



© SPARK 4

LA PROTECTION DU SOL

SOMMAIRE – LA PROTECTION DU SOL

- **1. La fertilité du sol**
- 2. Les sols en Afrique Sub-Saharienne
- 3. Les menaces pour ces sols
- 4. Les mesures pour protéger ces sols

LA FERTILITÉ DU SOL

- Bases de chimie du sol
- Comment les plantes puisent-elles les nutriments dans le sol ?
- Comment les nutriments se comportent-ils dans le sol?
- Quelles conditions influencent la disponibilité des nutriments dans le sol ?

SOMMAIRE: LA FERTILITÉ DU SOL

- Les nutriments (N, P, K, cations basiques)
- Absorption des nutriments par les plantes
- Le pH
- La matière organique du sol

LES NUTRIMENTS

- Les éléments nécessaires aux différentes fonctions physiologiques des végétaux.
- Les macronutriments : éléments dont la plante a besoin en grande quantité

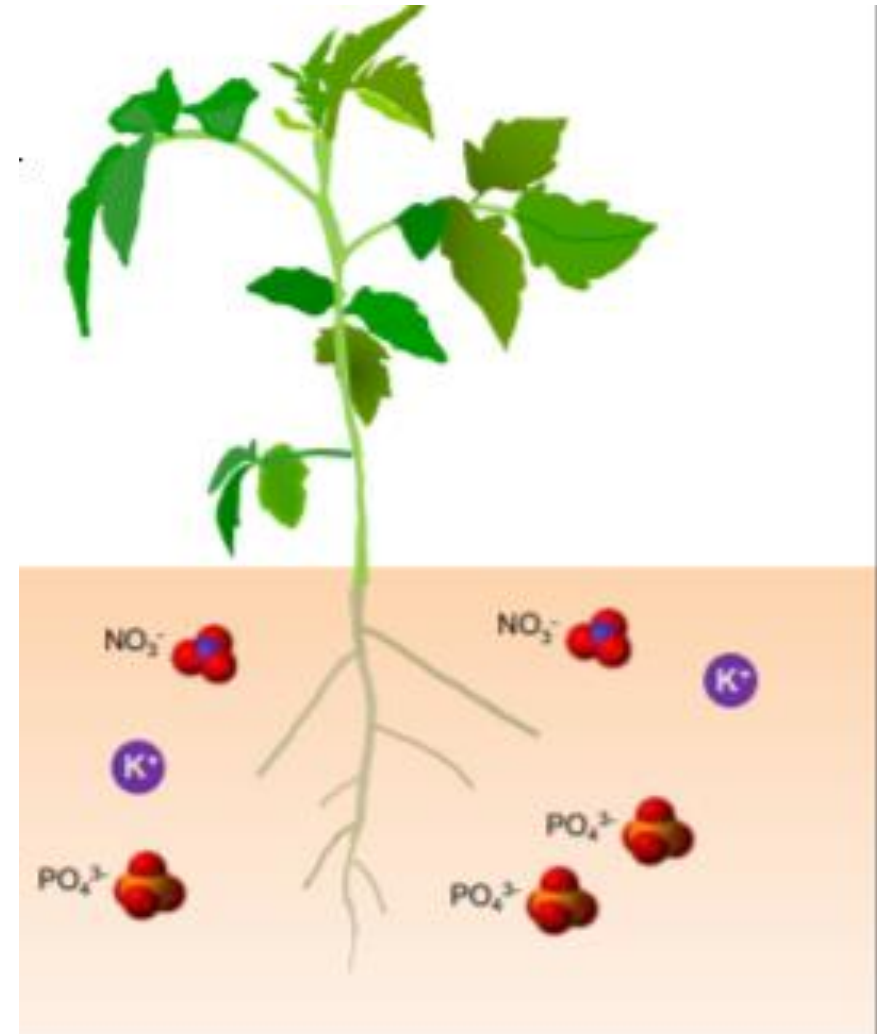
C H O **N P K** *Ca Mg S*

- Les micronutriments: éléments dont la plante a besoin en faible quantité

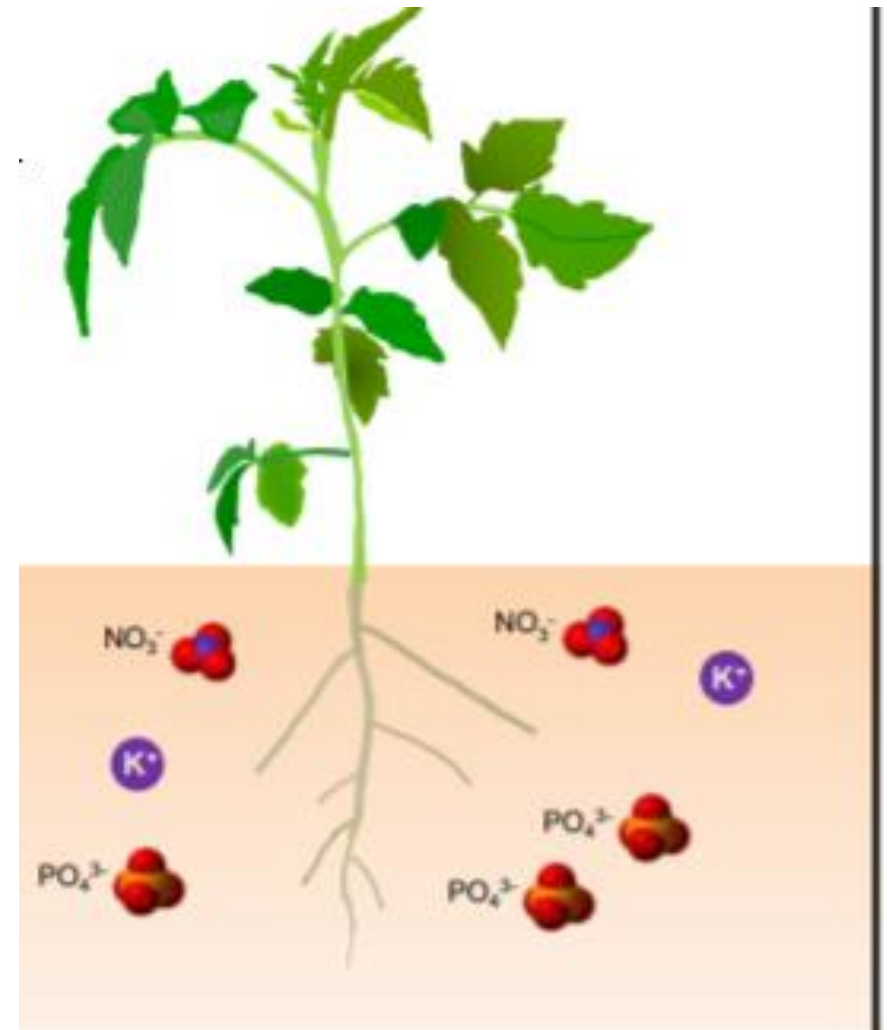
Cl Fe B Mn Zn Cu Ni Mo

ABSORPTION DES NUTRIMENTS PAR LES PLANTES

- C : photosynthèse
- O et H : eau. La plante puise l'eau dans le sol grâce à ses racines.
- Les plantes puisent les nutriments dont elles ont besoin dans la solution du sol grâce à leurs racines.
- La solution du sol représente la phase aqueuse du sol, c'est-à-dire l'eau chargée en molécules qui occupe les espaces libres du sol (pores).

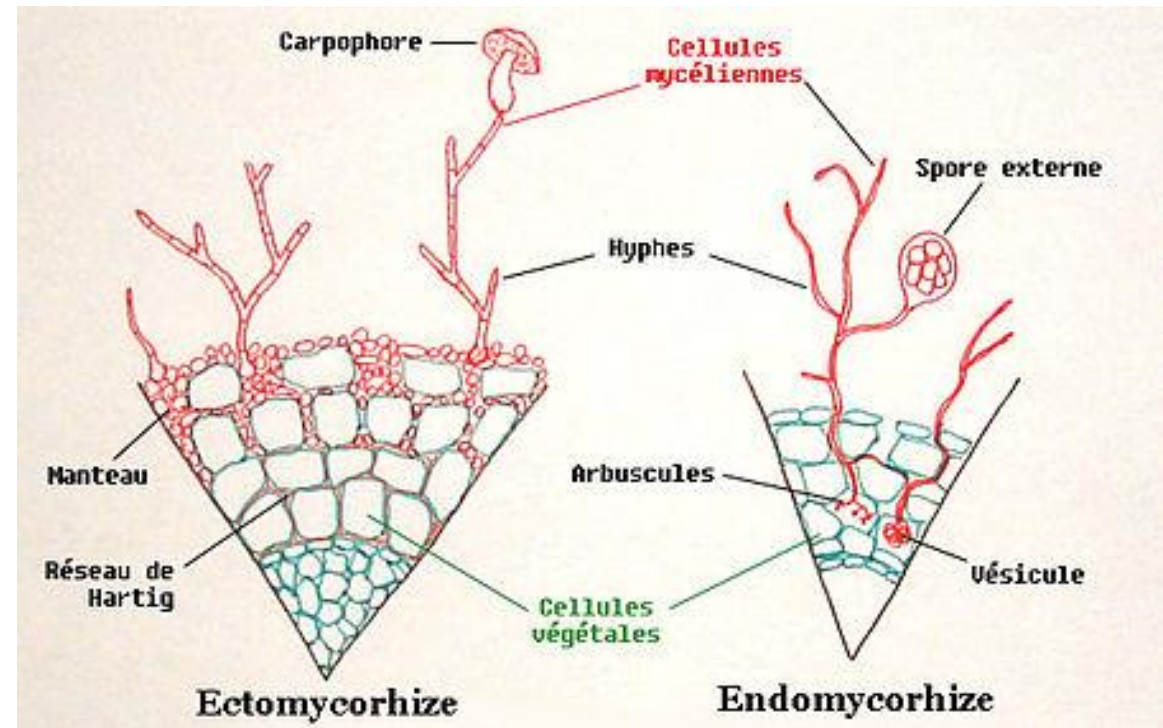


DISPONIBILITÉ VS RÉSERVES



ABSORPTION DES NUTRIMENTS PAR LES PLANTES

- La plante dispose de différents moyens pour faciliter l'accès aux nutriments dont elle a besoin :
 - Augmentation de la surface racinaire : allongement et multiplication des racines et des poils radiculaires.
 - Symbiose avec des mycorhizes : échange de nutriments contre des carbohydrates.



ABSORPTION DES NUTRIMENTS PAR LES PLANTES

- La plante dispose de différents moyens pour faciliter l'accès aux nutriments dont elle a besoin :
 - Symbiose avec des bactéries Rhizobia, pour certaines plantes (légumineuses), pour se procurer de l'azote.
 - Sécrétion d'exsudats racinaires qui modifient les conditions chimiques de la solution du sol
 - Protons et carboxylates : acidifient la solution et dissolvent des nutriments liés aux particules du sol
 - Phosphatases : dissolvent le Phosphore fixé aux particules du sol.

LE PH – MESURE DE L'ACIDITÉ

- pH : concentration de protons (H^+) dans la solution du sol.
- Valeur chimique parmi les plus importantes pour évaluer la fertilité d'un sol.
- Les sols tropicaux sont généralement acides et, sans mesure pour contrecarrer le phénomène, ont tendance à s'acidifier de manière naturelle. Les raisons de cette acidification sont les suivantes :
 - Absence de calcaire pour neutraliser l'acidité.
 - Pluies acides, principalement dans les régions industrielles.
 - Création d'acide carbonique par la respiration des organismes du sol.
 - Sécrétion d'exsudats racinaires acides des plantes (protons et acides organiques)
 - Oxydation du NH_4^+ en NO_3^-

PH ACIDE (PH < 7) : CONSÉQUENCES

- Fixation du phosphate
→ déficience en Phosphore
- Faible CEC (Capacité d'échange cationique)
→ Déficience en cations basiques (K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})
- Milieu inhospitalier pour les organismes du sol.

PH BASIQUE (PH > 7): CONSÉQUENCES

- Une fixation de métaux essentiels
 - Déficience en Cu, Zn et Mn.
 - L'insolubilité des minéraux phosphatés
 - déficience en P
-
- +
 - Une fixation de métaux lourds toxiques (Hg, Al, Pb, Cd)
 - Forte CEC

SURFACE SPÉCIFIQUE

- La surface spécifique correspond à la taille de la surface par masse de sol.

[m² / g]

- Elle dépend principalement de
 - la taille des particules de sol
 - la forme des particules de sol.
- Pour cette raison, les sols argileux ont une surface spécifique beaucoup plus grande que les sols sableux. Ils peuvent donc mieux retenir les nutriments et l'eau.

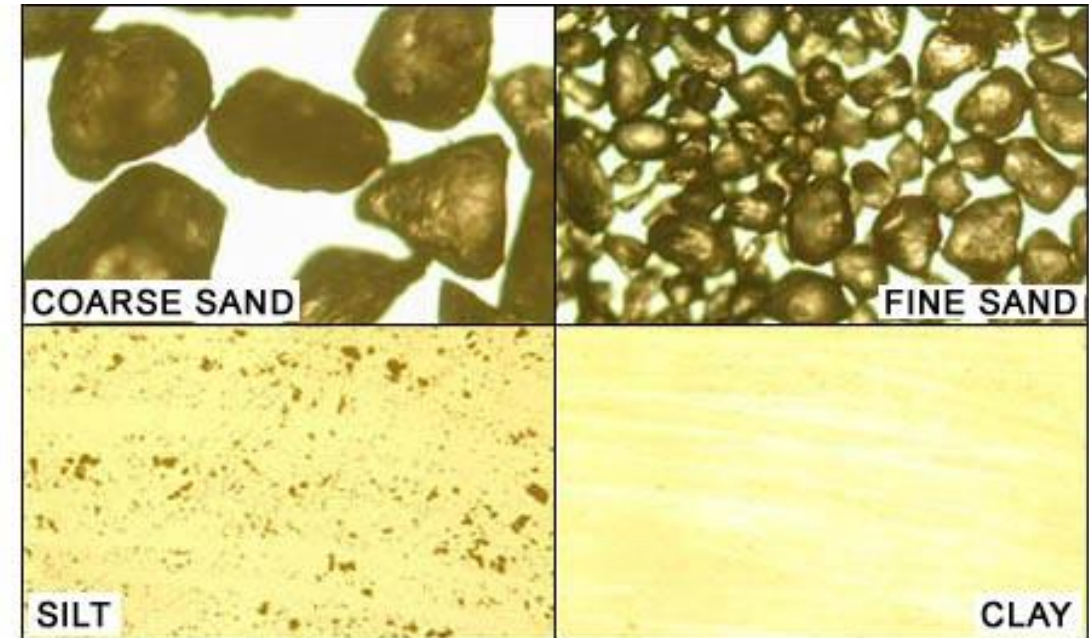
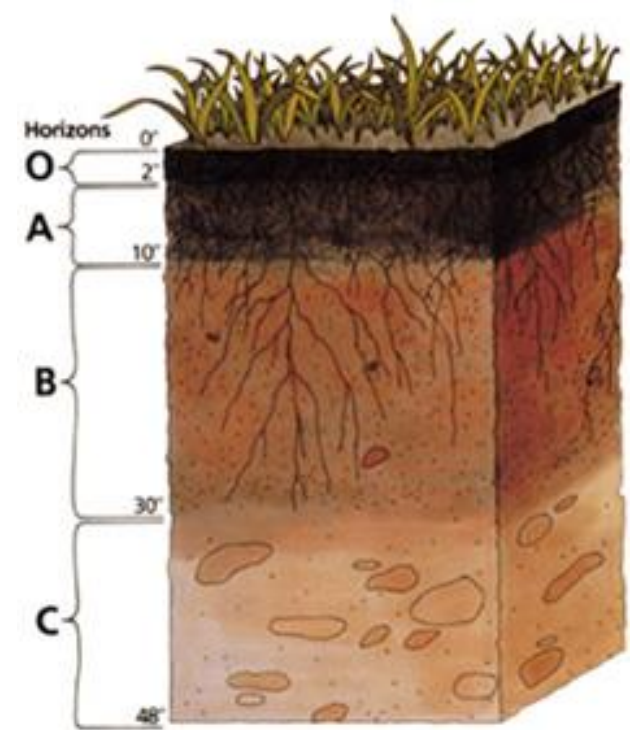


PHOTO CREDIT: VAHE PEROOMIAN

TYPES OF ROCK GRAINS

MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL

- Matière du sol d'origine vivante : composée principalement de C, O, H et N
- Primordiale pour la fertilité du sol et la nutrition des plantes
- Très grande surface spécifique
 - Nombreuses possibilités de liaisons pour les molécules
 - Forte CEC (disponibilité des cations basiques: K, Mg, Ca etc.)
- Création de tissus et d'agrégats: complexes argilo-humiques: rôle de « ciment » pour le sol
 - Rôle central pour la création et le maintien d'une structure de sol stable
- Source d'énergie essentielle à la vie du sol (microbe et insectes)
 - d'importance cruciale pour la décomposition des apports organiques et donc la nutrition des cultures



DYNAMIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

Apports

Défécations animales

Résidus de plantes (racines, tiges, feuilles, fruits)

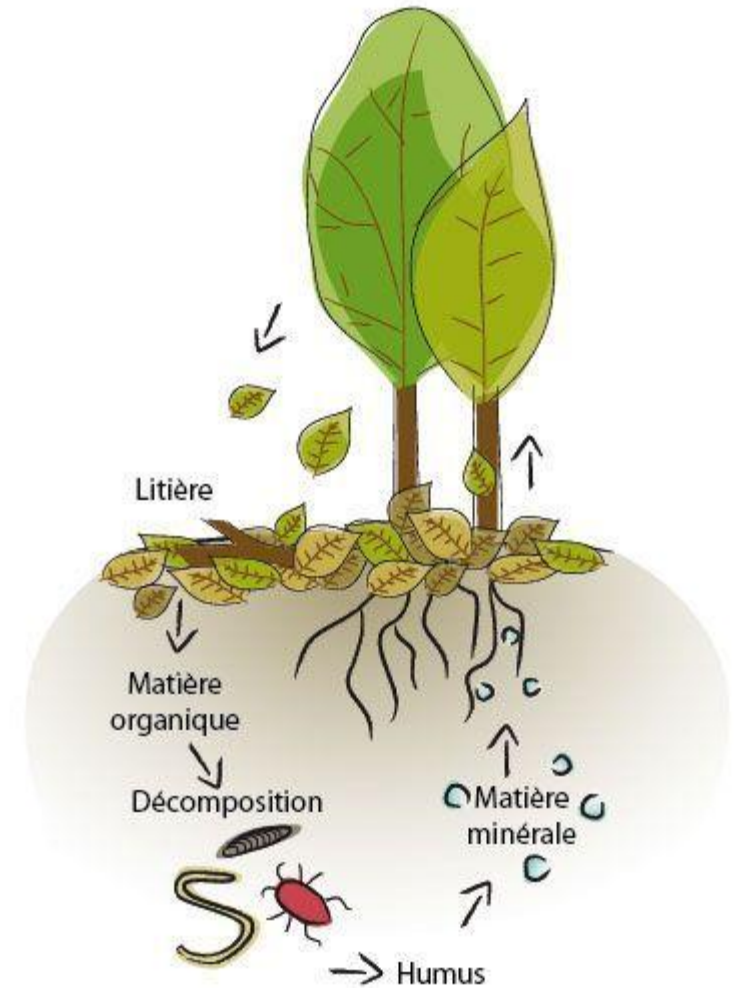
Pertes

Erosion

Lessivage

Minage

Minéralisation



MINÉRALISATION DE LA MO

Minéralisation: décomposition de la MO par les organismes du sol et production de CO₂ et de molécules assimilables par la plante (Nitrates, phosphates, ammonium etc.)

- Contact avec l'air
- Climat chaud et humide : si pas de mesures prises: perte de la MO en quelques années
- Apport d'engrais minéral: provoque une minéralisation accentuée de la MO
 - PRIMING EFFECT : l'apport de nutriments (principalement N) va soutenir la croissance des microorganismes qui vont décomposer la MO
 - UN APPORT D'ENGRAIS MINÉRAL DOIT TOUJOURS ÊTRE ACCOMPAGNE D'UN APPORT ORGANIQUE

RAPPORT CN

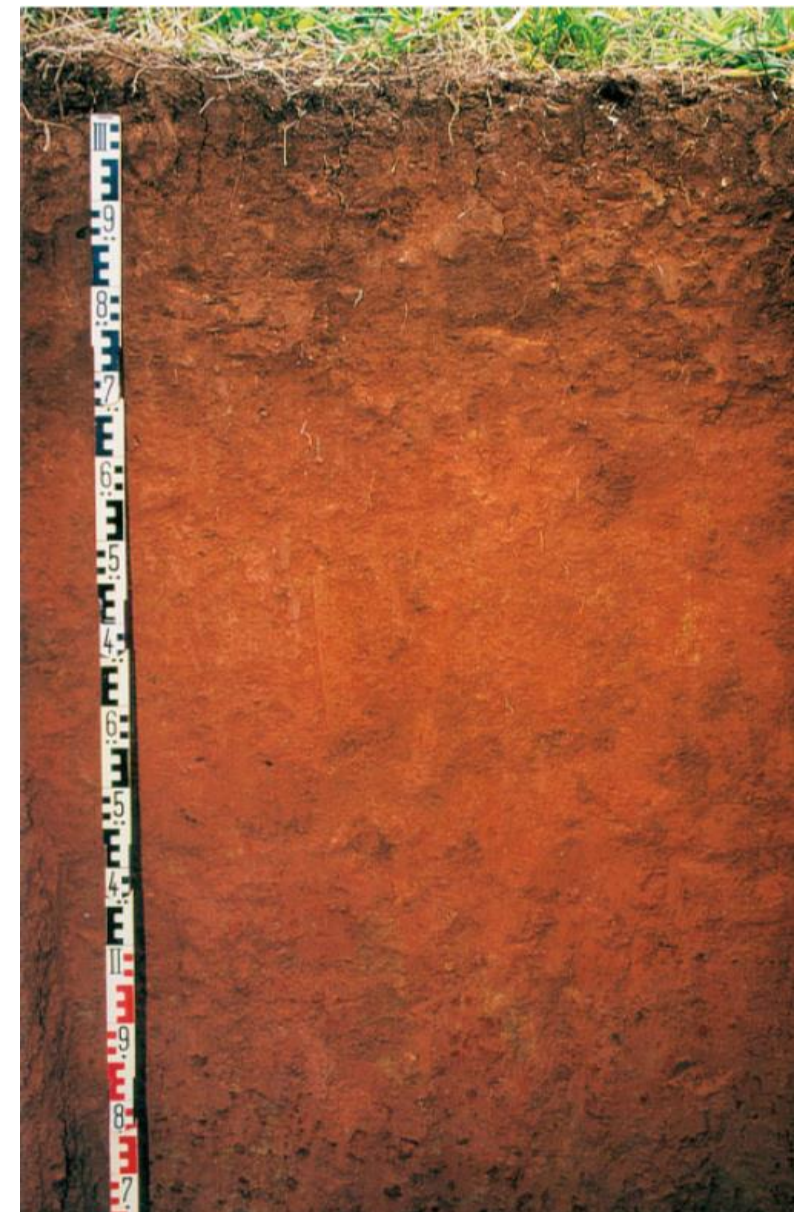
- [C] / [N]
 - Concentration C / Concentration N
- Haut: beaucoup de carbone, peu d'azote ($C/N > 20$)
 - Faim d'azote : la plante ne pousse pas bien car manque d'azote
- Bas: beaucoup d'azote, peu de carbone ($C/N < 15$)
 - Minéralisation accélérée → perte de MOS → perte de fertilité
- $15 < C/N < 20$: idéal: besoin en azote couvert pour permettre une bonne décomposition de la matière carbonée

SOMMAIRE – LA PROTECTION DU SOL

- 1. La fertilité du sol
- **2. Les sols en Afrique Sub-Saharienne**
- 3. Les menaces pour ces sols
- 4. Les mesures pour protéger ces sols

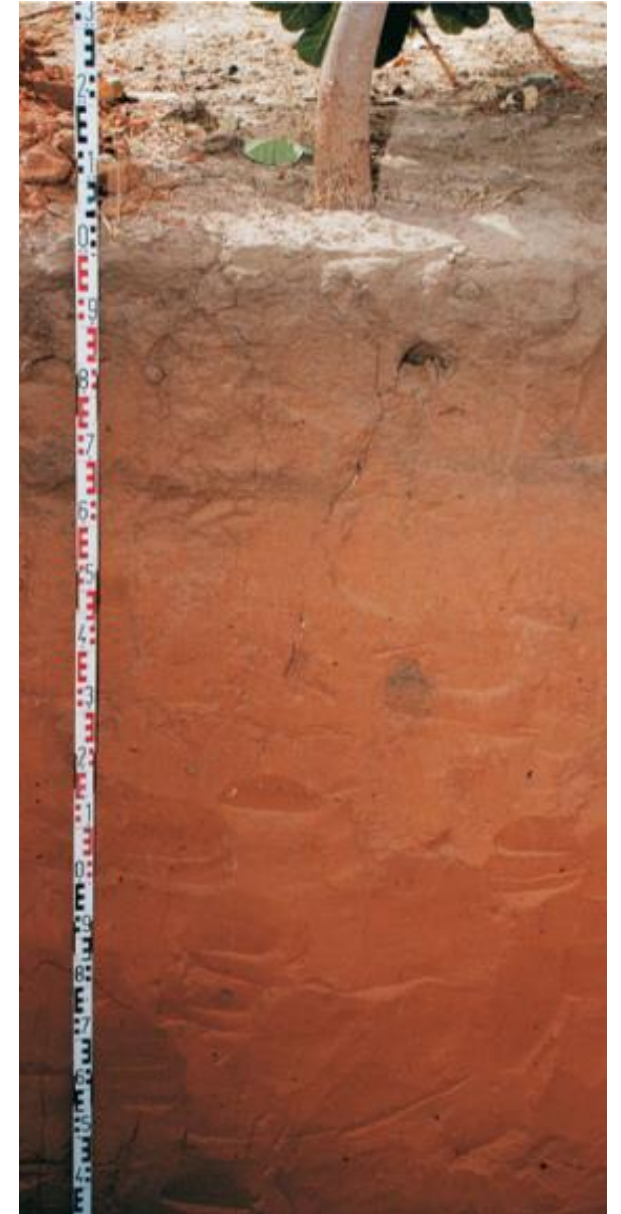
LES SOLS FERRALITIQUES

- Les sols des zones de savane et de forêt d'Afrique subsaharienne ont subi durant des millénaires l'influence d'un climat chaud et humide et de pluies intensives.
- Altération chimique et physique de la roche mère et des minéraux primaires
- Lessivage constant des minéraux secondaires produits par ce processus.
 - Minéraux alcalins et cations basiques lessivés → perte de capacité tampon → acidification
 - Nutriments lessivés → appauvrissement du sol
- Accumulation relative de quartz, d'oxydes et d'argiles inaltérables
 - Faibles charges de surface, faible CEC → incapacité à retenir l'eau et les nutriments.
 - Forte capacité à fixer le phosphore → faible disponibilité du phosphore
- **Sols Ferralitiques ou Ferralsols**



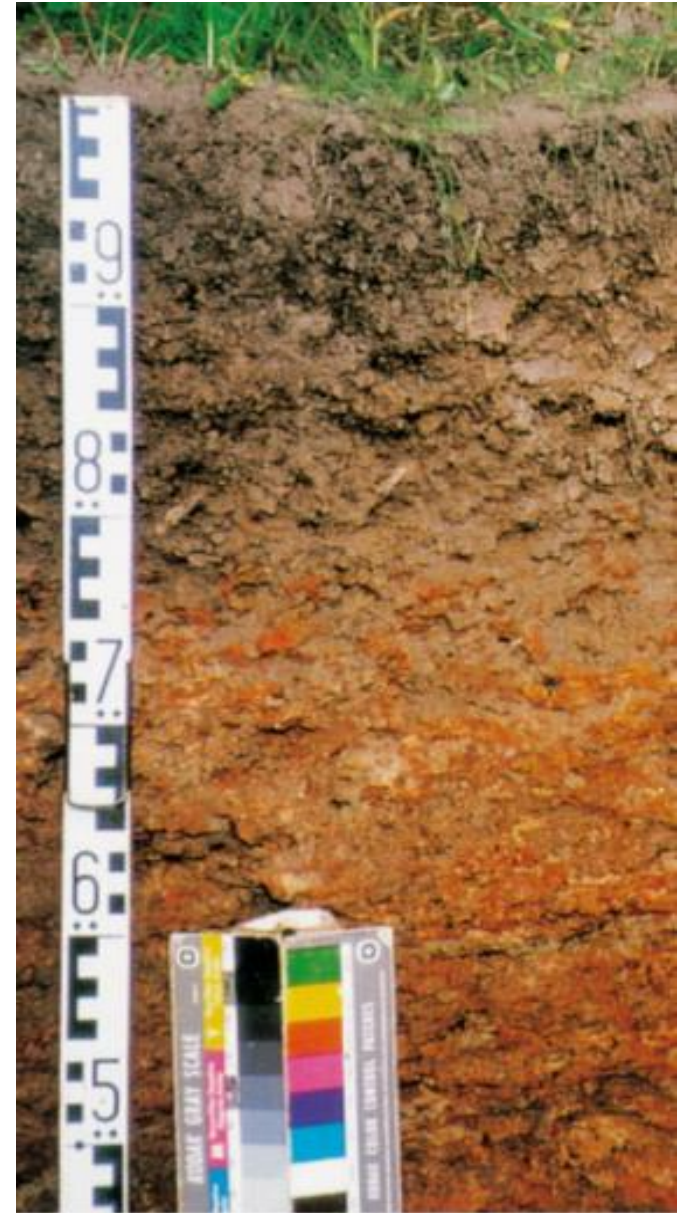
LES SOLS LESSIVÉS

- L'alternance de périodes sèches et humides peut provoquer:
 - Lessivage des argiles vers des horizons plus profonds.
 - Sols pauvres en argile en surface
 - Faible capacité de rétention d'eau et de nutriments
 - **Sols lessivés : acrisols et lixisols**



LES SOLS FERRALITIQUES PÉTRIFIÉS

- En cas de très forte alternance de périodes sèches et humides : Nord Cameroun ou zones de stagnation
- Formation de concrétions d'oxides de fer : des latérites
- Sols appauvris, faible rétention des nutriments, forte fixation du P
- **Sols ferralitiques pétrifiés**



LES SOLS FERTILES DES TROPIQUES

- **Cambisol (terre brune)**

- Forte CEC
- Bonne disponibilité des nutriments
- Faible fixation du P

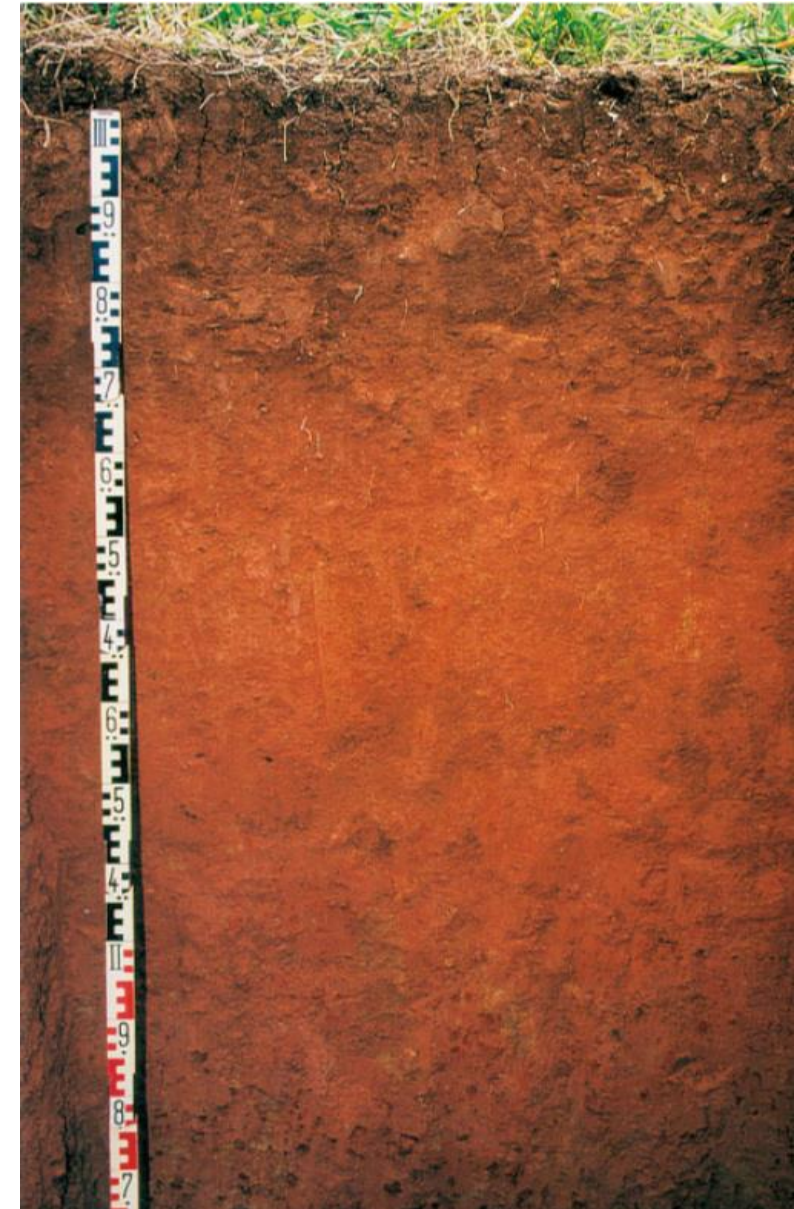
- **Nitisol**

- Moyenne CEC
- Bonne disponibilité des nutriments
- Fixation du P modérée



LES SOLS TROPICAUX - CONCLUSION

- Les horizons minéraux des sols tropicaux ont souvent :
 - Une mauvaise rétention de l'eau et des nutriments
 - Une faible CEC : faible disponibilités des cations basiques
 - Une fixation du Phosphore
 - Une faible teneur et disponibilité des nutriments
 - Un pH bas ou très bas
- Conclusion: La Matière Organique est d'importance cruciale.
 - Forte rétention d'eau et de nutriments
 - Forte CEC
 - Réservoir de nutriments
 - Effet tampon contre l'acidité
 - Pas de fixation du P



SOMMAIRE – LA PROTECTION DU SOL

- 1. La fertilité du sol
- 2. Les sols en Afrique Sub-Saharienne
- **3. Les menaces pour ces sols**
- 4. Les mesures pour protéger ces sols

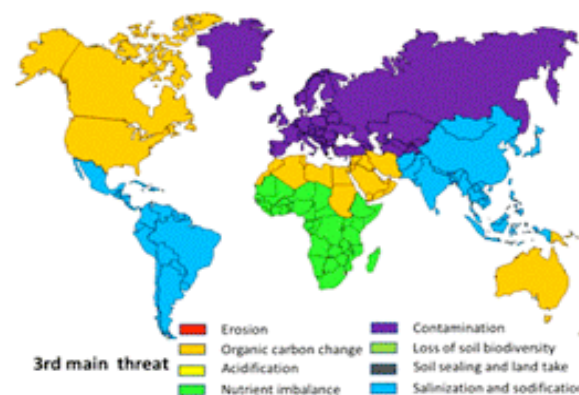
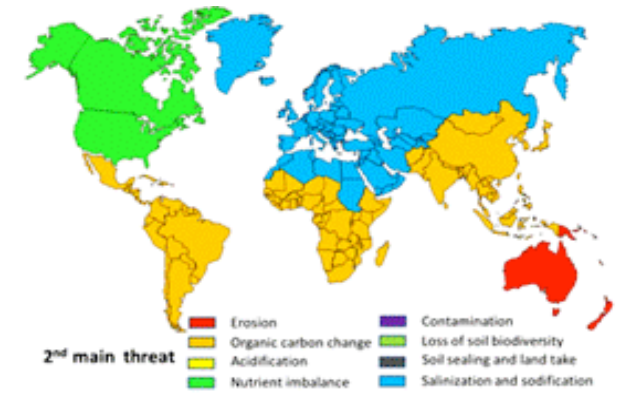
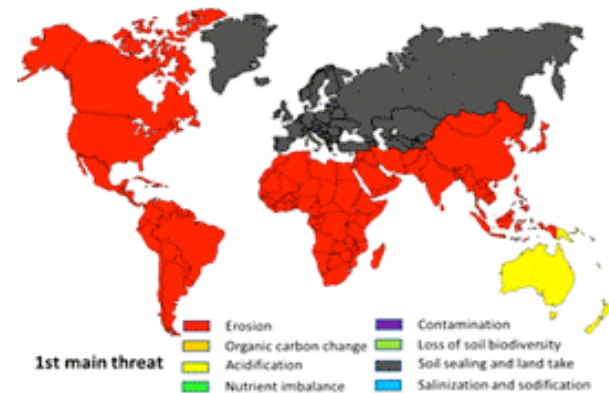
3. LES DANGERS POUR LES SOLS AFRICAINS

- Danger principal : perte de matière organique
- Tâche ardue, principalement lié au climat chaud et humide (forte décomposition) et aux pluies (érosion, lessivage)
- En cas d'absence de forêt primaire, lors de la mise en cultivation, des mesures doivent être prises pour protéger, et des apports constants de fumure organique doivent être amendés pour compenser les pertes.

RISQUES MAJEURS POUR LES SOLS D'AFRIQUE SUB-SAHARIENNE

- Les risques majeurs pour ces sols sont les suivants (Montanarella et al., 2016) :

- Minéralisation de la matière organique
- Erosion et lessivage
- Minage des nutriments
- Acidification



LES DANGERS POUR LES SOLS AFRICAINS

MINÉRALISATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

- Climat chaud et humide
- Absence de fertilisation organique (pertes non compensées)
- Sol exposé à l'air (sol nu)
- Sol retourné (labour, récolte de tubercules) → exposé à l'air
- Apport d'engrais minéral : Priming effect
- Brûlis

MINAGE DES NUTRIMENTS

- Fertilisation inexistante ou insuffisante.

LES DANGERS POUR LES SOLS AFRICAINS

EROSION ET LESSIVAGE



LES DANGERS POUR LES SOLS AFRICAINS

EROSION ET LESSIVAGE



LES DANGERS POUR LES SOLS AFRICAINS

EROSION ET LESSIVAGE

- Pluies intensives
- Faible couverture du sol, sol nu
- Sol retourné → structure du sol détruite → particules libres sont emportées par l'eau
- Absence de mesures anti-érosion (billons, haies, cordons pierreux, drains)
- MOS insuffisante
- Brûlis

LES DANGERS POUR LES SOLS AFRICAINS

ACIDIFICATION

- Naturelles (pluie, absence de capacités tampons du sol, sécrétion d'exsudats racinaires acides des plantes)
- Rotation trop chargée en légumineuses (sécrétion d'exsudats racinaires acides)
- Fertilisation minérale d'ammonium ou de triple phosphate (engrais acide)
- Absence d'utilisation de chaux ou de fiente de poulet pour faire remonter le pH
- Perte de matière organique (capacité tampon)
- Brûlis

LE BRULIS

- Durant le feu :
 - Minéralisation de la MOS
 - Volatilisation des nutriments
 - 75 % N
 - 50 % P
- Après le feu : sol nu et exposé
 - Erosion
 - Lessivage
 - Minéralisation de la MOS



SOMMAIRE – LA PROTECTION DU SOL

- 1. La fertilité du sol
- 2. Les sols en Afrique Sub-Saharienne
- 3. Les menaces pour ces sols
- **4. Les mesures pour protéger ces sols**

4. MESURES DE PROTECTION DU SOL

- 5 objectifs pour protéger le sol
 1. Protéger le sol et sa MO de la pluie (lessivage, érosion)
 2. Protéger le sol et sa MO de l'air (minéralisation, perte d'azote par volatilisation)
 3. Ajouter de la matière organique pour compenser les pertes
 4. Ajouter des nutriments pour compenser les pertes/exportations
 5. Augmenter ou stabiliser le pH pour éviter une acidification

Différentes mesures répondants à un ou plusieurs des objectifs

MESURES DE PROTECTION DU SOL

LES ASSOCIATIONS DE CULTURES

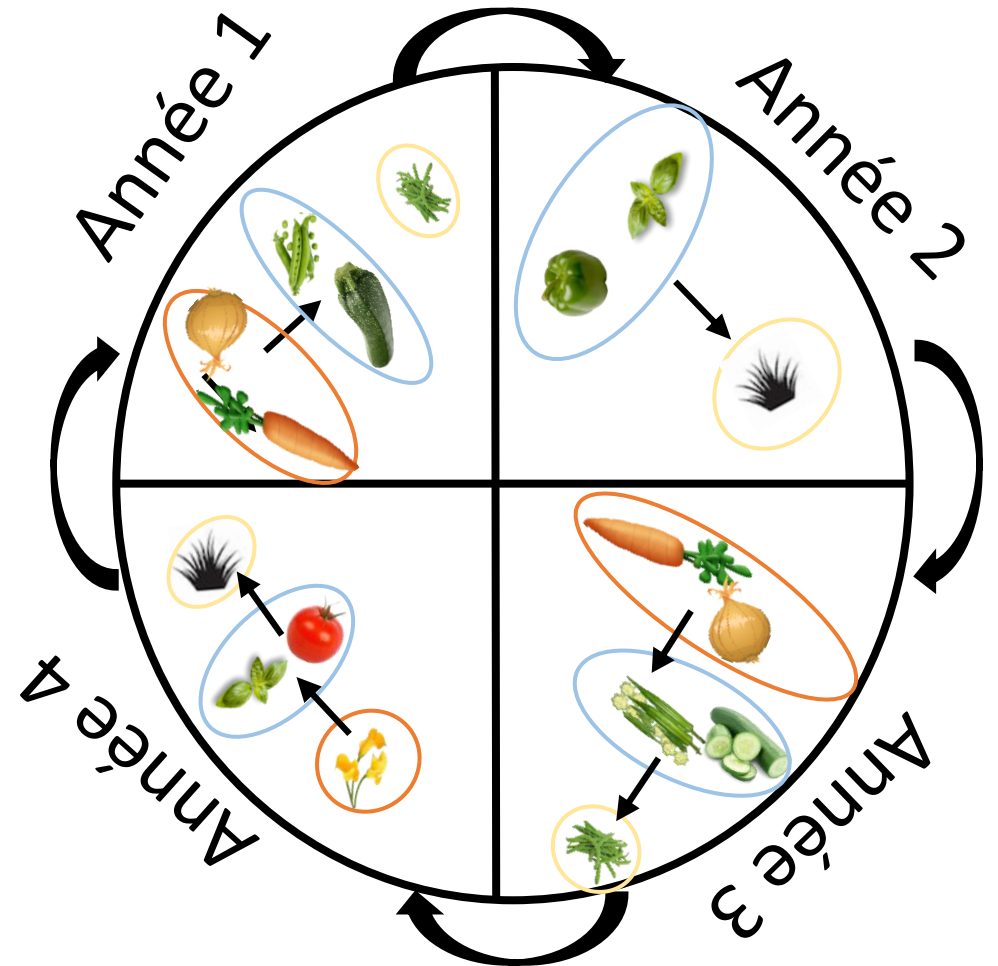
- Optimisation de l'espace → Meilleure couverture du sol
- Comblent les espaces entre les lignes d'une culture lente au démarrage
- Culture d'arbres permet d'intercepter les gouttes de pluie
- Associent des cultures destructrices avec des cultures protectrices ou régénératrices



MESURES DE PROTECTION DU SOL

LES ROTATIONS DE CULTURES

- Couvrent le sol en tout temps
- Permettent d'alterner des cultures gourmandes et moins gourmandes
- Permettent d'alterner des cultures destructrices avec des cultures régénératrices
- Permettent d'alterner des cultures avec différents besoins nutritifs
- Eviter de laisser un sol nu !
 - Entre 2 cultures, semer un engrais vert
 - Paillage



RECOMMANDATIONS POUR UNE ROTATION EFFICACE

- Cultiver les espèces d'une même famille par ordre décroissant d'exigence et de sensibilité
- Toujours couvrir le sol: protection contre l'érosion, le lessivage et la perte de matière organique.
 - Si aucune culture n'est prévue, semer un engrais vert. En saison sèche, prévoir un engrais vert ou un paillage, ou laisser la culture après avoir récolté les graines.
- Prévoir un engrais vert chaque 4 ans minimum

LES GRAMINÉES

- Exigeantes en azote (N) et en phosphore (P)
- Recycle les nutriments des couches les plus profondes
- Enrichissement du sol en matière organique
- Système racinaire profond et puissant
- Grande production de biomasse
- Possible engrais vert



LÉGUMINEUSES

- Peu exigeantes, sauf en phosphore (P)
- Fixent l'azote et mobilisent le P du sol
- Utilisée pour enrichir le sol en azote
- Engrais verts



LES CULTURES SOUS-TERRAINES

- Impliquent un intensif retournement du sol et une faible couverture du sol
 - Risques d'érosion, de lessivage et de perte de matière organique.
 - Ce sont des cultures destructives (sauf patate douce)
 - Les alterner avec des cultures régénératrices (légumineuses ou engrais verts)
 - Les cultiver maximum 1 année sur 4
 - En cas de cultivation avec mesures de protection du sol (paillage, cultures associées, agroforesterie), elles peuvent être cultivées 1 année sur 2
 - Respecter également les pauses nécessaires pour les familles auxquelles elles appartiennent.

MESURES DE PROTECTION DU SOL

LE PAILLAGE

- Couverture du sol entre les rangées de culture
- Couverture possible en saison sèche
- Maintient l'humidité
- Limite l'enherbement
- Sert de refuge pour de nombreux organismes bénéfiques



MESURES DE PROTECTION DU SOL

LES ENGRAIS VERTS

- Un engrais vert est une culture que l'on cultive dans le but de protéger/régénérer le sol
 - Produisent une grande quantité de biomasse
 - Mobilisent les nutriments du sol
 - Input d'azote (si légumineuses)
 - La matière organique produite et les nutriments mobilisés peuvent être rendus à la terre comme :
 - Paillage, compost ou fumier après avoir nourri les animaux
- > Apport de matière organique et de nutriments

MESURES DE PROTECTION DU SOL

UNE FERTILISATION ADAPTÉE

- Doit correspondre aux besoins de la culture pour éviter un minage de nutriments
- Fertilisation uniquement minérale insuffisante:
 - Ne compense pas les pertes de MO
 - Provoque un priming effect et une perte de MOS

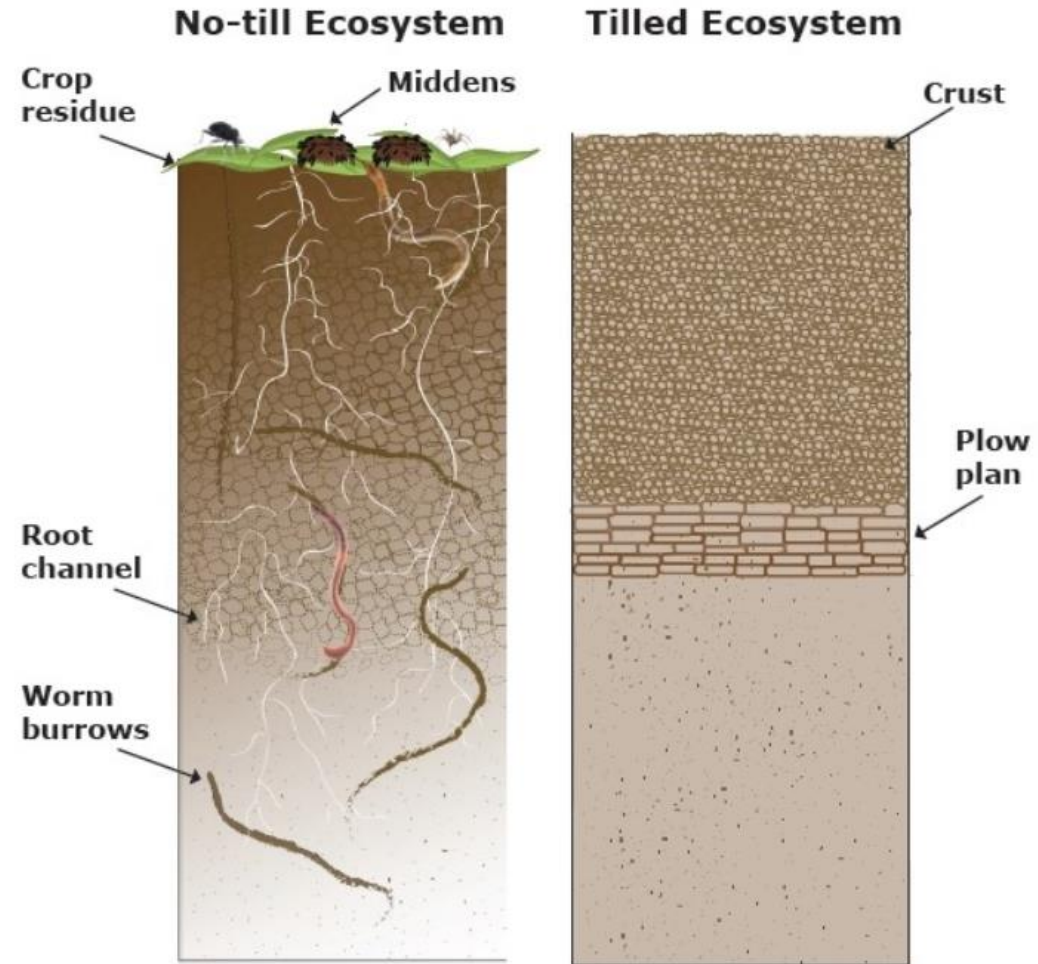
MESURES DE PROTECTION DU SOL

UN TRAVAIL DU SOL CONSERVATEUR

- Travail du sol superficiellement et localement à l'endroit où sera planté la graine ou le planton
- Facilité par un sol sans croûte durcie
- Pour protéger le sol de l'érosion et prévenir la création de la croûte :
 - Une couverture permanente du sol se fait par culture ou par un paillage
- Dans une production biologique de semis direct :
 - Limiter au maximum l'intensité du travail du sol
 - Doit être réalisé superficiellement (10-20cm) à la main ou par traction animale
- Des billons et/ou billons cloisonnés peuvent être ajoutés pour réduire le ruissellement

MESURES DE PROTECTION DU SOL

UN TRAVAIL DU SOL CONSERVATEUR



MESURES DE PROTECTION DU SOL

LES HAIES

- Limitent le ruissellement et l'érosion
- Recyclent l'eau et les nutriments lessivés
- Conseillées autour des parcelles pour garder l'eau et le sol dans la parcelle
- Doivent être placées perpendiculairement à la pente en suivant les courbes de niveau
- D'autres avantages...
 - Biodiversité, production fourragère, barrière contre les ravageurs et aléas climatiques



MESURES DE PROTECTION DU SOL

LES CORDONS PIERREUX

- Limitent le ruissellement et l'érosion
- Conseillés autour des parcelles pour garder l'eau et le sol dans la parcelle
- Doivent être placés perpendiculairement à la pente en suivant les courbes de niveau
- D'autres avantages...
 - Refuge pour les auxiliaires



MESURES DE PROTECTION DU SOL

LE CONTRÔLE DE L'ACIDITÉ

- En cas d'apport d'engrais azoté synthétique, privilégier les engrais sous forme de nitrate (NO_3^-) ou d'urée ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)
- Eviter les apports d'engrais d'ammonium (NH_4^+), un acide
- Limiter les apports d'engrais phosphoré synthétique
- Privilégier les engrais organiques, spécialement la fiente de poulet
- Protéger ou augmenter la MOS
- Appliquer de la chaux
- Ne pas surcharger les rotations en légumineuses

