

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

Les constituants des sols : signification de la charge électrique superficielle

L'acidité d'un sol est contrôlée par les charges électriques présentes à la surface de ses constituants dont il faut distinguer trois grands types : les matières organiques dont la charge électrique superficielle augmente avec le pH, d'où son appellation de constituants à « charge variable ». Les oxydes de fer dont la charge peut être positive ou négative en fonction du pH. Enfin les argiles dont une partie de la charge est permanente donc indépendante du pH, mais qui possèdent aussi des charges variables semblables aux oxydes. Toute tentative de faire varier le pH d'un sol sera limitée – au moins temporairement - par la capacité de ses constituants à piéger (ou libérer) les protons. Il en résulte que la capacité d'échange en cations du sol peut varier fortement dans le temps. Ceci montre l'intérêt de réaliser des mesures de capacité d'échange cationique au pH du sol. La valeur de la capacité d'échange du sol est alors un indicateur pertinent de la qualité des sols et de l'interprétation de la localisation et de la mobilité des éléments utiles ou toxiques pour les plantes..

Spécificité des matières organiques

En fonction du pH, différents « groupes réactionnels » interviennent pour expliquer les propriétés d'adsorption des ions dans les sols. Pour les matières organiques ce sont par exemple des sites phénols et des sites carboxyles. Ces sites sont dans l'ensemble des acides faibles qui agiront comme tampon de l'acidité du sol, mais aussi comme complexant de cations, qu'il s'agisse d'éléments nutritifs essentiels (calcium, magnésium, etc..) ou de contaminants (cadmium, césium, etc..). La surface des micro-organismes et des poils racinaires et les substances organiques qu'ils sécrètent dans la rhizosphère se comportent de la même manière : c'est de la matière organique vivante, et ces organismes utilisent ces mécanismes de piégeage de cations, soit pour fixer les éléments nutritifs avant qu'ils ne soient introduits à l'intérieur des cellules par des « pompes à ions », soit pour se protéger des éléments toxiques, ainsi fixés à l'extérieur de la cellule ou du poil racinaire.

Charge variable des oxydes de fer et d'aluminium

Le deuxième grand groupe de constituants du sol est formé par les oxydes de fer et d'aluminium qui sont amphotères, c'est à dire qui vont porter une charge positive jusqu'à pH 7 ou 8, et une charge négative au delà de pH 8 ou 9. Ils vont donc être les seuls constituants capables, du moins jusqu'à un certain pH, de retenir les anions, comme le phosphate et autres oxyanions de sélénium, arsenic, bore etc..

Caractéristiques des argiles

Connues pour leur très large capacité à adsorber les cations (due à une charge électrique négative et constante, dite « permanente - spécifique à la structure de ces particules), les argiles n'en possèdent pas moins aussi une charge électrique variable semblable à celle des oxydes. Mais comme ce sont des aluminosilicates, à savoir des oxydes de silicium et d'aluminium, les caractéristiques de leur charge sera intermédiaire entre les deux cas précédemment évoqués, à savoir le cas de la silice et celui des oxydes d'aluminium.

Ainsi donc du dosage respectif de ces trois constituants dépendra la charge variable du sol et sa dépendance au pH. Dans certains sols très âgés, comme les sols tropicaux, les argiles à charge permanente ayant disparu au cours des siècles, la fertilité de ces sols, que l'on qualifie souvent de « ferrallitiques », n'est plus assurée que par la charge « variable », qui est beaucoup plus limitée que la charge « permanente » des sols des régions tempérées. On notera à ce stade que la charge « variable » est portée par la surface des particules ou par polymères organiques ou inorganiques, et donc que l'interface eau/particules est plus importante en ce qui la concerne, que la quantité de constituants proprement dite.

Vers un retour de l'acidification ?

Avec le développement des moyens de communication au 19^{ème} siècle (chemins de fer), on assista ainsi en un siècle à la maîtrise

de l'acidification dans de nombreuses régions agricoles de France et, avec la fertilisation P et K, à la présence d'une certaine réserve minérale dans les sols.

Cependant cette évolution est précaire, notamment du fait que l'agriculture intensive tend à modifier rapidement la contexte chimique du sol. Le premier effet concerne l'évolution de la charge superficielle du sol. Dès lors que les pratiques d'amendements ne compensent plus les pertes engendrées par le lessivage et les prélèvements cela entraîne progressivement leur acidification, on note d'abord une baisse de la capacité d'échange effective (CEC_E) du sol, c'est à dire celle mesurée au pH du sol. Ceci n'est pas sans conséquences sur le relargage potentiel d'impuretés toxiques et ce, quelle qu'en soit l'origine comme par exemple les boues, les traitements phytosanitaires, les apports de métaux dus aux lisiers (cuivre, zinc), ou même de l'apport de cadmium, élément très toxique, par certains engrais.

Le second domaine pour lequel la prise en compte de la charge variable est essentiel est la mobilité et biodisponibilité tant des éléments utiles à la plantes que des éléments toxiques. L'adsorption à la surface des argiles (au niveau

de la charge permanente négative) est régie par l'échange cationique, à savoir un système de stockage par vases communicants. Plus un ion sera présent en grande quantité plus les autres cations seront préférentiellement chassés. Cela concerne principalement les zones arides irriguées avec des eaux de mauvaise qualité riche en sels ou les sols de bord de mer avec des remontées capillaires de la nappe phréatique (Camargue, marais poitevin).

Au niveau de la charge variable, l'adsorption sera beaucoup plus spécifique pour certains ions, quelle que soit par exemple la quantité de sodium en présence dans l'eau. Ceci vaut non seulement pour des micro-éléments nécessaires aux plantes et à leurs enzymes (molybdène, zinc, cobalt, etc..), mais aussi pour des éléments toxiques introduits volontairement ou par accident (cæsium de Tchernobyl, arsenic des traitements fongicides, etc..).

Enfin la prise en compte de la charge variable est indispensable si l'on s'intéresse aux propriétés physiques du sol (sa compacité, sa structure plus ou moins poreuse, formée ou non d'agrégats) ou au développement microbiens dans ces sols.

Conclusions et conséquences pour les sols

La prise en compte de la charge électrique superficielle des constituants est indispensable pour raisonner la fertilité des sols, interpréter la rétention et la mobilité d'éléments toxiques, mais aussi expliquer certaines propriétés physiques. Les matières organiques, les oxydes de fer, mais aussi les argiles possèdent une charge électrique superficielle variable. En complément de la mesure du pH, la détermination de la valeur de la capacité d'échange en cations mesurée au pH du sol constitue un outil de diagnostic précieux de l'évolution de la qualité des sols, tant au plan chimique que pour des aspects physiques et biologiques

Texte de Laurent Charlet, Groupe de géochimie de l'environnement, Université de grenoble I, CNRS, BP 53, 38041 Grenoble

Pour en savoir plus :

Charlet L. et Schlegel. 1999, La capacité d'échange des sols. Structures et charges à l'interface eau/particule. C.R. Acad. Agric. Fr., 2 :7-24.