

Chapitre III :

Propriétés chimiques du sol

Propriétés chimiques des sols

Introduction

Il s'agit essentiellement de **propriétés colloïdales** et **électro-ioniques**, concernant à la fois les fractions minérale et organique du sol. Parmi ces propriétés, les principales sont les suivantes :

1. Les phénomènes d'échange des cations et des anions.
2. L'acidité.

C'est la fraction du sol à **comportement colloïdal** qui est à l'origine de ces propriétés électro-ioniques : les argiles minéralogiques, les composés humiques, les oxyhydroxydes amorphes ou cristallisés. Tous ces constituants développent des surfaces spécifiques importantes et présentent de nombreuses liaisons chimiques insatisfaites à leur surface. Ces dernières sont à l'origine d'un champ électrique qui s'exprime dans la phase liquide du sol, c'est-à-dire dans la solution du sol.

Les constituants du sol qui présentent des propriétés d'échange constituent ce que l'on appelle le **complexe adsorbant**. Il joue un rôle majeur dans la régularisation de la composition ionique de la solution du sol, d'où l'intérêt de son étude.

Complexe adsorbant des sols

Le sol possède la propriété de retenir diverses substances. En effet, les cations et les anions peuvent être retenus par le complexe adsorbant du sol, c'est-à-dire l'ensemble des colloïdes (substances humiques, argile, sesquioxides,...) dotés de charges négatives ou positives.

Les ions y seront retenus sous forme échangeable. En d'autres termes, si on traite un sol par une solution contenant des ions différents de ceux retenus par le sol, il y aura échange entre les ions du complexe adsorbant et ceux de la solution :



Le terme "**adsorbant**" est plus approprié que celui d'**absorbant** que l'on rencontre souvent dans la littérature. En effet, les cations se fixent suite à des phénomènes de surface et non par réaction chimique complexe. Ainsi, les cations adsorbés sur le complexe argilo-humique demeurent échangeables et peuvent retourner à la solution de sol dont ils sont issus.

Cette capacité est très importante, notamment en ce qui concerne les éléments minéraux indispensables à la nutrition des végétaux. Ainsi, la fertilité d'un sol dépend en grande partie de son complexe adsorbant (il constitue un véritable réservoir d'éléments nutritifs dans le sol).

- De libérer les éléments nutritifs pour les racines, en les échangeant notamment avec les ions H^+ formés continuellement par l'activité biologique (microbes et racines), selon les besoins des plantes ;
- Régulariser la composition de la solution du sol, milieu de vie des racines et des microbes. Ce mécanisme concerne aussi la teneur en Al^{3+} et en H^+ , ions responsables de l'acidité du sol.

Les processus d'échange de cations (CEC)

La charge de surface en grande majorité électronégative, est contrebalancée par une charge équivalente et de signe opposé. Cette charge est représentée par des cations compensateurs dits "échangeables" puisque pouvant participer à un processus d'échange réversible (**sorption** et **désorption**) avec les cations présents dans la solution du sol, pour autant que l'électroneutralité du système soit maintenue.

On appelle complexe d'échange (ou complexe adsorbant) l'ensemble des constituants de la phase solide du sol qui sont responsables de la **sorption** des cations (et se comportent donc comme un "échangeur d'ions").

Les règles de l'échange des cations sont les suivantes:

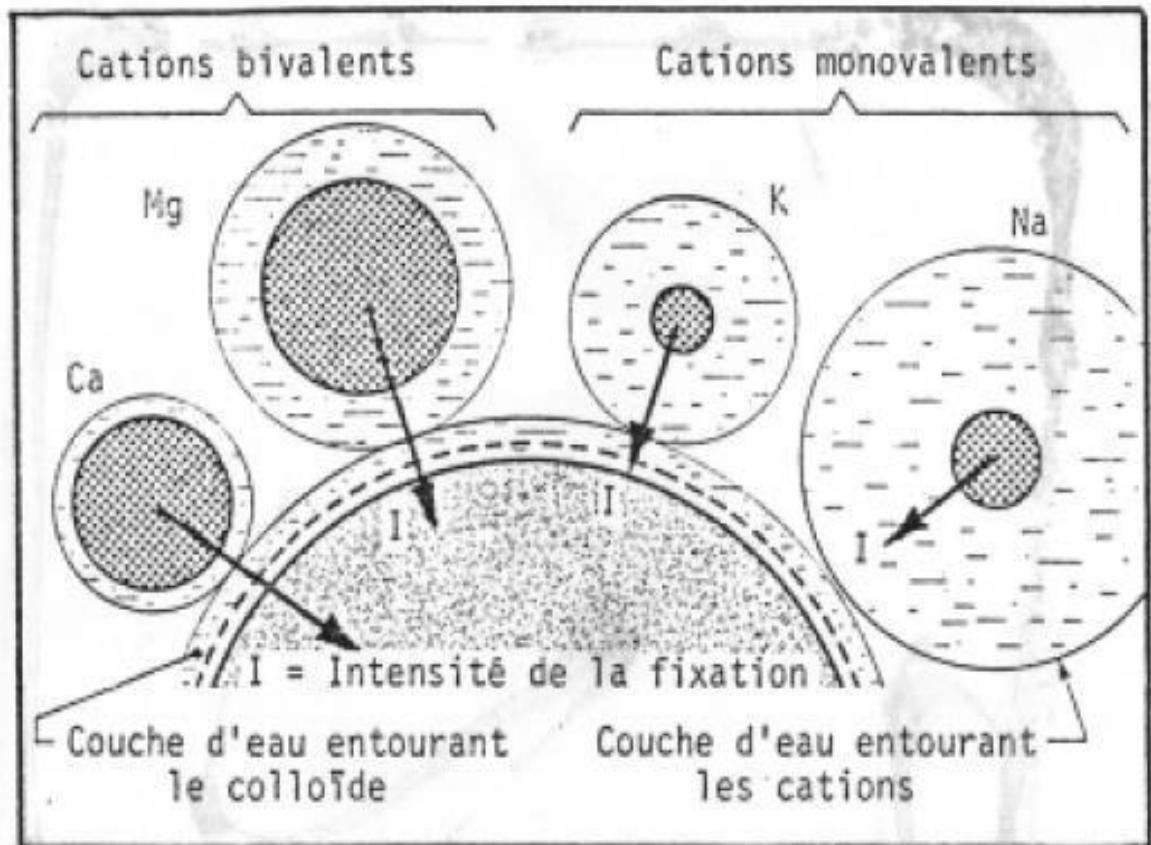
- La somme des cations fixés et échangeables d'une unité de masse de sol est constante. Si un cation se fixe, un autre doit être libéré.
- Pour un cation donné, un équilibre s'établit entre les cations fixés et ceux qui sont libres dans la solution de sol. Si le cation quitte la solution, cela oblige le complexe à refournir une quantité de ce même cation, jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre s'établisse. Inversement, un apport de cations à la solution (engrais par exemple) déplace l'équilibre vers le complexe sur lequel il y a fixation jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint.

Les cations qui se trouvent sur le complexe

On trouve sur le complexe des ions H^+ ainsi que des cations métalliques tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ . En règle générale, les ions bivalents sont mieux retenus que les monovalents. De même, les ions faiblement hydratés (Mg^{2+} et surtout Ca^{2+}) sont mieux fixés et constituent des flocculants plus énergiques que les cations à fort taux d'hydratation (K^+ , Na^+).

On peut ainsi définir une échelle en fonction de l'intensité de rétention des cations:
 $Ca^{2+} > Mg^{2+} > H^+ > K^+ > Na^+$

Toutefois, cet ordre varie en fonction du matériau qui assure la rétention (argile ou humus). Dans le cas de l'humus, c'est H^+ qui est fixé avec la plus forte intensité.



L'INTENSITÉ DE FIXATION DES CATIONS dépend de leur valence et de leur hydratation.

- Les ions bivalents, Ca et Mg, sont plus énergiquement fixés que les monovalents.
- Plus les cations sont entourés d'une couche d'eau importante, moins ils peuvent s'approcher des colloïdes. Pour cette raison, le sodium, bien qu'étant un ion flocculant, assure la flocculation la moins stable.

Figure.02. intensité de fixation des cations (Soltner D. ,1992).

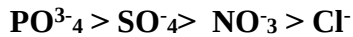
Exemple : l'échange de cations Ca^{2+} contre des cations K^{+}

Si dans un sol enrichi en Ca, on introduit du chlorure de potassium (KCl, engrais potassique), ce sel se dissout, puis se dissocie en anions Cl^{-} et en cations K^{+} , ces derniers augmentent la concentration en ions K^{+} de la solution, et provoquent un échange avec le complexe colloïdal, ils prennent sur celui-ci la place des ions Ca^{2+} (2 K^{+} pour 1 Ca^{2+}). ces cations Ca^{2+} remis en solution forment, avec les anions Cl^{-} du CaCl_2 , sel soluble, qui peut être lessivé. Cet apport d'engrais potassique a provoqué une décalcification du sol.

La sorption et l'échange d'anions

Dans les eaux de drainage, on trouve beaucoup d'anions NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} ... Apparemment donc ces anions ne sont pas retenus par le pouvoir adsorbant du sol. De fait, chacun sait que les nitrates sont très facilement perdus par lessivage. Pourtant, les anions PO_4^{3-} sont très bien retenus.

Certains anions peuvent donc être fixés et leur degré de fixation serait le suivant, par ordre décroissant :



Plusieurs mécanismes expliquent la fixation de ces derniers :

- Fixation sur les **hydroxydes de Fe et d'Al** (colloïdes positifs liés aux argiles), en échange contre des ions OH^- .
- Fixation sur le **complexe argilo-humique** par l'intermédiaire de Ca^{++} (**pont calcique**).

Le taux de saturation (V% ou S/T)

Le **taux de saturation** est calculé par le rapport entre la somme des bases échangeables et la capacité d'échange, On l'exprime en % de cations fixés par rapport au total des ions du complexe:

$$V = S/T \times 100$$

Ce taux est variable d'un sol à l'autre, et même d'une année à l'autre pour un seul et même sol. En effet toute cause capable d'apporter ou au contraire d'enlever des bases échangeables au complexe le fait varier.

Les principaux facteurs influençant le taux de saturation sont :

- ✓ de la richesse chimique de la roche mère.
- ✓ de la fréquence et de l'importance des apports de cations (surtout Ca lors des amendements calcaires,...).
- ✓ de l'importance du lessivage, donc du climat, et de la perméabilité du sol.

Les sols formés sur calcaire (riches en calcaire actif) ont souvent un taux de saturation voisin de 80 à 90%. Dans leur cas, Ca^{2+} représente 70 à 80 % de la somme des bases échangeables (S). Les sols formés sur des roches sableuses, gréseuses ou granitiques (soit pauvres en bases et filtrantes) ont un taux de saturation souvent inférieur à 20 %.

L'acidité du sol

Les sols présentent une gamme très large de pH, représentée dans la figure.03:

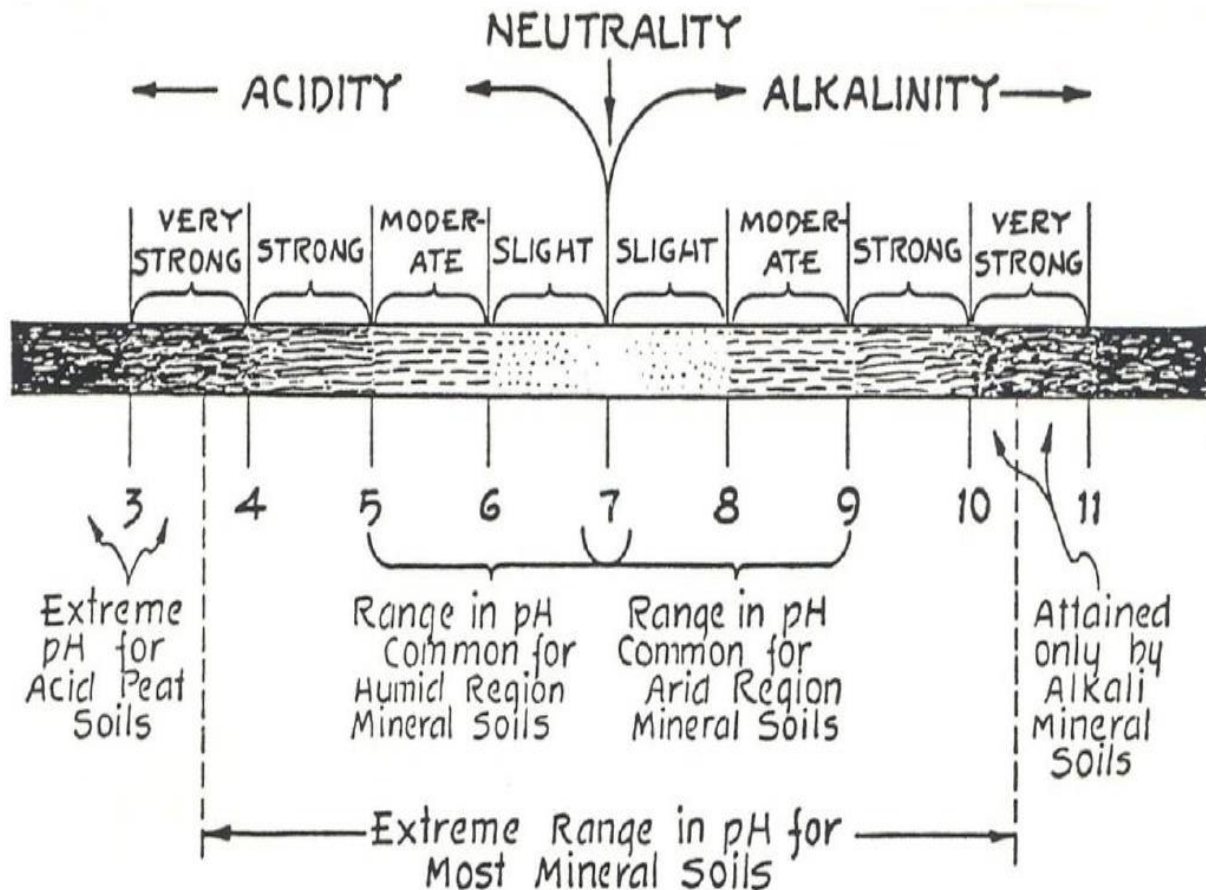


Figure.03. Gamme des PH de sol (Buckman et Brady, 1960)

Le pH du sol donne une indication sur l'activité des protons dans un système sol-eau ou sol-solution saline (une solution molaire de KCl par exemple), compte tenu de toutes les réserves que peut comporter une telle détermination, réalisée généralement sur une suspension de sol et non sur une solution vraie. On distingue habituellement :

1. **L'acidité actuelle** ou **libre** (pH-H₂O) qui exprime la concentration en H⁺ actuellement dissociés dans la solution du sol. Elle s'exprime le plus souvent par le PH du liquide obtenu en délayant un poids donné de terre dans un certain volume d'eau distillée.
2. **L'acidité d'échange** (= **acidité de réserve**) qui prend en considération non seulement les protons dissociés dans la solution du sol, mais aussi ceux qui sont adsorbés sur le complexe d'échange. Le cation alumineux (Al³⁺), source d'acidité lorsqu'il évolue vers des formes hydroxylées insolubles, fait également partie de l'acidité d'échange. Celle-ci est très généralement déterminée dans le système sol-KCl (l'ion K⁺ chasse du complexe les H⁺ qui y sont adsorbés).
3. **L'acidité totale** ou **potentielle** comprend donc, outre l'acidité d'échange, l'ensemble des fonctions acides du sol qui ne sont pas toutes ionisées (acides organiques notamment).

