

## Solution du sol et garniture ionique des complexes d'échange : évolution suite à l'acidification et au chaulage

*Cette fiche rappelle les notions de base bien établies en ce qui concerne les sources d'acidification du sol, avec une attention particulière à l'évolution des complexes d'échange qui sont en contact direct avec la solution du sol et qui en tamponnent les variations de composition chimique. On verra dans quelle mesure cette acidification peut être freinée par certains processus naturels et par la pratique, déjà ancestrale, du chaulage. L'exposé s'appuiera sur l'exemple d'un substrat loessique calcarifère au départ ayant évolué, sous couvert naturel, vers un sol acide et qui, soumis ensuite à l'agriculture, a vu son acidité totalement neutralisée au point de redevenir calcarifère.*

### Sources d'acidification du sol

L'eau de pluie la plus pure contient une certaine concentration d'anhydride carbonique (CO<sub>2</sub>) qui produit un acide faible, l'acide carbonique, susceptible de se dissocier et de libérer des protons. L'industrialisation a par ailleurs conduit à augmenter la charge acide des précipitations, notamment par l'oxydation de composés soufrés. L'apport d'ammonium par retombées atmosphériques, ou par fertilisation, est une autre source potentielle d'acidification du sol comme expliqué ci-après.

Les réactions génératrices de protons dans le sol sont nombreuses et, dans une très large mesure, tributaires de réactions biologiques. Ces réactions sont donc particulièrement actives dans la frange superficielle du sol où se concentrent les matières organiques, sources d'énergie et de carbone pour la plupart des micro-organismes. La respiration microbienne et racinaire entraîne un accroissement important de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'air des pores du sol et donc également d'acide carbonique dans la solution du sol. L'ammonium, produit par la minéralisation de la matière organique ou introduit en surface comme évoqué ci-dessus, est oxydé par voie microbienne en libérant deux moles de protons par mole de nitrate produit. Cette réaction est connue sous le nom de nitrification. L'excrétion de protons par les racines est aussi source

d'acidification si la plante prélève globalement plus de nutriments cationiques (K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>...) qu'anioniques (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, ...). D'autres réactions, notamment d'oxydation, peuvent contribuer à l'acidification mais dans des contextes plus spécifiques.

### Réactions successives lors de l'acidification

L'augmentation naturelle de la concentration en protons dans la solution du sol est annihilée ou freinée par deux processus principaux, d'une part la dissolution ou l'altération de minéraux et d'autre part la fixation de protons sur les surfaces des constituants solides, inorganiques et organiques, avec des conséquences importantes sur la garniture des complexes d'échange. Un exemple partant d'un substrat calcarifère illustrera une séquence type de réactions déclenchées par la production de protons dans le sol.

#### Décarbonatation

Aussi longtemps qu'un minéral carbonaté comme la calcite est présent, les protons sont totalement consommés selon la réaction schématique de dissolution suivante (décalcarisation) :



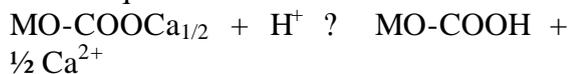
Aussi longtemps que la calcite n'est pas totalement dissoute, le pH de l'eau du sol est fortement tributaire de la pression

partielle en  $\text{CO}_2$  ; il se situe dans la zone légèrement supérieure à 7, jusqu'à environ 8.3, sauf dans certaines situations particulières où le sol est riche en carbonates très solubles de Na et/ou de Mg.

Aussi longtemps que le  $\text{CaCO}_3$  n'est pas totalement dissout, les complexes d'échange sont très majoritairement garnis de  $\text{Ca}^{2+}$ . Le reste de la garniture ionique est constitué de  $\text{Mg}^{2+}$ , de  $\text{K}^+$  et de  $\text{Na}^+$ , provenant des équilibres de solubilité d'autres minéraux ainsi que d'apports extérieurs (notamment résidus organiques).

#### *Décalcification*

Lorsque tout le  $\text{CaCO}_3$  est dissout, la production de protons entraîne une baisse de pH progressive s'accompagnant d'une protonation des constituants à charge variable (matière organique, oxyhydroxydes) et des sites de bordure des alumino-silicates. Typiquement pour la matière organique (MO), la réaction schématique suivante :



induit une baisse de la CEC effective et une perte de cations alcalins et alcalino-terreux échangeables.

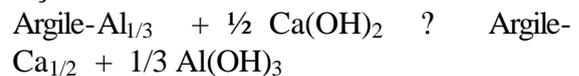
#### *Aluminisation*

Si ces « cations échangeables » sont entraînés par l'eau vers les horizons de profondeur, accompagnées de quantités équivalentes d'anions, l'acidification se poursuit, le complexe d'échange se dégarnit jusqu'à arriver à des pH suffisamment faibles pour que les minéraux contenant de l'aluminium deviennent significativement solubles. L' $\text{Al}^{3+}$  libéré en solution est un cation trivalent compétiteur très puissant pour les sites d'échange au point d'y devenir le cation dominant. Il possède un pouvoir de complexation important vis-à-vis des sites

organiques et sa valence élevée le favorise également pour la fixation sur les sites minéraux. Les cations échangeables résiduels sont ceux qui sont issus de l'altération des alumino-silicates, notamment le potassium des micas. On peut arriver ainsi à des complexes d'échange totalement décalcifiés.

#### **Inversion des réactions lors du chaulage**

Regarnir le complexe d'échange de cations non acides ne suppose pas seulement l'apport de cations tels que Ca, Mg et K, mais aussi une neutralisation de l'acidité. L'amendement typique qui combine ces deux actions est la chaux. Schématiquement, la chaux réagit avec les complexes d'échange aluminisés de la façon suivante :



$\text{Al(OH)}_3$  désigne une forme générique d'oxyhydroxyde d'aluminium insolubilisée par l'augmentation de pH qui résulte de l'apport de chaux. Par ailleurs, les charges variables protonées se dissocient par augmentation de pH et génèrent un accroissement de CEC effective.

Une réaction semblable peut être écrite en partant de calcite  $\text{CaCO}_3$ , ou de tout amendement calcaro-magnésien tel que la dolomie. Il faut en effet rappeler que le chaulage *sensu stricto* n'apporte que du Ca comme cation échangeable et qu'une attention particulière doit être portée à la reconstitution d'un complexe d'échange équilibré.

Si les apports de chaux remontent le pH jusqu'à des valeurs typiques de l'équilibre avec la calcite, l'excès de chaux en présence de  $\text{CO}_2$  évolue vers la forme  $\text{CaCO}_3$  et génère ainsi un nouveau sol calcarifère.

Texte de Joseph Dufey, UCL - Faculté des Sciences agronomiques, Croix du Sud 2; 1348 Louvain-la-Neuve (Belgique) <http://www.agro.ucl.ac.be>