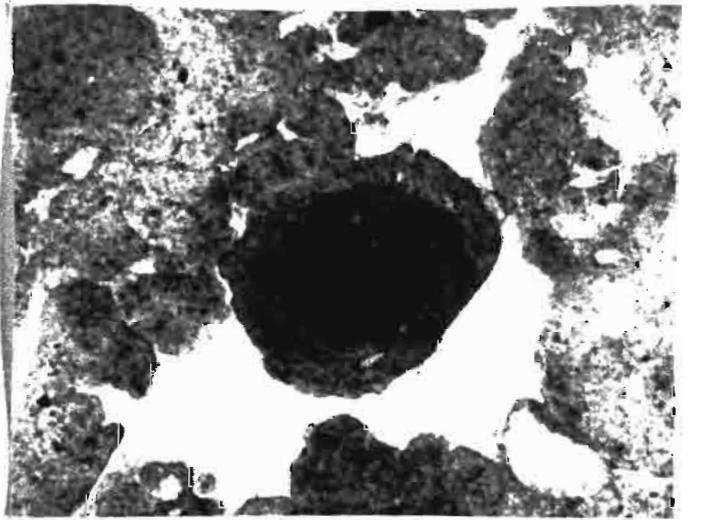
1



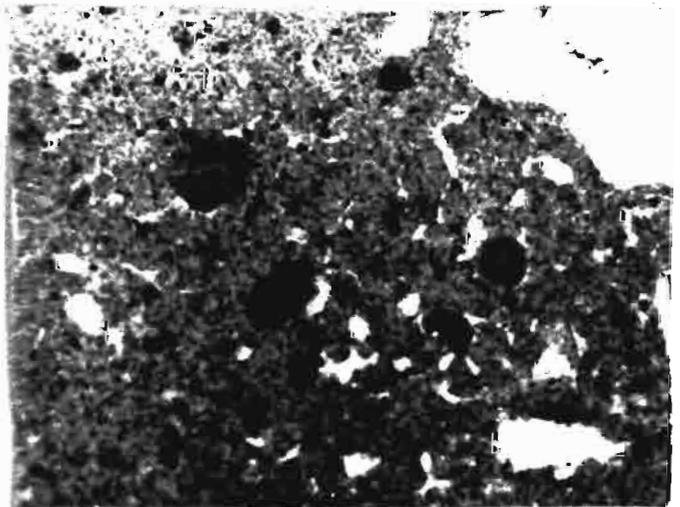
2



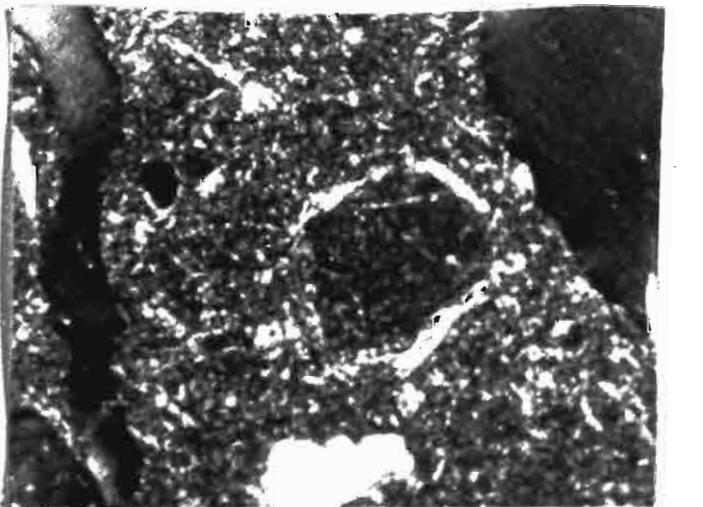
3



4



5



6

Beaudou Alain Gérard

La microagrégation dans les sols

Nouméa : ORSTOM, 1975, 16 p. multigr.