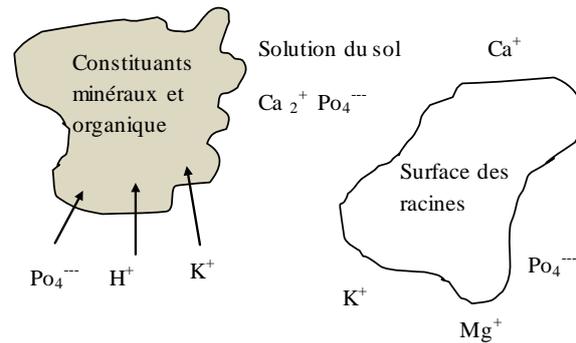


I. Phénomènes d'échanges dans le sol :

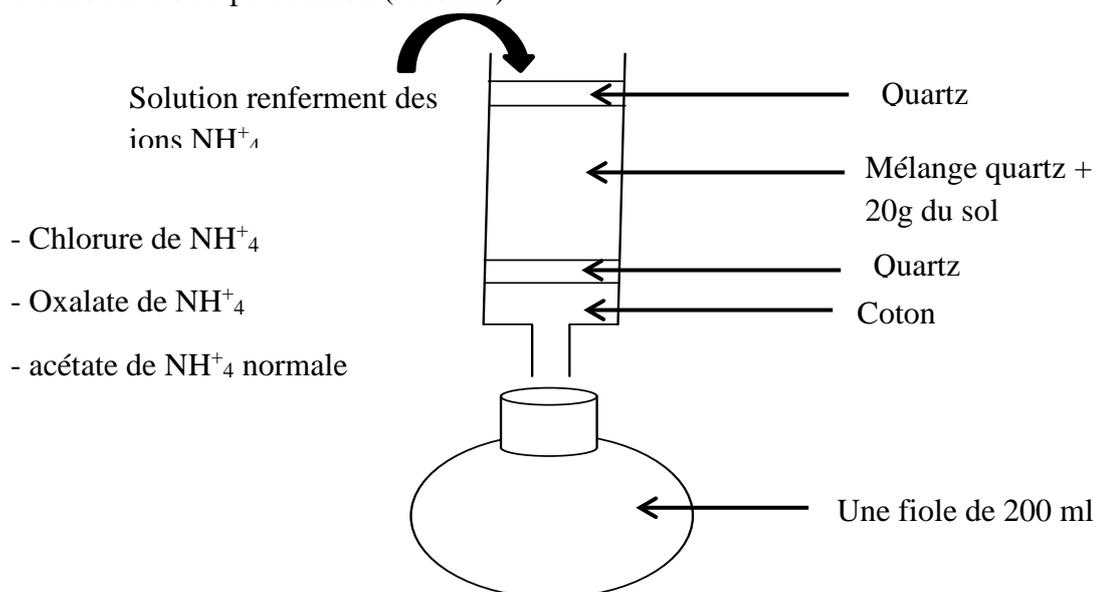
Les constituants minéraux et organiques de sol ont le pouvoir d'absorber à leur surface des ions. Il y a en permanence des échanges entre les ions absorbés par les constituants, les ions contenus dans la solution du sol et les ions absorbés à la surface des racines.



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 à percolation (colonne).



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

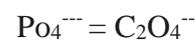
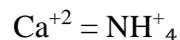
En place de diapositif on percole l'échantillon avec l'acétate chlorure ou l'oxalate de ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ ou $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_4$ ont dosé les cations et les anions qui s'écoule a la base de la colonne et on constate

- 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

- **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^+

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

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

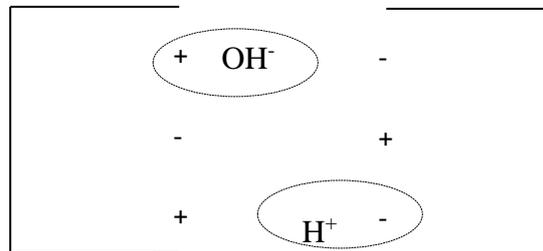
On dit un sol que son complexe absorbant est saturé lorsque le taux de saturation est voisin 100%

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 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
- $$OH^- \longrightarrow H^+ + O^-$$

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 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- **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

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

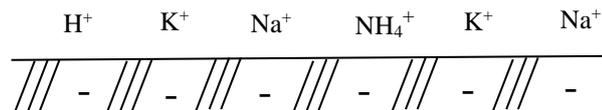
Exemple 02 : dans un pH_6 la kaolinite leur CEC égale 4 meq/100g par contre dans un pH_7 leur CEC augmenter pour atteindre 10 meq/100g. La raison de cette augmentation de CEC est due à la dissociation des hydroxyles OH de bordure lie au silicium (Si).

d- **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

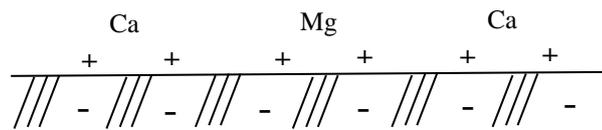
La raison essentielle de cette variation est la valence des cations

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

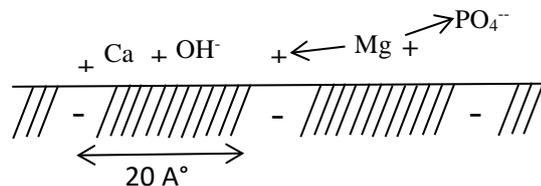


Le deuxième cas : ions bivalents il y a deux possibilités

- 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



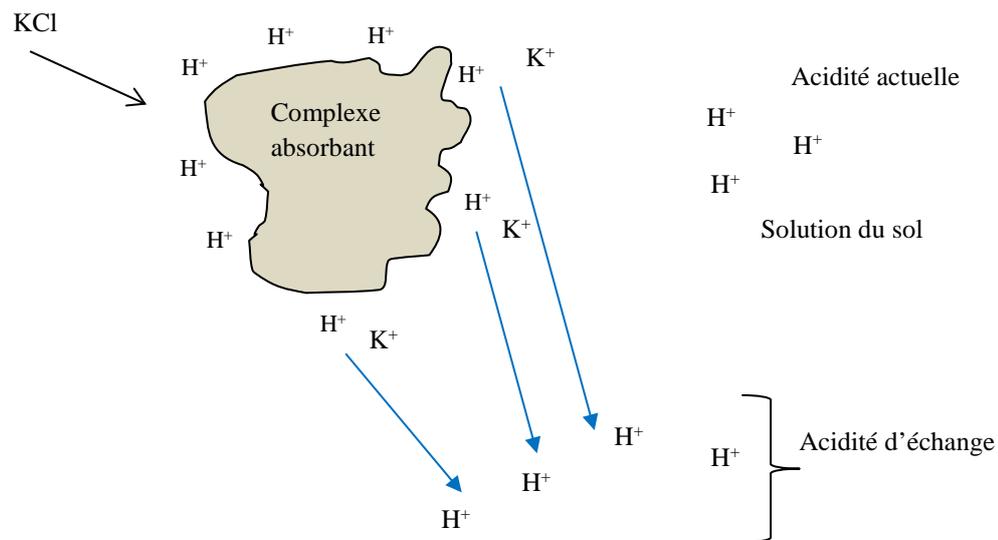
Le troisième cas : ions trivalents la capacité d'échange s'accroît plus encore, elle devient très importante avec les cations organiques qui sont polyvalents et dans ce cas la CEC peut être 4 fois supérieur à ce qu'elle est avec les cations monovalents

II. Les propriétés physico-chimiques du sol.

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

- 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 distillé, on admet que les ions de H^+ qui sont libres dans la solution du sol, ils sont en équilibre avec les ions H^+ retenu 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).

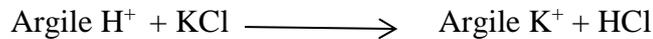
Exemple : un PH très acide voisin de 3 ou 4 correspond un taux de saturation très faible, c'est-à-dire qu'il y a sur le complexe très peu des cations métalliques 0 - 10% et beaucoup d'ions H^+ .

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 remplacé par des cations métalliques.

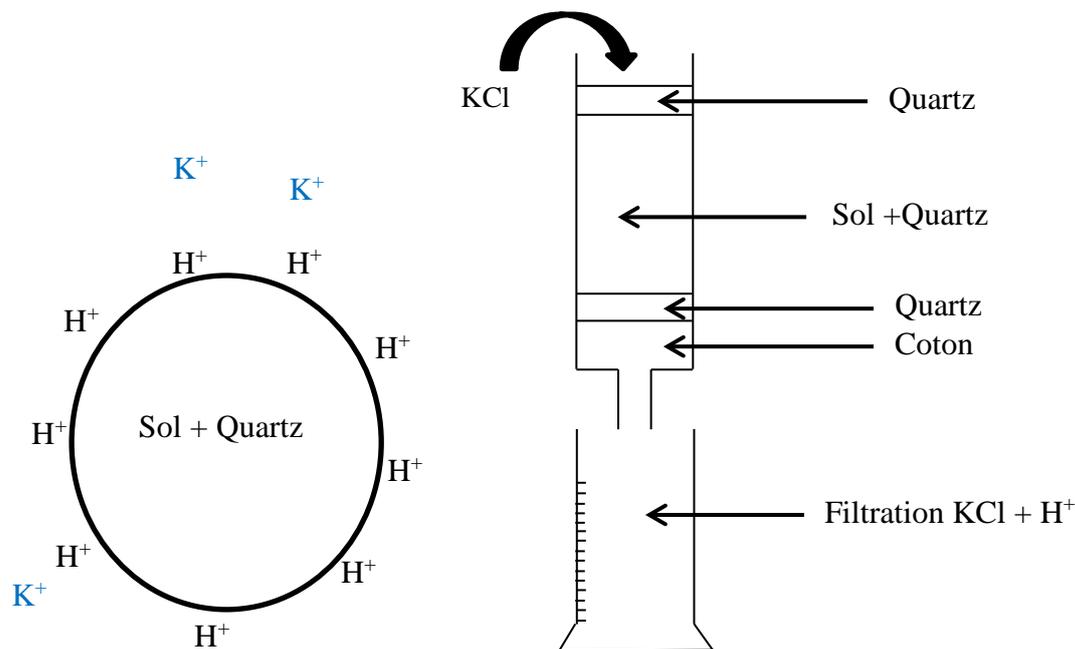
On peut dire que l'acidité actuelle reflète à la fois l'acidité de la solution du sol et l'acidité de complexe.

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 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^+

On titre alors une base l'acidité totale de filtration et on en déduit la quantité d'ions H^+ qui étaient 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 une 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 ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$) 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).

Conductivité Électrique (CE) :

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans le sol, elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présents dans l'échantillon c'est-à-dire son degré de salinité. Cette propriété électrochimique est basée sur le fait que la conductance (inverse de la résistance électrique, ohm Ω) d'une solution s'accroît au fur et à mesure que les

concentrations en cations et anions, porteurs de charges électriques, augmentent. En science du sol, la conductivité électrique (CE) est exprimé en mmho.cm ou dS.m (mmho= milimho, S= siemens) a une température de 25°C (MATHIEU et al., 2003) ou Elle est exprimée en déciSiemens par mètre (dS/m).

L'eau pure est un mauvais conducteur d'électricité, mais **la conductivité augmente à mesure que plus de sels sont dissous** dans l'eau. Ainsi, **la CE de la solution du sol donne une mesure indirecte de sa teneur en sel**. La CE peut être mesurée sur des échantillons de sol mélangés à de l'eau ou directement sur le sol en place.

La **méthode d'extrait de pâte saturée** est la procédure de laboratoire la plus utilisée et constitue la référence à laquelle les autres méthodes sont généralement comparées. Un échantillon de sol est saturé avec de l'eau distillée et mélangé jusqu'à obtenir une pâte brillante et légèrement fluide lorsqu'on la secoue. Après un repos d'une nuit permettant une dissolution complète des sels, la solution est extraite par filtration sous vide et sa conductivité électrique est mesurée (CEe).

III. Les principaux constituants chimiques du sol

Certains éléments sont essentiels à la croissance et à la reproduction des plantes. Les nutriments requis en grandes quantités par les végétaux sont appelés macronutriments, tandis que ceux nécessaires en faibles concentrations sont appelés micronutriments.

1. Les macronutriments ou Macroéléments :

Les macroéléments principaux sont le carbone (C), l'hydrogène(H), l'oxygène (O), l'azote (N), le phosphore(P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S), dont les concentrations dépassent **1000 mg/kg** (sur matière sèche végétale). L'atmosphère et l'eau sont les sources de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Certaines plantes peuvent obtenir l'azote directement de l'air grâce à l'aide de bactéries fixatrices d'azote. Les autres macronutriments sont présents dans le sol. L'azote, le phosphore et le potassium (NPK) sont généralement ajoutés au sol sous forme d'engrais, car la fertilité du sol en dépend. En général, les macronutriments existent dans le sol sous deux formes :

- Des composés complexes et insolubles qui servent de réserves pour les nutriments
- Des formes simples et une solution du sol soluble, facilement disponible pour les plantes

1.1. Azote

Dans le processus de minéralisation, les microbes se nourrissent de matière organique et libèrent de l'ammoniac (qui peut être transformé en ion ammonium) ainsi que d'autres nutriments. Lorsque le rapport carbone/azote du sol est supérieur à 30:1, l'apport en azote est faible, car certaines bactéries se nourrissent de l'ammonium et intègrent ainsi l'azote. Ce processus est appelé **immobilisation**. L'azote est alors sous forme immobilisée. Après un certain temps, lorsque ces bactéries meurent, l'azote est libéré sous forme d'ammonium et de nitrate. Si le rapport carbone/azote est inférieur à 15, l'ammoniac est libéré dans le sol et utilisé par les bactéries dans le processus de **nitrification**. Environ **11 kg d'azote par acre** sont ajoutés par les bactéries. Dans un champ non fertilisé, cela constitue une source importante d'azote.

1.2. Phosphore

Le phosphore est le **deuxième nutriment végétal le plus important**. Il est essentiel à la croissance des plantes. On estime que **0,1 % du poids total du sol** est constitué de phosphore, mais seulement **1 % de ce phosphore est disponible pour les plantes**. La moitié du phosphore disponible provient de la matière organique. Les engrais utilisés en agriculture contiennent du phosphore. Un **manque de phosphore** entraîne une altération de l'ouverture et de la fermeture normales des stomates présents sur les feuilles des plantes. Par conséquent, la température de la plante devient **10 % plus élevée que la température normale**. Le phosphore est le **plus disponible** lorsque le pH du sol est de **6,5 dans les sols minéraux** et de **5,5 dans les sols organiques**.

1.3. Potassium

Le potassium est le **troisième élément essentiel** pour les plantes. Il active certaines enzymes et joue un rôle vital dans l'équilibre hydrique des plantes. La **biotite de mica** et le **feldspath potassique ($KAlSi_3O_8$)** sont des minéraux riches en potassium.

Lorsqu'ils se dissolvent, **50 % du potassium devient disponible sous forme de cations échangeables** et **50 % dans la solution du sol**. Le potassium est **fixé entre les couches d'argile**, un phénomène appelé **fixation du potassium**. Cette fixation dépend de plusieurs facteurs, comme la texture du sol, l'intensité du dessèchement, et la quantité de potassium échangeable.

1.4. Calcium

Environ **1 % du poids total du sol** est constitué de calcium. Sa concentration est très **faible dans les sols sableux et fortement acides**. Le calcium est disponible pour les plantes sous forme de **minéraux solubles**. Les sols déficients en calcium sont **traités avec de la chaux** pour apporter la quantité nécessaire de calcium aux plantes. Ce procédé est appelé **chaulage**.

La minérale commune **calcite (CaCO₃)** est **plus disponible** dans le sol que le potassium, car il est **plus soluble** que les minéraux contenant du potassium.

1.5. Magnésium

Le magnésium est l'**atome central de la chlorophylle** et favorise l'**absorption du phosphore**. La concentration minimale utilisée par les plantes **n'est pas suffisante pour les animaux de pâturage**. Le minéral **mica noir**, ou **biotite**, est un minéral contenant du magnésium que l'on trouve dans certains sols.

1.6. Soufre

Des **carences en soufre** peuvent exister dans certains sols. On estime qu'un **champ d'oignons de 15 tonnes consomme environ 8,6 kg de soufre**. La **concentration de soufre dépend de la profondeur du sol**.

2. Micronutriments ou les Oligoéléments :

Les **micronutriments** sont des éléments essentiels à la croissance des plantes, généralement présents à des concentrations **inférieures à 100 mg/kg**.

Parmi les plus importants, on trouve : **le fer (Fe), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le bore (B), le chlore (Cl), le molybdène (Mo), l'aluminium (Al), le**

brome (Br), l'iode (I) et le vanadium (V). Le **sodium (Na)**, le **silicium (Si)**, le **nickel (Ni)** et le **cobalt (Co)** sont également des **micronutriments essentiels pour certaines plantes.**

Bien que les besoins en micronutriments soient **très faibles**, ils sont **indispensables au bon développement** des plantes. Ils participent aux **activités métaboliques** et sont présents dans la **fraction minérale du sol.**

Cependant, leur **excès peut provoquer des carences** en d'autres éléments. Par exemple, **l'usage excessif de phosphates** peut **réduire la disponibilité du zinc et du fer** en formant des **phosphates de zinc et de fer insolubles.** De plus, une **carence en fer** peut aussi être causée par une **utilisation excessive de métaux lourds ou de minéraux calciques** dans le sol. Une concentration excessive de **bore, de molybdène** ou de **chlorure** est **toxique pour le sol.**

Le carbone (C), l'hydrogène (H) et l'oxygène (O) sont d'un intérêt secondaire, car ils sont fournis par le CO₂ et l'H₂O, abondants dans l'atmosphère et l'hydrosphère. Il en va de même pour le chlore (Cl), très mobile sous forme d'ion Cl⁻ et largement disponible. Pour les autres éléments, à l'exception de l'azote (N) qui constitue 78 % de l'atmosphère, les principales sources sont les minéraux issus de l'altération des sols et de la roche mère.

Le pouvoir nutritif d'un sol est un indicateur de sa fertilité, laquelle dépend aussi des plantes cultivées, de l'environnement et de la gestion des sols.

Les plantes absorbent également d'autres éléments, parfois en quantités importantes, comme le sodium (Na), essentiel pour les halophytes (ex. *Atriplex vesicaria*) et bénéfique pour d'autres espèces car il peut partiellement remplacer le potassium (K) (Marschner, 1995). Le Na est aussi indispensable aux animaux et aux humains.

Le silicium (Si) est essentiel pour certaines graminées des zones humides et bénéfiques pour des cultures économiquement importantes comme le riz, la canne à sucre et la betterave sucrière. Le cobalt (Co) est nécessaire à la fixation symbiotique de N₂ chez les légumineuses et certains non-légumineux, ainsi que pour les ruminants.

IV. Les phénomènes biologiques des sols

Les **phénomènes biologiques des sols** désignent l'ensemble des processus liés à l'activité des organismes vivants présents dans le sol. Ils jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement et la fertilité des sols, ainsi que dans les cycles biogéochimiques. Ces phénomènes sont dus à l'interaction entre les microorganismes (bactéries, champignons, algues), la microfaune (protozoaires, nématodes), la mésofaune (acariens, collemboles) et la macrofaune (vers de terre, insectes, fourmis, etc.).

Principaux phénomènes biologiques du sol :

Décomposition de la matière organique

La décomposition de la matière organique est un processus à multiples facettes impliquant la décomposition de matières organiques complexes en des formes plus simples, ce qui a un impact significatif sur les écosystèmes et le cycle des nutriments. Ce processus est influencé par divers facteurs, notamment la composition biochimique de la matière organique, les conditions environnementales et l'activité microbienne. Vous trouverez ci-dessous les principaux aspects de la décomposition de la matière organique.

Mécanismes de décomposition :

Dégradation physique et biochimique : La matière organique subit une fragmentation et une transformation en molécules organiques et inorganiques plus simples, principalement par l'action microbienne (**Findlay, 2012**) (**Ravn et al., 2020**).

Rôle microbien : Les micro-organismes, en particulier les bactéries et les champignons, jouent un rôle crucial en produisant des enzymes qui facilitent la dégradation de composés complexes, tels que les matières lignocellulosiques ("Organic Matter Decomposition: A View on The Fate of Lignocellulosic Materials", 2023).

Facteurs d'influence

Facteurs intrinsèques : La composition biochimique initiale, telle que la teneur en azote et en phosphore, influe sur les taux de décomposition ; les matériaux contenant

des concentrations de nutriments plus élevées se décomposent plus rapidement (Findlay, 2012)

Facteurs extrinsèques : Les conditions environnementales, notamment la température, l'humidité et la disponibilité des nutriments, influencent de manière significative les taux de décomposition, les environnements plus chauds et plus humides favorisant une dégradation plus rapide (Findlay, 2012)

La minéralisation du sol

La minéralisation du sol est un processus critique qui implique la conversion des nutriments organiques en formes inorganiques, les rendant disponibles pour l'absorption par les plantes. Ce processus est influencé par divers facteurs, notamment la composition du sol, l'activité microbienne et les pratiques de gestion. Il est essentiel de comprendre cette dynamique pour optimiser la disponibilité des nutriments et améliorer la fertilité des sols.

Facteurs clés influençant la minéralisation du sol

- **Activité microbienne :** Les microorganismes du sol, tels que les bactéries et les champignons, jouent un rôle vital dans la minéralisation en décomposant la matière organique et en facilitant le cycle des nutriments. Leurs interactions dans la rhizosphère améliorent significativement la disponibilité des nutriments pour les plantes (Blike, 2022).
- **Composition du sol :** Les taux de minéralisation de l'azote, du phosphore et du soufre dépendent de la texture du sol et de sa teneur en matière organique. Par exemple, une teneur plus élevée en argile peut ralentir la minéralisation du carbone organique en raison d'une sorption accrue, tandis que des résidus spécifiques tels que le riz et le maïs favorisent des taux de minéralisation du carbone plus élevés (Rakhsh et al., 2020) (R.K et al., 2023).
- **Pratiques de gestion :** Il a été démontré que l'utilisation de composts, tels que le compost enrichi en phosphate naturel, améliore la minéralisation de l'azote et du soufre par rapport aux sols non fertilisés. Cette approche peut conduire à une libération prolongée de nutriments au fil du temps (Moharana et al., 2015).

L'humification

L'**humification** est un processus biochimique qui transforme la **matière organique fraîche** (feuilles mortes, racines, débris végétaux, excréments d'animaux) en **humus**, une forme stable et complexe de matière organique du sol. Contrairement à la **minéralisation** (qui libère des nutriments minéraux), l'humification conduit à la formation de composés résistants à la décomposition, jouant un rôle clé dans la fertilité et la structure des sols.