

Chapitre 6. Les propriétés chimiques des sols

6.1. Le phénomène d'échange des ions

Les propriétés chimiques du sol, telles que l'échange des ions, le pH, le pouvoir tampon et le potentiel redox, sont fondamentales pour comprendre la fertilité du sol et sa capacité à soutenir la croissance des plantes. Ces processus dépendent de la composition du sol et des interactions entre les ions, les particules solides et l'eau du sol, et sont influencés par des facteurs physiques et biologiques. Une gestion adéquate de ces propriétés est essentielle pour améliorer l'efficacité de l'agriculture et la conservation des sols.

L'échange d'ions dans les sols est un mécanisme clé qui détermine la capacité d'un sol à retenir et à fournir des nutriments aux plantes. Ce phénomène se produit principalement sur les surfaces des particules d'argile et de la matière organique, qui sont chargées négativement et attirent les cations, tandis que les anions se retrouvent dans la solution du sol.

- **Capacité d'échange cationique (CEC)** : La CEC est une mesure de la capacité du sol à retenir les cations comme le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), et le potassium (K^+). Un sol avec une CEC élevée peut retenir plus de nutriments et les libérer lentement pour la croissance des plantes (Raven et al., 2005).
- **Voir aussi PPT du cours**

6.2. Les propriétés électro-ioniques du sol

6.2.1. Le pH et ses relations avec le complexe absorbant

Le pH du sol détermine l'activité des ions dans le sol et influence la disponibilité des nutriments. Il est lié à la charge des particules du sol et à leur capacité à retenir ou libérer des ions nutritifs. Les sols acides ont tendance à libérer des éléments métalliques comme l'aluminium (Al^{3+}), qui peuvent être toxiques pour les racines des plantes (Haug, 1980). En revanche, un pH alcalin peut rendre des éléments nutritifs, comme le fer et le manganèse, moins disponibles.

Dans des sols acides, les cations sont généralement plus facilement disponibles car la charge négative des particules d'argile et de matière organique augmente, favorisant l'adsorption des cations tels que le calcium, le magnésium, et le potassium.

6.2.2. Le pouvoir tampon du sol

Le pouvoir tampon du sol est la capacité du sol à résister aux variations de pH. Cela est important pour maintenir des conditions de croissance optimales pour les plantes, car de grands changements de pH peuvent rendre les nutriments disponibles ou, au contraire, inaccessibles. Les sols riches en argile et en matière organique ont un pouvoir tampon plus élevé que les sols sableux, en raison de leurs charges superficielles qui peuvent échanger des ions H^+ ou OH^- pour compenser les fluctuations de pH.

6.2.3. Le potentiel d'oxydo-réduction (redox)

Le potentiel redox mesure la tendance du sol à gagner ou à perdre des électrons. Il est essentiel dans les processus chimiques impliquant des éléments comme le fer, le manganèse, le soufre et l'azote, et il influence la forme chimique de ces éléments.

- Dans des sols bien aérés (avec un potentiel redox élevé), les éléments comme le fer sont principalement sous forme oxydée (Fe^{3+}), tandis que dans des sols saturés en eau et réduits (potentiel redox faible), ces éléments peuvent être sous forme réduite (Fe^{2+}), ce qui affecte leur disponibilité pour les plantes.

Chapitre 7. Les propriétés biologiques des sols

Introduction

Les propriétés biologiques du sol sont essentielles pour la fertilité et la santé des écosystèmes terrestres. Les organismes du sol, qu'ils soient microbiens ou macrobiens, influencent de manière significative les cycles des nutriments et la structure du sol. La rhizosphère joue également un rôle central dans les interactions entre les racines des plantes et le sol, modifiant à la fois la chimie et la biologie du sol pour favoriser la croissance des plantes.

7. Les propriétés biologiques des sols

Les propriétés biologiques des sols font référence à l'ensemble des processus biologiques qui s'y déroulent, impliquant divers organismes vivants et leurs interactions avec le milieu environnant. Ces processus influencent la formation et la fertilité du sol, la dégradation des matières organiques, ainsi que la disponibilité des éléments nutritifs essentiels pour les plantes.

7.1. Les organismes du sol

Le sol abrite une grande diversité d'organismes qui jouent un rôle clé dans les processus écologiques et les cycles biogéochimiques. Ces organismes peuvent être classés en plusieurs groupes :

a) Les micro-organismes

Les **micro-organismes** du sol, tels que les bactéries, les champignons, les actinomycètes et les protozoaires, sont essentiels pour la dégradation de la matière organique, la fixation de l'azote et la minéralisation des nutriments. Les bactéries représentent la majorité de ces organismes.

- **Bactéries** : Elles sont responsables de nombreuses réactions biochimiques dans le sol, y compris la dégradation de la matière organique, la nitrification (conversion de l'ammonium en nitrate) et la dénitrification (conversion des nitrates en azote gazeux).
- **Fungi** : Les champignons du sol, tels que les moisissures et les mycorhizes, jouent un rôle dans la dégradation des matières organiques complexes et dans la symbiose avec les racines des plantes.
- **Actinomycètes** : Ces micro-organismes filamenteux décomposent des substances organiques résistantes comme la cellulose et la lignine.

b) Les macro-organismes

Les macro-organismes, comme les vers de terre, les insectes, les acariens et les collemboles, contribuent à l'aération du sol, à la fragmentation de la matière organique et à la formation de structures de sols granulaires, ce qui améliore l'infiltration de l'eau et la circulation des gaz.

- **Vers de terre** : Ils jouent un rôle crucial dans la bioturbation, c'est-à-dire dans le mélange du sol et la création de canaux pour l'air et l'eau, tout en favorisant la décomposition des matières organiques.
- **Insectes et arthropodes** : Ces organismes participent également à la dégradation des résidus organiques et à la formation du sol.

7.2. Les transformations d'origine microbienne

Les micro-organismes du sol réalisent un large éventail de transformations biochimiques qui influencent la disponibilité des nutriments et la structure du sol. Parmi ces transformations, les plus importantes incluent la dégradation de la matière organique, les cycles de l'azote, du soufre et du carbone, ainsi que la minéralisation des éléments nutritifs.

a) Dégradation de la matière organique

La dégradation de la matière organique, ou **minéralisation**, est réalisée principalement par des micro-organismes (bactéries et champignons) qui décomposent la matière organique morte (comme les feuilles, les racines mortes et les débris végétaux) en produits plus simples, tels que le dioxyde de carbone (CO_2), l'eau et les éléments nutritifs comme l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Ce processus fournit aux plantes des nutriments essentiels.

b) Cycle de l'azote

Les micro-organismes du sol jouent un rôle central dans le **cycle de l'azote**, en particulier à travers des processus comme la **fixation de l'azote** (par des bactéries comme *Rhizobium* et *Azotobacter*), la **nitrification** (conversion de l'ammonium en nitrate par des bactéries nitrifiantes) et la **dénitrification** (conversion des nitrates en azote gazeux par des bactéries dénitrifiantes).

- La fixation de l'azote permet aux plantes de capter l'azote de l'air et de l'incorporer dans des composés biologiques.
- La nitrification et la dénitrification influencent la disponibilité de l'azote dans le sol et l'émission de gaz à effet de serre (comme le N_2O).

c) Autres transformations microbiennes importantes

- **Le cycle du soufre** : Certaines bactéries du sol transforment les composés soufrés dans le sol en formes qui peuvent être utilisées par les plantes ou relâchées dans l'atmosphère sous forme de gaz sulfureux.
- **Le cycle du carbone** : La dégradation de la matière organique libère du carbone dans le sol sous forme de CO_2 , ce qui peut influencer les processus de stockage du carbone à long terme.

7.3. Effet de la rhizosphère

La **rhizosphère** est la zone étroite de sol qui entoure les racines des plantes. Elle joue un rôle central dans les interactions entre les plantes, les micro-organismes et le sol, et influence de manière significative la croissance des plantes et les propriétés du sol.

a) Interactions racines-micro-organismes

Les racines des plantes excrètent des **composés organiques** (acides aminés, sucres, acides organiques) dans la rhizosphère, créant ainsi un environnement propice à certaines communautés microbiennes. Ces excréta nourrissent des micro-organismes bénéfiques (comme des mycorhizes ou des bactéries fixatrices d'azote) et favorisent la compétition pour les ressources avec des micro-organismes pathogènes.

- **Mycorhizes** : Les champignons mycorhizes forment des associations symbiotiques avec les racines des plantes, facilitant l'absorption de l'eau et des nutriments (particulièrement le phosphore) tout en recevant des sucres de la plante.
- **Bactéries de la rhizosphère** : Des bactéries bénéfiques (comme celles du genre *Pseudomonas* ou *Rhizobium*) participent à la dégradation des matières organiques et à la protection contre les pathogènes.

b) Effets des exsudats racinaires

Les **exsudats racinaires** influencent la chimie du sol dans la rhizosphère en modifiant le pH, en libérant des nutriments et en modifiant la composition chimique et biologique du sol. Cela peut influencer la biodisponibilité des éléments nutritifs et la croissance des plantes.

c) L'effet des racines sur la structure du sol

Les racines des plantes affectent la structure du sol en créant des canaux dans lesquels l'eau et les gaz peuvent circuler. Cela peut améliorer l'aération et la perméabilité du sol, ce qui a un impact direct sur la disponibilité des nutriments et l'efficacité de la gestion de l'eau.

Chapitre 8. Classification des Sols

La **classification des sols** est un processus systématique qui permet de classer les sols en fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. Cette classification permet de mieux comprendre la diversité des sols, leurs propriétés et leur gestion. La classification des sols peut être effectuée à plusieurs échelles et en utilisant différentes méthodologies, comme les systèmes de classification russe, américaine et française, ainsi que les systèmes plus récents comme le **Référentiel Pédologique 2008**. Ces systèmes reflètent des approches différentes, adaptées aux contextes géographiques et scientifiques particuliers.

1. La Systématique des Sols

La **systématique des sols** est un domaine de la pédologie qui s'intéresse à la classification et à la dénomination des sols en fonction de leurs propriétés et de leur origine. Elle repose sur l'identification et la description des horizons du sol, de leur texture, de leur structure, de leur pH, de leur teneur en matière organique, ainsi que d'autres critères physico-chimiques.

Les systèmes de classification des sols sont généralement basés sur l'observation de caractéristiques clés qui permettent de différencier les types de sols, notamment :

- La texture (proportions de sable, limon et argile),
- La structure (organisation des particules),
- La couleur,
- Le pH,
- La teneur en matière organique,
- La profondeur du sol,
- Le drainage et la capacité de rétention en eau,
- La composition chimique et les nutriments disponibles.

Ces critères permettent de classer les sols en fonction de leur aptitude à supporter certaines cultures ou d'autres types d'activités humaines, comme l'agriculture ou la construction.

2. Les Différentes Classifications des Sols

a) La Classification Russe des Sols

La **classification russe** (ou **classification pédologique soviétique**) est une approche basée sur les propriétés physiques et chimiques des sols, ainsi que sur leur développement en relation avec les conditions climatiques et géographiques. Le système russe classe les sols en fonction de plusieurs critères :

- **La formation du sol** (altération, érosion, accumulation de matière organique),
- **La pédogénèse** (processus de formation des sols),

- **Les horizons** (épaisseur, texture et autres propriétés des horizons de surface et de sous-surface).

Le système russe utilise un grand nombre de catégories et sous-catégories pour décrire les sols, en fonction de la présence d'éléments caractéristiques comme le calcaire, l'humus, ou la salinité.

Exemple de classes russes :

- **Podzols** : Sols acides, pauvres en nutriments, souvent associés aux forêts.
- **Chernozem** : Sols riches en matière organique, typiques des zones tempérées et steppiques.

b) La Classification Américaine (Soil Taxonomy)

La **classification américaine** des sols est principalement définie par le **USDA Soil Taxonomy**. Ce système repose sur une hiérarchie de catégories allant du plus général au plus spécifique :

1. **Order** : Classe la plus large (ex. : Mollisol, Aridisol, Alfisol).
2. **Suborder** : Sous-catégorie qui distingue les sols sur la base de caractéristiques spécifiques (ex. : Mollisol ustic, Aridisol xeric).
3. **Great Group** : Basé sur la combinaison des caractéristiques du sol, comme les horizons de surface et de sous-surface.
4. **Subgroup** : Détaille encore plus les variations au sein des groupes.
5. **Family** : C'est la dernière classification qui inclut des détails sur les caractéristiques physiques du sol, comme la texture, le pH, et la profondeur des horizons.

Ce système est largement utilisé en Amérique du Nord et ailleurs, et il met l'accent sur les propriétés physiques du sol, ainsi que sur leur comportement agronomique.

Exemples de classes américaines :

- **Mollisol** : Sols à forte teneur en matière organique, souvent associés aux prairies.
- **Alfisol** : Sols argileux, souvent associés aux forêts tempérées.
- **Entisol** : Sols jeunes, sans horizon de sol bien développé.

c) La Classification Française des Sols

Le système de classification français est basé sur la **typologie pédologique** qui est utilisée pour décrire et identifier les sols dans le contexte européen. Ce système se concentre particulièrement sur les **propriétés de la matière organique** et les **caractéristiques physiques** du sol.

- **Les grandes catégories** comprennent :
 - **Sols bruns** : Sols souvent associés aux forêts tempérées, riches en matières nutritives.
 - **Sols calcaires** : Sols riches en calcaire, souvent alcalins et avec une texture légère.

- **Sols acides** : Sols souvent associés aux régions humides ou forestières, avec un pH bas.
- Les **Horizon**, et leur **profil** sont analysés, ce qui est un aspect central de la classification française.

3. La Nouvelle Classification des Sols : Référentiel Pédologique 2008

Le **Référentiel pédologique 2008** est un système de classification moderne adopté pour les sols en France et en Europe. Ce référentiel a été conçu pour s'adapter aux besoins actuels en matière de gestion des sols et de préservation de la biodiversité. Il repose sur une **classification hiérarchique** qui distingue les sols en fonction de critères physiques, chimiques, mais aussi **écologiques**.

Les grandes catégories sont :

- **Les Sols organiques** : Sols formés à partir de matières organiques dominantes, comme les tourbières.
- **Les Sols minéraux** : Sols formés à partir de la dégradation de roches et de minéraux.

Les sols sont également classés en fonction de leur **histoire pédogénétique** et de leurs **fonctionnalités écologiques**. Ce système prend en compte les **impacts du changement climatique**, l'**érosion** et les **systèmes de culture** modernes.

4. Les Sols d'Algérie et les Relations avec le Climat et la Géomorphologie

Les **sols d'Algérie** sont extrêmement variés en raison de la diversité géographique et climatique du pays. L'Algérie présente une grande variété de sols, qui sont influencés par plusieurs facteurs tels que le climat, la géomorphologie, la végétation et les pratiques agricoles.

a) Sols de la région saharienne

- **Sols salins et calcaires** : En raison du climat sec et de l'aridité, les sols sahariens sont souvent salins et calcaires. Ce type de sol est appelé "**sols halomorphes**". Ils sont peu propices à l'agriculture sans irrigation ou aménagement particulier.
- **Sols sableux** : Ce sont des sols peu fertiles en raison de leur faible capacité de rétention d'eau et de nutriments.

b) Sols de la région semi-aride et méditerranéenne

- **Sols bruns et chernozems** : Dans les régions de l'**Tell** (plaines du nord et côtières), les sols sont plus fertiles grâce à un climat plus humide et tempéré. Ces sols peuvent être des **chernozems** (sols à forte teneur en matière organique) ou des **regosols** (sols superficiels).

c) Sols de la région montagneuse

- **Sols podzoliques et ferrallitiques** : Dans les montagnes de l'Atlas, les sols sont souvent acides, riches en fer et en aluminium, et présentent des horizons podzoliques caractéristiques. Ils sont également soumis à l'érosion par les eaux de ruissellement.

Les **relations avec le climat** sont étroites, car la pluviométrie et les températures influencent la pédogénèse et la répartition des sols. En outre, la géomorphologie (reliefs montagneux, plaines, et dépressions) joue également un rôle fondamental dans la formation et les caractéristiques des sols.

