

## BIODISPONIBILITÉ DU FER DANS LES SOLS : RÔLE MAJEUR DES ACTIVITÉS MICROBIENNES .

par Jacques **Berthelin**<sup>1</sup>, Cécile **Quantin**<sup>1,2</sup>, Sébastien **Stemmler**<sup>1</sup> et Corinne **Leyval**<sup>1</sup>

Le fer, 4<sup>ème</sup> élément de la croûte terrestre et oligo-élément essentiel, est présent dans les sols, essentiellement dans les minéraux primaires issus de la roche mère ou secondaires issus de l'altération (oxydes, silicates, carbonates, sulfures, phosphates), mais aussi dans des associations organo-minérales qui dans leur ensemble sont très peu solubles. Il est donc le plus souvent peu biodisponible. Sa mobilité et disponibilité potentielles sont déterminées par des extractions chimiques, utilisant des réactifs plus ou moins spécifiques mettant en évidence divers compartiments géochimiques par dissolution de leurs constituants (1) (2). C'est un élément qui présente une forte réactivité grâce à sa capacité à être réduit ou oxydé ou à former des complexes organo-métalliques solubles. Sa mobilité est donc guidée par les conditions acido-basiques et d'oxydo-réduction du milieu et par la présence de ligands organiques (3).

Ces paramètres (pH, Eh, présence de ligands organiques) ne sont pas uniquement chimiques et physico-chimiques, mais sous la dépendance des activités microbiennes qui les modifient en permanence.

Par ailleurs les sols contiennent des communautés bactériennes ou fongiques qui disposent de stratégies énergétiques et nutritionnelles leur permettant d'intervenir directement dans les phénomènes de dissolution et ou immobilisation du fer par oxydation, réduction, formation et dégradation de complexes organo-métalliques dans diverses conditions de milieu (4)(5).

En milieu acide ou neutre, aérobie ou microaérophile, des populations bactériennes autotrophes ou mixotrophes oxydent Fe (II) en Fe (III) pour obtenir l'énergie nécessaire à leur croissance. Ces processus conduisent, sauf en conditions acides ou complexantes, à la formation de dépôts d'hydroxydes et oxyhydroxydes ferriques ou encore de dépôts de sulfates, phosphates (5) (6).

D'autres communautés bactériennes aéro-anaérobies ou anaérobies utilisent le fer ferrique comme accepteur d'électrons, pour leur respiration en absence d'oxygène (respiration anaérobie) ou en parallèle ou complément de fermentation. Le fer est alors mobilisé et disponible sous forme ferreuse et ne restera soluble qu'en conditions réductrices (7). Ce phénomène se produit non seulement en sol saturé mais aussi en milieu où la consommation d'oxygène entraîne l'anoxie et conduit à la mise en place de ces réductions bactériennes (8).

Ces différents processus d'oxydation et réduction modifient aussi le statut du fer dans la phase solide qui évolue, pour une part, vers des formes plus mobilisables (9).

Enfin des champignons (mycorrhizogène ou saprophytes) et des bactéries, rhizosphériques ou non, produisent des substances complexantes du fer (acides aliphatiques

---

<sup>1</sup> Laboratoire des Interactions Micro-organismes-Minéraux-Matières Organiques dans les Sols (LIMOS) ,UMR 7137 CNRS- Université Henry Poincaré - Nancy I, Faculté des Sciences, BP239, 54506 Vandoeuvre lès Nancy Cedex, France. Email : [jacques.berthelin@limos.uhp-nancy.fr](mailto:jacques.berthelin@limos.uhp-nancy.fr)

<sup>2</sup> UMR IDES, UNIVERSITÉ Paris Sud XI , bat. 504, 91405 Orsay, France.

polycarboxyliques, hydroxycarboxyliques, acides phénols, acides hydroxamiques...). Ainsi, des bactéries rhizosphériques utilisant des exsudats racinaires du hêtre, produisent des acides maliques et lactiques qui contribuent à l'altération de minéraux, ici un mica la phlogopite, et à la solubilisation d'éléments minéraux dont le fer (10) (11). Il sera alors transféré plus abondamment à la plante (10) (11). Certains de ces composés complexant du fer, les sidérophores, qui disposent soit de trois groupements fonctionnels acide hydroxamique soit de trois groupements di ortho-phénol présentent une capacité complexante spécifique du fer ferrique (12)(13). Ils interviennent plus efficacement que les acides aliphatiques, dans la solubilisation des oxyhydroxydes ferriques comme la goethite (14).

En conclusion l'ensemble de ces processus, impliqués plus ou moins spécifiquement dans la dissolution du fer et / ou son dépôt, conduisent à l'accroissement de sa disponibilité dans les sols rhizosphériques et non rhizosphériques. Ils peuvent avoir des effets bénéfiques ou nocifs, directs ou indirects dans le fonctionnement des systèmes sols – plantes. Ils interviennent aussi sur le comportement d'autres éléments (phosphore, éléments en trace, soufre...) (5). La connaissance des structures et fonctions des communautés microbiennes impliquées doit progresser pour mieux définir ces processus microbiens. Mais il importe aussi de déterminer les paramètres du milieu (aération, disponibilité et renouvellement des donneurs et accepteurs d'électrons et des sources de fer disponibles) qui contrôlent ces activités microbiennes.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) Mortvedt J.J., 2000. – Bioavailability of micronutrients. *in* M.C. Summer (ed.), Handbook of soil science. CRC Press, Boca Raton, D71- D88.
- (2) Coppenet M., Juste C., 1994. – Les oligo-éléments chez les plantes, carences et toxicité. *in* M. Bonneau et B. Souchier, Pédologie, tome 2, Constituants et propriétés du sol. Masson, Paris, 579-584.
- (3) McBride, M.B. 1994 ; Environmental chemistry of soil . Oxford University Press .
- (4) Robert M., Berthelin J., 1986. – Role of biological and biochemical factors in soil mineral weathering. *in* P.M. Huang et M. Schnitzer (eds). Interactions of soil minerals with natural organics and microbes. S.S.S.A. spec. Publ., **17**, Madison. 453-495.
- (5) Ehrlich H.L., 2001. – Geomicrobiology. Marcel Dekker Inc. New-York.
- (6) Houot S., Berthelin J., 1992. – Submicroscopic studies of iron deposits occurring in field drains : formation and evolution. *Geoderma*, **52**, 209-222.
- (7) Stemmler S., Berthelin J., 2003. – Microbial activity as a major factor in the mobilization of iron in the humid tropic. *Eur. J. Soil Sci.*, **54**, 725- 733.
- (8) Stemmler S., Loyaux-Lawniczak S., Berthelin J., 2004. – . Effet de la teneur en eau d'un sol sur la réduction bactérienne d'oxydes de fer . *C.R. Géosciences*, **336**, 1171-1179.
- (9) Quantin, C., Becquer Th., Rouiller J., Berthelin, J., 2002. – Redistribution of metals in a New Caledonia Ferrasol after microbial weathering. *Soil Sci. Am. J.*, **66**, 1797 – 1804.
- (10) Leyval C., Berthelin J. 1989. – Interactions between *Laccaria laccata*, *Agrobacterium radiobacter* and beech roots : influence on P, K, Mg and Fe mobilization from minerals and plant growth. *Plant and Soil*, **105**, 103-110.

- (11) Leyval C., Berthelin J., 1991. – Weathering of a mica by roots and rhizospheric microorganisms of Pine. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **55**, 1009-1016.
- (12) Watteau, F., Berthelin, J. 1992. – Présence de sidérophores dans les matières organiques de sols calcimagnésiques et acides. *C.R. Acad. Sc.*, **315**, 1549-1554.
- (13) Kraemer S.M., 2004. – Iron oxide dissolution and solubility in the presence of siderophores. *Aquat. Sci.*, **66**, 3- 18.
- (14) Watteau F., Berthelin J., 1994. – Microbial dissolution of iron from minerals : efficiency and specificity of hydroxamate siderophore in the dissolution of ferric oxides. *Europ. J. of Soil Biol.*, **30**, 1-9.