

Éléments de correction

« Le sol et les êtres vivants »

Introduction :

Interface entre lithosphère, atmosphère et hydrosphère et biosphère, **le sol** constitue une couche plus ou moins épaisse qui recouvre de façon presque continue la surface des continents, interrompu par les cours d'eau et lacs, les affleurements rocheux et les constructions de l'être humain.

Il est un support, voire un milieu de vie pour les êtres vivants du milieu terrestre. **Les êtres vivants** sont des **organismes** constitués d'une ou plusieurs cellules, qui maintiennent leur organisation, réalisent des échanges de matière et d'énergie avec leur milieu, se reproduisent. L'ensemble des êtres vivants constitue **la biosphère**. Les êtres vivants en relation avec le sol sont des Eubactéries, des Archées et des Eucaryotes. Les Eucaryotes liés au sol sont divers : Protozoaires, Métazoaires (dont l'être humain), Mycètes, Métaphytes.

Quelles sont les interactions entre le sol et les êtres vivants et quelles en sont les conséquences sur le sol, les organismes vivant sur ou dans le sol et plus généralement la biosphère ?

Nous montrerons dans une première partie que le sol constitue une ressource pour les êtres vivants qui y vivent, ainsi que pour l'être humain. Nous étudierons dans un second temps l'impact des organismes du sol sur ses constituants et sa structure. Enfin, nous aborderons les conséquences des interactions sol – êtres vivants à l'échelle des écosystèmes.

Remarque générale sur la démarche :

Pour ce sujet, il y a peu d'expériences utilisables comme argumentation. S'appuyer sur des faits d'observation, expliquer précisément un mécanisme (par exemple, le trajet de l'eau du sol vers la plante), écrire une équation correctement, proposer une quantification, permettent également de valider la compétence « rédiger un paragraphe argumenté ».

I. Le sol : une ressource pour les êtres vivants

1. La nécromasse, entrée de matière et d'énergie dans les réseaux trophiques du sol

La MO = 5 % des constituants du sol, source de matière et d'énergie pour les organismes hétérotrophes

Litière (= organes et tissus végétaux morts, déjections animales, animaux morts), humus → nécromasse

S'y ajoutent les sécrétions des êtres vivants du sol (ex : acides organiques, sucres sécrétés par les racines des végétaux = « exsudation racinaire » ; biopolymères de certaines bactéries)

Saprophages ou détritivores = macrofaune (exemples) et mésofaune (exemples), organismes hétérotrophes qui minéralisent le carbone de la MO morte ; ressources peu nutritives (10 à 20 % sont assimilés) mais abondantes

Ce qui n'est pas assimilé = boulettes fécales consommées par d'autres organismes.

Matière organique fragmentée, simplifiée, peut être transformée par les décomposeurs (exemples).

Bilan : La nécromasse est une ressource alimentaire pour les organismes hétérotrophes du sol, dont les actions complémentaires aboutissent à la minéralisation de la matière organique.

2. La fraction solide minérale et l'eau, ressources des organismes autotrophes

Bactéries chimolithotrophes (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*) : nitrosation / nitratisation (nitrification) → nitrates

Bactéries photosynthétiques des horizons superficiels et végétaux chlorophylliens utilisent l'eau et les ions minéraux du sol

Disponibilité de l'eau du sol : sol à saturation / point de ressuyage / point de flétrissement permanent / capacité au champ dépendant de la texture du sol

Arguments possibles : graphique relation potentiel hydrique du sol / % humidité pour un sol argileux / sableux ou graphique % eau / texture du sol

Importance des CAH : réserve de cations (en lien avec leur structure), échanges avec la solution du sol et importance des sécrétions racinaires de H⁺ dans la réalisation de ces échanges

Arguments possibles : expérience (cf TP) de mise en évidence de la capacité de rétention des cations avec éosine / bleu de méthylène ; « test au bleu » et lien entre teneur en argiles et capacité d'échange de cations

Absorption de l'eau et des ions minéraux au niveau des poils absorbants / des mycorhizes : grande surface d'exploration du sol, faible épaisseur

Mécanismes absorption racinaire : transports actifs d'ions permettent le maintien d'un gradient de potentiel hydrique entre le sol et la racine et l'entrée d'eau par osmose

Argument possible : explicitation de la notion de potentiel hydrique pour le sol / la racine

Bilan : les organismes autotrophes qui puisent des ressources dans le sol contribuent au recyclage de la matière.

3. Le sol et la fourniture d'aliments pour l'être humain

La production primaire réalisée par les végétaux chlorophylliens qui utilisent la matière minérale des sols en fait les supports de la production alimentaire des êtres humains

Production de végétaux destinés à l'alimentation humaine, ou à l'alimentation d'animaux consommés par l'être humain (exemples), pâtures

→ Importance de la gestion des surfaces agricoles, des sols en général, dans un contexte d'augmentation de la population mondiale

Notion de services écosystémiques d'approvisionnement

Bilan : Par la matière organique et la matière minérale qu'ils contiennent les sols sont à la base d'un grand nombre de réseaux trophiques et support de services écosystémiques d'approvisionnement. En prélevant, utilisant de la matière issue du sol, les êtres vivants le modifient. Nous allons maintenant montrer que l'activité des êtres vivants façonne les sols.

II. Le sol : un milieu façonné par les êtres vivants

1. Les êtres vivants du sol et la transformation de la litière

Transformations de la litière = fragmentation, décomposition, minéralisation → humus constitué de matière organique transformée

Argument possible : description (schéma) de l'histoire d'une feuille morte

Les organismes qui assurent ces transformations = macrofaune, mésofaune, microfaune / microflore (exemples)

Mise en relation de l'épaisseur de l'humus et des divers organismes présents : mull / moder, en lien avec la vitesse de minéralisation de la nécromasse et avec les organismes vivants présents (Mull : bactéries, vers de terre ; Moder : champignons, enchytrées)

Importance de la composition de la MO morte via la nature des végétaux : rapport C/N, présence de tannins

Action de l'Homme : apport de MO sous forme de fumure, lisier

Bilan : l'activité des êtres vivants très diversifiés du sol est à l'origine de la fraction organique des constituants solides du sol

2. Les êtres vivants du sol et la genèse de la fraction minérale du sol

La fraction minérale = 45 % des constituants du sol ; elle résulte essentiellement de l'altération de la roche – mère.

Les racines des végétaux contribuent à l'altération mécanique ; importance des bioturbateurs qui mélangent la fraction minérale au reste du sol et contribuent à une meilleure altération

Les micro-organismes (biofilms), les racines des végétaux (sécrétions de protons, acides organiques) et la macrofaune comme les vers de terre (avec leur tube digestif) interviennent dans l'altération chimique

Un exemple de réaction d'altération d'un minéral faisant intervenir H⁺ via le CO₂ issu de la respiration des êtres vivants du sol (ex : hydrolyse des feldspaths ou des pyroxènes calciques)

Arguments possibles : expérience streptomyces / hornblende et mesure de la q Fe dans le milieu ; observation auréoles de dissolution sur biotite autour de bactéries en MEB

La fraction minérale du sol est aussi en partie issue de la minéralisation de la MO par les micro-organismes décomposeurs :

- urée et acide urique des déjections animales transformés en NH_4^+
- NH_4^+ , phosphates, issus de la décomposition de la MO
- Nitrites, nitrates issus de l'oxydation des NH_4^+

La nitrification peut aussi avoir sa place ici si pas traitée dans le 1.2

Bilan : l'activité des êtres vivants du sol contribue à la genèse de la fraction minérale des constituants solides du sol

3. Les êtres vivants du sol et la phase gazeuse du sol

Phase gazeuse = 25 % des constituants du sol

Composition de cette phase gazeuse : O_2 , CO_2 , N_2 , CH_4 , N_2O , H_2 , composés organiques volatils (géosmine)

Comparaison avec la composition de l'atmosphère : les différences résultent de l'activité des êtres vivants du sol

Respiration aérobie : consomme O_2 et produit CO_2 (bactéries et champignons : 2/3 du CO_2 produit), méthanisation par les Archées, fixation de N_2 par Rhizobium, production de H_2 par fermentation, N_2O produit par dénitrification (processus anaérobie) ou nitrification (processus aérobie), géosmine produite par Actinomycètes

Bilan : la composition de l'atmosphère du sol résulte de l'activité des êtres vivants du sol

4. Les êtres vivants du sol et la structure du sol

Organisation du sol en horizons organique / organo-minéral / minéral (l'association MO – matière minérale argumente les interactions lithosphère / biosphère dans la genèse du sol)

Répartition hétérogène des êtres vivants du sol, cependant certains d'entre eux, en se déplaçant, assurent des mouvements de matière = bioturbations

Les vers de terre anéciques sont des agents majeurs de bioturbations : contribuent à l'enfouissement de la matière organique et au transfert vers la surface de matière minérale

Les racines des végétaux participent aussi au brassage par leur progression dans le sol

Les galeries des vers de terre augmentent la porosité de 20 à 30 % → drainage, aération du sol, contrebalancent le tassement des sols par les engins agricoles

Dans le tube digestif des vers de terre : agrégation de particules organiques et minérales → complexes argilo-humiques

Les complexes argilo-humiques participent à la formation des micro-agrégats, macro-agrégats, favorisant une porosité importante, limitant la dispersion des argiles, assure la rétention de cations et la rétention d'eau

Bilan : La grande diversité des êtres vivants du sol contribue à la formation des différentes fractions qui le constituent, ainsi qu'à sa structure.

Nous avons montré que les interactions entre le sol et la biocénose sont nombreuses et essentielles. Cela en fait un enjeu pour le vivant.

III. Les sols : un enjeu pour le vivant

1. Les sols réservoirs de biodiversité (taxonomique et fonctionnelle)

Les sols constituent un habitat pour une multitude d'organismes, un support dans lequel s'ancrent les végétaux (support physique), un milieu terrestre un peu particulier (moins desséchant, plus d'inertie thermique) → importance de la préservation de cet habitat

Les sols sont indissociables de la biosphère dans la mesure où elle intervient dans les trois étapes fondamentales de la pédogenèse : altération de la roche-mère, colonisation par des végétaux pionniers et enrichissement en MO, structuration du sol par des transferts verticaux (lombric = espèce architecte)

La pédogenèse résulte d'interactions entre altération du sol et succession végétale et c'est un processus lent (5 mm en 100 ans). L'épaisseur des sols est sous la dépendance de l'érosion et de l'altération, or par leurs racines les végétaux limitent l'érosion

Bilan : la biosphère du sol est un facteur clé de la pédogenèse, de l'implantation du peuplement végétal et du maintien de l'écosystème sol. Le sol fournit un service écosystémique d'habitat pour une biocénose très diversifiée.

2. Les sols, réservoirs de C et N grâce à la biosphère

Sol : 50 % à 95 % des stocks de C « mort ou vif » des écosystèmes terrestres

Les flux entrants de C sont liés à : la litière, les sécrétions des êtres vivants du sol, l'apport de MO exogène par l'être humain, les résidus de culture.

Les flux sortants de C sont liés à la minéralisation (rapide / lente) de la MO par les êtres vivants du sol (+ lessivage et érosion de MO... qui peuvent être limités par les racines des végétaux)

Le stock de C du sol est pour partie labile (minéralisation rapide), pour partie stable : pool stable issu des transformations bactériennes, inclus dans les agrégats (CAH)

Diversité des capacités de stockage des biomes (forte pour la forêt tempérée, très forte pour la prairie, faible pour les cultures), en lien avec anthropisation (libération de CO₂ par la déforestation) et le dérèglement climatique (transformation de forêts boréales très fixatrices de C en forêts tempérées moins efficaces)

Le CO₂ produit par minéralisation rapide est un GES, de même que le CH₄ produit par les Archées dans les sols anoxiques

Les différentes formes d'N dans le sol dépendent fortement des êtres vivants du sol : sans sols, pas de recyclage de l'azote

azote organique de la nécromasse / minéralisation par les êtres vivants du sol en NH₄⁺ / transformations des différentes formes d'N réalisées pas des bactéries (vu plus haut) notamment en nitrates qui peuvent être utilisés par les végétaux / mais production possible de N₂O, gaz à effet de serre

Importance du travail du sol par l'Homme pour limiter cette production de N₂O

3. Sols et service écosystémique de régulation

Par la production de GES dans les sols (CO₂, CH₄, N₂O), ceux-ci ont un impact sur l'effet de serre

Flux entrants / sortants de CO₂, sols = réservoir important de C → rôle des sols pour piéger le CO₂ atmosphérique et limiter son augmentation

→ Notion de service écosystémique de régulation vis-à-vis du changement climatique qui impacte l'ensemble de la biosphère

Bilan : rôle crucial des sols dans les cycles biogéochimiques du C et du N, le recyclage de la matière, de régulation du climat : encore des services écosystémiques rendus pas les sols

4. L'être humain modifie les sols

Artificialisation des sols : définition, quantification, conséquences (réduction des terres agricoles, imperméabilisation des sols)

Déforestation, prairies → cultures : conséquences sur l'érosion par ruissellement, le stockage du carbone

Importance des bioturbations d'origine anthropique. Labour permettant une bioturbation sur 30 cm mais aussi quelques fois la formation de semelle de labour (compaction → zone anoxique) et atteinte forte à la biodiversité en particulier de la macrofaune, rigoles favorisant ruissellement et érosion

Intrants : nitrates avec phénomènes d'eutrophisation (expliquer) influençant la biosphère du sol, pesticides...

Des solutions pour limiter les impacts : agroforesterie, cultures intermédiaires, apports de MO exogènes, suppression ou du moins diminution du labour...

Bilan : Importance d'une gestion durable des sols pour préserver l'écosystème sol et optimiser la production agricole sur le long terme, lien avec services écosystémiques d'approvisionnement, de régulation du climat, des crues

Conclusion :

Le sol abrite une grande biodiversité, tant sur le plan des taxons que sur le plan fonctionnel. Milieu de vie, ressource pour ces êtres vivants, le sol est également, pour sa composition, sa structure et son évolution, dépendant de leur activité. L'importance des sols pour les êtres vivants ne se limite pas à la biocénose endogée, puisqu'ils sont le support du développement des végétaux, producteurs primaires à la base de très nombreux écosystèmes terrestres et de l'alimentation de l'être humain. En plus de la fourniture d'aliments, les sols sont pourvoyeurs de services écosystémiques de première importance, en particulier par leur place dans les cycles biogéochimiques du C et du N. La production de GES par les sols, le stockage de C dans les sols, sont des objets d'étude dans le contexte du changement climatique : citons par exemple l'initiative 4‰ (accords de Paris 2015) qui propose d'augmenter le stockage de C dans les sols afin de limiter le réchauffement climatique.