

L'acidification des sols : origine, approche, enjeux et maîtrise

Flux de protons dans la rhizosphère et acidification des sols.

Les plantes prélèvent dans le sol l'eau et les éléments minéraux dont elles ont besoin pour leur croissance. Elles libèrent en retour diverses substances minérales et organiques, en particulier des protons. Ce flux de protons modifie les conditions physico-chimiques de la rhizosphère, à commencer par son pH. Il contribue à mobiliser les éléments minéraux dont la solubilité varie avec le pH, comme le phosphore, ou des métaux comme le zinc, le fer ou l'aluminium. La localisation, la direction et l'intensité du flux de protons dépendent autant de la plante que du milieu. A l'échelle de la plante entière ou du couvert végétal, le flux de protons libérés par les racines contribue pour une part à l'acidification du sol, ou son alcalinisation, selon les pratiques culturales.

Les plantes prélèvent dans le sol l'eau et les éléments minéraux dont elles ont besoin pour leur croissance et libèrent en retour diverses substances minérales et organiques. Ces échanges de matière entre plante et sol ont pour effet de modifier les propriétés chimiques de la solution du sol, de déplacer les équilibres ioniques, de mobiliser des éléments minéraux, voire d'altérer les minéraux du sol. Ces modifications du fonctionnement chimique de la rhizosphère se traduisent à long terme par une évolution des sols, de leur composition chimique et minéralogique et de leurs propriétés physiques. Une conséquence fréquemment observée est l'acidification du sol et la dégradation de sa fertilité chimique. Cette acidification est d'autant plus rapide que le climat est pluvieux et propice au lessivage des sols, que l'agriculture est intensive, mais aussi que les sols sont déjà acides et que leur pouvoir tampon est faible, ce qui va souvent de pair.

Le flux de protons libéré par les racines dans le sol résulte pour l'essentiel de la nutrition minérale des plantes. Les plantes prélèvent les éléments minéraux (N, K, Ca, P...) dont elles ont besoin sous forme d'ions (K^+ , Ca^{2+} , NO_3^- ou NH_4^+ , $H_2PO_4^-$...) dissous dans la solution du sol. Leur

prélèvement s'accompagne donc d'un transfert de charges (H^+ ou OH^-) entre la racine et le sol qui compense les déficits électriques engendrés par le prélèvement des ions minéraux. Si la plante prélève plus d'équivalents cations que d'équivalents anions, elle libère la différence sous forme d'équivalents protons H^+ : le pH de la rhizosphère diminue. A l'inverse, si la plante prélève plus d'équivalents anions que d'équivalents cations, elle libère la différence sous forme d'équivalents hydroxyle OH^- : le pH de la rhizosphère augmente. Au niveau de la rhizosphère, la nutrition minérale se traduit donc à la fois par une diminution de la concentration en solution des éléments prélevés par la plante et par une modification du pH de la solution du sol. A la mort de la plante, les éléments accumulés dans la plante peuvent être exportés hors de la parcelle lors de la récolte, et le sol s'appauvrit en conséquence en éléments minéraux: le sol s'acidifie.

Le flux de protons associé à la nutrition minérale des plantes a été très étudié il y a une vingtaine d'années. Il répond à plusieurs exigences physiologiques de la plante et son déterminisme est particulièrement complexe. Il varie en direction et intensité selon l'espèce végétale considérée, son stade physiologique

et son statut symbiotique. Il n'est pas uniformément distribué le long des racines et peut être localisé en certaines régions particulières comme les apex en croissance.

Le flux de protons libéré par les plantes dépend aussi, et autant, des conditions de milieu. Le principal facteur est la nutrition azotée de la plante. En effet, l'azote est un élément majeur qui se trouve dans les sols sous différents états d'oxydation, en particulier sous forme d'anion nitrate NO_3^- et de cation ammonium NH_4^+ . Il s'ensuit que, en milieu oxydant ou fertilisé, l'azote se trouve principalement sous forme de nitrate et le prélèvement de cet élément sous forme anionique égale ou excède légèrement les prélèvements de cations, K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} : le pH de la rhizosphère varie peu et généralement dans le sens d'une augmentation. En milieu réducteur ou en présence d'une fertilisation ammonitrée, l'azote se trouve sous forme cationique et son prélèvement ne permet pas d'équilibrer le prélèvement des autres cations dont la plante a besoin: le pH de la rhizosphère diminue fortement. Dans ce contexte, les Légumineuses tiennent une place à part. La fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par les nodosités permet à la plante de pourvoir à ses besoins en azote en utilisant la molécule N_2 , électriquement neutre. Il s'ensuit

que leurs besoins en éléments cationiques excèdent largement leur besoins en éléments anioniques, ce qui se traduit par une diminution systématique du pH de leur rhizosphère.

Les anions organiques libérés par certaines espèces végétales contribuent également à l'acidification de la rhizosphère. Mais, si ce processus est commun chez les microorganismes, les champignons en particulier, il est plus anecdotique chez les végétaux supérieurs. De plus, les quantités libérées sont le plus, souvent modestes en regard des quantités d'autres ions échangés entre la racine et le sol. Pour exemple, l'excrétion d'anions organiques chez le maïs n'excède pas 0.3% des équivalents protons libérés dans le milieu *via* la nutrition minérale.

La respiration des racines et des microorganismes qui lui sont associés contribuent également à diminuer le pH de la rhizosphère, car elle augmente la concentration en acide carbonique. Mais ce processus est transitoire: à la mort de la plante, la concentration en acide carbonique dissous se rééquilibre avec l'atmosphère du sol, et le pH de la solution du sol revient à sa valeur initiale. A l'inverse de la nutrition minérale, la respiration n'acidifie pas durablement le sol.

Texte de Benoît JAILLARD, INRA, UMR Sol & Environnement, place Pierre Viala, 34060 Montpellier cedex, tél: 04.99.61.23.82, fax: 04.67.63.26.14, e? mail: benoit.jaillard@ensam.inra.fr.

Pour en savoir plus:

JAILLARD B, PLASSARD C, HINSINGER P 2001 Measurements of H^+ fluxes and concentrations in the rhizosphere. In *Handbook of Soil Acidity*, éd par Z RENGEL, Marcel Dekker Inc., New York, USA (sous presse)

HINSINGER P 1998 How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. *Advances in Agronomy*, 64, 225-265.

MARSCHNER H 1995 Mineral nutrition of higher plants. 2^{ème} éd, Academic Press, London.

JAILLARD B, HINSINGER P 1993 Alimentation minérale des végétaux dans le sol. *Encyclopédie des Techniques Agricoles*, 87 (6-93), fasc. 1210:1-13.