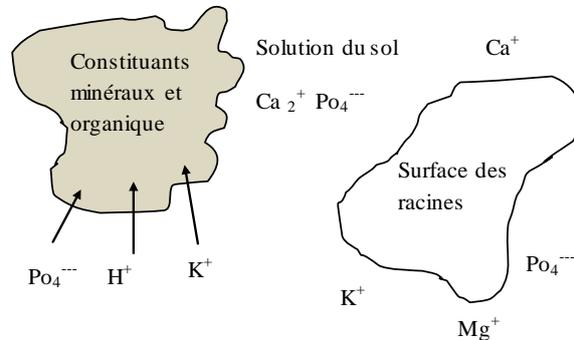


Les propriétés chimiques du sol

Les phénomènes d'absorptions et d'échange :

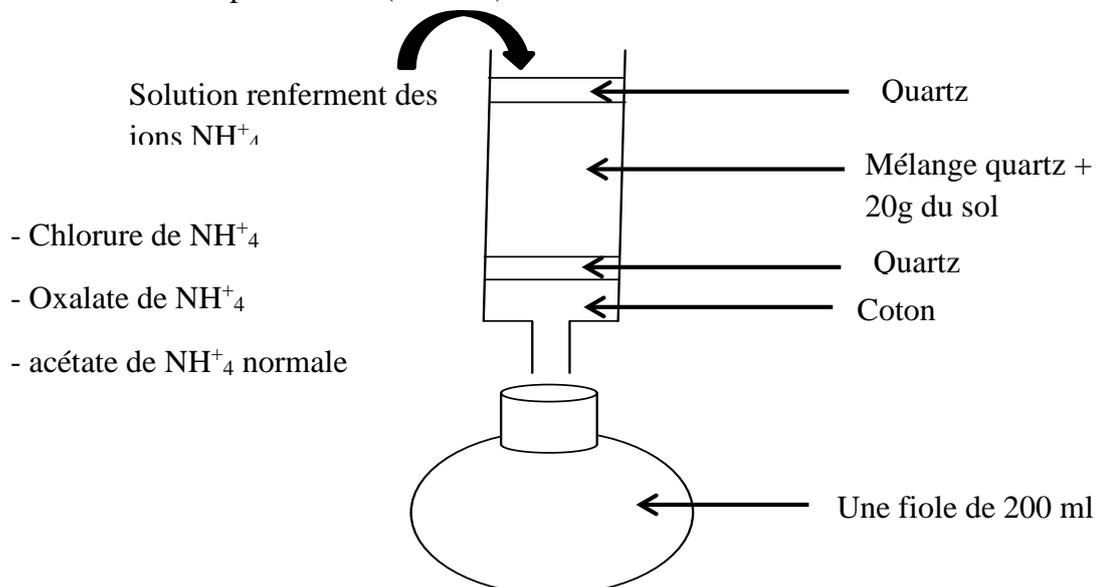
Les constituants minéraux et organiques de sol ont le pouvoir d'absorber à leur surface des ions. Il y a en permanence des échanges entre les ions absorbés par les constituants, les ions contenus dans la solution du sol et les ions absorbés à la surface des racines.



Ces phénomènes d'absorption et d'échange concernent surtout les cations, ces phénomènes conditionnent un grand nombre de mécanismes fondamentaux de la pédogenèse en particulier, le mécanisme de transport et accumulation et aussi un grand nombre de propriétés morphologiques physiques et chimiques dépendent de l'état et du fonctionnement du complexe absorbant.

Mise en évidence de phénomène d'absorption et d'échange : il y a plusieurs expériences qui permettent de mettre en évidence l'essentiel de ces phénomènes d'absorptions et d'échanges.

Expérience : on prend 20g de terre qui contient 30-40% d'argile, terre non calcaire riche en ions Ca^{2+} avec pH neutre 7 ou basique plus de 7 en place cette échantillon de terre dans un tube a percolation (colonne).



Echange entre les cations de la solution et le sol (on attend une heure) après avoir bouché quand le coton est plein.

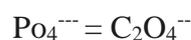
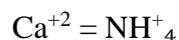
En place de diapositif on percole l'échantillon avec l'acétate chlorure ou l'oxalate de ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ ou $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_4$ ont dosé les cations et les anions qui s'écoule a la base de la colonne et on constate

- la solution qui s'écoule a la base de la colonne a perdus des ions d'ammonium (NH_4^+) ces ions d'ammonium ont été retenue par le sol.
- La solution qui s'écoule a la base de la colonne (percolât) contient des ions de Ca^{+2} et il y a une égalité entre les ions de NH_4^+ gagner et les ions de Ca^{+2} perdus.

Conclusion : il y a un échange cationique entre les ions qui existent sur le complexe et les ions de la solution.

- Si on a percolé avec le chlorure d'ammonium NH_4Cl il n'y a pas d'anions nouveaux dans la solution qui percoler a la base
- par contre si on a percolé avec l'oxalate d'ammonium on trouve dans le percolât quelque anion nouveaux et en particulier des anions phosphoriques et on constate qu'il y a une perte équivalente d'anions oxalique.

Il y a donc un échange entre les anions phosphorique et les anions oxalique alors que cet échange n'a pas eu lieu avec le chlorure.



Schémas

Cours Ecopédologie

- **Complexe absorbant** : c'est l'ensemble de surfaces qui dans un volume du sol peuvent absorber des ions et des molécules. Le complexe absorbant est due aux particules fines argileuse et organique ou le complexe argilo-humique, cette expression est équivalent à complexe absorbant
- **Capacité d'échange** (CEC ou T): c'est la somme des cations ou la somme des anions qui le sol peut absorber sur son complexe absorbant généralement ces cations sont échangeables c'est-à-dire pouvant être remplacés par d'autre cations dans certaines conditions précises. La capacité d'échange s'exprimé en milli équivalent gramme

Les phénomènes d'échange des cations et ont beaucoup plus important que ceux concernant les anions.

- **Somme des cations échangeables (S)** :c'est la somme des cations absorbés sur le complexe a une moment donnée il s'agit essentiellement de la somme des cations Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , NH_4^+

$$\text{T} - \text{S} = \text{H}^+ \text{ ions } \text{H}^+ \text{ absorbé sur le complexe absorbant}$$

- **Taux de saturation du complexe absorbant (V)** : correspond au rapport
$$\text{S/T} \times 100$$

On dit un sol que son complexe absorbant est saturé lorsque le taux de saturation est voisin 100%

Le taux de saturation $V = 100\%$ c'est-à-dire il n'y a pas d'ions de H^+ sur le complexe puisque il est saturé par les cations ($S=T$) ceci signifie que les ions H^+ sont peu nombreux sur le complexe et le pH de sol est basique

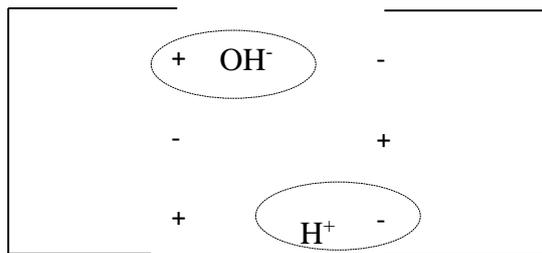
Causes de variations de l'absorption des cations :

- a- **Absorption des cations par les minéraux argileux** : il y a quatre causes
- 1- La liaison de van der waals : c'est un phénomène physique d'attraction à courte distance. Elle expliquée la rétention sur les argiles de certains gros cations organiques (c'est adire les cations organiques sont absorbés sur les argiles par la liaison de van der waals) cette liaison n'entre pas en jeu pour la rétention des cations métalliques
 - 2- Déficit des charges : beaucoup de minéraux argileux ne sont pas neutre ils sont plus ou moins déficitaires en charge positive et pour cette raison que les particules argileuses sont souvent plus ou moins négative et ces charges

Cours Ecopédologie

négative qui attirent les cations. Ce déficit de charge n'existe que dans les minéraux argileux de type 2/1 comme la montmorillonite parce qu'ils sont très négatives. Les minéraux argileux de type 1/1 sont presque toujours neutre c'est le cas de la kaolinite qu'elle est caractérisée par une capacité d'échange très faible de l'ordre de 10 meq/100g.

- 3- Les liaisons de bordures : lorsque en casse un feuillet d'argile il y a des valences libres qui apparaissent sur les deux bordures du feuillet brisé.



En milieu aqueux ces valences sont saturés par des ions de H^+ et hydroxyle qui proviennent de l'hydrolyse d H_2O , les ions de H^+ principalement ceux qui sont liée a la couche d'Octaédrique sont échangeables avec les autres cations.

Pour les minéraux argileux dont le feuillet élémentaire est neutre l'essentiel du complexe absorbant est due à cette cause, c'est le cas de la kaolinite dont la capacité d'échange est varié entre 4 et 10 meq/100g.

Le nombre des liaisons de bordure augmente quand la taille des particules décroît, c'est l'un des raisons pour lequel la capacité d'échange d'un sol augmente lorsque la taille des particules diminué.

- 4- la dissociation des hydroxyles (OH) : dans les minéraux argileux de type 1/1 les hydroxyles attachés sur la couche Octaédrique peuvent se dissocie
- $$OH^- \longrightarrow H^+ + O^{2-}$$

Les ions de H^+ résultent de cette dissociation entrent dans un échange avec les autres cations. Cette 4^{émé} cause ne prend l'importance que lorsque les minéraux argileux sont males cristallisés (les feuillets d'argiles écartés facilement les uns des autres), par exemple pour la Kaolinite si leur cristallisation est bonne leur feuillets sont étroitement plaqués les uns sur les autres et dans ce cas les solutions du sol ne peuvent pas pénétrer entre les feuillets par contre si la cristallisation est

Cours Ecopédologie

imparfait c'est-à-dire les feuillets s'écartés facilement et les solution du sol peuvent pénétrer entre les feuillets et échanger leur cations avec les ions de H^+ .

La capacité d'échange d'une kaolinite bien cristallisée est entre 5 et 10 meq/100g

La capacité d'échange d'une kaolinite mal cristallisée est entre 15 et 40 meq/100g

Donc Halloysite = Kaolinite mal cristallisée.

La capacité d'échange augmente quand la taille des particules diminuées et quand la cristallisation décroît, la capacité d'échange est importante lorsque les minéraux argileux sont électronégatifs.

b- **Absorption des cations par les matières organiques** : Le pouvoir absorbant des M O est dans une façon générale beaucoup plus élevée que le pouvoir absorbant des minéraux argileux selon les types de M O la capacité d'échange tourne au tour de 100 et 500 meq/100g. il y a deux causes principales au pouvoir absorbant dans la M O

1- Dissociation des groupes carboxyles : $COOH \longrightarrow COO^- + H^+$ les ions de H^+ devient échangeable avec les autres cations cette phénomène ne se produit que lorsque le $pH < 6$.

2- Dissociation des groupes hydroxyles OH : cette phénomène ne se produit que lorsque le $pH > 6$.

c- **Absorption des cations par les autres constituants** : les minéraux argileux et les M O sont les deux composent principaux de sol responsables de l'absorption des cations, le rôle des autres minéraux tel que le quartz, les feldspaths et les micas n'est pas nulle.

Pour le quartz leur pouvoir absorbant est extrêmement faible surtout lorsque la taille des particules équivalents de limon et de sable.

Pour les silicates (feldspaths et micas) leurs capacité d'échange n'est pas négligeable et les causes d'absorptions sont les mêmes que pour les argiles (liaison de van der waals, bourdure.....etc).

d- **Variation de la capacité d'échange en fonction de pH** : Si on mesuré la capacité d'échange d'un échantillon de sol qui leur pH est changé successivement, on remarque que : pour des valeurs de $pH < 6$ la capacité d'échange ne varie pas en fonction de pH, par exemple $pH_2, pH_3, pH_4, pH_5, pH_6 = 15$ meq/100g. Au-dessus de 6 ont noté que la capacité d'échange est augmentée avec le pH

Cours Ecopédologie

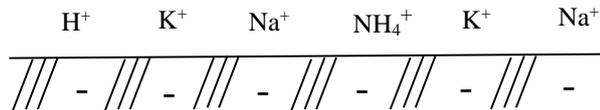
Exemple 01 : $pH_7 = 20 \text{ meq}/100g$ $pH_{7,5} = 25 \text{ meq}/100g$

Exemple 02 : dans un pH_6 la kaolinite leur CEC égale $4 \text{ meq}/100g$ par contre dans un pH_7 leur CEC augmenter pour atteindre $10 \text{ meq}/100g$. La raison de cette augmentation de CEC est due à la dissociation des hydroxyles OH de bordure lie au silicium (Si).

e- **Variation de la capacité d'échange en fonction de la nature des ions absorbés :** La capacité d'échange est variée en fonction des cations absorbés. Une surface donnée d'argile ou de matière organique ne retient pas en meq les mêmes quantités d'ions de H^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} ...etc

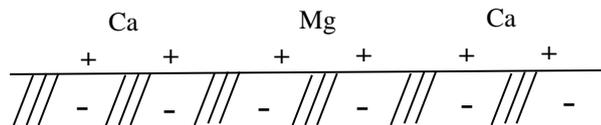
La raison essentielle de cette variation est la valence des cations

Le premier cas : ions monovalents tels que H^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ le phénomène est simple dans ce cas, ces ions viennent neutraliser chacun un position d'échange du complexe

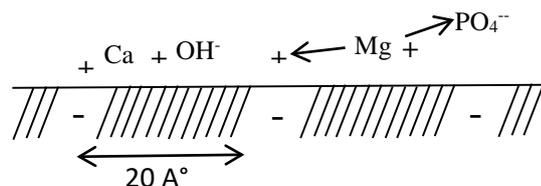


Le deuxième cas : ions bivalents il y a deux possibilités

- chaque ions bivalent saturé deux positions d'échange dans ce cas la capacité d'échange est la même pour les ions monovalent ou les ions bivalents



- Les positions d'échange sont éloignées dans ce cas un ion bivalent ne peut pas s'accrocher à deux charges par exemple le Ca^{+2} leur diamètre ionique égale 5 \AA , il ne peut pas satisfaire deux charges éloignées de 20 \AA donc avec la première charge il saturé une charge négative et l'autre charge attire OH^- ou un anion phosphorique PO_4^{--} dans ce cas il y a une augmentation de la capacité d'échange

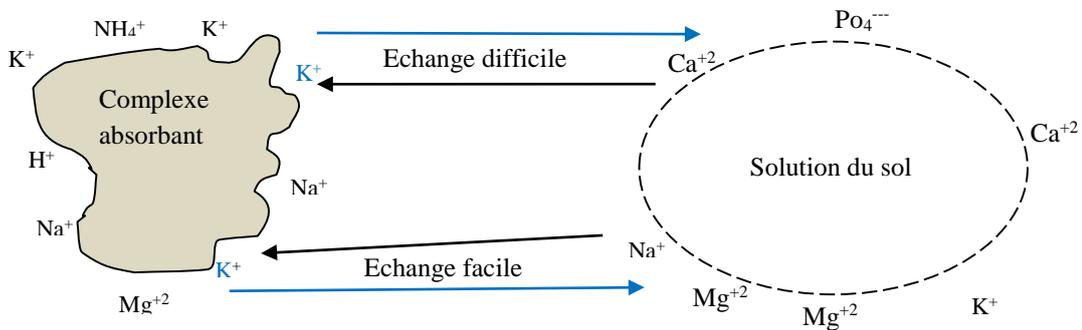


Cours Ecopédologie

Le troisième cas : ions trivalents la capacité d'échange s'accroît encore plus, elle devient très importante avec les cations organiques qui sont polyvalents et dans ce cas la CEC peut être 4 fois supérieure à ce qu'elle est avec les cations monovalents

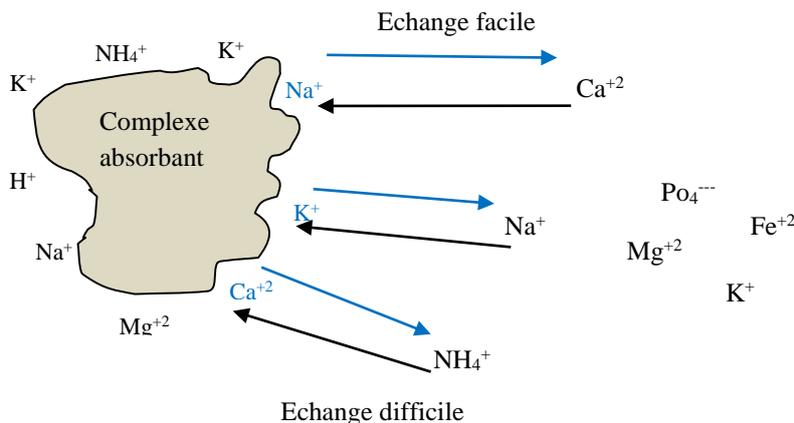
Echangéabilité des cations : elle dépend de plusieurs facteurs

- 1- Le rôle de la valence des cations : d'une façon générale, on peut dire que plus la valence d'un cation est grande il est mieux absorbé et retenu. Dans le domaine d'échange, ceci veut dire que les ions bivalents de la solution du sol remplacent plus facilement sur le complexe les ions monovalents que les ions bivalents.



L'échange entre l'ion de Na^+ et K^+ est plus facile par ce que le potassium est monovalent et facilement déplacé dans le complexe que Ca^{+2} .

Par ailleurs les ions monovalents de la solution du sol déplacent difficilement les ions bivalents absorbés sur le complexe.

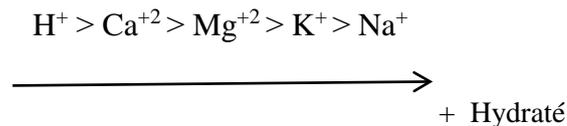


D'une façon générale, on parle du pouvoir de déplacement d'un cation par rapport à l'autre et on peut dire que plus la valence d'un cation est grande plus son pouvoir de

Cours Ecopédologie

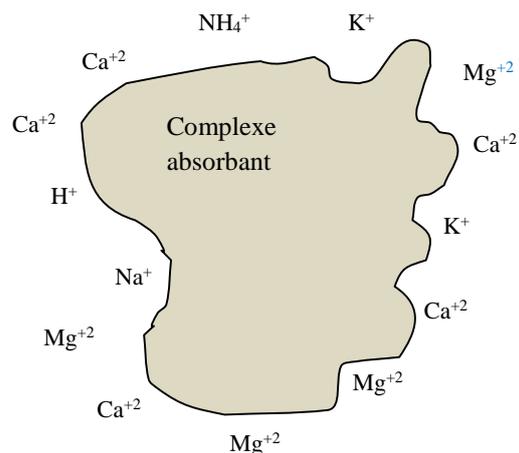
déplacement est grand (déplacer les autres cations). Pour cette règle, il y a une seule exception, c'est l'ion de H^+ qui possède un pouvoir de déplacement plus élevée que celui des ions bivalents.

- 2- Le rôle de hydratation des cations : pour les actions de même valence, se sont les cations les moins hydratés qui sont le plus absorbé, le calcium Ca^{+2} est plus absorbé que magnésium Mg^{+2} et le potassium K^+ est plus absorbé que le sodium Na^+ .



- 3- Echangeabilité en fonction de la quantité des ions sur le complexe : un ion est d'autant plus difficile à déplacer du complexe lorsqu' il existe en faible quantité par contre un ion est autant plus facile à déplacer du complexe lorsqu'il existe avec une grande quantité.

- Les cations de Ca^{+2} et Mg^{+2} sont facilement déplaçables.
- Les cations de K^+ et NH_4^+ sont difficilement déplaçables (ils sont en petite quantité).

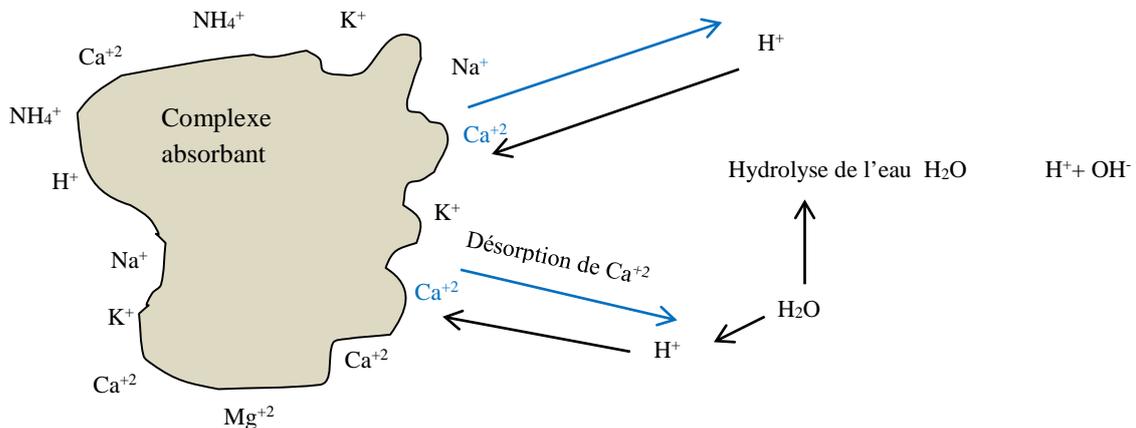


- 4- Equilibre solution du sol complexe absorbant : il y a un équilibre permanent entre les ions absorbés sur le complexe absorbant et les ions de la solution du sol, toute modification ionique de la solution du sol se répercute sur le complexe absorbant.

Comme les ions ne sont pas absorbés de la même façon, les rapports entre les ions ne sont pas les mêmes dans la solution du sol et sur le complexe.

Exemple : le rapport Na/Ca est toujours plus élevé dans la solution du sol que sur le complexe mais, ces deux rapports ne sont pas quelconque ils sont inter dépendant (Na/Ca du complexe et Na/Ca de la solution du sol).

Concernant la proportion des ions H^+ sur le complexe elle dépend étroitement de la quantité des ions métallique existante dans la solution du sol (exemple Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+) si cette quantité est faible il y a désorption, des ions métallique qu'ils quittent le complexe pour aller dans la solution du sol sont remplacés par des ions de H^+ qui proviennent de l'hydrolyse de l'eau.



Toute intervention sur la solution du sol se répercute au niveau du complexe et inversement.

Exemple : la pluie diluée les solutions du sol, le complexe absorbant s'appauvrit en cations métalliques

Les plantes prélevées des cations directement au niveau du complexe ou soit au niveau de la solution du sol.

Au niveau du complexe il y aura absorption des cations le complexe

Prélèvement par les racines a eu lieu au niveau de la solution du sol c'est-à-dire désorption des cations pour compenser pour cette perte (c'est les complexes qui va lui fournir les cations).

- 5- Role de l'absorbant : un même cation n'est pas retenu avec la même façon sur les divers types d'argile et de MO est ce phénomène est lié aux causes de la capacité d'échange. Un cation absorbé par un déficit de charge n'est pas le comportement par celui retenu par la liaison de bordure, la rétention est plus ou moins forte selon le cas, il y a certaines argiles qui ont un comportement particulier vis-à-vis des cations K^+ , NH_4^+ et Mg^{+2} ces trois cations peuvent être fixés sur les argiles sous des formes qui sont plus échangeables ont dit qu'il y a rétrogradation des ions.

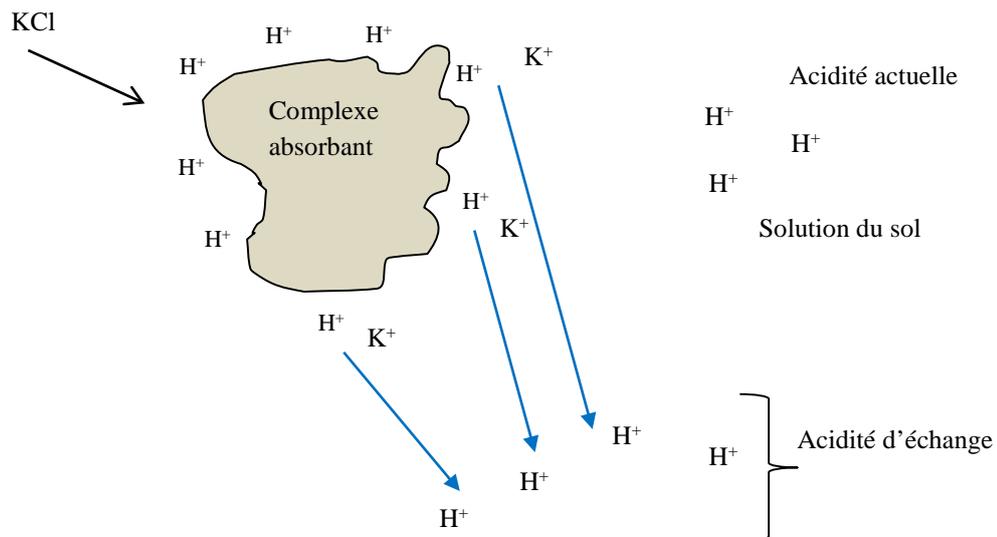
Pour les ions de K^+ et NH_4^+ cette fixation se fait par des argiles qui présente au sens des couches tétraédriques des cavités spéciales dites cavités hexagonales dans ces cavités les ions K^+ et NH_4^+ s'emboîtent parfaitement ces ions K^+ et NH_4^+ . Lorsqu'il entre dans ces cavités, ne sont plus échangeable, les argiles qui ont cette capacité sont l'illite et la vermiculite ce phénomène de rétrogradation des ions de K^+ et NH_4^+ .

Pour le Mg^{+2} , il peut y avoir aussi rétrogradation, mais sous un forme tres différent, il y a formation entre les feuillets d'argiles d'une couche d'hydroxyde de Mg^{+2} appelée une couche de brucite, cette couche de brucite rapproché les feuillets d'argile entre eux. Cette couche peut se former entre les feuillets de l'illite ou les feuillets de vermiculite ou la montmorillonite, lorsque il y a la formation de cette couche en passe à un nouveau type d'argile, c'est le chlorite air dans cette argile très riche en Mg^{+2} une grande partie de ce Mg^{+2} n'est plus échangeable elle est fixé et rétrogradée.

L'acidité du sol :

On distingue deux types d'acidité

- Acidité actuelle : le PH d'un échantillon du sol mis en suspension dans l'eau (la concentration de H^+ libre dans l'eau).
- Acidité d'échange : c'est l'acidité qui se développe quand on ajoute au sol un sel neutre exemple KCl chlorure de potassium



Toujours l'acidité d'échange \leq d'acidité actuelle

Cours Ecopédologie

A- Acidité actuelle : c'est le PH de la solution du sol d'un échantillon, c'est le cologarithme de la concentration de H^+ de cette solution. Pour mesurer cette acidité on place un échantillon du sol dans une certaine quantité d'eau distillée, on admet que les ions de H^+ qui sont libres dans la solution du sol, ils sont en équilibre avec les ions H^+ retenus sur le complexe absorbant, il y a une relation nette entre le PH de la solution du sol (PH de l'eau) et le taux de saturation du complexe absorbant (S/T).

Exemple : un PH très acide voisin de 3 ou 4 correspond un taux de saturation très faible, c'est-à-dire qu'il y a sur le complexe très peu de cations métalliques 0 - 10% et beaucoup d'ions H^+ .

Un PH neutre correspond à un taux de saturation de 60 – 90%.

En générale au-dessus de PH = 8,5 il n'y a pratiquement plus d'ions H^+ sur le complexe absorbant ils ont tous remplacés par des cations métalliques.

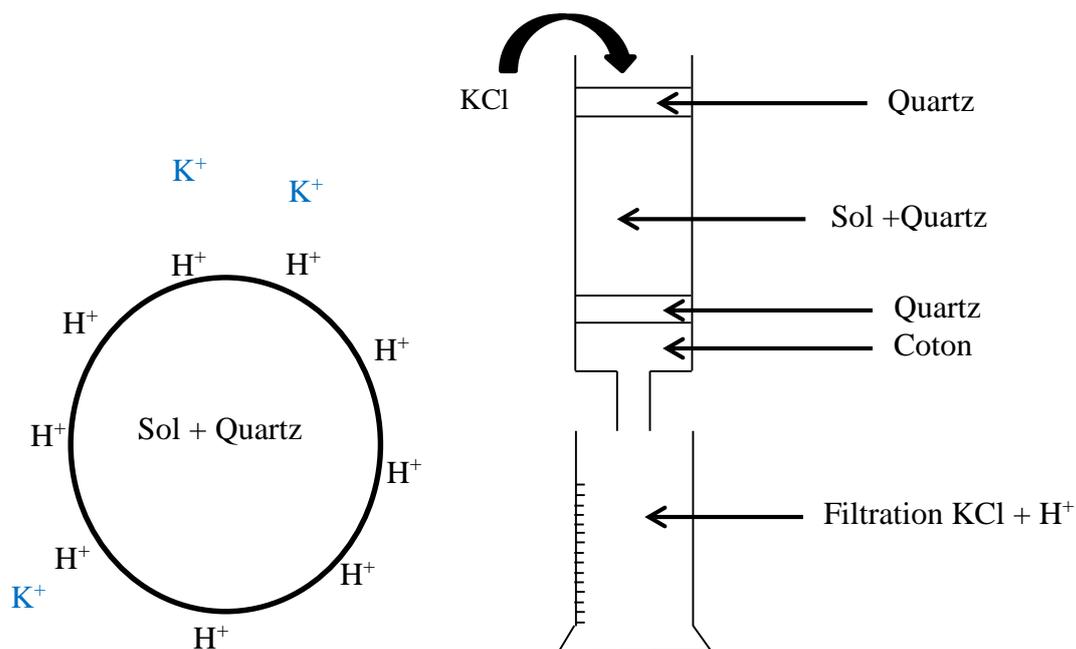
On peut dire que l'acidité actuelle reflète à la fois l'acidité de la solution du sol et l'acidité de complexe.

B- Acidité d'échange (acidité potentielle) : lorsqu'on percole un échantillon du sol par une solution saline, il se produit :



Il y a donc abaissement du PH de la solution

On poursuit la percolation jusqu'à ce que le PH de la filtration soit identique à celui de la solution saline d'extraction.



Ceci signifie qu'il n'y a plus sur le complexe d'ions H^+ extractible, c'est à dire tous les ions H^+ ont été remplacés par K^+

Ont titre alors un base l'acidité totale de filtration et ont en déduit la quantité d'ions H^+ qui été présente sur le complexe, cette acidité c'est l'acidité d'échange c'est-à-dire l'acidité du complexe.

- **Influence des ions Al , du gaz CO_2 et des ions Na sur le PH :**

- Ions d'Aluminium :

Lorsque le milieu est acide, les argiles s'altèrent en libérant des ions Al (argile=aluminosilicate). Dans un première étape les ions Al vont se fixer sur le complexe par la suite ils peuvent passer dans la solution du sol. Ces ions Al provoquent la décomposition de l' H_2O il y a donc libération d'ion H^+ donc baisse du PH

- Le gaz dioxyde de carbone :

dioxyde de carbone acidifie ($CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$) ce phénomène est particulièrement en sol calcaire. Le PH normale du sol calcaire est de 8 à 8,5 et lorsque se sol renferme de CO_2 le PH baisse jusqu'à 7 à 7,7.

- Ions du sodium :

confère au sol des PH très élevé, ceci est dû au fait que sous l'action des eaux de pluies ou d'irrigation les argiles sodique (riche en Na) s'hydrolysent et libérés du carbonate de sodium qui donne des PH très élevé au sol, un PH qui peut dépasser 9.

- **Le pouvoir tampon des sols :** en générale le sol se présente comme un milieu tamponné ceci vent dire que le PH de la solution du sol ne varie pas brutalement quant en ajoute au sol des quantités importante d'un acide ou une base, le pouvoir tampon du sol est dû au complexe absorbé.

Si on ajoute un acide au sol basique riche en ions de Ca^{+2} il y a immédiatement désorption d'ions Ca^{+2} et absorption d'ions de H^+ , le sol ne devient pas très acide.

Les ions sont toujours beaucoup plus forts sur le complexe que dans la solution du sol cet échange limite la baisse de PH de la solution du sol sans provoquer une baisse de PH importante du complexe, donc le pouvoir tampon d'un sol c'est-à-dire sa résistance aux variation brutale de PH dépend

étroitement de l'importance de son complexe absorbant. ***Plus un sol riche en argile et humus plus est tamponné.***

Exemple : un sol argileux riche en Meitnérium (Mt) est très tamponné, son PH n'évolue que très lentement en fonction des facteurs externes au contraire un sol sableux est peut tamponner, son PH varie tres vite en fonction des facteurs externes (pluie, apport d'engrais ...etc).

Relations sols végétation

La plante qui occupe l'espace aérien et souterrain est parfois considérée comme un organisme double au point de vue trophique : partie aérienne renferme des organes autotrophe alors que la souterraine est entièrement hétérotrophe, dépendant pour vivre des métabolites élaborés dans l'autre.

- **Les racines et sa relation avec le sol :**

L'appareil racinaire comprend différentes parties, caractérisées par le diamètre de plus en plus petit de ses ramifications. A la base du tronc il fait le lien entre les parties aérienne et souterraine. Elles assurent l'ancrage mécanique de l'arbre, elles se prolongent en racines moyennes qui pénétrant dans les pores grossiers du sol puis des racines fines (les radicelles qui assurent la nutrition des plantes en eau et bioéléments).

- **La nutrition des plantes : c'est une fonction essentielle du sol** consiste à fournir à la plante les éléments nutritifs qui lui nécessaire et qui sont absorbés par les racines sous la forme minérale, même l'azote pourtant stocké dans le sol sous forme organique. Parmi ces nutriments on distingue les nutriments de base absorbés avec des grandes quantités par les plantes tell que l'azote, phosphore, soufre, calcium, magnésium, potassium et les éléments traces ou oligo-éléments indispensables à faible dose comme le Bore (B), Molybdène (Mo), Fer, Zinc (Zn) et Cuivre (Cu).

- **Formes des nutriment dans le sol :**

- Les formes immédiatement assimilables : sont les formes solubles ou échangeables, les premiers étant en équilibre avec les secondes et ainsi remplacées aussitôt lorsqu'elles sont absorbés par les racines.

Cours Ecopédologie

- Les réserves : il y a deux types de réserves, minérales et organiques. L'importance relative de ces deux types variant considérablement selon le type de sol et le mode de mise en valeur.
 - 1) *Les réserves minérales* : les formes stables sont formées de minéraux sains, soit des minéraux résistants (orthose, muscovite) soit minéraux altérables, mais qui ont échappé à l'altération (localisation dans un sol jeune, encore incomplètement altéré) ; les formes mobilisables sont constituées souvent par de minéraux en cours d'altération, à structure partiellement désorganisée et devenus poraux ou de formes résultant d'insolubilisation récente d'éléments se trouvant à l'état soluble (oxydes amorphes, phosphates rétrogradés, potassium fixé au sein des argiles micacées).
 - 2) *Les réserves organiques* : sont formées soit de matière organique fraîche, soit de matière organique transformée c'est-à-dire l'humus.
- **Importance relative des réserves minérales et organique** : la forme de mise en réserve des nutriments diffère considérablement suivant trois facteurs :
 - 1) L'élément considéré : les réserves **d'azote** sont pratiquement en totalité sous la forme organique ; **le soufre** est de la plus part des sols, les $\frac{3}{4}$ sous la forme organique enfin **le phosphore et les cations basiques** offrent une répartition très variable suivant le sol
 - 2) Le mode de mise en valeur du sol : généralement les réserves organiques ont une importance plus grande pour les sols à végétations permanente (les forêts) que pour les sols régulièrement cultivés (le cycle biogéochimique = le retour en surface)
 - 3) Le type pédologique et le matériau d'origine : les réserves minérales varient suivant l'évolution pédogénétique d'une part et la composition du matériau d'autre part
- **Le principe général de nutrition des plantes** :

Le transport des substances depuis le sol en direction de la plante se fait par deux manières *un transport passif* soit par flux de masse (entraînement par l'eau) ou par diffusion et *un transport actif* ce dernier est nécessaire pour vaincre le gradient osmotique défavorable et conduire les ions dans des cellules à concentration saline plus élevée. Grâce à une dépense énergétique les ions

Cours Ecopédologie

transitant à travers les membranes cellulaires qui engagent trois mécanismes successifs

- une pompe à protons génère une différence de potentiel membranaire - la force proto motrice- et de PH en expulsant des H^+
- suite à cette différence de potentiel, les cations pénètrent dans le cytoplasme, qui présente un potentiel électro chimique plus faible que l'extérieur. Cette entrée est certes passive mais possible par la dépense énergétique précédente de la pompe à protons. Ce mécanisme est appelé *uniport*.
- Le troisième mécanisme c'est *le cotransport* plus complexe par rapport les précédentes. Il est également possible grâce à l'énergie de la force de proto-motrice. Dans deux solutés différents sont déplacés