

LE SOL, UNE INTERFACE VIVANTE ENTRE LITHOSPHERE ET ATMOSPHERE

BG-B Les sols (BCPST 2)

Le sol est un système étudié en interface entre sciences de la vie et sciences de la Terre, de façon à comprendre un objet structurant la biosphère. Sa présentation, en lien avec les services écosystémiques qu'il délivre, met en exergue les raisons scientifiques qui en font un patrimoine à préserver. Dans cette partie, les différentes composantes du sol sont présentées avec une approche fonctionnelle et intégrative, en explicitant le rôle des organismes dans les processus. Les exemples et les mécanismes, exclusivement en régions tempérées, sont pris sur les sols bruns et leur devenir, les sols bruns lessivés. L'étude des sols mobilise les acquis d'écologie et de sciences de la Terre et appuie les parties sur la nutrition végétale, les cycles biogéochimiques et le climat.

Savoirs visés

Capacités exigibles

BG-B-1 Le sol : une interface vivante entre lithosphère et atmosphère

BG-B-1-1 La phase solide des sols

Le sol constitue l'interface entre l'hydrosphère et l'atmosphère, d'une part, et la lithosphère d'autre part.

Le sol est constitué des produits de l'altération de la roche mère ainsi que de l'évolution de la litière, incluant décomposition, minéralisation de la matière organique et humification.

Le sol comporte des organismes variés. Leur grande biodiversité, macro- et microscopique, est aussi fonctionnelle : elle participe à la décomposition et la

- Décrire le profil d'un sol brun et ses horizons, en les reliant aux processus qui les mettent en place, par exemple à l'aide de documents photographiques ou de profils réalisés sur le terrain.

- Expliquer les différences de dégradabilité de la matière organique (lignine, rapport C/N).

- Quantifier la part relative des composantes minérale et organique du sol.

- Comparer deux types d'humus (mull et moder) : structure de l'horizon organique, biodiversité, brassage,

minéralisation de la matière organique ainsi qu'à l'altération de la roche mère.
D'un point de vue granulométrique, le sol comporte des argiles (aux propriétés colloïdales), des limons et des sables.

Le sol se subdivise en horizons différenciés par leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques.

pH, et discuter du lien avec la production végétale et avec le turn-over de la matière organique du sol.

- Identifier à partir d'une clef de détermination les constituants de la biocénose du sol (micro, méso et macrofaune).

- Construire un réseau trophique à partir d'observations et d'autres données.

- Expliquer le rôle des biofilms dans l'altération de la roche mère.

- Déterminer la granulométrie d'un sol et le replacer dans un triangle de textures.

- Discuter des rôles des argiles, limons et sable : rétention de cations, rétention de l'eau, aération du sol.

- Identifier le complexe argilo-humique et son rôle d'adsorbant ionique.

Précisions et limites :

Ici, une première étude porte sur l'exemple du sol brun (ou brunisol). La terminologie des sols utilisée est simplifiée par rapport aux usages actuels des pédologues. On se limite à nommer les horizons par leur nature : organique, organo-minérale, roche mère altérée et roche mère (ou substrat) dans la description du sol.

Liens :

Biotopie et biocénose d'un écosystème (SV-J-2)

Cycles biogéochimiques du carbone (BG-A-1) et de l'azote (BG-A-2)

Altération des silicates et latéritisation (ST-E-1).

Physique-chimie : solutés (4.2)

BG-B-1-2 Les phases fluides des sols	
Outre la phase solide, un sol possède une phase liquide, qui alimente les êtres vivants du sol, et une phase gazeuse, issue de l'atmosphère et de l'activité des êtres vivants. La structure, la granulométrie et la vie du sol déterminent sa porosité, qui se subdivise en macro- et micro-porosité, selon la possibilité d'une rétention capillaire. La teneur en eau à saturation est la teneur en eau maximale du sol. La capacité au champ est la capacité de rétention au point de ressuyage. La réserve utile en eau d'un sol est la quantité d'eau que la plante peut utiliser (différence entre la teneur en eau à la capacité au champ et la teneur en eau au point de flétrissement permanent). Le complexe d'échange, dont le complexe argilo-humique, est capable d'échanges de cations avec la solution du sol (capacité d'échange cationique, CEC). Le sol est un système ouvert réalisant des échanges avec l'atmosphère (exemple des gaz) et l'hydrosphère (exemple des nutriments).	- Exploiter des données permettant d'expliquer la composition et l'origine de la solution du sol et de l'atmosphère du sol. - Expliquer que les sols sont des sources de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O). - Mesurer la porosité et le pH d'un sol. - Mettre en évidence la capacité d'échange cationique (CEC) avec un chromophore chargé (par exemple le bleu de méthylène et l'éosine).
Précisions et limites : <i>Le bilan hydrique du sol est hors-programme.</i> <i>La fixation de N₂ est illustrée par des bactéries libres ou liées (Rhizobium).</i>	
Liens : Symbiose fixatrice d'azote des Fabacées (SV-A-2) Absorption racinaire des Angiospermes (SV-B-2) Cycle du carbone et forçage de la précipitation des carbonates (BG-A-1)	

BG-B-1-3 Le sol, un ensemble dynamique	
Un sol se forme par effet conjoint de la végétation et de l'évolution de la roche mère. Les composants du sol se déplacent notamment par diffusion, gravité et par bioturbation. La pédogenèse résulte d'interactions croisées entre évolution du sol et succession végétale. Elle conduit à un état d'équilibre dynamique appelé pédoclimax (sol brun lessivé sous forêt caducifoliée dans les régions de France métropolitaine). Un sol se développe lorsque l'érosion est inférieure à la genèse par altération. Tous les sols sont naturellement soumis à l'érosion, d'intensité variable selon la topographie et le climat, mais la végétation peut limiter le phénomène. La dynamique globale d'un sol dépend aussi du climat.	- Expliquer la bioturbation par la plante et les vers de terre (espèces ingénieurs). - Évaluer l'ordre de grandeur de durée de la pédogenèse d'un sol brun lessivé. - Illustrer des liens réciproques entre pédogenèse et dynamique de succession de la végétation : exemple des mécanismes de facilitation et de rétroaction microbienne. - Exploiter des données montrant qu'un sol, même climacique, peut être soumis à l'érosion naturelle.
Précisions et limites : <i>On se borne à un sol brun et un sol brun lessivé.</i> <i>La présentation du principe général de la pédogenèse se limite à l'évolution de l'apparence et de l'épaisseur du sol, à l'apparition d'horizons, à la brunification et au lessivage.</i> <i>Les mécanismes de facilitation et de rétroaction microbienne (négative pour les plantes pionnières et de succession, positive pour les plantes climaciques) sont présentés à partir d'exemples en nombre limité.</i> <i>Le pédoclimax est introduit comme un état d'équilibre dynamique dépendant du climat et donc variable au cours du temps long.</i>	
Liens : Succession écologique et relations interspécifiques (SV-J-2) Changement climatique anthropique et impacts sur la biodiversité (BG-C-3-3) Climat et altération des roches (ST-E-1) Érosion et entraînement de matières (ST-E-2)	

BG-B-2 Les enjeux de la gestion des sols	
Les sols sont pourvoyeurs de services écosystémiques, parmi lesquels des services d'approvisionnement (fertilité et support de la production alimentaire) et de régulation liée au climat (stockage de carbone). Les pratiques agricoles ont un impact sur les sols et sur les services écosystémiques qu'ils délivrent. Par ailleurs, d'autres activités humaines conduisent à l'artificialisation des sols et à la perte des services écosystémiques rendus par les sols.	- Interpréter des données permettant de quantifier les services écosystémiques rendus par les sols. - Discuter à partir de documents fournis des impacts d'une pratique agricole, le labour, sur le sol et les services écosystémiques rendus par les sols (fertilité du sol et support de la production alimentaire, impact sur la biodiversité du sol, érosion et stockage de carbone). - Quantifier l'évolution de la surface des sols artificialisés autour d'une région urbaine.
Précisions et limites : <i>Les services écosystémiques choisis comme exemples sont réutilisés pour illustrer leurs perturbations par les activités humaines.</i>	
Liens : Fonctionnement des écosystèmes (SV-J-2) Eutrophisation des écosystèmes (BG-A-3) Géographie : Environnement et milieu.	

I. La phase solide des sols

1. les sols se structurent verticalement en horizons ↓ cf TP
2. la fraction minérale du sol provient de l'altération de la roche mère
 - 2.1 la granulométrie définit la texture du sol ↓ cf TP et évolue au cours du temps
 - 2.2 les agents physico-chimique de l'altération (cf 1e année)
 - 2.3 l'altération des roches est accélérée par les racines des plantes et les biofilms bactériens
3. la fraction organique du sol provient de l'évolution de la litière ↓ cf TP
 - 3.1 la minéralisation primaire de la matière organique
 - 3.2 la formation de l'humus ou humification et la minéralisation secondaire
 - 3.3 la minéralisation de la matière organique dépend de son rapport C/N
4. la bioturbation animale permet de mélanger la litière et la fraction minérale du sol et favorise la formation du complexe argilo-humique

II. Les phases fluides des sols

1. la phase gazeuse ↓ cf TP
2. la solution du sol ↓ cf TP
 - 2.1 notion de réserve utile pour les plantes
 - 2.2 notion de capacité d'échange cationique ou CEC

III. Le sol est une structure dynamique

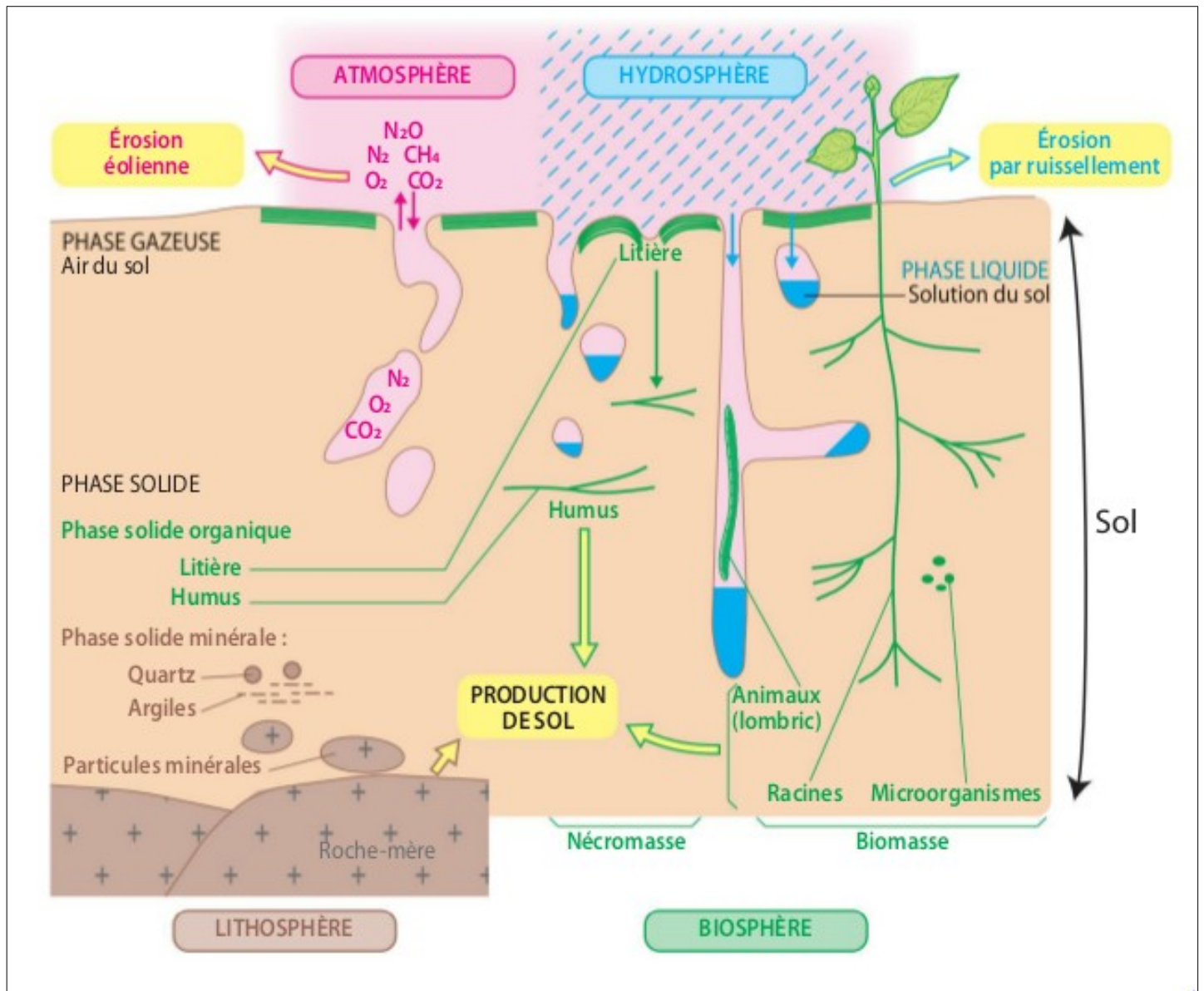
1. Le lithosol se forme par l'action des biofilms sur la roche nue
2. du stade pionnier au stade climacique, les micro-organismes du sol accélèrent les successions
3. Au cours du temps, le sol se brunifie (sol brun) puis se lessive (sol brun lessivé)
4. La végétation influence en retour la dynamique du sol et le type d'humus

IV. Les enjeux de la gestion des sols

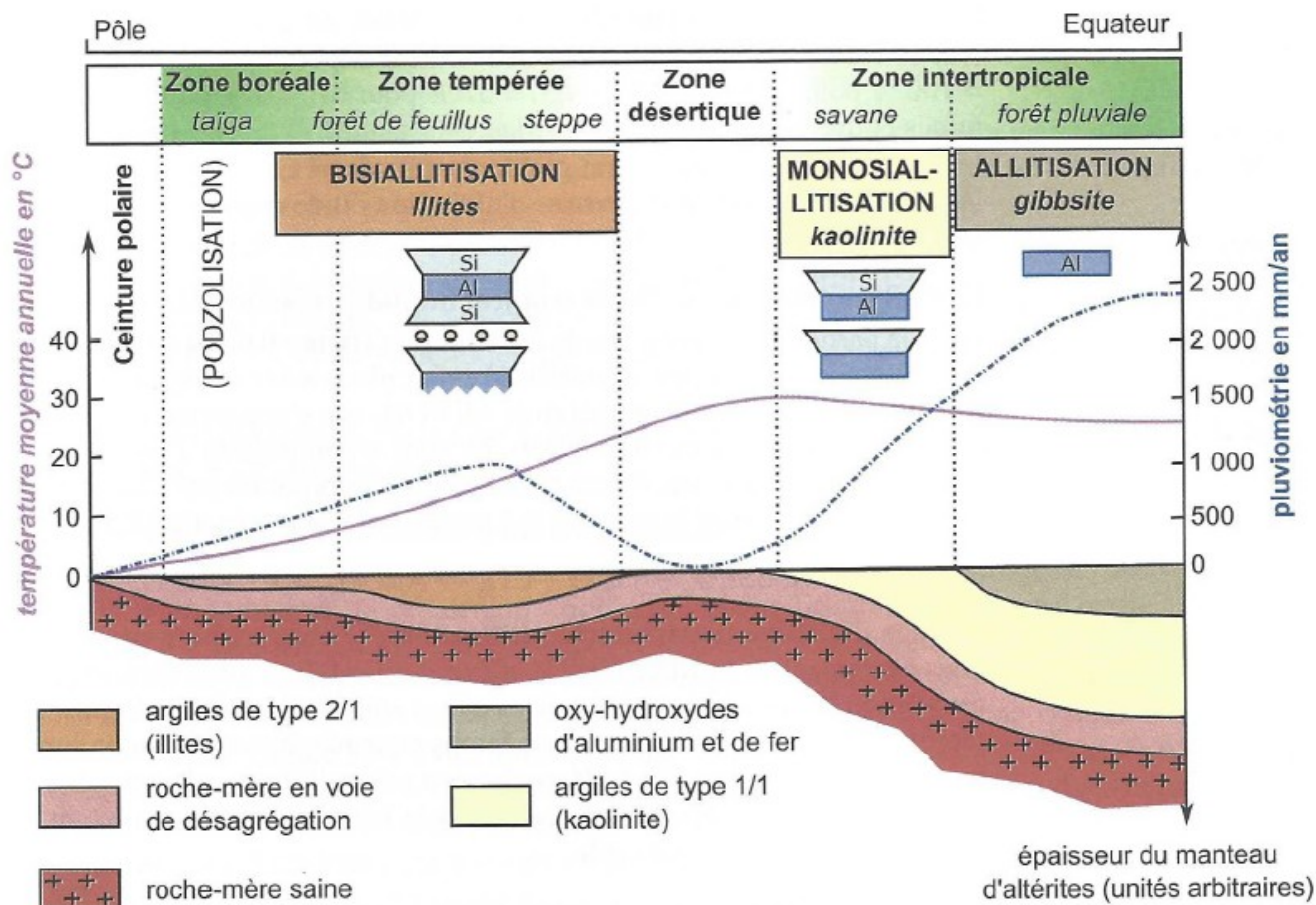
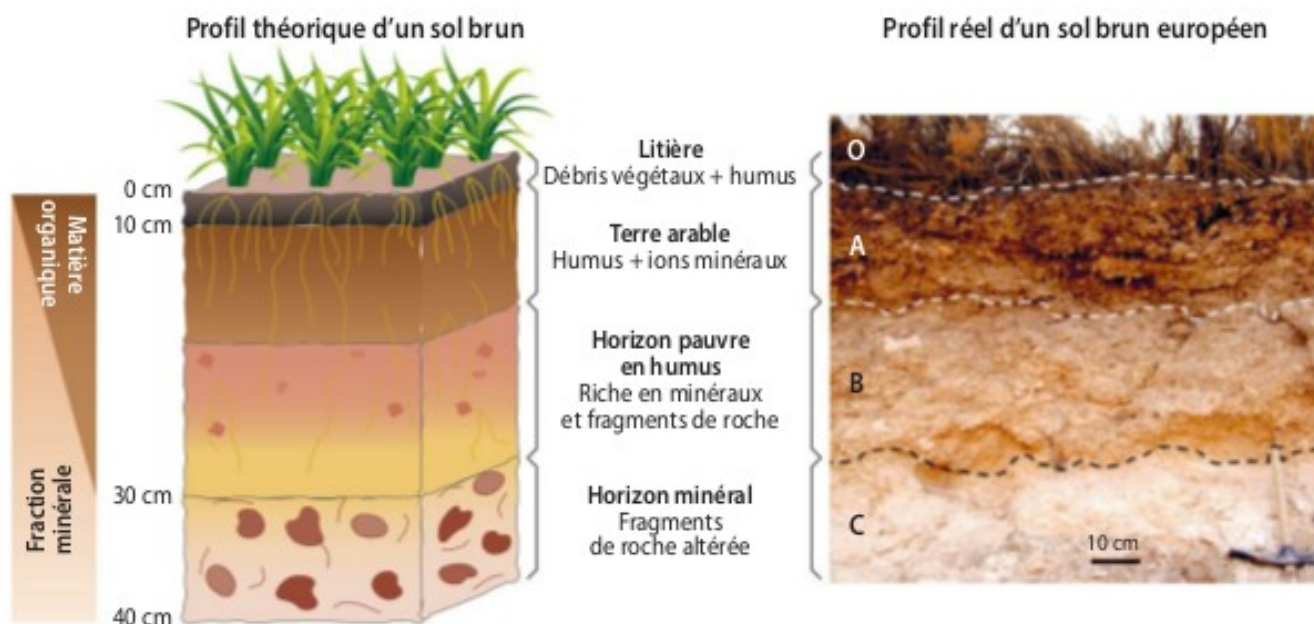
1. les sols fournissent des services écosystémiques essentiels
2. L'impact des activités anthropiques sur les sols menacent la pérennité de ces services
 - 2.1 les conséquences de l'agriculture intensive
 - 2.2 les conséquences de l'artificialisation des sols et de l'accroissement des zones urbaines

BG-B-1-3 Le sol, un ensemble dynamique	
Un sol se forme par effet conjoint de la végétation et de l'évolution de la roche mère. Les composants du sol se déplacent notamment par diffusion, gravité et par bioturbation. La pédogenèse résulte d'interactions croisées entre évolution du sol et succession végétale. Elle conduit à un état d'équilibre dynamique appelé pédoclimax (sol brun lessivé sous forêt caducifoliée dans les régions de France métropolitaine). Un sol se développe lorsque l'érosion est inférieure à la genèse par altération. Tous les sols sont naturellement soumis à l'érosion, d'intensité variable selon la topographie et le climat, mais la végétation peut limiter le phénomène. La dynamique globale d'un sol dépend aussi du climat.	- Expliquer la bioturbation par la plante et les vers de terre (espèces ingénieurs). - Évaluer l'ordre de grandeur de durée de la pédogenèse d'un sol brun lessivé. - Illustrer des liens réciproques entre pédogenèse et dynamique de succession de la végétation : exemple des mécanismes de facilitation et de rétroaction microbienne. - Exploiter des données montrant qu'un sol, même climacique, peut être soumis à l'érosion naturelle.
Précisions et limites : <i>On se borne à un sol brun et un sol brun lessivé.</i> <i>La présentation du principe général de la pédogenèse se limite à l'évolution de l'apparence et de l'épaisseur du sol, à l'apparition d'horizons, à la brunification et au lessivage.</i> <i>Les mécanismes de facilitation et de rétroaction microbienne (négative pour les plantes pionnières et de succession, positive pour les plantes climaciques) sont présentés à partir d'exemples en nombre limité.</i> <i>Le pédoclimax est introduit comme un état d'équilibre dynamique dépendant du climat et donc variable au cours du temps long.</i>	
Liens : Succession écologique et relations interspécifiques (SV-J-2) Changement climatique anthropique et impacts sur la biodiversité (BG-C-3-3) Climat et altération des roches (ST-E-1) Érosion et entraînement de matières (ST-E-2)	

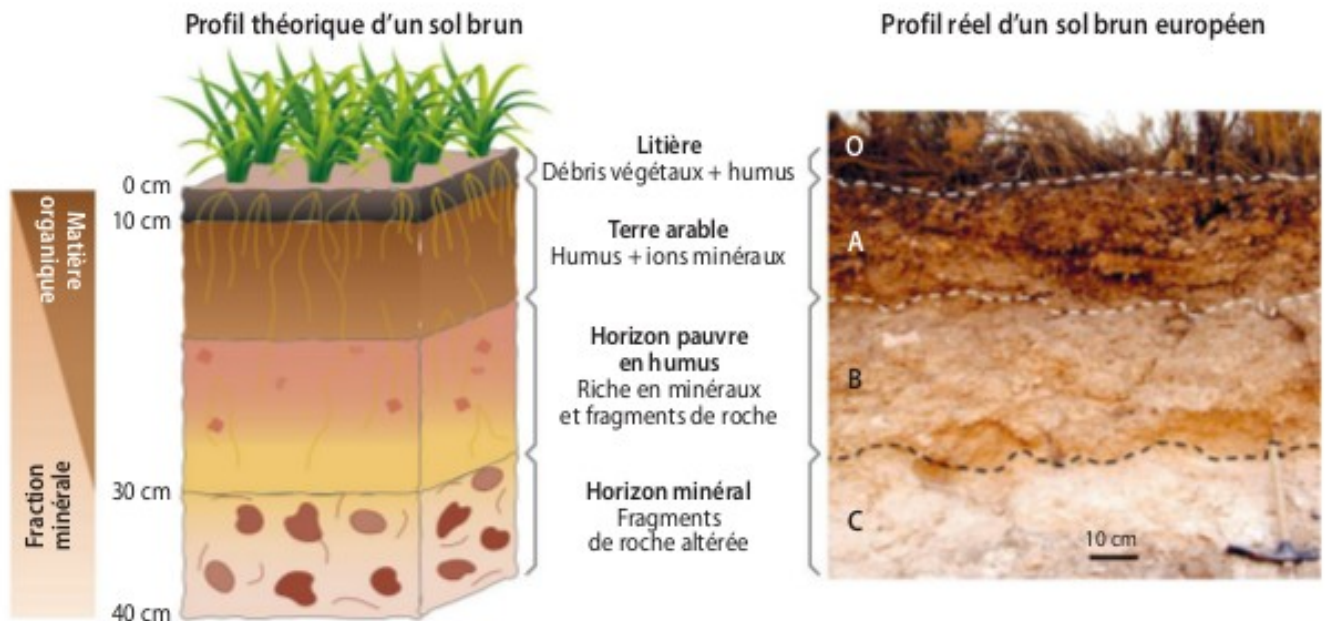
ANNEXE 1 : LE SOL, UNE INTERFACE ENTRE LES ENVELOPPES TERRESTRES ET LA BIOSPHÈRE



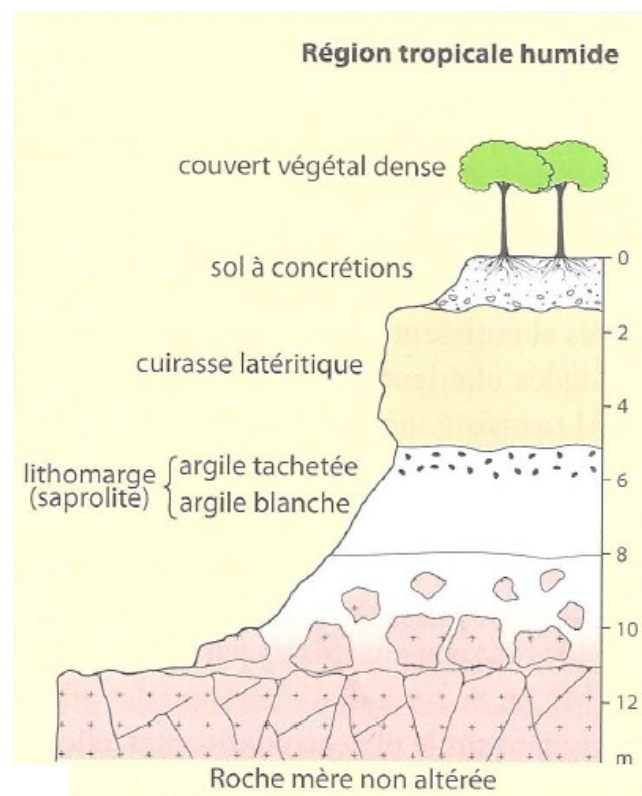
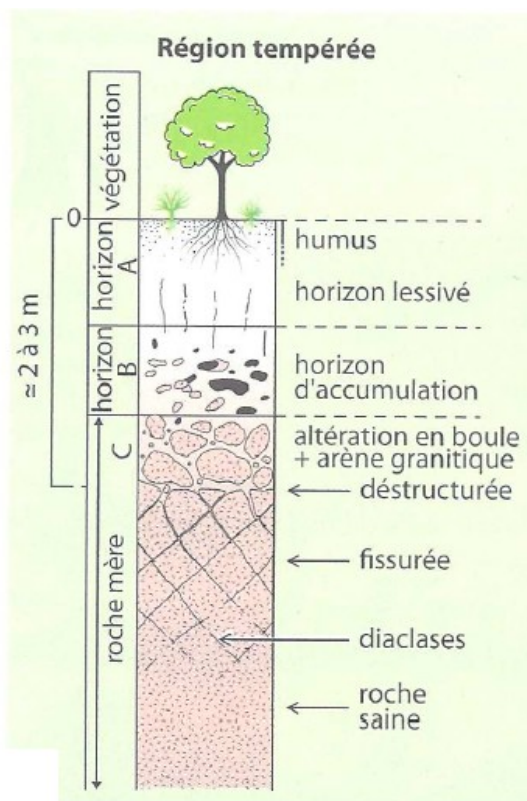
ANNEXE 2 : LES SOLS SE STRUCTURENT EN HORIZONS ET SONT ISSUS EN PARTIE DE L'ALTERATION DES ROCHES



ANNEXE 3 : LA PHASE SOLIDE ET L'ALTERATION DES ROCHES



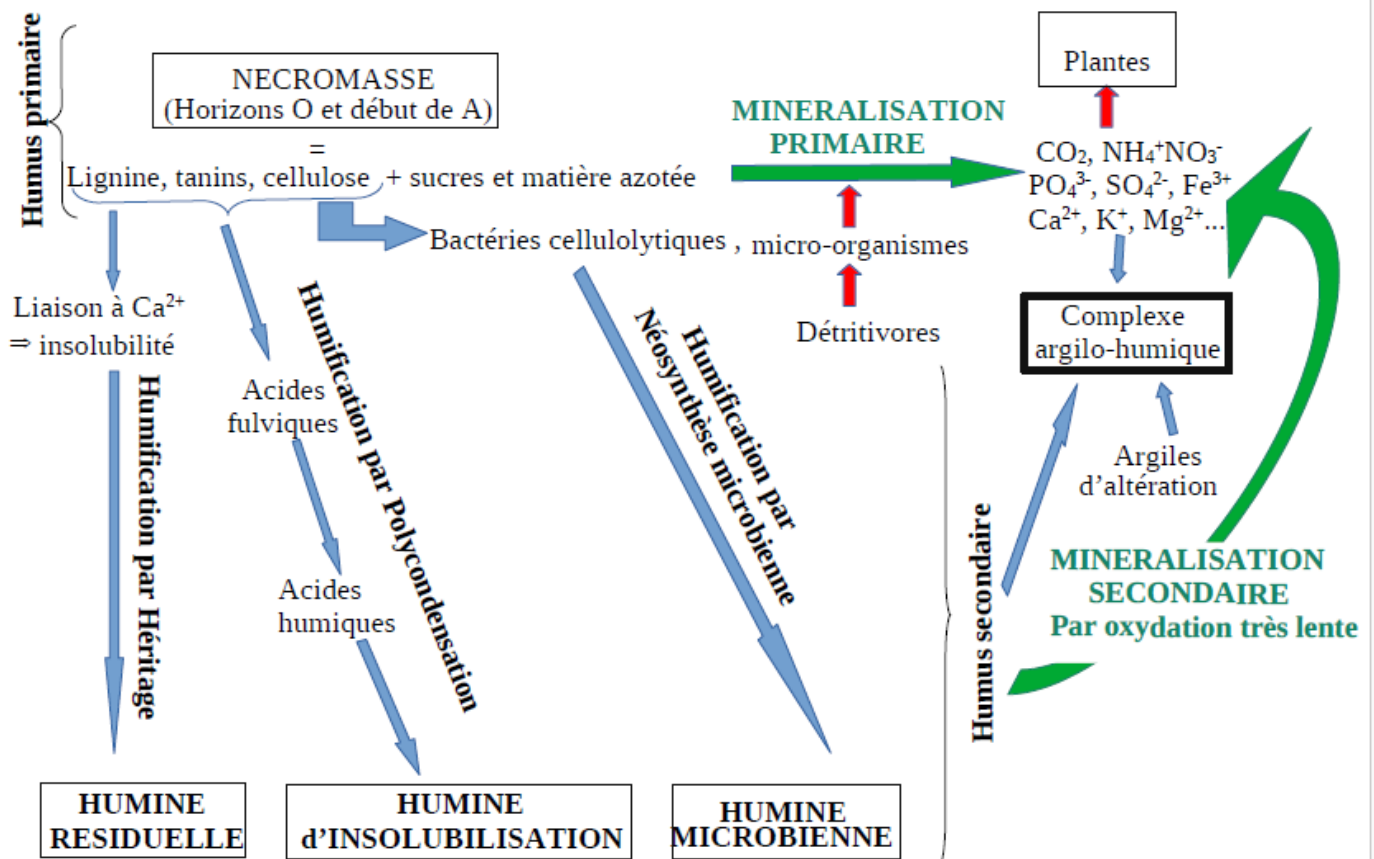
ANNEXE 4 : LA PHASE SOLIDE, L'ALTERATION DES ROCHES ET LE CLIMAT



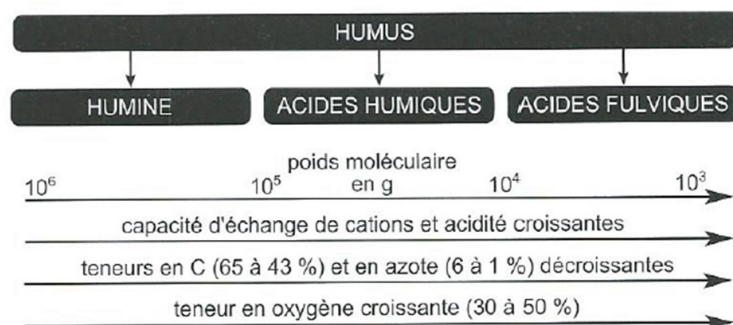
ANNEXE 5 : LA FRACTION ORGANIQUE ET EVOLUTION DE LA LITIERE

Catégorie	Représentants	Lieu de vie
Macrofaune 2-20 mm	Vers de terre, isopodes, diplopodes, chilopodes, fourmis, termites, limaces, escargots, larves d'insecte	à l'échelle des premiers cm du sol ou profil de sol, certains modifient la structure du sol Univers de vie 1 à 5 m
Mésafaune 200 µm – 2 mm	acariens, collemboles, diploures, symphyles, enchytréides, larves d'insectes	à l'échelle de la motte de sol, dans les pores d'air sans creuser de manière significative Univers de vie 10 à 50 cm
Microfaune < 200 µm	Champignons, bactéries, protozoaires, nématodes, tardigrades...	à l'échelle de l'agrégat, dans les pores ou films d'eau. Univers de vie mm à 5 cm

Classification de la pédofaune selon la taille des organismes

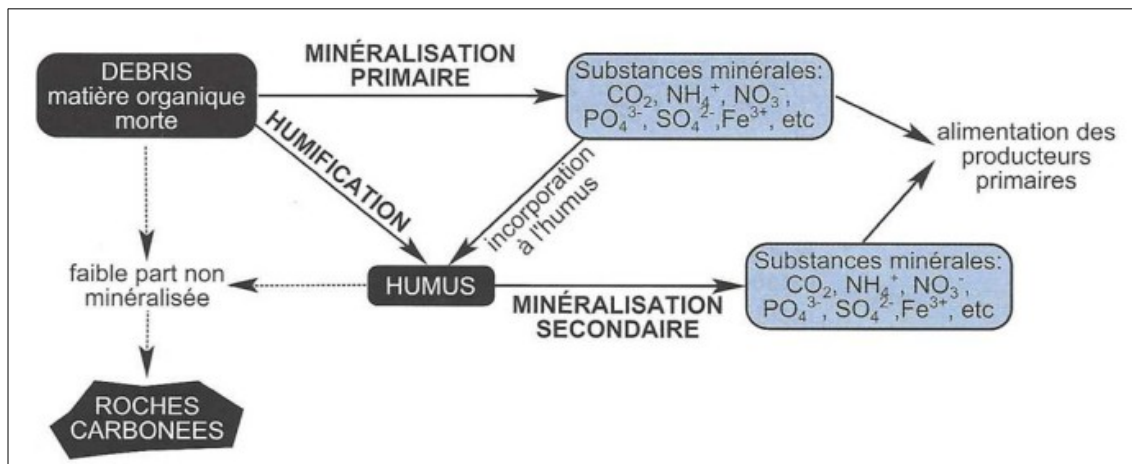


les différentes voies de formation de l'humus



différentes propriétés des composants de l'humus

ANNEXE 6 : BILAN DE LA MINÉRALISATION ET RAPPORT C/N



bilan des minéralisation dans le sol

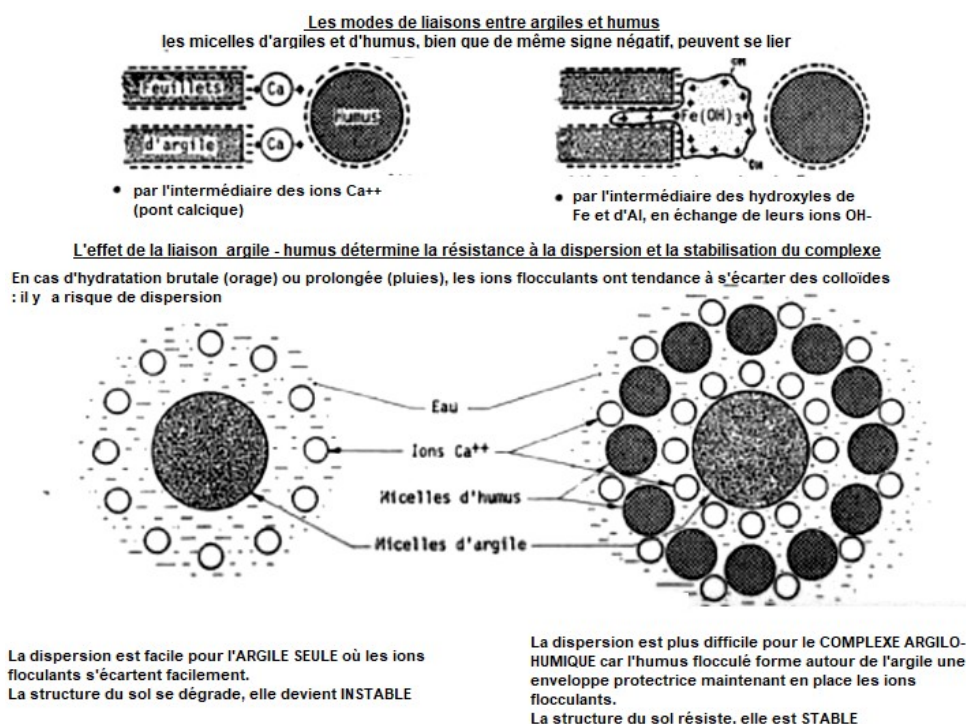
Type de déchet organique	Valeur du rapport C/N
Urine	0.8
Sang	2
Matières fécales humaines	5-10
Matières végétales vertes	7
Humus, terre noire	10
Gazon	10
Déjections d'animaux domestiques	15
Fanes de légumineuses	15
Luzerne	16-20
Déchets de cuisine	10-25
Fanes de pommes de terre	25
Aiguilles de pin	30
Feuilles mortes	20-60
Déchets verts de plantes	20-60
Branches broyées	60-70
Ecorce	100-150
Papier	150

rapports C/N de quelques matières organiques

↓ Formuler une hypothèse pour expliquer les forts rapport C/N des branches, de l'écorce et du papier ?

↓ En déduire si un rapport fort est favorable ou non à la minéralisation primaire ?

ANNEXE 7 : BIOTURBATION ET COMPLEXE ARGILO-HUMIQUE



Les vers de terre et les sols

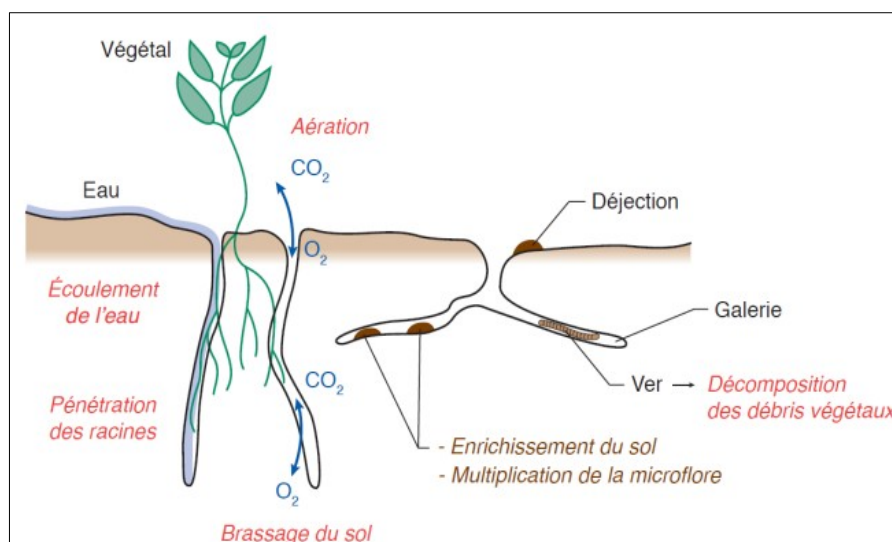
« Sait-on que les vers de terre représentent la première masse animale sur terre et, à ce titre, jouent un rôle écologique majeur ? Qualifiés par Darwin de "premiers laboureurs", ils ont, en effet, une fonction essentielle d'aération et de structuration des sols et contribuent fortement à la fertilité des milieux, transformant les déchets organiques (feuilles mortes, fèces d'animaux, etc.) en des composés directement assimilables par les plantes. [...]

Sur une surface d'un hectare, les vers de terre creusent 4 000 à 5 000 km de galeries qui constituent un milieu aéré, bien drainé et abrité des à-coups climatiques. Avec le travail effectué par les lombriciens, c'est tout le profil du sol qui est modifié. Les couches superficielles, appauvries en éléments fins par le lessivage des pluies, sont enrichies par la terre remontée. La matière organique qui tend à s'accumuler en surface est dispersée en profondeur ; l'écoulement des eaux et de l'air est fort modifié. [...]

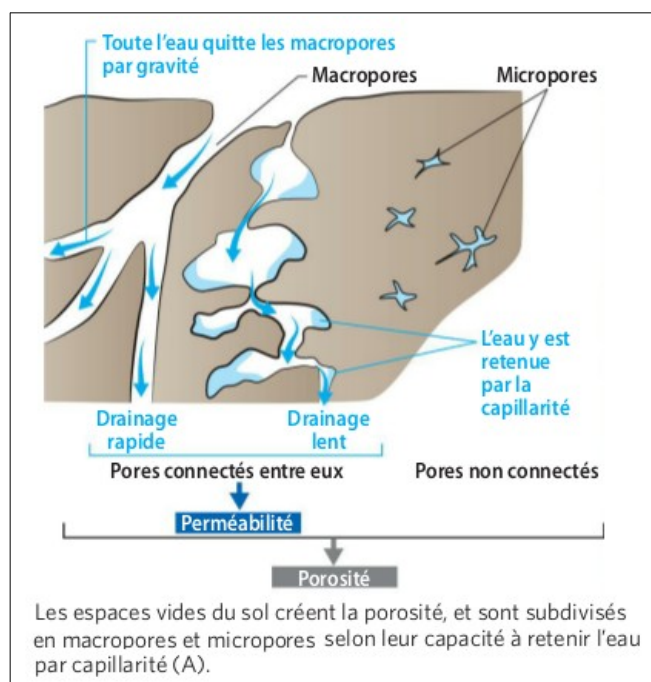
Mais les pratiques agricoles modernes, notamment l'utilisation intensive de pesticides, ont des conséquences désastreuses sur la faune du sol, détruisant un capital inestimable et irremplaçable. Après l'arboriculture fruitière, certaines cultures légumières et les vignes, les céréales sont devenues le lieu de traitements pesticides nombreux et aveugles... entraînant quelques années plus tard des difficultés, comme par exemple la dégradation structurale des sols.

»

BOUCHÉ (M.), La Recherche, n°156, 1984.

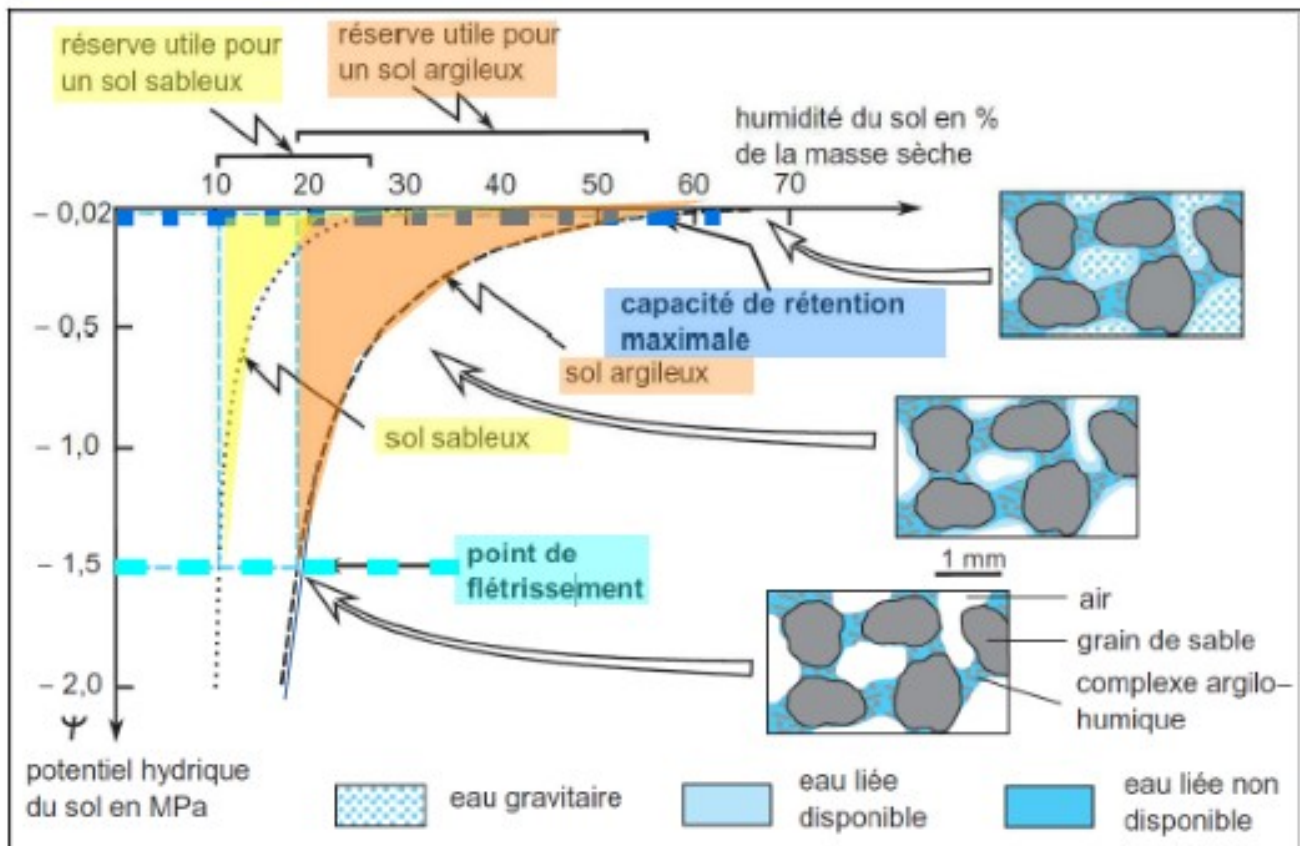


ANNEXE 8 : PHASE FLUIDE DES SOLS : COMPOSITION



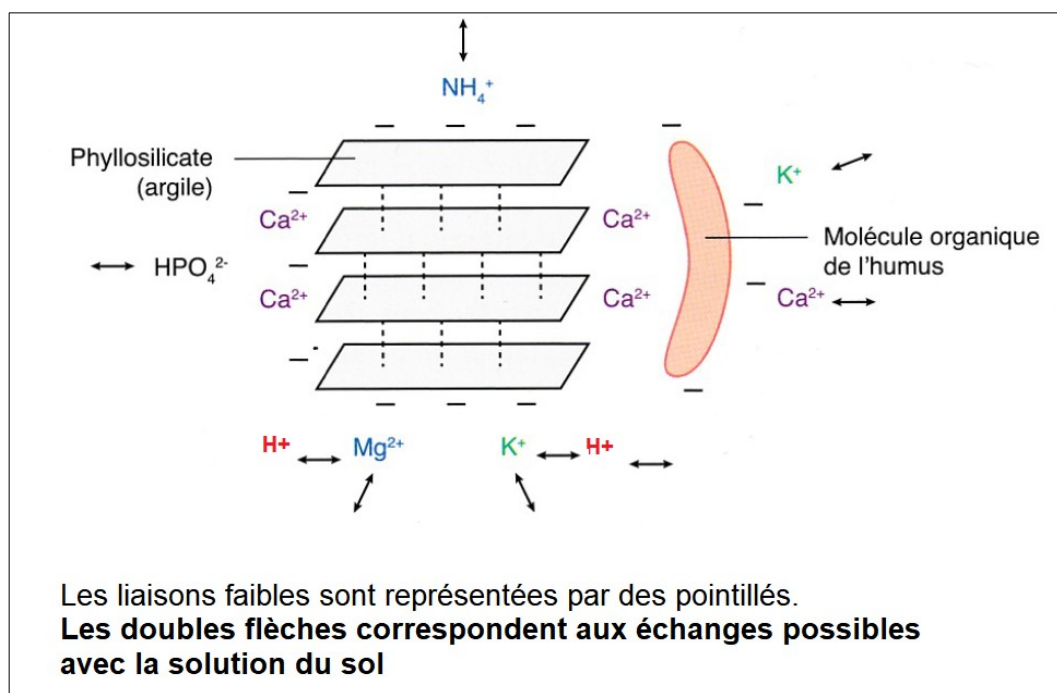
	Air atmosphérique	« Air » d'un sol bien drainé	« Air » d'un sol en anoxie
Vapeur d'eau	variable	saturé	saturé
N₂	78 %	78 % à 80 %	
O₂	21 %	18 à 20,5 % - 10 % après la pluie - 2 % si compacté	0
CO₂	0,03 %	0,2 % à 3,5 %	5 % à 10 % (rizière)
Autres gaz à effet de serre	CH ₄ et N ₂ O	N ₂ O (champs)	CH ₄

ANNEXE 9 : NOTION DE RESERVE UTILE

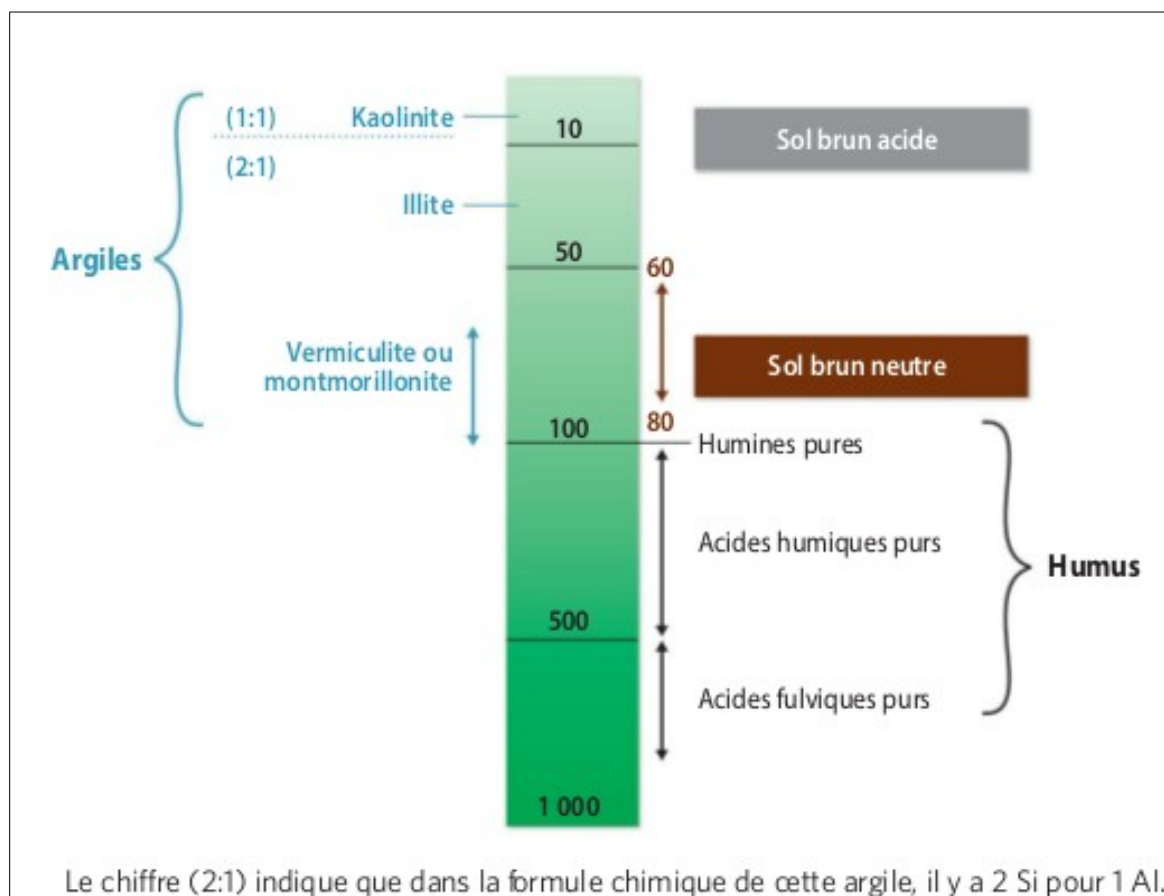


Evolution du potentiel hydrique du sol en fonction de son humidité

ANNEXE 10 LA CAPACITE D'ECCHANGE CATIONIQUE

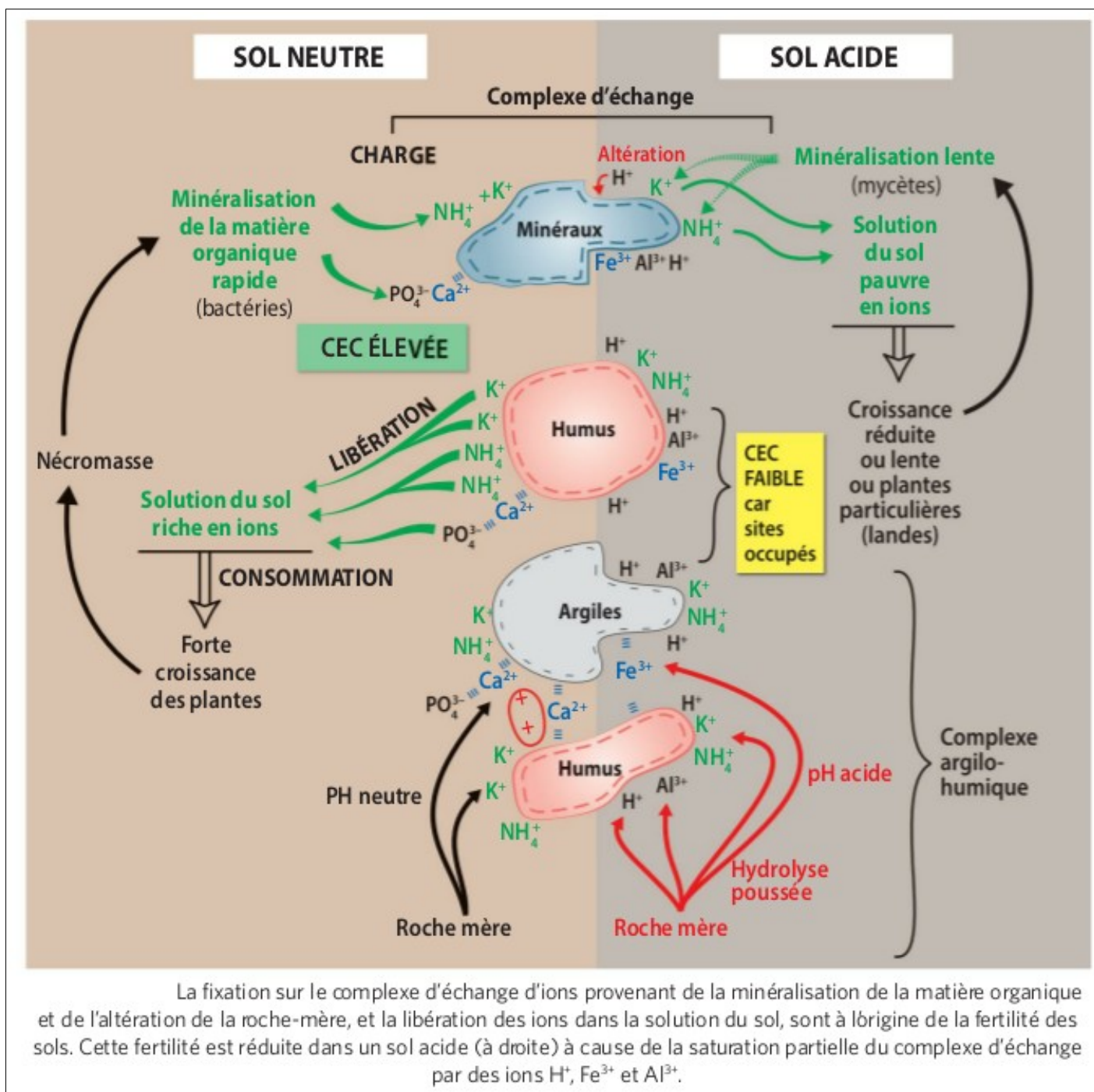


Organisation du complexe argilo-humique et les échanges possibles de cations avec la solution du sol



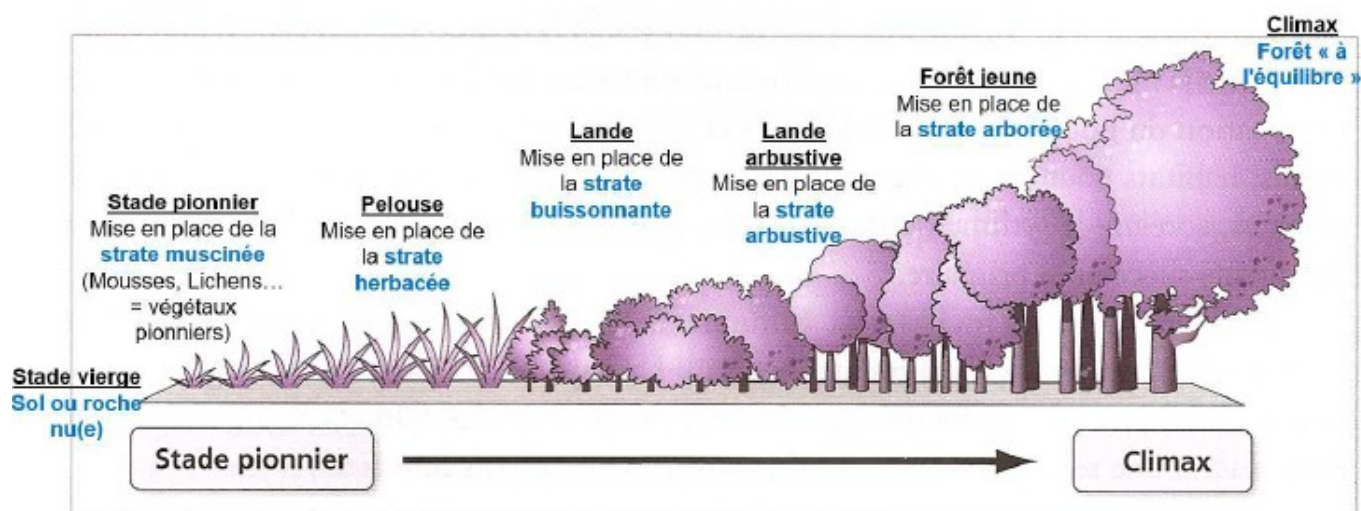
Valeurs de la CEC (en mEq par Kg de sol sec) pour les argiles pure et les substances humiques

ANNEXE 11 : ACIDITE DU SOL ET IMPACT SUR LA FERTILITE

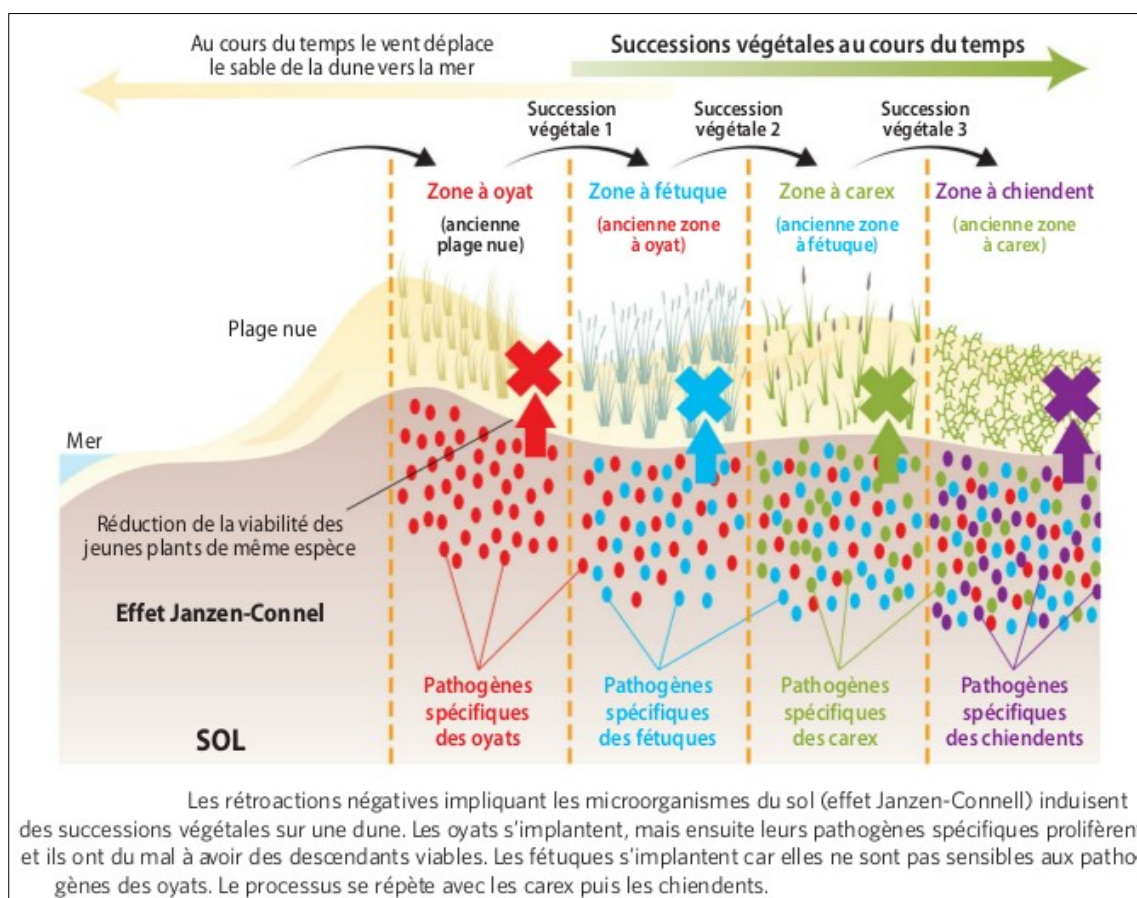


comparaison de la CEC d'un sol neutre et d'un sol acide et impact sur la fertilité du sol

ANNEXE 12a : UNE STRUCTURE DYNAMIQUE

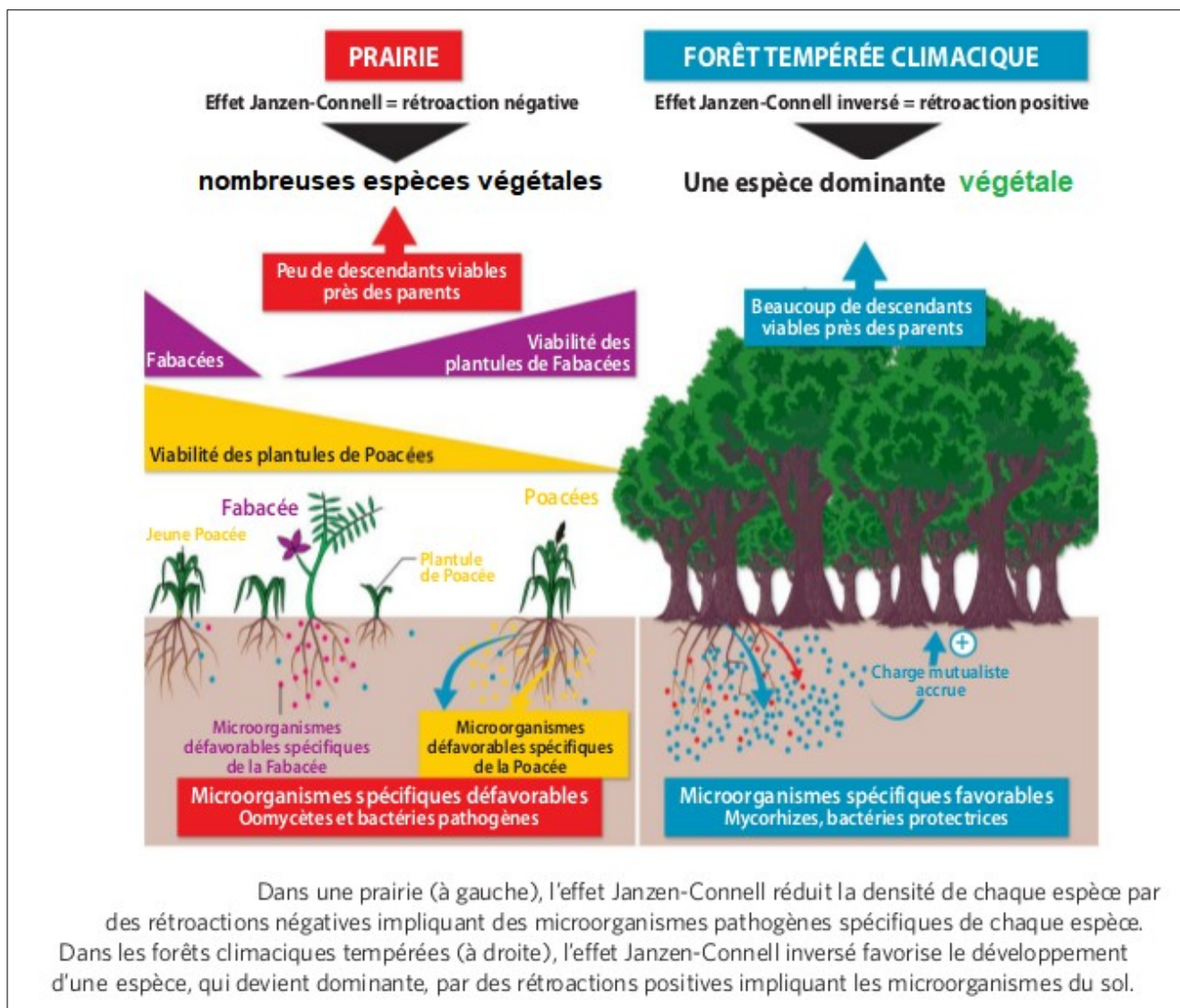


Représentation schématisque d'une succession, caractérisée par les formations végétales se succédant, de la gauche vers la droite.

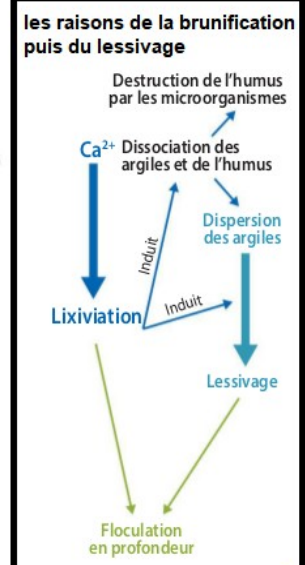
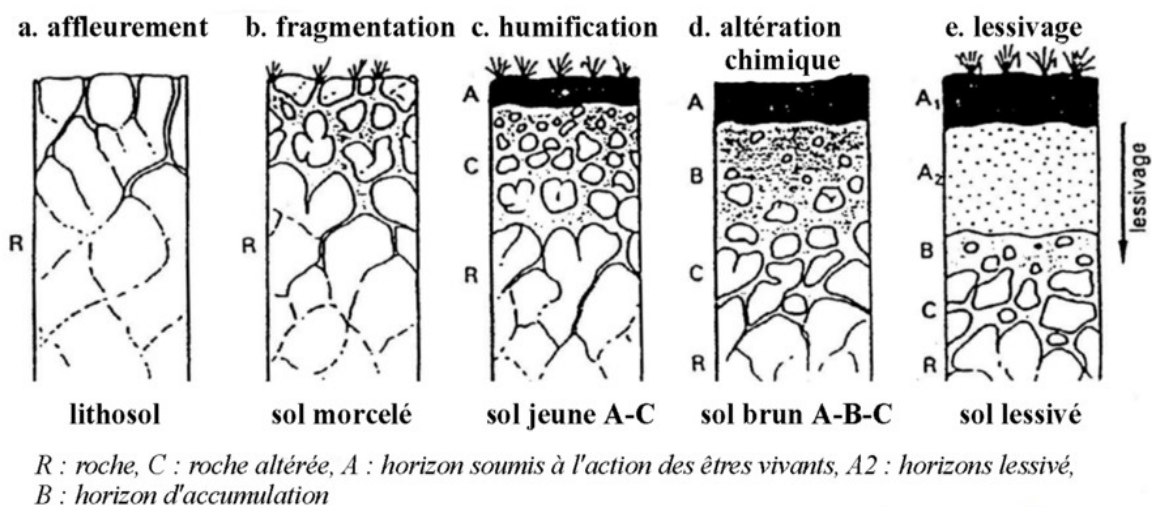


l'effet Janzen Connel par rétroaction négative participe aux successions végétales

ANNEXE 12b : LA FORET CLIMACIQUE

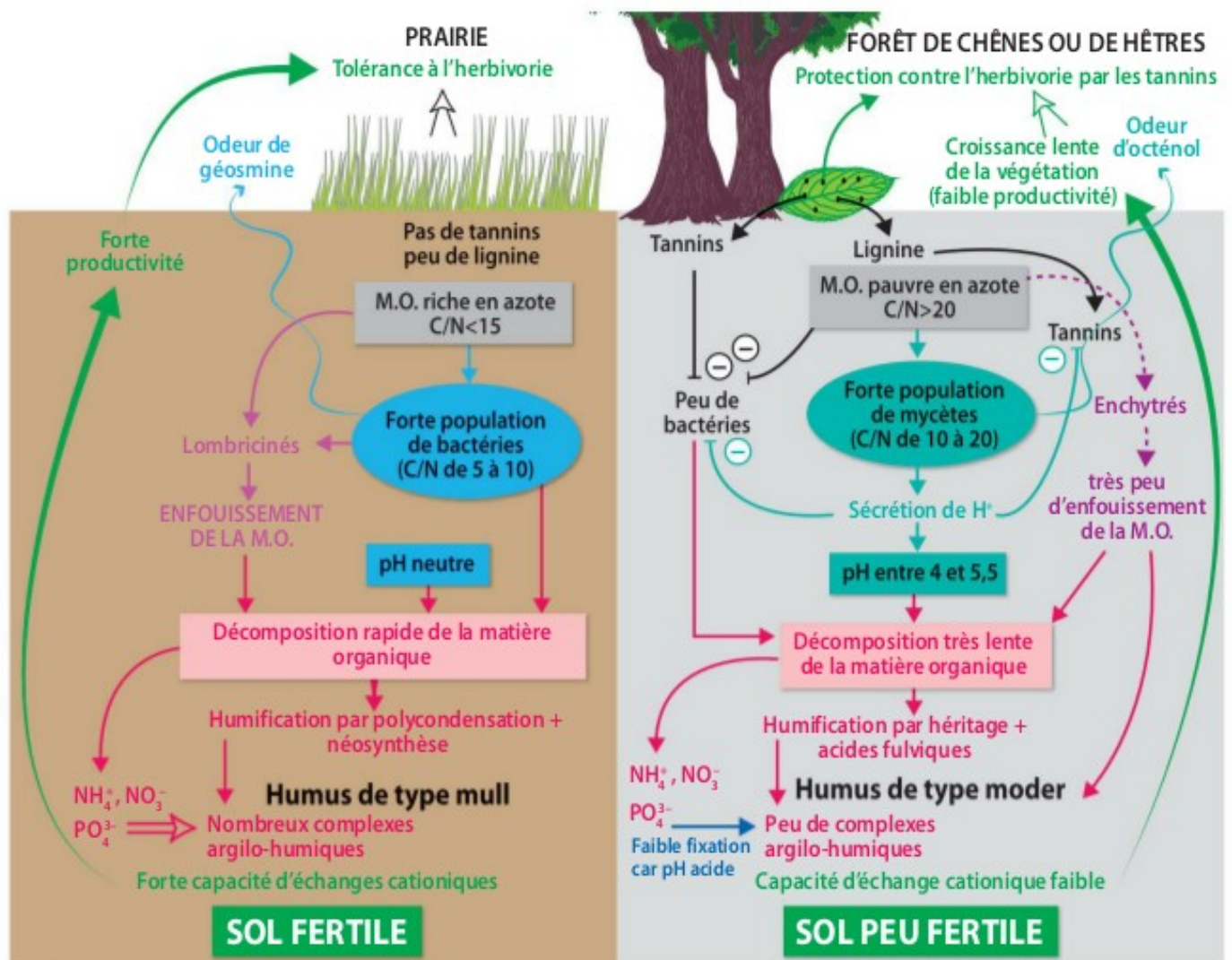


L'effet Janzen Connel inversé dans la forêt climacique tempérée



Du lithosol au sol brun lessivé

ANNEXE 13 : LA VEGETATION INFLUENCE EN RETOUR LE TYPE D'HUMUS



Le dynamisme des sols de prairie et de forêt de chênes ou de hêtres, est déterminé par le rapport carbone/azote de la matière organique, et conditionne la fertilité de ces sols.

le type de végétation détermine le rapport C/N et conditionne la fertilité du sol

→ En quoi la végétation modifie le rapport C/N et conditionne le type d'humus et la fertilité du sol ?

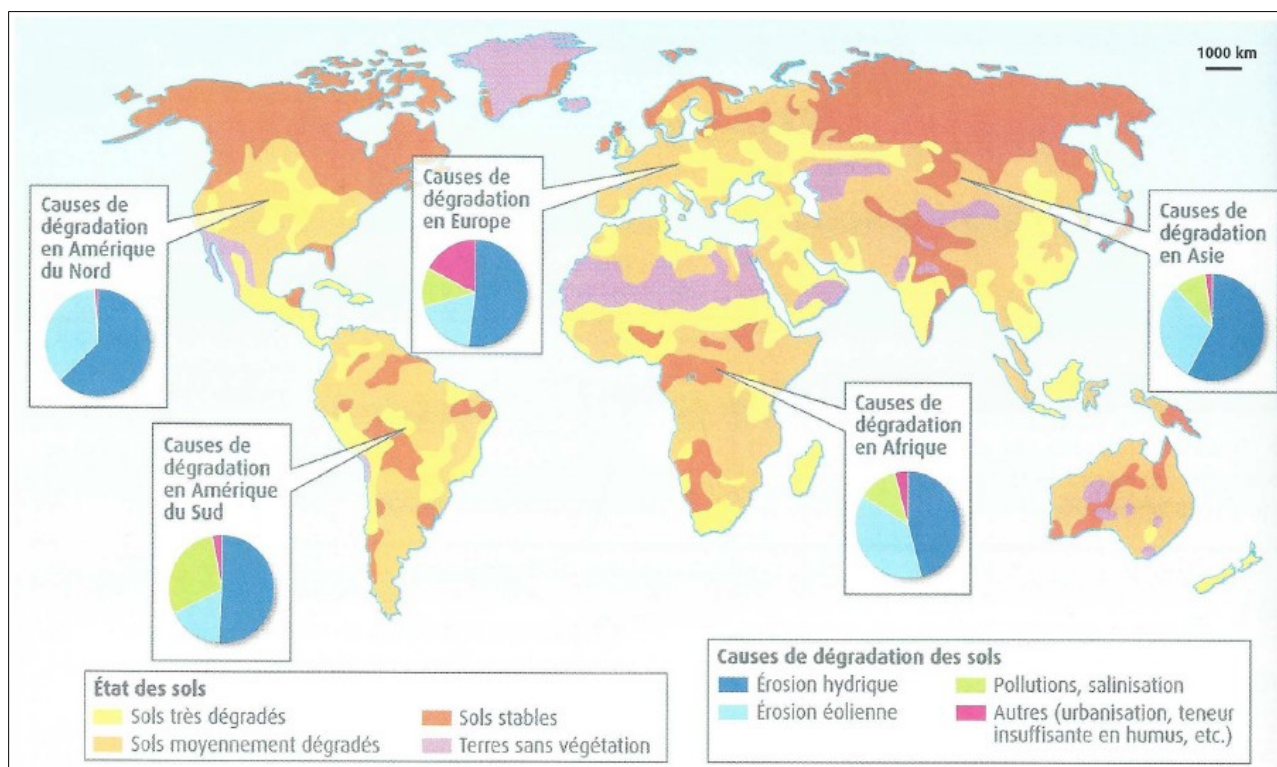
ANNEXE 14a : LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES RENDUS PAR LE SOL



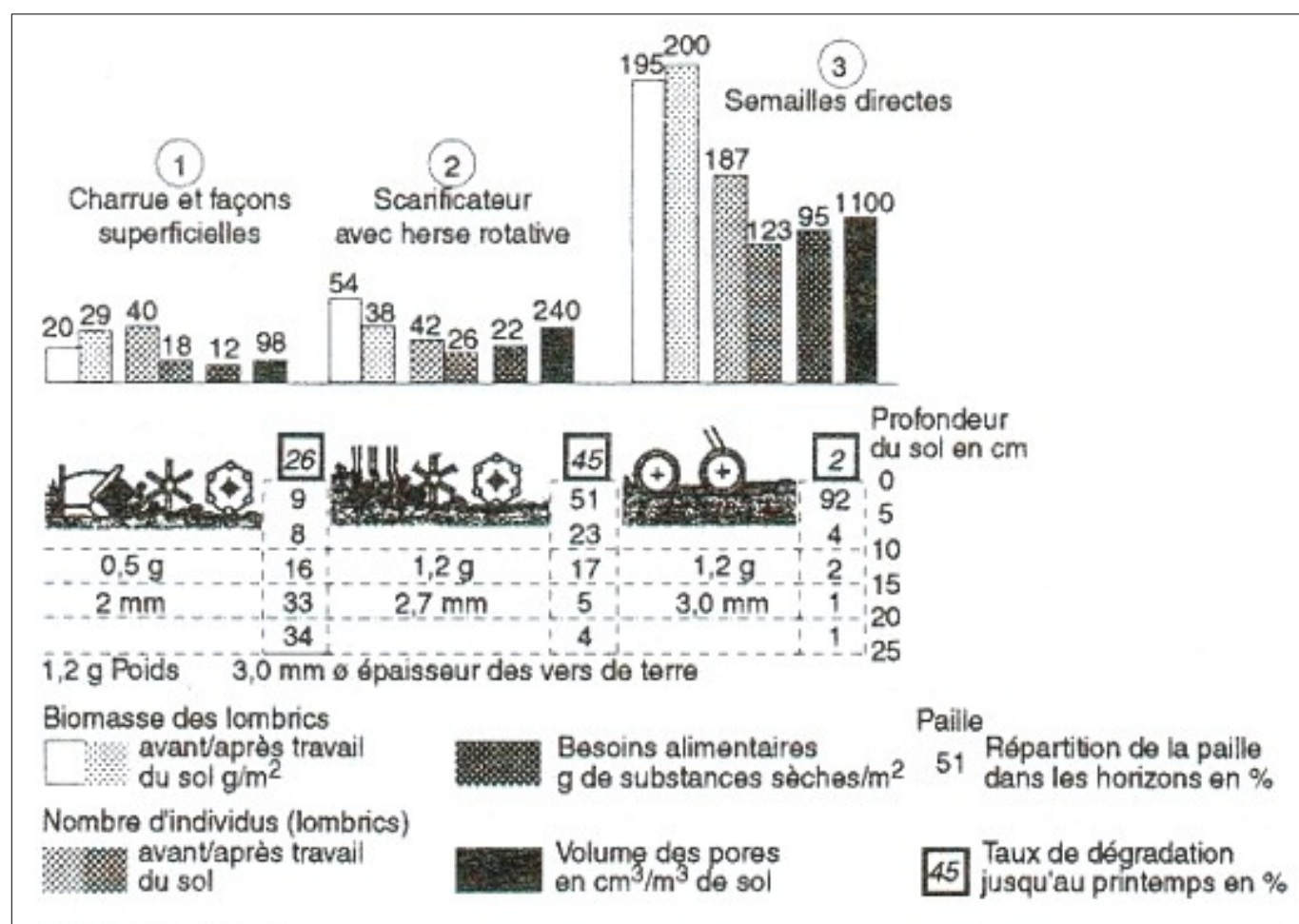
les services écosystémiques rendus par les sols

↓ **Classez les services écosystèmes en 3 groupes.**

ANNEXE 14b : LA DEGRADATION DES SOLS ET LEURS CAUSES



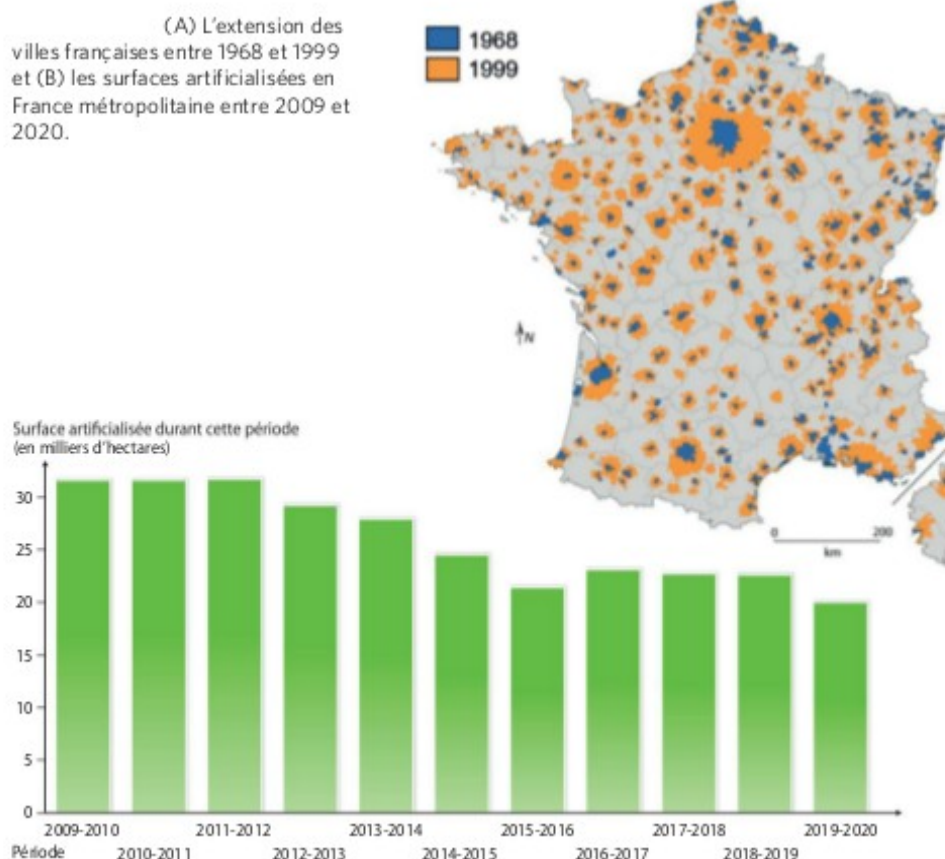
ANNEXE 15 : LES CONSEQUENCES DE L'AGRICULTURE INTENSIVE



effets des méthodes de cultures sur la structure d'un sol cultivé après 5 ans d'exploitation

ANNEXE 16 : EXTENSION DES VILLES ET ARTIFICIALISATION

(A) L'extension des villes françaises entre 1968 et 1999 et (B) les surfaces artificialisées en France métropolitaine entre 2009 et 2020.



ANNEXE 16 : LA PRESERVATION DES SOLS, UN ENJEU HUMAIN



Définitions/mots-clés :

Biofilm : Communauté de micro-organismes en interactions et vivant dans une matrice extracellulaire formant un film sur une surface minérale ou un organisme pluricellulaire.

Bioturbation : Déplacement d'une partie du sol par l'action d'organismes.

Capacité au champ : Capacité maximale d'eau que peut contenir un sol

Capacité d'échange cationique (CEC) : Quantité de cations (hors H_3O^+) qu'un sol peut fixer puis libérer.

Complexe argilo-humique : Association d'argile minéralogique et d'humus constituant le principal complexe d'échanges ioniques d'un sol.

Floculation : processus physico-chimique au cours duquel des matières en suspension dans un liquide s'agglomèrent pour former des particules plus grosses

Humification : Processus de formation de l'humus par oxydation incomplète de la matière organique.

Humus : Matière colloïdale issue de la nécromasse plus ou moins décomposée, et recomposée en divers polymères.

Lessivage : Déplacement des argiles vers les couches profondes du sol sous l'action de l'eau.

Lithosol : sol constitué uniquement d'une roche-mère fragmentée et recouverte d'un biofilm.

Lixiviation : Déplacement des ions d'un sol vers des couches plus profondes par action des eaux de pluie.

Minéralisation : Oxydation de la matière organique en matière minérale suite à l'action d'organismes.

Moder : type d'humus globalement acide issu de la minéralisation lente principalement du à l'activité biologique de champignons.

Mull : type d'humus globalement neutre produit par une forte activité biologique d'origine bactérienne.

Pédoclimax : État d'équilibre stationnaire d'un sol à l'issue de la pédogenèse dans un climat donné.

Pédogenèse : Processus de formation d'un sol.

Point de flétrissement permanent : Teneur en eau du sol en dessous de laquelle les plantes se fanent et meurent (potentiel hydrique du sol trop négatif).

Point de ressuyage : quantité d'eau utilisable par la plante (eau restante dans le sol après écoulement).

Porosité : Proportion d'espaces vides (pores) par rapport au volume total du sol (en %).

Réserve en eau utile : Quantité d'eau disponible pour les végétaux dans un sol.

Service écosystémique : services rendus pour les humains par les propriétés intrinsèques d'un écosystème.

Sol : couche de quelques millimètres à plusieurs mètres présente à l'interface entre la roche et l'atmosphère.

Sol brun lessivé : sol brun après une migration des argiles et du calcium vers les couches profondes.

Sol brun : sol présent en climat tempéré sous une forêt de feuillus.

Bibliographie :

Abrégé de pédologie, Duchaufour, Editions Masson

Les bases de la production végétale, Soltner, collection Sciences et techniques agricoles

Tout en un, BCPST2e année, Dautel et al, Editions Vuibert