

- REUNION ANNUELLE DES PEDOLOGUES ORSTOM -

Bondy - 6 et 7 Octobre 1967

MIGRATION DE FER - CONCRETIONNEMENT - INDURATION
EN SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX

par

R. MAIGNIEN

Dans une de ses dernières réunions, la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (C.P.C.S. 1967) propose de distinguer à l'intérieur de la nouvelle classe VIII :

Sols à Sesquioxydes de fer et de manganèse, maintenant séparés des Sols Ferrallitiques ; deux sous-classes, suivant que le fer est lié à l'argile ou non. Les sols Rouges Tropicaux du Cameroun, les Sols Rouges Ferrugineux non lessivés, dans la mesure où ils ne sont pas des Sols Rouges Ferrallitiques faiblement désaturés ; certains Sols Rouges Vertiques du Sénégal Oriental paraissent avoir leur place dans la 1^o Sous-Classe : Sols Ferrallitiques où "la fraction argileuse prend génétiquement et morphologiquement une importance prépondérante et dans laquelle les oxydes "accompagnent" l'argile. Par contre les sols clairs, à horizons, qui se développent sous climats tropicaux semi-humides prennent naturellement place parmi la Sous-Classe 2 des Sols Ferrugineux Tropicaux où prédominent très largement la genèse, l'individualisation, les migrations ou la concentration des oxydes métalliques. L'exposé qui suit se situera strictement dans le cadre de cette dernière Sous-Classe suivant la définition que j'en ai donné en Congrès de BUCAREST (1964) :

1. Réalité de la migration du fer

Bien que l'on manque de données analytiques sur la composition des eaux de percolation en Sols Ferrugineux Tropicaux, la réalité de la migration du fer est concrétisée par de nombreuses observations :

- une tranchée ouverte pendant la saison des pluies laisse apparaître des suintements aqueux importants qui s'oxydent au contact de l'air, provoquant des trainées de couleur rouille ;
- des dépôts ferrugineux généralisés s'observent sur le talus des algues qui se développent dans les eaux qui suintent le long des talus. Ou soit que ces algues libèrent de l'oxygène, ce qui provoque la précipitation des formes réduites du fer.
- la morphologie des profils concrétise ces migrations. Les horizons de surface sont décolorés (10 YR à 7,5 YR) ; les horizons profonds présentent des accumulations de sesquioxides sous formes diffuses, de taches, concrétions ou cuirasses ferrugineuses. Cette éluviation suivie d'une illuviation est matérialisée par les résultats analytiques. Il faut préciser que le calcul de l'intensité du lessivage doit porter sur le dosage de la terre totale et non sur la terre fine, les sesquioxides s'immobilisant généralement sous formes grossières, indurées. Les teneurs en fer de ces concrétions et cuirasses se situent le plus souvent entre 20 et 40 % de Fe₂O₃.
- enfin l'importance des surfaces cuirassées, en zones à Sols Ferrugineux Tropicaux, en regard de matériaux originels pauvres en fer, particulièrement sur formation sédimentaires, précise l'intensité de la concentration et par suite des migrations.

2. Sens des migrations

Le développement des profils matérialise le sens des migrations, qui sont de deux types :

- "per descensum : horizon d'accumulation en profondeur, faisant suite à des horizons de surface lessivé. Ces mouvements verticaux, de haut en bas sont à rapprocher de l'étude du bilan hydrique de ces sols que ce soit par mesures directes (cases lysimatique de BAMBEY) ou calculés (formule HENIN, TURC ...). Une approximation globale fournit des chiffres de drainage hors profils qui varient de 200 à 500 mm/en.
- mais ces percolations verticales se compliquent de mouvements obliques importants qui provoquent l'apparition de phénomènes d'hydromorphie en bas de pente, la mise en place de nappe temporaire perchées le long des glacis et par une plus grande intensité du concrétionnement et du cuirassement en ces emplacements particuliers. Il en résulte le développement de chaînes de sols bien caractérisées, devenues maintenant classiques.

Ces migrations oblique sont d'autant plus importants que les sols sont plus lessivés et présentent corrélativement en profondeur un horizon d'accumulation argileux plus imperméable. Plus l'horizon B2t est développé, plus les migrations latérales sont intenses que ce soit sous forme de ruissellement, d'écoulement hypodermique, ou de nappe temporaire mobile perchée.

3. Formes de migration du fer

L'étude des formes de migration du fer en Sols Ferrugineux tropicaux n'a jamais été abordée de façon directe. Mais on peut raisonner par analogie aux formes reconnues dans d'autres groupes de sols, plus particulièrement les Sols à Humus Bruts et les Sols Hydromorphes. Les données suivantes sont empruntées à P. SEGALEN : "Le fer dans les Sols".

- "La mise en mouvement du fer implique presque toujours la réduction du Fe^{3+} en Fe^{2+} . Cette réduction est commandée par l'activité microbienne et le potentiel d'oxydo-réduction de sol.

La migration de l'ion ferreux peut s'effectuer dans des conditions très limitées de pH et de Eh. Les possibilités de déplacement sont cependant beaucoup plus grandes et variées, grâce aux complexes (surtout organiques) et aux "sols" qui permettent en fer de se déplacer dans des conditions où normalement il est précipité. L'existence de chélates demande à être précisée".

Le fer individualisé rentre dans diverses combinaisons qui peuvent être résumées comme suit :

- complexation et même chélation du fer par la matière organique ;
- adsorption des hydroxydes sur les surfaces des argiles avec fixation par points hydrogènes ; réaction partielle au niveau des positions d'échange.
- adsorption des humates sur les surfaces des micelles argileuses et réaction avec complexation du fer au niveau des positions d'échange.

Ces différentes formes ont pu être reconnues soit directement soit indirectement en reconstituant des modèles reprenant certaines dispositions du milieu naturel.

Suivant les conditions du milieu c'est tantôt l'une tantôt l'autre des formes qui interviennent. Concernant les Sols Ferrugineux Tropicaux on ne peut avancer que des

hypothèses fonctions, d'une part, de nos connaissances sur le milieu et, d'autre part, des données actuellement acquises sur la matière organique. En particulier des conditions d'hydromorphie temporaire importante (liée au climat tropical), la prédominance d'acides fulviques sur les acides humiques qui augmente au fur et à mesure du lessivage, la minéralisation rapide de la matière organique, militent en faveur des produits assez comparables à ceux qui ont été reconnus en sols podzoliques. "La réduction, complexation et transport du fer sont effectués par des produits de transformation de la matière organique fraîche, transitoires et solubles".

Les processus d'absorption des oxydes sur les argiles semblent par contre très limités et de toute façon les liaisons paraissent très fragiles. Il en paraît de même pour l'adsorption des humates sur les micelles argileuses par le canal d'un pont fer. Mais tout ceci reste naturellement à préciser.

4. Conditions de la migration du fer - Incidences sur la morphologie

Pour qu'il y ait migration, il faut que les matériaux originels puissent libérer du fer et que les conditions du milieu provoquent sa mobilisation, puis son transport.

4.1. Libération du fer

Les possibilités de libération du fer sont liées à la nature même des combinaisons du fer dans les roches et aux conditions climatiques.

A partir des silicates d'aluminium, la libération du fer, résultent des processus d'altération, en particulier de l'hydrolyse. Il s'agit là d'un phénomène général qui est exacerbé sous climats chauds et humides.

Mais il existe aussi de nombreux matériaux où le fer apparaît comme un produit hérité (sédiment - anciens niveaux cuirassés, etc...). Il est certain que dans ces conditions la mobilisation est facilitée. Elle est liée aux divers processus décrits au chapitre précédent.

En résumé cette libération du fer n'est pas spécifique des sols ferrugineux tropicaux. Tout au plus peut-on dire qu'elle y est très active, mais pas plus qu'en sols ferrallitiques, ou dans certains hydromorphes.

4.2. Devenir du fer mobilisé

Pour que le fer mobilisé puisse migrer, il faut qu'il rentre dans certaines combinaisons qui permettent son transport. On retrouve ici les différentes formes de migration du fer décrites précédemment. Par contre les phénomènes pédogénétiques sont plus spécifiques des sols Ferrugineux Tropicaux, à savoir : formation de complexes pseudo-solubles liés à l'évolution de la matière organique qui dans ces conditions fournit des produits peu polymérisés que l'on peut grouper, en première approximation, sous le terme d'acides fulviques. Ces processus se réalisent en milieu réducteur conditionné par des précipitations intenses et très groupées, caractéristiques du climat tropical et par le

modèle subhorizontal de longs gleyis à formes concaves qui freine l'écoulement des eaux en aval. Ces conditions sont communes dans les régions étudiées. Elles ne sont pas spécifiques des seuls sols Ferrugineux Tropicaux, mais aussi des Vertisols et des sols Hydromorphes. La différenciation porte plus particulièrement sur le type d'hydromorphie. Il s'agit toujours de milieu non confinés, à hydromorphie temporaire par nappe circulante (perchée ou non). La présence de CO_3Ca limite l'évolution qui se réalise uniquement sous des conditions d'acidité. On retrouve là également les conditions générales du lessivage des argiles. Les migrations se réalisent alors sous l'action des eaux de percolation, ce qui suppose que le milieu draine (verticalement ou obliquement). Lorsqu'il est confiné et plus ou moins enrichi en Ca^{++} et probablement même en Mg^{++} , on observe des évolutions fondamentalement différents types Sols Rouges Tropicaux ou Vertisols. Dans le premier cas le fer paraît participer aux néosynthèses argileuses avec formation de monttronite et s'associe étroitement et énergiquement aux kaolinites toujours présentes. Le problème se pose d'ailleurs ici de l'origine de ces kaolinites (sont-elles héritées; peuvent-elles se former sous ces conditions?). Dans le second cas le fer semble se trouver sous formes réduites. Mais dans ces deux types de sols le fer est toujours stabilisé par les argiles et ne migre pratiquement pas.

Des phénomènes comparables se réalisent lorsque l'on passe à des régions plus sèches. Le drainage diminue et se limite à une période extrêmement brève. Les aspects morphologiques du lessivage s'estompent, deviennent de plus en plus discrets. Il est alors délicat de séparer Sols Ferrugineux Tropicaux peu lessivés et Sols Brun-rouge Subarides sur les seules bases du dynamisme du fer. La différenciation porte alors sur la morphologie de l'horizon A1.

A l'opposé se pose également un problème important qui est celui de la différenciation entre Sols Ferrugineux Tropicaux à pseudo-gley et Sols Hydromorphes Minéraux acides. dans le cas des Sols Ferrugineux ce sont les processus même de la pédogénèse qui induisent les mouvements du fer ; dans celui des Sols Hydromorphes ce sont plutôt les conditions particulières du milieu qui dans leurs résultats sont très comparables aux précédentes. Il en résulte, du moins en ce qui concerne le dynamisme du fer, des convergences de faciès. Il est pratiquement impossible de différencier ces sols sur cette seule base. C'est pourquoi j'ai souvent insisté sur l'importance du lessivage de l'ar-

gile et de la mise en place d'un B textural dans la reconnaissance des Sols Ferrugineux Tropicaux. En l'absence de ce dernier (cas des Sols Ferrugineux peu lessivés, des Sols Ferrugineux extrêmement lessivés dans lesquels l'argile a été exportée hors des profils) la différenciation d'avec les Sols Hydromorphes Minéraux à pseudo-gley paraît très difficile. Personnellement je m'appuie sur la couleur de l'horizon A1 : gris-noir pour les Sols Ferrugineux ; gris-bleuté pour les Sols Hydromorphes. Il serait d'ailleurs nécessaire de préciser exactement les limites de couleur à l'aide du code.

Une autre méthode consiste à étudier la position des taches de pseudo-gley à travers les profils. Et il a été proposé de limiter la position de ces taches aux horizons C et B pour séparer Sols Ferrugineux Tropicaux, des sols Hydromorphes Minéraux. Mais il faut bien reconnaître que de nombreux Sols Ferrugineux Tropicaux montrent des trainées rouilles le long des racines dans l'horizon A1 et que A2 présente souvent aussi des marbrures mal individualisées. La différenciation ne paraît possible que si l'on ne considère que des taches de pseudo-gley bien colorées et bien individualisées.

5. Accumulation et Immobilisation

Ces processus sont liés aux conditions inversées de ceux précédemment décrits: oxydation, disparition des complexants protecteurs (action de la microflore). Les comparaisons de ces conditions avec celles du milieu expliquent aisément la distribution et la morphologie des zones d'accumulation que ce soit dans le profil, ou à travers un paysage donné. Dans le premier cas l'immobilisation débute sous l'horizon Bt, puis se développe peu à peu vers le haut ; dans le second la distribution suit les règles énoncées dans la formation de cuirasses ferrugineuses par lessivage oblique. La plus ou moins grande concentration du fer que ce soit sous forme de concrétions ou de cuirasse est liée aux conditions physico-chimiques du milieu de réception. L'alourdissement de la texture, l'élévation du pH, l'enrichissement en alcalino-terreux, accusent l'individualisation et la concentration. Ces conditions générales expliquent pourquoi d'une façon très générale, les Sels Ferrugineux sont plutôt concrétionnés, ou à cuirasses gravillonneuses, que les Sels Hydromorphes Minéraux qui montrent plutôt des cuirasses alvéolaires. Mais le problème reste entier pour les sols à pseudo-gley qu'ils soient Ferrugineux ou Hydromorphes lorsqu'ils se développent sur des sédiments très évolués et acides.

6. Conclusion

Si l'extrême habilité du fer permet de définir les Sols Ferrugineux Tropicaux à un niveau très élevé de la classification (Sous-Classe) ; par contre l'intensité de l'individualisation, l'importance des migrations et la morphologie des accumulations ne semblent devoir apparaître qu'à un niveau beaucoup plus bas car dépendant plutôt de conditions stationnelles. Jusqu'à ce jour, j'ai proposé le niveau du Sous-Groupe : sans taches, à taches, à concrétions, à cuirasses ferrugineuses. Mais il est certain que si cette distinction est satisfaisante sur le plan intellectuel, surtout pour les Sols Ferrugineux Lessivés en particulier par suite des relations génétiques entre lessivage de l'argile et intensité de l'accumulation du fer, elle l'est beaucoup moins sur un plan pratique : taches et concrétions sont souvent associées - le cuirassement est plutôt lié au développement d'une chaîne de sol, etc... Ces faits posent d'ailleurs une difficulté, non encore résolue, à savoir : la place des chaînes de Sols (génétiques dans le cadre de la classification. Peut-être n'est-ce qu'un faux problème, mais il mériterait d'être étudié dans le cadre de levées cartographiques détaillées.

Mais le problème de la différenciation des Sols Ferrugineux peu lessivés au niveau du Sous-Groupe sur la base du dynamisme du fer reste posé. On conçoit très bien une solution par l'introduction d'intergrades (Sols à Hydromorphie), par contre il paraît difficile de reconnaître des notions d'intensité liées au processus fondamental du groupe (faible lessivage de l'argile). Les conséquences des conditions de station sur l'évolution du fer ne devraient apparaître qu'au niveau de la série. Dans l'affirmative les faits morphologiques liés à ces processus demanderaient à être précisés.