

ENSEIGNEMENT DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE (SVT)
°° SCIENCES DE LA VIE °°
>> Cours <<

Chapitre 17

Écologie 2

Les écosystèmes : structure, fonctionnement et dynamique

PROPOSITION DE FICHE À COMPLÉTER

Introduction

Écosystème :
Prairie :
→ Prairie pâturée :
Pâturage : 1. 2.
Forêt :

Comment les écosystèmes se structurent-ils et fonctionnent-ils ?

Les niveaux écologiques

- **Population** : ensemble des individus d'une même espèce qui vivent dans un lieu donné. Exemple : tous les lapins d'une prairie.
- **Peuplement, guildes, cohorte** : ensemble des individus d'un même groupe taxonomique qui vivent dans un lieu donné. Exemple : tous les Mammifères d'une prairie.
- **Biocénose ou communauté** : ensemble de toutes les populations (donc de tous les êtres vivants) qui vivent dans un lieu donné. Exemple : tous les êtres vivants d'une prairie.
- **Écosystème** : ensemble fonctionnel comprenant les êtres vivants qui vivent dans un lieu donné (biocénose) et le milieu physico-chimique dans lequel ils vivent (biotope), ainsi que toutes les interactions existant entre ces entités. Exemple : une prairie.
- **Paysage** : ensemble d'écosystèmes plus ou moins différents mais interconnectés où l'homme exerce une influence variable (de nulle à très forte). Ex. le Nord de la Madeleine.
- **Biome** : ensembles de paysages en lien avec un climat particulier, notamment caractérisés par un type prédominant de végétation naturelle. Exemples : toundra, forêt caducifoliée, désert... >> Les biomes peuvent être regroupés en zones biogéographiques ou écozones .
- **Biosphère** : ensemble de tous les êtres vivants de la planète, et de tous les milieux qu'ils habitent.

I. Les écosystèmes, des entités structurées comprenant une biocénose et un biotope en interaction

A. Les écosystèmes, objets naturels ou conceptuels ?

1. Définitions

a. Notion de biocénose (ou communauté) : les êtres vivants d'un lieu

Biocénose = communauté :

b. Notion de biotope : les caractéristiques physico-chimiques d'un lieu

Biotope :

≠ Habitat :

c. Notion d'écosystème : le biotope, la biocénose, et les relations entre tous leurs éléments constitutifs

Écosystème : c'est l'ensemble formé par

-
-
-
- >
- >
- o
- o

2. Une délimitation qui dépend du scientifique : la relativité de la notion d'écosystème et la diversité des échelles envisageables

- Dépend de l'étude ; notion opérationnelle délimitée par l'écologue
- Quelques critères :
 - L'existence de **limites physiques** (haie, changement de végétation, barrière rocheuse...)
 - La **stabilité** et l'**homogénéité relative** de l'écosystème considéré (sol homogène, végétation stable...)
 - *Liée au point précédent*, l'**absence de discontinuité brutale** dans la **composition** ou la **répartition** des éléments constitutifs de l'écosystème.
 - *Etc.*

Bilan du A.2. : L'écosystème est une **notion relative**, faisant référence à un **système écologique de taille variable**, définie par un **écologue** dans le cadre d'une **étude**. Des **critères**, quoique **non codifiés**, peuvent toutefois être employés dans la **délimitation** de l'écosystème.

3. L'existence d'un couplage biotope-biocénose

Couplage biotope-biocénose :

B. Les écosystèmes, des entités organisées résultant de l'action de facteurs écologiques variés : la structure des écosystèmes

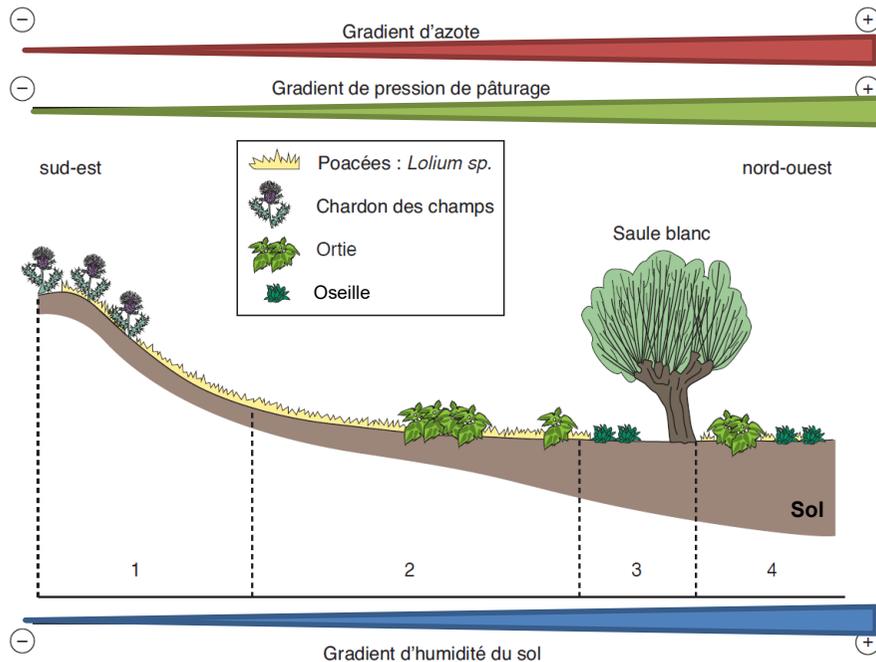
Structure des écosystèmes :

▲ FIGURE 3. L'écosystème prairie (pâturée). D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017).

Facteur écologique :

1. La zonation (structuration spatiale) des écosystèmes : une répartition des composants dans l'espace (éventuellement sous le contrôle de gradients)

a. La zonation horizontale : une répartition plus ou moins hétérogène des organismes due à la variation latérale des caractéristiques du milieu



▲ FIGURE 4. La zonation horizontale d'une prairie modérément pâturée : lien avec quelques facteurs abiotiques et biotiques. D'après SEGARRA et al. (2015).

Commentaires sur la zonation proposée (arbitrairement) sur la figure 4 :

- Zone 1 : sol peu épais, fort ensoleillement, eau peu retenue (car forte pente >> fort ruissellement), faible pâturage (car pente du talus réduisant l'accès)

- Zone 2 : sol peu épais, fort ensoleillement, eau retenue

- Zone 3 : sol épais, fort ensoleillement, eau retenue

- Zone 4 : sol épais, ensoleillement modéré (car ombre de l'arbre), humidité forte (car eau retenue + ombre de l'arbre)

(!) Notez la présence de gradients (humidité, azote, pression de pâturage)

>> Localisation préférentielle de telle ou telle espèce.

Bilan du B.1.a : on note une répartition non homogène des organismes vivants dans un écosystème, en lien avec la répartition des caractéristiques physico-chimiques (humidité, lumière, composition ou épaisseur du sol...) et les interactions entre organismes vivants (intra- ou interspécifiques). On peut observer parfois (mais pas toujours !) une répartition graduelle qui traduit alors le gradient* d'un ou plusieurs facteurs écologiques.

Revoir les types de répartition (homogène, aléatoire, agrégative) dans le chapitre 19

* Gradient = répartition différentielle dans l'espace, croissante ou décroissante, d'un paramètre physico-chimique ou biologique.

Beaucoup de facteurs écologiques (abiotiques : température, lumière, profondeur... ou biotiques : abondance d'une espèce, pression de compétition...) peuvent se répartir selon des gradients dans les écosystèmes.

b. La zonation verticale : la répartition en hauteur des organismes au sein de l'écosystème

a. Dans les écosystèmes terrestres typiques : une distribution des organismes largement contrôlée par les strates végétales

i. Les différentes strates

▼ TABLEAU I. Les strates végétales. D'après PEYCRU et al. (2014).
Il est toujours intéressant de savoir citer un ou deux exemples.

Type de strate	Hauteur	Exemples rencontrés
Strate arborée	> 8 m	Chêne, érable, hêtre, épicéa...
Strate arbustive	1 à 8 m	Sorbier, houx, if, jeunes arbres, clématites
Strate herbacée	5 cm à 1 m	Trèfles, sainfoin, bruyères, fougères, myrtiliers
Strate muscinée	0 à 5 cm	Mousses, lichens, algues, champignons
Strate hypogée	Sous la surface	Bulbe de tulipe, rhizome de muguet, champignons

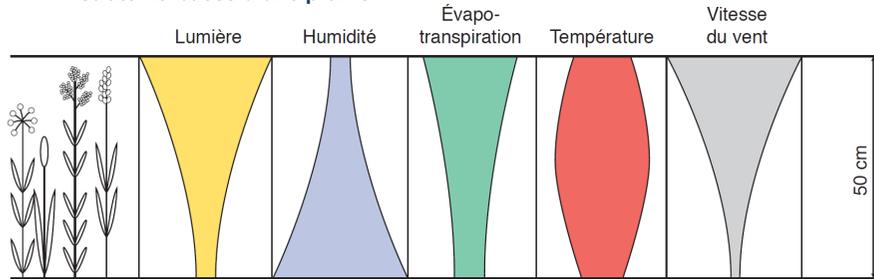
Les tailles indiquées varient selon les sources.

ii. Une action importante sur le biotope, notamment les facteurs climatiques, entre les strates comme au sein des strates : notion de microclimat

► La stratification végétale, facteur à l'origine de microclimats

Microclimat :

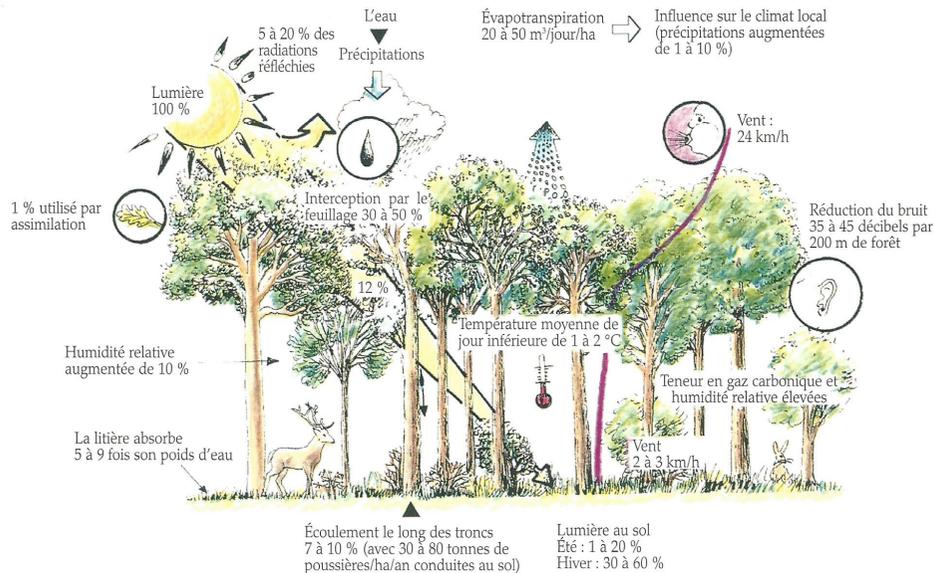
➤ Des modifications microclimatiques au sein même d'une strate : l'exemple de la strate herbacée d'une prairie



La largeur au sein de la colonne montre l'évolution quantitative relative du paramètre étudié.
D'après Matthey W. et al. (1984), *Manuel pratique d'écologie*.

▲ FIGURE 7. Un microclimat au sein d'une strate (la strate herbacée d'une prairie) et les variations des paramètres climatiques en son sein (gradients). D'après SEGARRA et al. (2015).

➤ Des modifications microclimatiques entre les strates : l'exemple de l'écosystème forestier



▲ FIGURE 11. Le microclimat forestier : cas d'une forêt tempérée caducifoliée. D'après FISCHESSE & DUPUIS-TATE (1984).

➤ Des modifications microclimatiques possibles à l'échelle d'un organisme
Exemple d'un vieil arbre et des multiples habitats qu'il recèle

β. Dans les écosystèmes aquatiques : un étagement possible contrôlé par des facteurs variés (lumière, température, oxygénation...) [*limite programme*]

2. Les facteurs écologiques abiotiques : l'impact du biotope sur l'écosystème

a. Les facteurs climatiques (le climat) : les caractéristiques atmosphériques

α. La notion de climat et ses échelles spatiales de variation (macroclimat, mésoclimat, microclimat)

Climat :

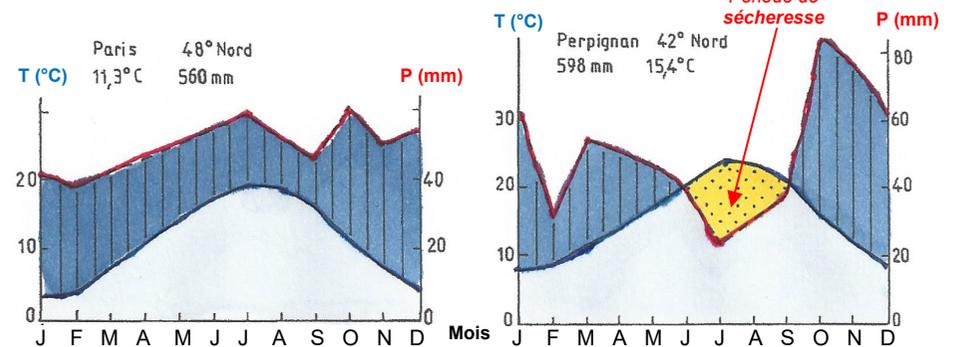
→ **macroclimat** (échelle spatiale importante) ; **mésoclimat** (échelle régionale des paysages) ; **microclimat** (échelle ultra-locale)

β. La diversité des paramètres climatiques terrestres (précipitations, éclaircissement, température, humidité, vents...)

γ. Un outil d'estimation des conditions écologiques climatiques d'un lieu donné : les diagrammes ombrothermiques

Diagramme ombrothermique :

Loi de GAUSSEN : il y a sécheresse si $P < 2T$ (avec unités ci-dessous).

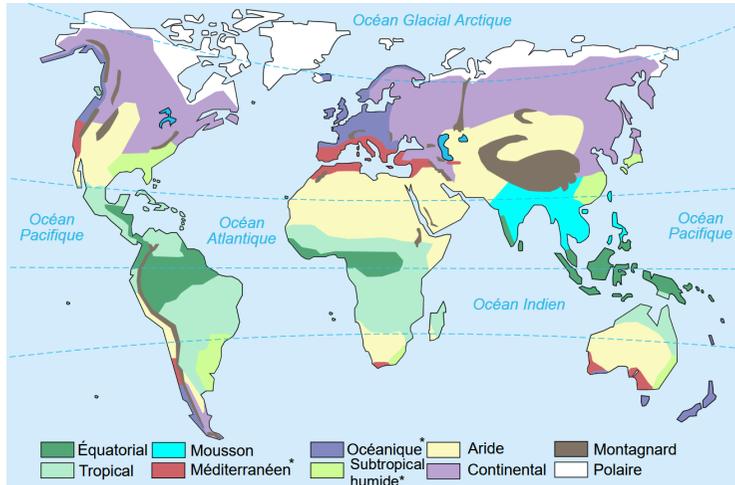


▲ FIGURE 17. Deux exemples de diagramme ombro-thermiques d'un climat océanique dégradé (Paris) et d'un climat méditerranéen (Perpignan) [pour information].

Les valeurs chiffrées au-dessus des graphes correspondent aux valeurs annuelles.
D'après DAJOZ (2006), couleur ajoutée.

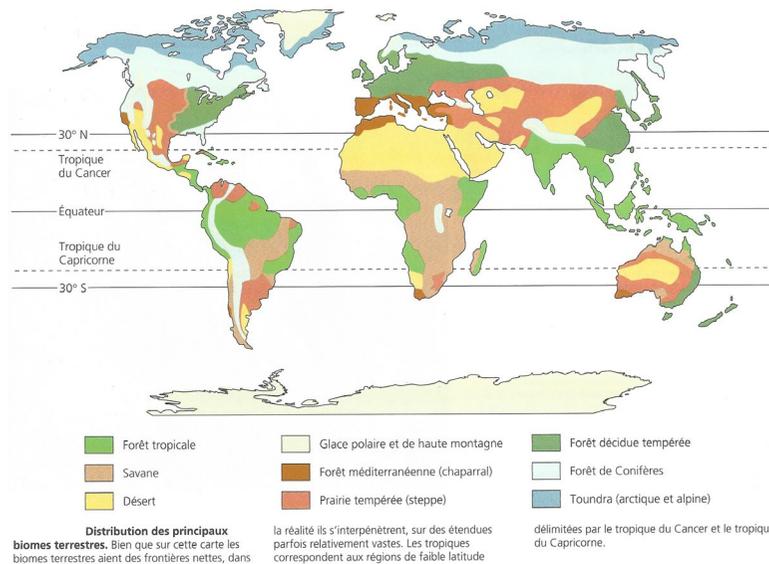
δ. Les grandes zones climatiques du globe, des zones caractérisées par des biomes

i. Les grandes ensembles climatiques mondiaux



▲ FIGURE 18. **Principaux climats (macroclimats) du globe.** Wikipédia, modifié.
C'est de la culture générale... toujours utile !
* Climat tempéré au sens de KÖPPEN-GEIGER

ii. Une superposition à des grands types écosystémiques : les biomes terrestres



▲ FIGURE 20. **Les principaux biomes terrestres.** D'après CAMPBELL & REECE (2004), modifié.

Biomes :

δ. Les paramètres de contrôle du climat régional et mondial

- La quantité d'énergie solaire reçue en fonction de la latitude : le contrôle latitudinal du climat (avec saisonnalité)
- Le relief : le contrôle altitudinal et géomorphologique du climat et ses conséquences écosystémiques

▲ FIGURE 31. **L'étagement altitudinal.** Original
Base : <https://www.jardinalpindulautaret.fr/> (mars 2018)

- L'influence des vents d'origine océanique : le contrôle océanique du climat

b. Les facteurs édaphiques : les caractéristiques abiotiques du sol

facteur édaphique = caractéristique abiotique du sol

a. La diversité des facteurs édaphiques : un panorama

- La composition en fractions granulométriques (limons, argiles, sables...) : la texture du sol
- Les éléments constitutifs du sol et leur concentration : la composition chimique du sol (liée à la roche-mère, à l'activité biologique, au lessivage...) + le pH
- La porosité du sol et l'eau dans le sol

Pour information : les Plantes « terrestres » et l'eau

Notez qu'en fonction de l'abondance d'eau dans un milieu, on peut classer les végétaux terrestres (notamment les Plantes vasculaires) en plusieurs catégories :

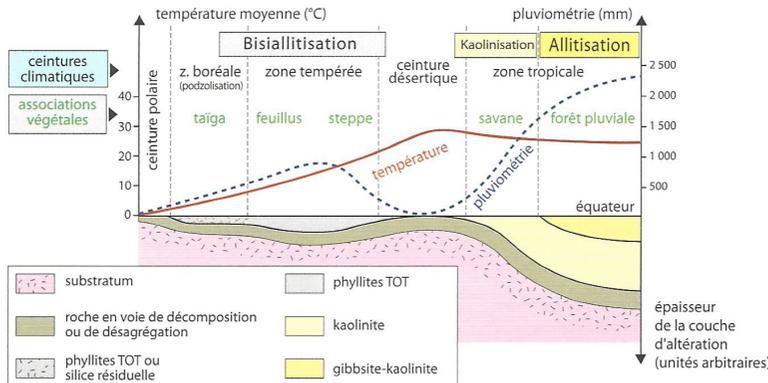
- Les **plantes xérophiles** ou **xérophytes** (du gr. *xeros*, sec) qui **vivent dans les milieux secs, déficients en eau**.
- Les **plantes mésophiles** ou **mésophytes** (du gr. *mesos*, milieu) qui **vivent dans des milieux dont la quantité d'eau dans le sol est moyenne**.
- Les **plantes hygrophiles** ou **hydrophytes** (du gr. *hugros*, humide) qui **vivent dans des milieux où le sol est gorgé d'eau (ex. berge de cours d'eau ou d'étang)**.
- Les **plantes héliophiles** ou **hélrophytes (= plantes semi-aquatiques)** (du gr. *helos*, lieu... on ne sait pas pourquoi) **dont les racines sont ancrées dans un sol immergé mais dont les tiges et feuilles sont aériennes**. Les bourgeons dormants sont **aériens**. Ex Roseau.
- Les **plantes hydrophiles** ou **hydrophytes (= plantes aquatiques)** (du gr. *hudor*, eau) dont **les racines et l'essentiel de l'appareil caulinaire sont sous l'eau**. Les bourgeons dormants sont immergés.

Notez que les catégories « hélrophytes » et « hydrophytes » peuvent être ajoutées dans la classification de RAUNKIAER que nous avons vu dans le chapitre 12.

NB : certains auteurs parlent également d'**hydro-hélrophytes** pour désigner des **plantes semi-aquatiques dont les bourgeons dormants sont pour partie aériens, pour partie immergés**.

β. Des facteurs édaphiques qui dépendent eux-mêmes des facteurs climatiques (rappels de géologie : diagramme de Pedro)

La pluviométrie (drainage) est le facteur principal de contrôle. Elle contrôle à la fois le type d'altération et l'épaisseur de la couche d'altération.



Zonation des altérations (type et intensité) en fonction de la température et de la pluviométrie

▲ FIGURE 36. Contrôle climatique de l'épaisseur et de la composition minérale des sols : diagramme dit de PEDRO, en réalité STRAKHOV. D'après LAGABRIELLE et al. (2013). Phyllites, kaolinite, gibbsite = minéraux argileux | Substratum : désigne ici la roche-mère

γ. Des facteurs édaphiques qui impactent la présence, l'abondance et la répartition des êtres vivants : rôle des facteurs édaphiques sur la biocénose

δ. Une rétroaction de la biocénose sur les caractéristiques abiotiques du sol : le couplage biotope-biocénose dans le sol

Bilan du point b :

La composition et l'organisation du sol dépendent donc de la nature de la roche-mère, des conditions climatiques et de la diversité biologique présente en un lieu. Elles conditionnent les organismes présents dans le sol et les plantes poussant dans l'écosystème et, par voie de conséquence, la composition de l'ensemble des biocénoses qui, en retour agissent sur les caractéristiques du sol.

c. La combinaison des facteurs climatiques et édaphiques, facteur majeur de contrôle des écosystèmes et de leur structuration

d. Les facteurs hydriques : l'importance de l'eau dans les écosystèmes

- **Écosystèmes terrestres** = dont le substrat est un sol (ou une roche nue)
- **Écosystèmes aquatiques** = immergés et dont le composant physique principal est donc l'eau (= milieux dulçaquicoles, saumâtres ou marins).

- **Dulçaquicole** = **dulcicole** : caractérise les écosystèmes d'eaux douces continentales (rivières, lacs, étangs...) et les organismes qui y vivent.
- **Marin** : caractérise les écosystèmes d'eaux salées (mers et océans) et les organismes qui y vivent.
- **Saumâtre** : se dit d'une eau douce en partie contaminée par des eaux marines et dont la salinité peut varier.

a. L'eau dans les écosystèmes terrestres

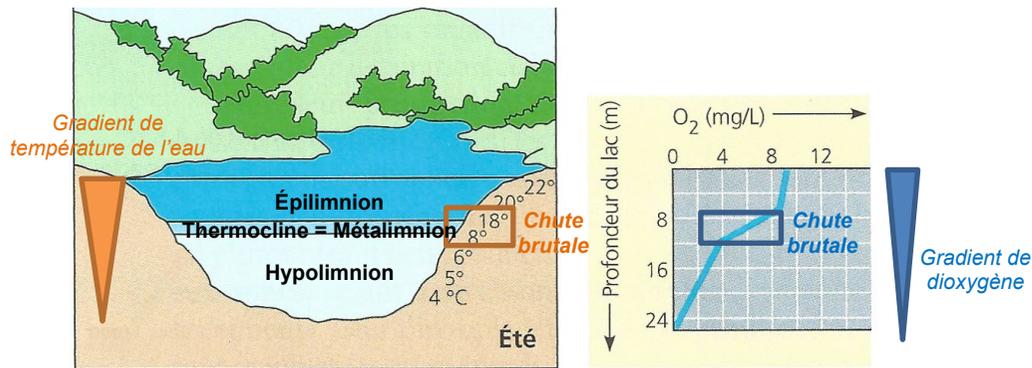
- La disponibilité et l'abondance de l'eau dans les écosystèmes terrestres, facteur écologique majeur dépendant des paramètres climatiques et édaphiques (concept de zones de vie d'HOLDRIDGE)
- Le cas particulier des Animaux : la possibilité de déplacements jusqu'aux points d'eau

β. L'eau dans les écosystèmes aquatiques

- La diversité des écosystèmes aquatiques
- Un milieu zoné surtout par la profondeur et les paramètres physico-chimiques associés

➤ Cas du milieu marin et du milieu littoral

➤ Cas des milieux d'eaux douces : l'exemple d'un lac (stratification photique, stratification thermique et oxygénique)



Pendant l'été, une stratification thermique réapparaît : l'eau chaude de la surface est séparée de l'eau froide du fond par la thermocline, une mince couche d'eau du lac où le gradient thermique est abrupt.

▲ FIGURE 44. La zonation thermique (et oxygénique) d'un lac tempéré en été.
D'après CAMPBELL & REECE (2004), modifié.

y. L'importance de la composition de l'eau

e. L'existence de variations temporelles des facteurs abiotiques impactant les biocénoses, leur physiologie et leur cycle de vie

a. Les variations circadiennes (= journalières) du biotope

Exemples :

- **Végétaux** : photosynthèse en journée ; utilisation de réserves chloroplastiques la nuit.
- **Animaux** : actifs souvent le jour (visibilité, chaleur...). Mais tous les animaux ne sont pas diurnes, il existe des animaux nocturnes ou encore indifférents.
- (!) Ce cycle journalier peut entraîner des déplacements journaliers (figure 48).

β. Les variations annuelles (= saisonnières) du biotope

i. La diversité des variations saisonnières

ii. Quelques réponses à ces variations

- **Adaptation du cycle de vie** : l'activité des organismes est souvent maximale lors de la saison clémente (plutôt printemps-été sous nos latitudes) ; c'est aussi là qu'ils réalisent souvent tout ou partie de leur reproduction et de leur développement.

- Exemples chez les Angiospermes :

- * Cycles de vie et à la classification de RAUNKIAER,
- * Contrôle de la floraison/de la germination par la photopériode ou la température...

- Exemples chez les Métazoaires :

* **Hibernation** (= modification de la physiologie lors de la mauvaise saison, déclenchée par les facteurs externes) ou **diapause hivernale** (= modification de la physiologie lors de la mauvaise saison, déclenchée génétiquement indépendamment des facteurs externes) de certains organismes (figure 51).

- Développement d'**outils de résistance au froid** et/ou **stratégies d'évitements** du froid.

- Exemples chez les Angiospermes :

- * **Protection des méristèmes** (bourgeons, organes souterrains, graines...)
- * **Protéines anti-gel**, modification de la composition des membranes...

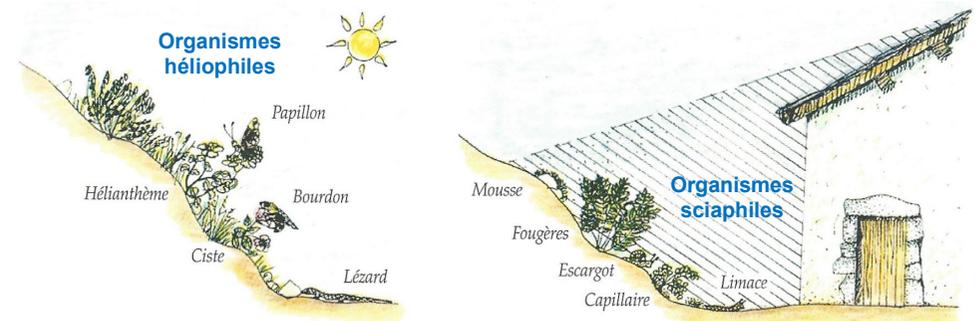
- Exemples chez les Métazoaires :

- * **Passage de l'hiver** dans un abri, dans le sol... ;
- * **Migration saisonnière** = déplacement dans une autre région du globe lors de la saison défavorable (figure 52).

▪ Etc.

iii. Des variations également présentes dans le milieu aquatique

y. Les variations ponctuelles ou « accidentelles » du biotope



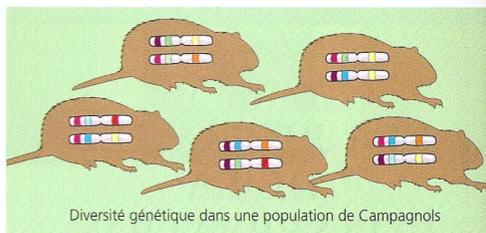
La construction d'une maison modifie le microclimat d'un talus ensoleillé voisin et mousses et fougères y remplacent des fleurs héliophiles que butinaient les hyménoptères et les papillons

▲ FIGURE 53. Une modification de biocénose au niveau d'un talus, suite à la modification d'un microclimat par une construction [pour information]. D'après FISCHESSE & DUPUIS-TATE (2007)

3. Les facteurs écologiques biotiques : l'impact de la biocénose sur l'écosystème

a. La diversité des populations présentes (la biodiversité spécifique) et leurs caractéristiques structurales et fonctionnelles

α. La notion de biodiversité (génétique, spécifique, écosystémique)



Les trois composantes de la biodiversité. (Les gros chromosomes illustrés dans la silhouette des campagnols, dans la partie supérieure de la figure, symbolisent la variation génétique au sein d'une population.)

Biodiversité génétique (intraspécifique) :
Biodiversité spécifique (interspécifique) :
Biodiversité écologique (écosystémique) :

◀ FIGURE 53bis. Les trois types de biodiversité. D'après CAMPBELL & REECE (2004)

β. La possibilité d'estimer et quantifier la biodiversité spécifique

i. L'inventaire des espèces et l'emploi d'indices de diversité spécifique

La diversité des espèces au sein d'une communauté peut être mesurée par différents indices :

- S , la richesse spécifique, est égale au nombre d'espèces ;
- D , la diversité spécifique, peut être définie comme la probabilité que deux individus tirés au hasard appartiennent à deux espèces différentes. S étant le nombre d'espèces et p_i leur fréquence relative, on peut écrire :

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2, \text{ avec } \sum_{i=1}^S p_i = 1, \quad (6.1)$$

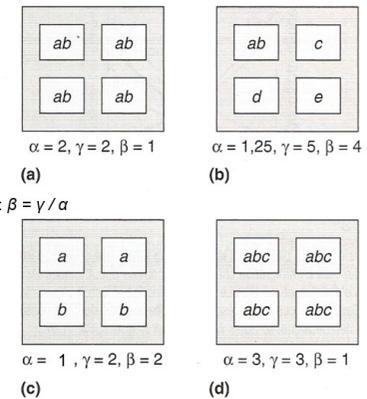
Variant de 0, pour une seule espèce dominante, à $1 - 1/N$ pour N espèces équiprobables, cet indice de diversité spécifique est analogue au coefficient d'hétérozygotie, qui caractérise la diversité génétique au sein d'une population ou d'une espèce (chapitre 1).

T , l'indice de Shannon, estime la diversité d'une autre manière : $T = \sum_{i=1}^S -p_i \log(p_i)$.

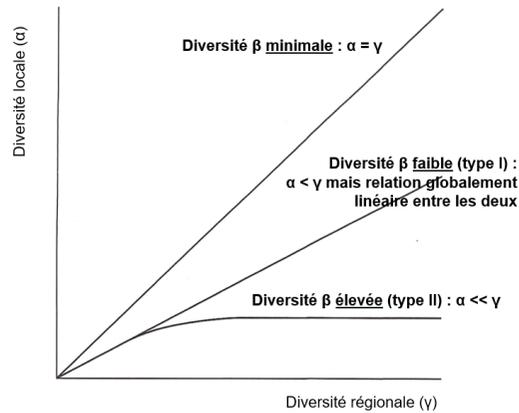
▲ FIGURE 53ter. Quelques indices de biodiversité. D'après COUVET & TEYSSÈDRE-COUVET (2010)

ii. Diversité locale, diversité régionale

Diversité α (diversité locale) :
Diversité γ (diversité régionale) :
Diversité β (diversité de remplacement = de différenciation) :



▲ FIGURE 53quater. Biodiversité locale et régionale. D'après RICKLEFS & MILLER (2005)



▲ FIGURE 53quinquies. **Biodiversité locale et régionale.**
D'après GASTON & SPICER (2004)

iii. Relation aire-espèces : loi d'ARRHENIUS (1921)

Loi d'ARRHENIUS (relation aire-espèces) :

Pour information, le chimiste suédois ARRHENIUS est surtout connu pour ses travaux en chimie et sa loi du même nom dans ce domaine. On connaît moins sa passion pour la flore.

Loi d'ARRHENIUS (1921) :

$$S = cA^z$$

$$\log S = z \log A + \log c$$

S : nombre d'espèces
A : aire
Z, c : constantes d'ARRHENIUS



Svante August ARRHENIUS
(1859-1927)
D'après Wikipédia

▲ FIGURE 53sexies. **Loi d'ARRHENIUS (1921).**

γ. Importance des espèces présentes : exemple de la biodiversité spécifique d'une prairie pâturée (un panorama)

▲ FIGURE 54. **Quelques représentants de la biocénose d'une prairie pâturée (par des Bovins) en milieu tempéré.** D'après DENOEUDE *et al.* (2014), corrigé.

Exemples :

- « Herbes » :
- Faune :
- Microflore du sol :

δ. Importance des caractéristiques des populations présentes

- i. Les relations intraspécifiques
- ii. Les paramètres démographiques et génétiques

b. Les relations interspécifiques

a. La diversité des relations interspécifiques

Voir II

▼ TABLEAU VIII. **Effets positifs ou négatifs des relations interspécifiques sur les protagonistes.**
D'après SELOSSE (2014)

Partenaire A	Partenaire B	Interaction

▲ FIGURE 56. Quelques relations interspécifiques dans la prairie.
D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017).

β. Un effet sur la structure des écosystèmes : l'exemple de la dispersion des individus végétaux par les interactions négatives (effet JANZEN-CONNEL)

Effet JANZEN-CONNELL :



▲ FIGURE 57. L'effet JANZEN-CONNELL expliquant le meilleur développement des semences loin de l'organisme parental par les interactions néfastes. D'après SEGARRA *et al.* (2015), précisé.

c. Le positionnement trophique des espèces

α. Les producteurs primaires, organismes autotrophes faisant entrer la matière et l'énergie dans la biocénose

β. Les consommateurs (= producteurs secondaires), organismes hétérotrophes faisant circuler la matière et l'énergie dans la biocénose

γ. Les décomposeurs, organismes hétérotrophes qui s'alimentent de déchets organiques produits par d'autres espèces

d. La présence d'espèces de forte importance écologique : les espèces clef-de-voute et les espèces ingénieurs

α. Les espèces clef-de-voute, des espèces dont la présence ou l'absence modifie drastiquement la structure et/ou le fonctionnement de l'écosystème

Deux grands types (tableau IX) :

- Soit elles sont *impliquées dans des relations interspécifiques importantes, ce qui se comprend puisque les espèces en interaction seront nécessairement impactées par leur présence ou leur absence* (l'idée de « pivot » est intéressante en ce sens).
- Soit elles sont *impliquées dans l'agencement de l'écosystème, rendant ainsi les ressources du milieu (notamment nutritives) plus ou moins accessibles pour les autres espèces (= espèces ingénieurs).*

Bilan (page 43)

Espèce clef-de-voute = espèce pivot = espèce clef :



β. Les espèces ingénieurs (= espèces architectes), un cas particulier d'espèces clef-de-voute qui contraignent l'organisation spatiale de l'écosystème et la répartition ou l'accessibilité des ressources

i. Conceptualisation de la notion

▲ FIGURE 60. Une illustration simple du principe d'action d'une espèce ingénieur sur l'écosystème. Inspiré de SEGARRA *et al.* (2015) et BARBAULT (1995)

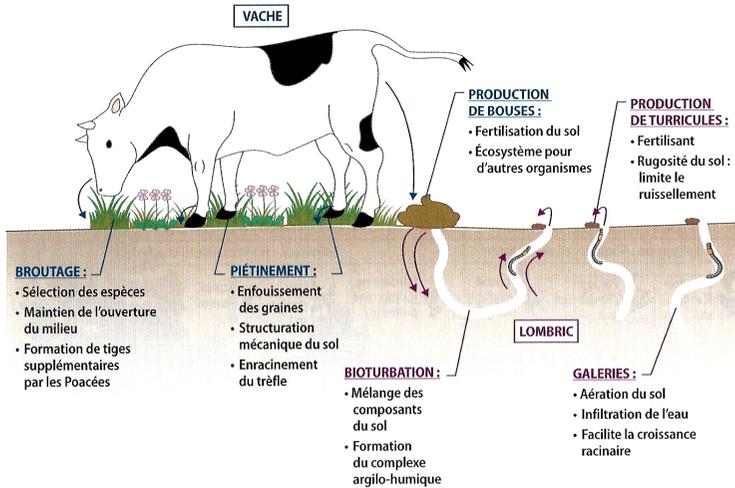
Espèce ingénieur = architecte (= biogénieur = agenceur écologique) :

ii. Deux exemples en lien avec la prairie (à retenir !) : les Lombrics et les Mammifères brouteurs (ex. Bovins)

Exemple 1 : les Lombrics et le brassage du sol

Par leur **activité**, ils **brassent le sol** (figure 62). Les **conséquences** sont nombreuses :

- **Mélange des particules** présentes (minérales, organiques...)
- **Aération** ⇒ **circulation des gaz** (respiratoires notamment) favorisée ⇒ **augmentation de la porosité** ⇒ **circulation de l'eau** favorisée
- Participation, grâce notamment à la **digestion symbiotique**, à l'activité de **décomposition**



▲ FIGURE 63bis. **Rôle architecte de la Vache et des Lombrics**
D'après DAUTEL *et al.* (2021)

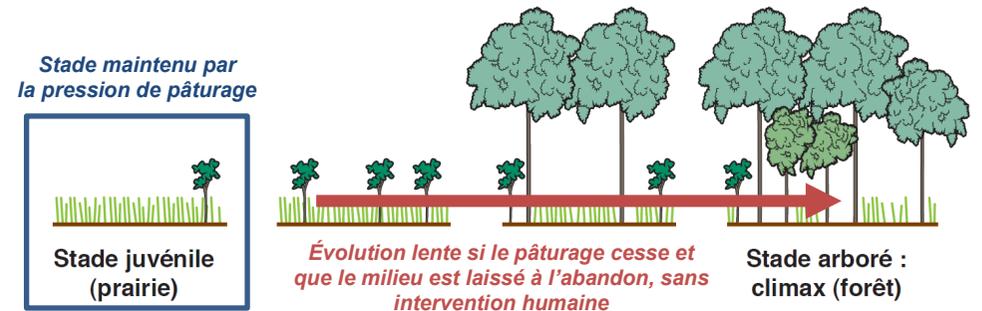
Exemple 2 : les Mammifères brouteurs (ex. Vache) et le blocage de l'écosystème au stade prairie et la restitution d'azote au sol

Par leur présence, les **Mammifères brouteurs** bloquent l'évolution du milieu au **stade prairie** et **empêchent l'installation d'espèces ligneuses** par les processus suivants :

- **Broutage** qui **stimule la croissance des espèces mangées** et favorisent les **herbacées**, notamment les **hémicryptophytes**.
- **Piétinement** qui **nuît au développement des graines volumineuses** et des **jeunes pousses lignifiées**.

Par ailleurs, on peut noter :

- Une **restitution d'azote** dû aux **déjections** participant à la fertilisation du sol, ce qui aboutit localement à une abondance d'**espèces végétales nitrophiles** (= **qui vivent sur des milieux à fort taux d'azote**).



▲ FIGURE 63. **L'évolution naturelle d'une prairie pâturée si la pâture est arrêtée.**
D'après SEGARRA *et al.* (2015), modifié

e. L'homme, facteur écologique majeur et atypique

a. Une anthropisation variable des écosystèmes : écosystèmes naturels vs. écosystèmes agricoles (agrosystèmes dont les agro-écosystèmes) ou urbanisés

Écosystèmes « naturels » :
Agrosystèmes au sens large :
- Agrosystèmes au sens strict :
- Agro-écosystèmes :
Écosystèmes urbains :

Tous les écosystèmes présentent aujourd'hui une part d'anthropisation !
De nos jours, **aucun écosystème n'est à l'abri d'une influence humaine**, même minime : la **pollution des eaux / des sols / de l'atmosphère**, le **changement climatique**... se font ressentir en tous points du globe.

β. La diversité des perturbations d'origine anthropique et l'anthropisation de la biosphère

- i. Les changements d'habitats dus aux activités humaines
- ii. Le changement global (= réchauffement climatique)
- iii. Les espèces étrangères qui deviennent invasives

Espèces invasives :



▲ FIGURE 67. **Trois espèces invasives : la Jussie (*Ludwigia grandiflora*), la Tortue de Floride (*Trachemys scripta elegans*) et le Frelon asiatique (*Vespa velutina*) [pour information].**

D'après Wikipédia

- iv. La chasse, la pêche et la surexploitation des ressources biologiques
- v. La pollution chimique et ses conséquences

Pollution :

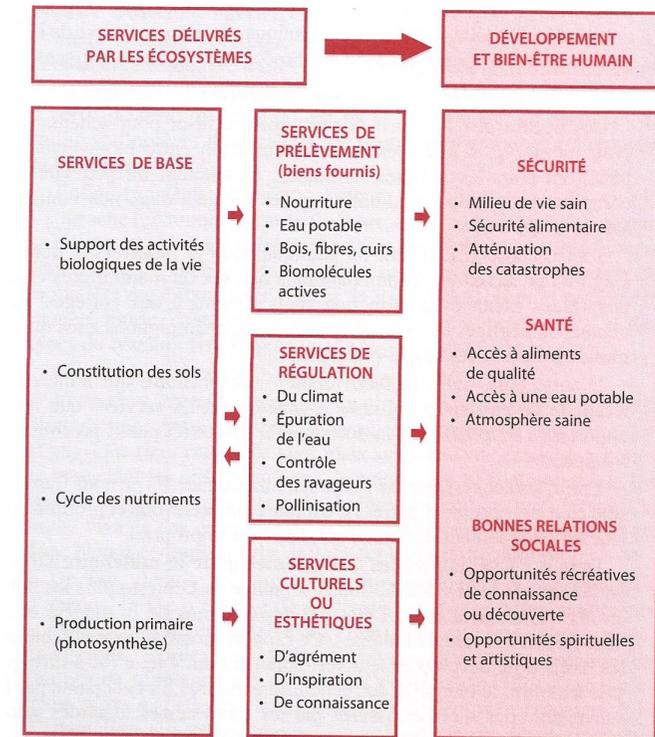
γ. Vers un sursaut ? Conservation des écosystèmes et de la biodiversité, et développement durable

Services écosystémiques :

▼ **TABLEAU X. Les services écosystémiques : deux visions.**
D'après COUVET & TEYSSÈDRE-COUVET (2000) et TIRARD *et al.* (2012)

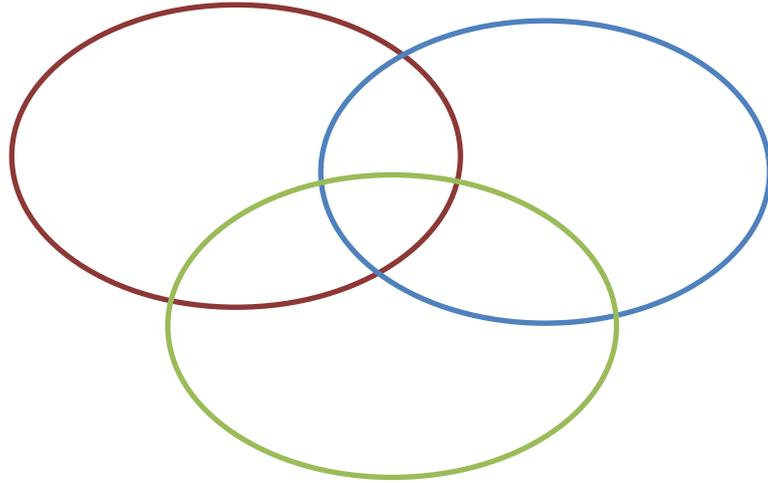
Services d'approvisionnement	Services de régulation et de support des écosystèmes	Services culturels
Nourriture	Production primaire Formation et entretien de sols fertiles	Loisirs Écotourisme
Bois et fibres	Cycle des nutriments	
Carburants	Régulation du climat, locale et globale	Éducation à la biodiversité Esthétique
Ressources génétiques	Purification des eaux et de l'air	
Molécules	Régulation des flux hydriques	
Eau potable	Atténuation des perturbations environnementales (crues, cyclones, tsunamis, etc.)	
	Contrôle de l'érosion	
	Pollinisation	
	Contrôle biologique (ravageurs, etc.)	
	Résistance aux épidémies et invasions biologiques	

Classification des services écosystémiques. (D'après le MEA, 2005.)



Services rendus par les écosystèmes et liens avec le développement humain
(Adapté de MEA 2005).

Développement durable = soutenable :



▲ FIGURE 71. Le développement durable.

4. L'écosystème, un système ouvert en interaction avec d'autres écosystèmes [limite programme]

Revoir ces notions fichées dans le chapitre 19.

Système ouvert :

a. Une entité inscrite dans un paysage qui échange des éléments de biotope et de biocénose avec les écosystèmes alentour

Paysage :

b. Des interactions entre écosystèmes qui dépendent de leur connectivité... et restreintes par la fragmentation des habitats

C. Les écosystèmes terrestres, des entités dont le substrat est un sol

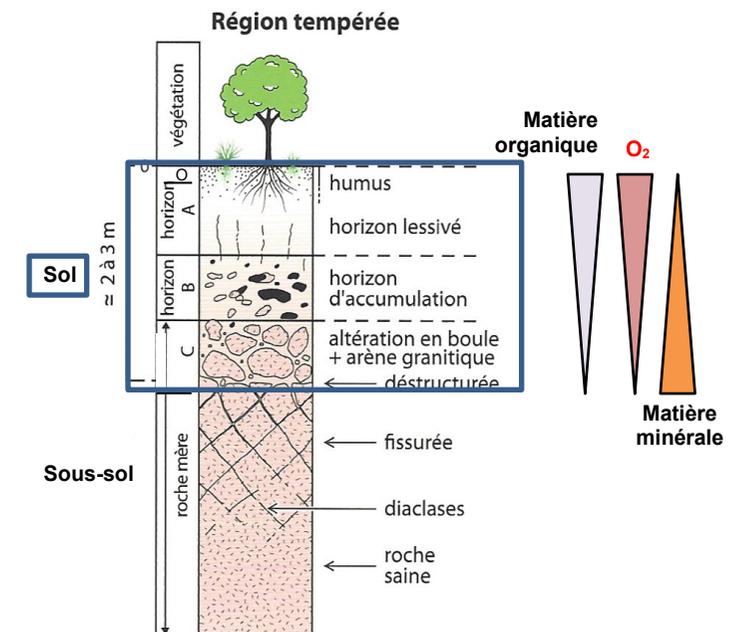
Voir BCPST2 (sols)

1. Le sol, interface entre géosphère, biosphère, atmosphère et hydrosphère provenant de l'altération physique, chimique et biologique d'une roche

Il est impératif de faire le lien avec vos notions de géologie (chapitre 23. Altération des roches, érosion, formation et destruction des sols).

2. La structure spatiale du sol

a. La structuration spatiale du sol : une entité découpée en niveaux superposés, les horizons



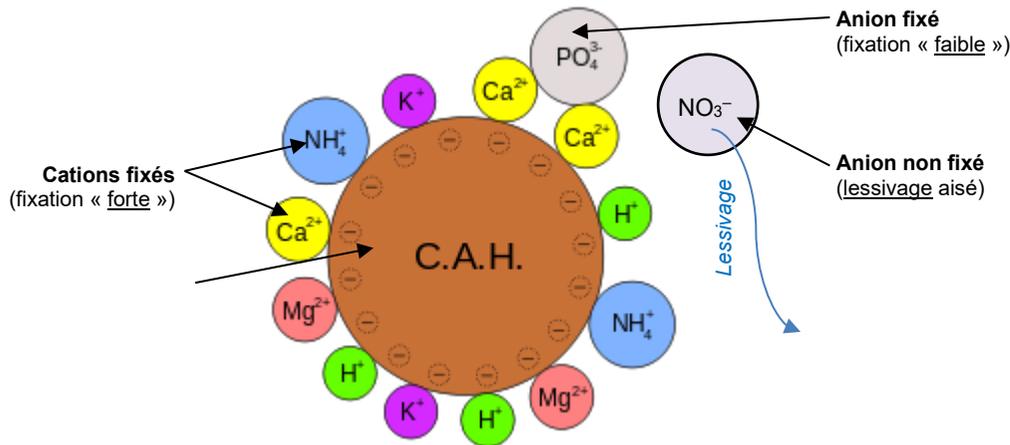
▲ FIGURE 73. Un sol typique de région tempérée (brunisol) et son découpage en horizons.
D'après LAGABRIELLE *et al.* (2013), précisé/modifié. Le sol peut être moins épais.

b. Des variations latérales de structure ou composition possibles, éventuellement selon des gradients

3. La composition organique et minérale du sol : le biotope

Les **paramètres édaphiques** (facteurs abiotiques du sol) ont été **abordés et définis** dans la partie I.B.2.b.

- a. La fraction organique : molécules biologiques, molécules humiques
- b. La fraction minérale : éléments de roches/minéraux (dont les argiles), eau, ions, air
- c. Des fractions qui s'associent et forment notamment un complexe argilo-humique (CAH) retenant les cations

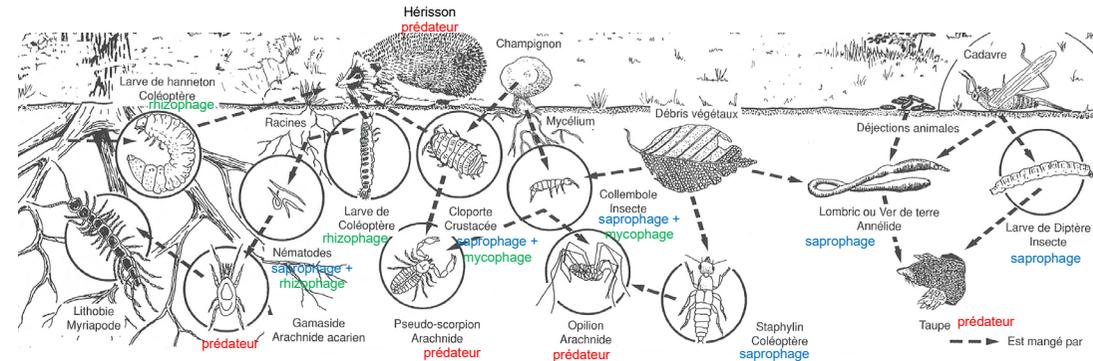


▲ FIGURE 74. Une représentation du CAH associé aux cations qui le stabilisent. D'après Wikipédia (consultation janvier 2016), complété.

4. La composition biologique du sol : une biocénose particulière

Revoir le TP 6.1. (Étude pratique du sol)

- a. La présence de l'appareil souterrain des plantes
- b. La présence de mycéliums de 'champignons' variés
- c. La présence d'une faune diversifiée et en grande partie détritivore : la pédofaune



▲ FIGURE 78. Réseau trophique dans le sol illustrant la diversité de types trophiques dans la pédofaune. D'après FAURIE et al. (2002). Le Hérisson est ici hors du sol, mais il peut y faire son nid.

- d. La présence d'une flore microbienne aux types trophiques variés et comprenant des organismes minéralisateurs

5. La sapromasse ou nécromasse, matière organique morte du sol constituant un stade transitionnel entre monde vivant et état minéral

Nécromasse = sapromasse :

D. La réponse des populations à l'ensemble des facteurs écologiques de leur environnement et leur position dans l'écosystème

Capacité exigible ✓ Analyser des situations mettant en évidence la notion de niche écologique potentielle et niche écologique réalisée.

1. Les espèces face aux facteurs écologiques

- a. La notion de facteur limitant : loi du minimum (SPRENGEL-LIEBIG) et loi de tolérance (SHELFORD)

Loi du minimum (loi de LIEBIG) =

Loi de tolérance (SHELFORD) :

Facteur limitant :

b. L'existence de préférences physiologiques chez une espèce : courbes de tolérance

Courbe de tolérance :

Optimum physiologique = écologique :

c. Une tolérance face aux variations environnementales qui diffère entre les espèces : valence écologique, euryécie / mésoécie / sténoécie

Valeur écologique :

→ espèces euryèces (*forte valence*) / mésoèces (*valence moyenne*) / sténoèces (*faible valence*)

On peut utiliser les préfixes eury- / méso- / sténo- pour n'importe quel facteur écologique donné.

Quelques exemples :

- Eurytherme / mésotherme / sténotherme : **température** (figure 82)
- Euryhalin / mésohalin / sténohalin : **salinité**
- Euryphote / mésophote / sténophote : **lumière**
- Etc.

2. La niche écologique, une notion qui rend compte des atouts et contraintes du milieu vis-à-vis d'une espèce donnée

a. Une notion plus ou moins difficile à conceptualiser

α. Quelques définitions historiques qui expliquent les nuances conceptuelles entre auteurs

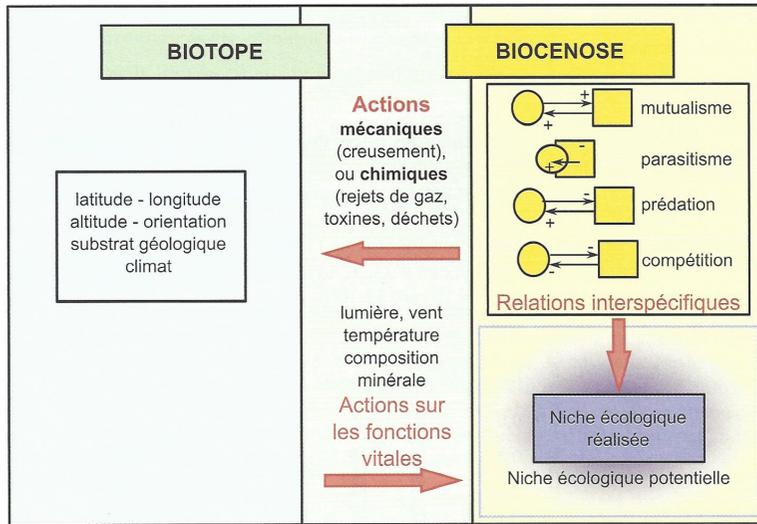
- i. La définition de GRINNEL (1917) : les conditions environnementales et les adaptations de l'espèce (niche d'habitat)
- ii. La définition d'ELTON (1927) : la place ou le rôle de l'espèce dans l'écosystème, notamment la place dans les réseaux trophiques (niche fonctionnelle)
- iii. La définition de HUTCHINSON (1957) : l'ensemble des conditions dans lesquelles vit et se perpétue une population correspondant à un hypervolume

β. Proposition d'une synthèse : la somme des conditions abiotiques et biotiques d'une espèce au sein d'un écosystème

Niche écologique :

▲ **FIGURE 80. Courbe de tolérance.** D'après DUPUIS & FISCHESSE-TATE (2007), modifié.
[Il s'agit ici d'une courbe de tolérance de la température par la Puce des glaciers, un Collembole vivant dans les sols enneigés]

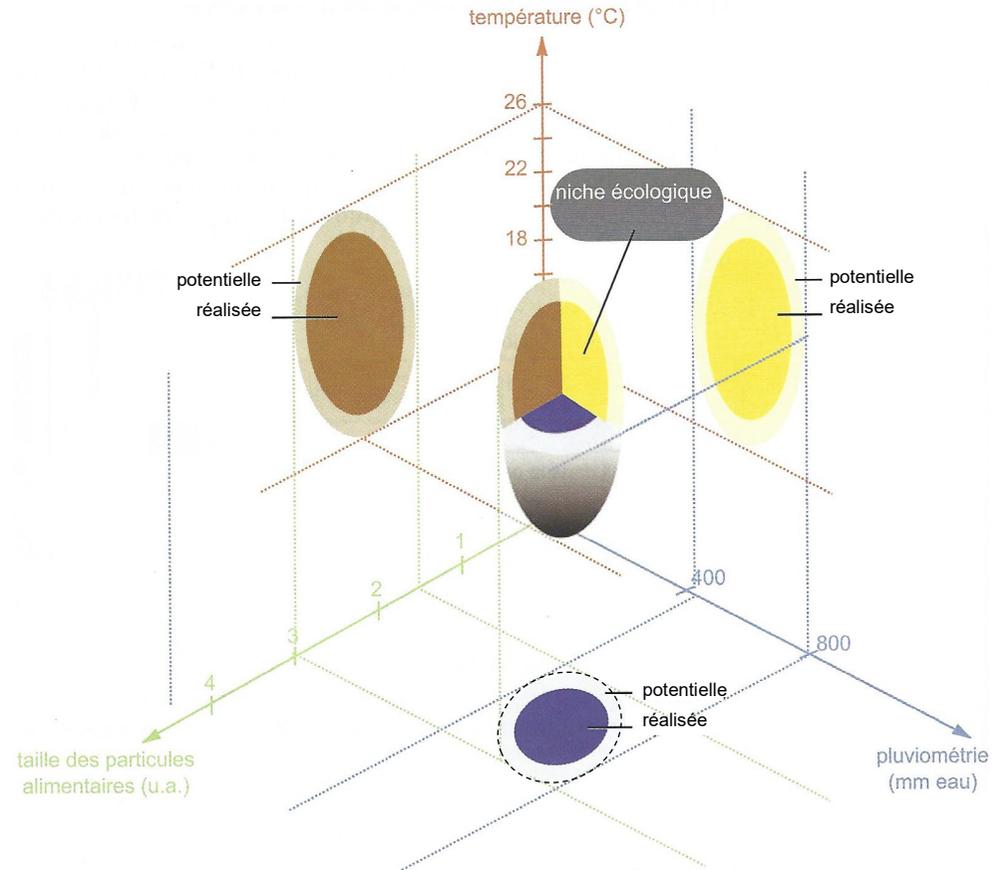
(!) Les zones d'intolérance ne sont pas toujours léthales et peuvent parfois être supportées provisoirement par certains organismes.



▲ FIGURE 83. La niche écologique et le couplage biotope-biocénose. D'après PEYCRU *et al.* (2014).

b. La modélisation des niches écologiques, des espaces multi-dimensionnels (hypervolumes)

α. Une représentation graphique possible pour un, deux ou trois paramètres



▲ FIGURE 86. Une niche écologique à trois paramètres. D'après PEYCRU *et al.* (2014), modifié.

β. La nécessité de la modélisation mathématique et informatique à partir de quatre facteurs écologiques

c. Niche écologique potentielle vs. niche écologique réalisée

α. Les conditions abiotiques d'existence d'une espèce : la niche écologique potentielle (= fondamentale)

Niche écologique fondamentale = potentielle :

β. Une restriction de la niche écologique par les interactions interspécifiques (notamment négatives) : le déplacement de niche

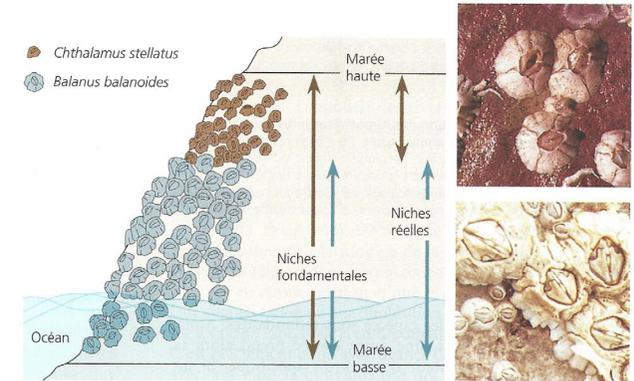
▲ FIGURE 85. Une niche écologique à deux paramètres. D'après SEGARRA *et al.* (2015).

Déplacement de niche :

γ. Les conditions écologiques complètes d'existence d'une espèce dans un écosystème : la niche écologique réalisée (= réelle)

Niche écologique réalisée :

Vérification sur le terrain d'une hypothèse d'exclusion compétitive. *Balanus balanoides* et *Chthamalus stellatus* sont deux espèces de Balanes qui vivent sur les mêmes rochers de la côte écossaise. Ces rochers émergent à marée basse. La distribution des Balanes est stratifiée : *Balanus balanoides* occupe les strates inférieures du rivage, tandis que *Chthamalus stellatus* se trouve sur les strates supérieures. Les larves mobiles des Balanes se fixent au hasard sur les rochers. Mais les formes adultes sessiles de *Balanus balanoides* ne survivent pas sur les strates supérieures. Apparemment, elles ne résistent pas à la dessiccation quand ces zones sont exposées à l'air, pendant plusieurs heures, à marée basse. Par conséquent, la niche fondamentale (potentielle) et la niche réelle de *Balanus balanoides* sont identiques. Bien que *Chthamalus stellatus* se trouve surtout sur les strates supérieures, elle se répandit sur les strates inférieures lorsque l'écologiste Joseph Connell élimina la population de *Balanus balanoides* qui était là. Il semble donc que sans la compétition de *Balanus balanoides*, *Chthamalus stellatus* pourrait survivre sur des strates inférieures. Par conséquent, sa niche réelle ne représente qu'une partie de sa niche fondamentale.



▲ FIGURE 88. Niches écologiques dans le cadre d'une compétition entre Balanes écossaises (expérience de Joseph H. CONNELL, 1970). D'après CAMPBELL & REECE (2004).

Principe d'exclusion compétitive (= de GAUSE) :

d. Niche écologique et évolution

Voir BCPST2 (Mécanismes de l'évolution)

α. La libération des niches écologiques suite aux extinctions, facteur favorisant la spéciation et les radiations évolutives

Crises biologiques :

Stases évolutives :

La crise Crétacé-Tertiaire est la plus connue du grand public puisqu'elle a conduit à la disparition des 'dinosaurés' (au sens traditionnel) !

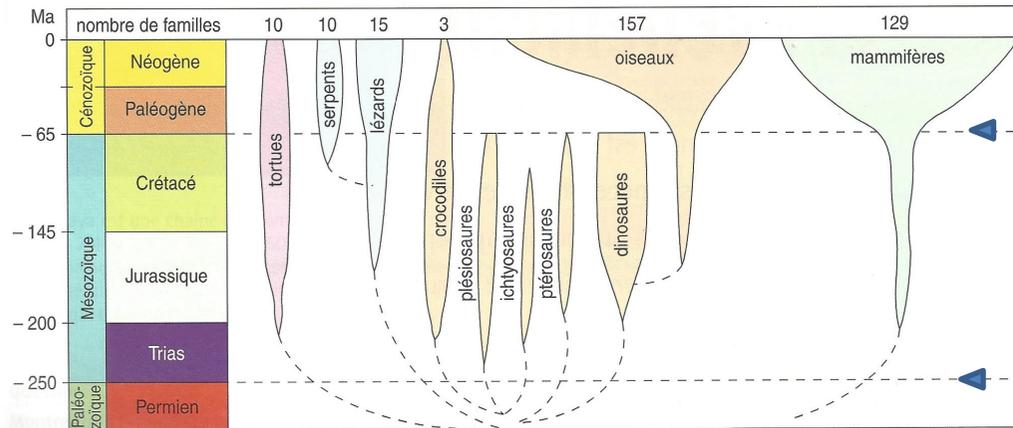
Radiation évolutive :

(b) Niches réalisées

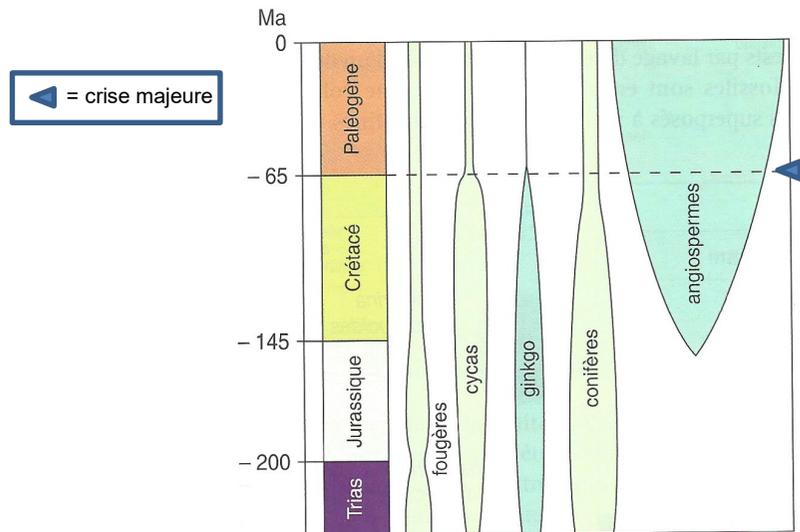
▲ FIGURE 87. Niches écologiques fondamentales vs. réalisées dans la prairie (exemples). Source inconnue, emprunté à Alix HELME-GUIZON (BCPST2, LEGTA Le Fresne, Angers), modifié.

- **Explication généralement avancée (en lien avec la théorie de la niche écologique) :**

Les groupes survivants se diversifient et occupent les niches écologiques laissées vacantes par les organismes éteints.



(a) Quelques groupes de Vertébrés Amniotes



(b) Quelques groupes de Plantes vasculaires

▲ FIGURE 89. Histoire évolutive de quelques groupes taxonomiques montrant des radiations évolutives après la crise K-T (Oiseaux, Mammifères, Angiospermes).

D'après LIZEAUX, BAUDE et al. (2008).

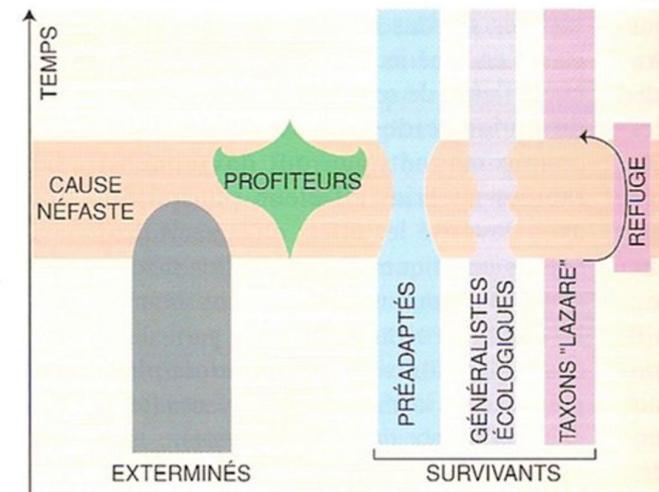
La largeur de chaque « bulle » est proportionnelle à la biodiversité spécifique.

Encadré P Le « comportement » des espèces lors des crises biologiques

Pour information

➤ En fonction de l'effet d'une crise biologique sur les espèces, on peut proposer ces quelques catégories (figure a) :

- Les **exterminés** sont les espèces ou groupes qui disparaissent lors de la crise.
- Les **profiteurs** sont les espèces ou groupes qui prolifèrent, voire apparaissent, lors de la crise puis disparaissent à la fin. Ce sont donc souvent des espèces capables d'occuper des niches écologiques laissées vacantes par les exterminés mais qui ne seront plus compétitives après la crise face aux espèces à venir.
- Les **survivants** sont les espèces ou groupes présents avant et après la crise.



▲ FIGURE a. Typologie du « comportement » des espèces lors d'une crise biologique.

Source exacte inconnue. Inspiré de LETHIERS (1998)

➤ Au sein des **survivants**, trois catégories sont reconnues :

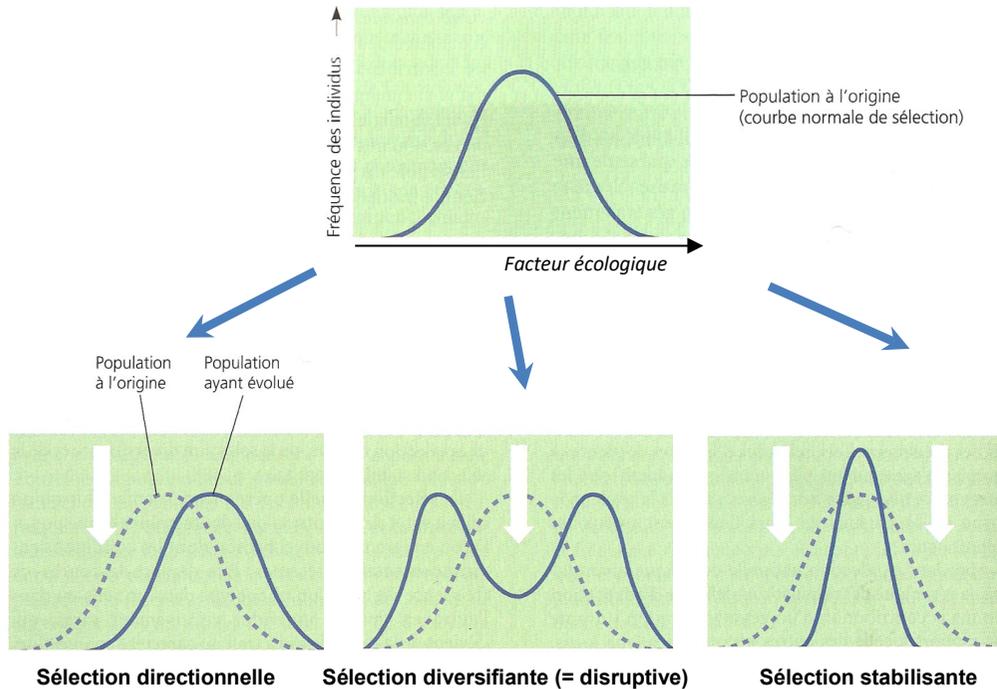
- Les **préadaptés** : ce sont les espèces ou groupes préexistants dont les caractéristiques leur permettent d'occuper les nouvelles niches écologiques générées par la crise.
- Les **généralistes écologiques** : ce sont les espèces ou groupes préexistants aptes à occuper des niches écologiques variées et donc, par nature, peu exigeants.
- Les **taxons Lazare** : ce sont des organismes présents avant et après la crise mais qui disparaissent du registre fossile lors de la crise. L'explication avancée est que leurs populations sont considérablement réduites lors de la crise, cantonnées à des zones refuges de petite taille (ce qui diminue la chance d'être fossilisés), et qu'ils recolonisent les milieux une fois la crise passée.

Ils sont nommés facétieusement en référence au personnage de Lazare ressuscité par Jésus dans le Nouveau Testament

➤ Bien évidemment, les **radiations évolutives** ne peuvent s'opérer qu'à partir de groupes survivants.

β. Les déplacements durables de niche, une modalité d'évolution sur laquelle agit la sélection naturelle

Revoir BCPST2 (Mécanismes de l'évolution)



▲ FIGURE 90. **Typologies de sélection naturelle appliquées à un paramètre écologique.**

D'après CAMPBELL & REECE (2004), modifié.

(!) Bien entendu, si sélection il y a, ce sont in fine des génotypes qui sont conservés.

Pour **rappel** (ou anticipation sur le chapitre 21), on appelle **sélection naturelle** le **tri par survie différentielle des individus, génotypes et allèles d'une population sous l'effet de la pression du milieu environnant.**

- La **sélection directionnelle** modifie la composition des populations en favorisant les génotypes situés à une seule extrémité de la courbe normale de sélection.
Statistiquement, il y a déplacement de la moyenne.
- La **sélection diversifiante (= disruptive)** modifie la composition des populations en favorisant les génotypes situés aux deux extrémités de la courbe normale de sélection, ce qui aboutit à une répartition bimodale des phénotypes.
Statistiquement, il y a augmentation de la variance.
- La **sélection directionnelle** modifie la composition des populations en favorisant les génotypes situés autour de la moyenne de la courbe normale de sélection, ce qui aboutit à un resserrement de la courbe autour de la moyenne par élimination des phénotypes extrêmes.
Statistiquement, il y a diminution de la variance.

γ. Les convergences évolutives, des scénarios explicables par la théorie de la niche écologique

Convergences évolutives :

δ. L'espèce, un concept qui peut être envisagé sous l'angle de la niche écologique : l'espèce écologique

E. Bilan : l'écosystème comme résultant des actions combinées et interdépendantes du biotope et de la biocénose

▲ FIGURE 92. **La composition et la structure de l'écosystème, résultante du biotope, de la biocénose et de leurs interactions.** D'après SEGARRA *et al.* (2015)

II. Des interactions entre les populations de la biocénose : les relations interspécifiques

Capacités exigibles

- ✓ Identifier et définir les relations trophiques interspécifiques : mutualisme, parasitisme, prédation, herbivorie.
- ✓ Prendre en compte que leur définition s'appuie sur une nécessaire quantification des coûts / bénéfices pour les partenaires de la relation
- ✓ Identifier et définir des relations de compétitions interspécifiques pour les ressources (spatiales ou trophiques).

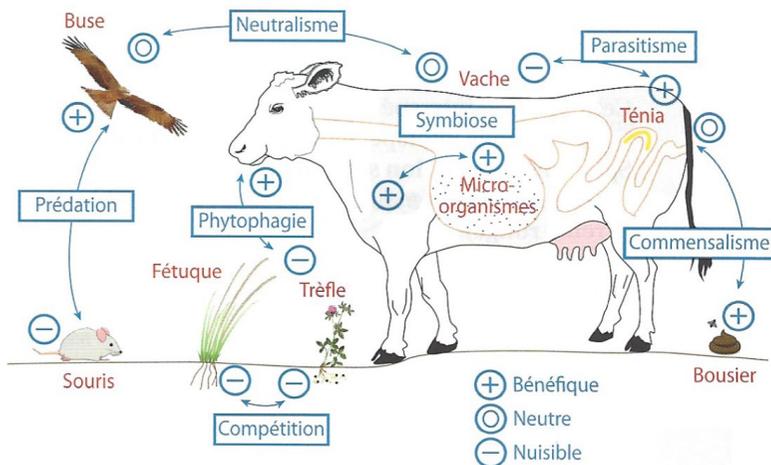
A. La diversité des relations interspécifiques : un panorama

Remarque 1 : une classification largement basée sur les coûts et bénéfices

On pourra noter d'emblée que la **classification des relations interspécifiques** se base largement sur l'existence de **coûts** et/ou **bénéfices** pour chacune des **deux espèces** protagonistes impliquées.

Remarque 2 : une dimension trophique souvent présente

On pourra également noter d'emblée que, à l'**exception** peut-être de quelques interactions comme le **neutralisme** ou de la **compétition pour des ressources non alimentaires**, les **interactions interspécifiques** comprennent dans leur **grande majorité** une **dimension trophique**.



▲ FIGURE [56]. **Quelques relations interspécifiques dans la prairie.**
D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017).

1. Les relations indifférentes (neutralisme au sens large), interactions sans bénéfices ni coûts particuliers pour les protagonistes

Relations indifférentes = neutralisme au sens large :

a. Le neutralisme au sens strict ou cohabitation neutre

Neutralisme au sens strict = cohabitation neutre :

Ex. Un Oiseau et une Vache vivant la même prairie.

b. La synécie, une association physique durable sans réel impact sur les protagonistes [hors programme]

Synécie :

Ex. Un Lichen qui croît sur un arbre sans l'affecter (l'arbre vivra aussi bien sans le Lichen, et le Lichen aurait très bien s'implanter sur un autre support... ils vivront pourtant durablement ensemble).

2. Les relations antagonistes, où au moins l'un des partenaires subit un préjudice

a. La compétition interspécifique, opposition dans le cadre de l'utilisation d'une même ressource

Compétition = concurrence interspécifique :

Ex. **compétition pour la lumière** entre les **espèces de la strate herbacée** : les plus hautes recevront plus de lumière.

Ex. **figure 56** : Trèfle et Fétuque en **compétition pour les ressources du sol**.

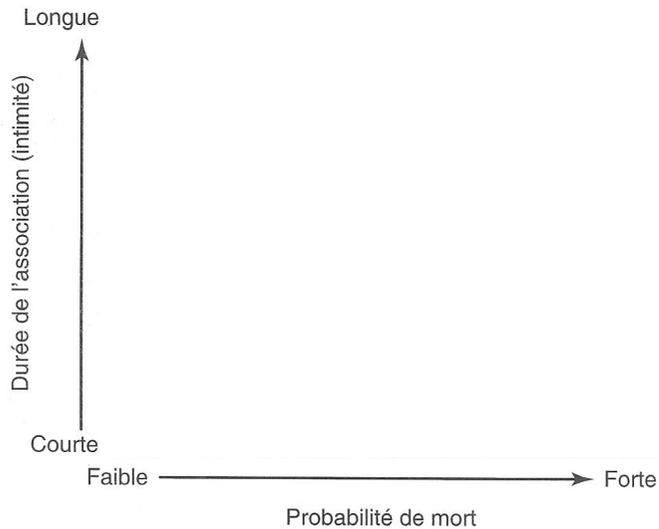
b. L'amensalisme, interaction neutre pour un protagoniste et néfaste pour l'autre

Amensalisme :

Ex. **piétinement d'herbacées** par les **Mammifères** (aucun intérêt pour les Mammifères mais la **survie des plantes** est impactée).

c. Les relations mangeur-mangé ou prédation au sens large

Relations mangeur-mangé = prédation au sens large :



Les interactions ressource-consommateur peuvent être catégorisées en fonction de la durée ou de l'intimité de l'interaction entre un individu consommateur et sa ressource et en fonction de la probabilité que l'interaction se solde par la mort de la ressource. Les parasites et les arthropodes phytophages s'engagent dans des interactions à long terme qui résultent rarement en la mort de l'hôte. Les parasitoïdes interagissent avec leur hôte pour des durées en général assez longues, et l'interaction résulte en la mort de leur hôte. Le pâturage et le broyage impliquent une rencontre brève au cours de laquelle un morceau d'herbe ou d'arbre est enlevé. La prédation est un événement assez bref qui résulte en la mort de la proie. (D'après Pollard 1992)

▲ FIGURE 93. **Diversité des relations de consommation / exploitation en fonction de la durée de l'interaction et de la chance de mort pour l'organisme consommé.**

D'après RICKLEFS & MILLER (2004), modifié / simplifié.

α. La phytophagie (ou herbivorie au sens large), consommation d'un autotrophe (producteur primaire) par un hétérotrophe (consommateur primaire)

Phytophagie = herbivorie au sens large :

Ex. Vache broutant des espèces herbacées dans la prairie.

β. La prédation au sens strict, consommation d'un hétérotrophe par un autre hétérotrophe (consommateur secondaire)

Prédation au sens strict :

* Les **organismes hématophages** (= *qui s'alimentent de sang*) ne tuent pas leur « proie ». Si l'interaction est durable (cas des Sangsues), on peut parler de **parasitisme**. Si l'interaction est brève (cas des Moustiques), on peut alors parler de « **microprédation** ».

d. Le parasitisme, interaction durable où un parasite vit et se nourrit aux dépens d'un hôte

α. Proposition d'une définition

Parasitisme :

Ex. 1 **Petite Douve du Foie** parasitant les **Mammifères brouteurs** [Voir TP 4.1.]
 Ex. 2 **figure 56 Ténia** parasitant les **Mammifères**
 Ex. 3 Les **virus** et les **micro-organismes pathogènes** [même si, dans la pratique, on réserve souvent le terme de « parasite » aux organismes eucaryotes pluricellulaires ; pour un écologue, considérer des Bactéries pathogènes comme parasites n'est toutefois pas choquant : voir § y].

β. Endoparasites et ectoparasites

γ. Discussion de la définition : cas des microprédateurs et des parasitoïdes

Exemple 1 : les **Moustiques** sont considérés comme « parasites » des **Mammifères** alors que l'interaction est transitoire, il s'agirait en réalité plutôt de « **microprédation** ».

Exemple 2 : les **Insectes « parasitoïdes »** (souvent des **Hyménoptères** ou des **Diptères**) (parfois appelés « **hyperparasites** ») (**figure 93**) pondent leurs œufs dans les larves ou adultes d'autres **Insectes** qui meurent (parfois lentement) mais de manière certaine.

(!) Certains auteurs ont alors proposé de distinguer les **parasites « biotrophes »** (*qui ne tuent pas l'hôte*) et les **parasites « nécrotrophes »** (*qui tuent l'hôte*).

δ. Les organismes pathogènes : souvent parasites du point de vue de l'écologie

3. Les relations favorables, où au moins l'un des protagonistes tire un bénéfice de l'interaction (sans nuire à l'autre)

a. Cas où un seul protagoniste tire un bénéfice de l'interaction (les commensales)

α. Le commensalisme, interaction trophique où un protagoniste consomme les restes de repas de l'autre (ou des déchets produits) [inclus syntrophie]

Commensalisme :

Ex. 1 **Insectes** vivant dans les **terriers** de **Mammifères**, ou encore les **fourmillères**... qui se nourrissent des **restes de repas** de leur hôte (**figure 95**).

Ex. 2 certains **Bactéries intestinales** comme la célèbre **E. coli** (même si certaines souches sont **pathogènes**).

Ex. 3 les **Acariens** qui se nourrissent de **peaux mortes** et de **phanères** (poils, cheveux...) dans votre lit.

Ex. 4 **figure 56 : Coléoptère coprophage** (= mangeant des **déjections**, donc des **restes de repas**) [ici le Bousier] → **syntrophie** ??

Quand **une Bactérie se nourrit des déchets du métabolisme d'une autre**, on parle de **syntrophie**. Certains auteurs **étendent la définition à tout organisme vivant des déchets (métaboliques ou non) produites par un autre** (on peut alors y inclure les **organismes coprophages**).

β. L'inquilinisme, interaction où l'abri d'un organisme est utilisé par une autre espèce [pour information ?]

Inquilinisme :

Ce terme est l'un des plus mal définis qui soit, recouvrant des réalités variées selon les auteurs...

Ex. 1 **Poisson-clown** vivant dans une **Anémone de mer** qui le protège des prédateurs. Il n'y pas prélèvement de nourriture de l'hôte.

Ex. 2 Espèces vivant dans les **nids** (figure 96) ou les **fourmilères** (figure 95), dont beaucoup sont aussi **commensales** !

γ. La phorésie, interaction où une espèce en transporte une autre [pour information ?]

Phorésie :

Ex. 1 **Épipzoïchorie** (semences qui s'arrosent sur les Animaux)

Ex. 2 **Acariens** transportés par des **Insectes** (figure 97)

b. Cas des interactions réciproquement profitables aux deux partenaires : les mutualismes

Mutualismes :

α. La symbiose (au sens français), un mutualisme durable

Symbiose (sens français) :

Ex. **Lichens, Mycorhizes, nodosités racinaires**

β. La coopération interspécifique, un mutualisme transitoire

Coopération :

Ex. **Entomogamie** (= **entomophilie**, **pollinisation par les Insectes**). L'**Insecte** récupère de la **nourriture** et la **plante** peut poursuivre sa **reproduction sexuée**.

B. La coopération interspécifique, ensemble d'interactions interspécifiques brèves à bénéfiques réciproques

1. Principales fonctions possibles des coopérations

a. Rôle trophique

Ex. 1 **Pollinisation animale** (**zoogamie** : entomogamie, etc.) : fournit de la nourriture à l'Animal (ex. nectar)

Ex. 2 **Dispersion des semences par les Animaux** (**zoochorie**) : fournit de la nourriture à l'Animal (pulpe des fruits)

Ex. 3 **Fourmis** se nourrissant du **miellat**, **exsudat sucré constituant les excréments des Pucerons** qu'elles protègent.

b. Rôle de protection ou défense

Ex. 1 **Pucerons protégés** contre leurs **prédateurs** (ex. larves de Coccinelles, ou Coccinelles adultes) par les **Fourmis** qui les élèvent

Ex. 2 '**plantes**' attirant des **prédateurs de phytophages** en leur offrant **nourriture**, **abri**... → voir **phytophagie (D.1)**.

c. Rôle dans le cycle de reproduction ou développement

Ex. 1 **Zoogamie** permettant à la **plante** de **se reproduire**, malgré son caractère fixe

Ex. 2 **Zoochorie** permettant à la **plante** de **se disperser**, malgré son caractère fixe

2. Caractère spécifique ou non spécifique de la coopération

Ex. avec la pollinisation entomophile

On distingue classiquement **trois types de pollinisateurs** en fonction du **degré de spécificité** de la pollinisation :

- Les **pollinisateurs polylectiques** qui **butinent des fleurs variées** (ex. Abeille mellifère, nombreuses Abeilles sauvages)
- Les **pollinisateurs oligolectiques** qui **butinent un nombre restreint de fleurs (une famille, souvent)** (ex. cas de nombreuses Abeilles sauvages)
- Les **pollinisateurs monolectiques** **ne butinent qu'une espèce (ou un genre) de fleurs** (ex. cas de nombreuses Abeilles sauvages)

(!) **Dans ce dernier cas, la plante est elle-même dépendante de la présence de son pollinisateur spécifique.**

3. Caractère obligatoire ou facultatif de la coopération

Ex. de la pollinisation entomophile

- **Certains Insectes pollinisateurs** (mais pas tous !) peuvent **consommer autre chose** que du nectar ou du pollen : la **pollinisation** est donc **facultative** pour eux ;
- Les '**plantes**' **entomophiles** sont en revanche **dépendantes des Insectes** dans leur **pollinisation** : l'interaction est pour elles **obligatoire**.

C. La symbiose et le parasitisme, des interactions interspécifiques durables à bénéfiques respectivement réciproques et unilatéraux

NB interactions durables.

Au passage, au sens anglo-saxon (non retenu ici), le mot « **symbiose** » est synonyme de *toute interaction durable*.

1. Panorama introductif des relations symbiotiques et parasitaires : des relations qui affectent tous les types d'organismes

a. Cas des relations symbiotiques

- Entre **micro-organismes** (entre Bactéries, entre une Bactérie et un 'protozoaire', entre 'algues unicellulaires...') ;
- Entre des **micro-organismes** et des '**plantes**' (cas des **nodosités** et des **Lichens**) ou des 'champignons' ;
- Entre des **micro-organismes** et des **Animaux** (cas des **bactéries symbiotiques du tube digestif** → pensez à celles de la **Vache !**) ;
- Entre **plantes**, entre '**champignons**', ou entre '**plantes**' et '**champignons**' (cas des **mycorhizes**) ;
- Entre **Animaux** (souvent classées dans la **coopération**, car les deux organismes sont rarement imbriqués) ;
- Et même entre **Animaux** et **organismes 'végétaux'**.

C'est très rare mais il existe par exemple, sur la côte atlantique, un **ver marin qui réalise une symbiose avec des micro-algues** (photosymbiose).

b. Cas des relations parasitaires

- Entre **Animaux** : exemple de la **Petite Douve du foie** (qui touche les Moutons potentiellement **tout Mammifère brouteur** dont les **Vaches**) (figure 101 + TP 4.1)

Les cycles de vie des organismes parasitaires peuvent s'effectuer dans un seul hôte (cycles **monoxènes = homoxènes**) ou plusieurs hôtes successifs (cycles **hétéroxènes** : cycles **dixènes, trixènes, voire tétraxènes**). Dans ce second cas, des formes libres (souvent résistantes) permettent de passer d'un hôte à l'autre.

- Entre **végétaux** : exemples de la **Cuscute** (figure 101 + TP 4.1) (encadré)

Les **Angiospermes parasites** (figure 101 + TP 4.1 : figures 36-37) peuvent être divisées en :

- **Hémiparasites** (88 % des cas) : **plantes parasites capables de photosynthèse**. Parmi elles, certains sont des **parasites obligatoires** (elles ne peuvent survivre sans parasiter un hôte) alors que d'autres sont des **parasites facultatifs** (elles peuvent vivre avec ou sans parasitisme).
- **Holoparasites** (12 % des cas) : **plantes parasites incapables de photosynthèse**. Leur parasitisme est donc nécessairement **obligatoire**.

Selon la **localisation du branchement** des **plantes parasites**, on peut distinguer les **épiphytes** (ancrées sur la tige de l'hôte) et les **épirhizes** (ancrées sur le système racinaire de l'hôte). Les **Angiospermes endoparasites** sont très rares (seules les fleurs sont externes à l'hôte).

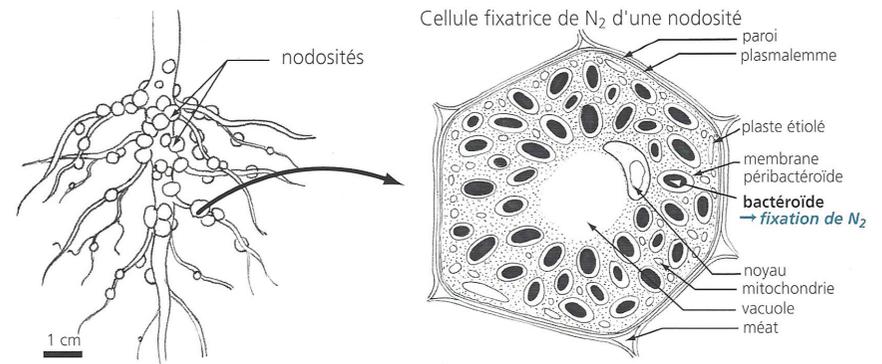
- Entre **Animaux et végétaux** : exemples des **Insectes galligènes** (qui produisent des galles, souvent par leurs **larves**)
- Entre '**champignons**' et d'autres **organismes** : cas des '**champignons**' parasites (voir des **exemples dans le TP 4.2**.)

2. Symbiose et parasitisme, des interactions durables qui affectent les fonctions de relation des protagonistes

Fonctions de relation :

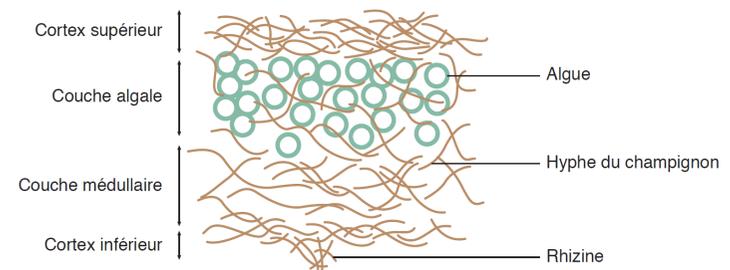
a. Une fixation et/ou une inclusion fréquente d'un protagoniste sur/dans l'autre (vie fixée)

a. Cas de la symbiose : inclusion fréquente d'un protagoniste dans l'autre

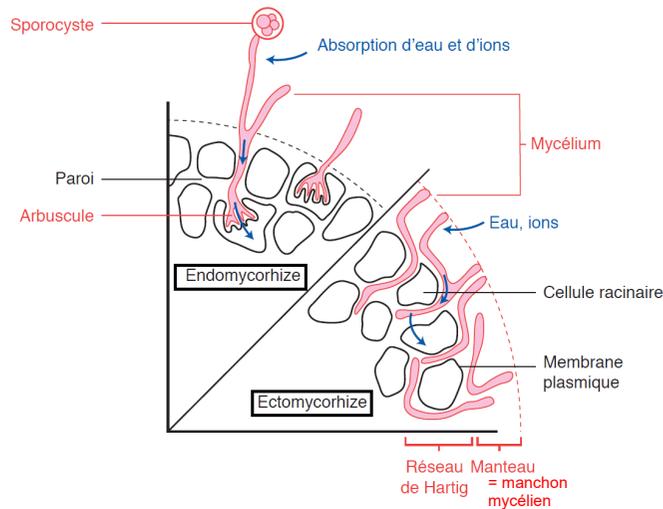


nodosités à *Rhizobium* de racines de Fabacées et détail d'une cellule infectée, comportant des bactéroides fixateurs de N_2

▲ **FIGURE 102. Nodosités racinaires.** D'après MEYER *et al.* (2008).



▲ **FIGURE 103. Organisation histologique d'un Lichen héteromère.** D'après SEGARRA *et al.* (2015).



▲ FIGURE 104. **Organisation des mycorhizes.** D'après MEYER *et al.* (2008).

- **Nodosités** : inclusion des *Rhizobium* dans les **cellules racinaires** de **Fabacées** (formation de **symbiosomes**)
- **Mycorhizes** : **pénétration des hyphes** qui sont **soit au niveau du cadre pariétal (réseau de HARTIG)** [cas des **ectomycorhizes**], **soit « dans » les cellules tout en conservant les deux membranes plasmiques (arbuscules, vésicules...)** [cas des **endomycorhizes**]
- **Lichens*** : 'algues' (Cyanobactéries ou 'algues' eucaryotes) **enchâssées dans les hyphes mycéliens**, éventuellement **concentrées dans une couche algale**. (!) Certains auteurs considèrent que les deux protagonistes sont **seulement juxtaposés**.
- **Bactéries/Archées symbiotiques (et autres micro-organismes) du rumin** (chapitre 7 sur la Vache) : **intégration dans l'organisme animal**.

β. Cas du parasitisme : une inclusion complète du parasite dans son hôte (endoparasites) ou l'ancrage sur l'hôte par une structure fixatrice ou nourricière (ectoparasites)

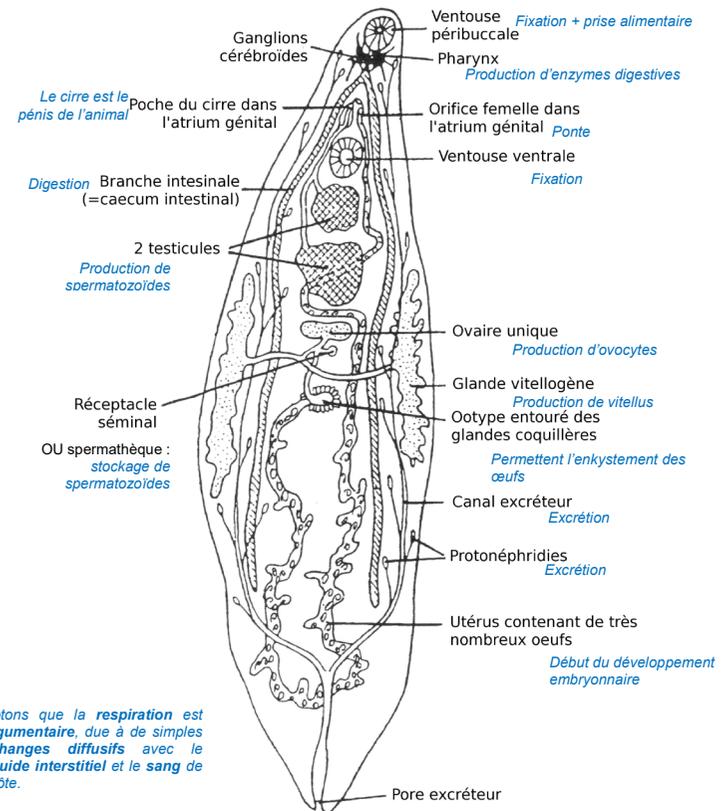
• **Cas des endoparasites : inclusion**

- **Petite Douve (exemple)** : fréquemment dans un organisme, quel que soit le stade ou l'hôte (miracidium, sporocyste, cercaires, métacercaires, adulte...).
- NB** Noter la présence de **structures de fixation** (exemple, chez la Douve, des **ventouses**) (cf. TP 4.1 et figure 105).

• **Cas des ectoparasites : structure de fixation assurant l'ancrage du parasite sur l'hôte et sa nutrition**

- Exemple de la **Tique** et de son **rostre** permettant de piquer les **Mammifères**
- Exemple des **suçoirs** (= **haustoria**, sing. **haustorium**) présents chez les 'plantes' et 'champignons' parasites (cf. TP 4.1 pour la **Cuscuta**)

b. Des interactions plus ou moins spécifiques impliquant souvent les fonctions de protection ou de défense



Notons que la **respiration est tégumentaire**, due à de simples **échanges diffusifs** avec le **liquide interstitiel** et le **sang de l'hôte**.

▲ FIGURE 105. **Adulte de Dicrocoelium dentriticum.** Taille : 6-10 mm par 2-3 mm. Document F. SAURETY (LEGTA Clermont-Ferrand Marmilhat).

a. Une spécificité plus ou moins haute des interactions durables

- Soit **modérément** spécifiques, impliquant des **organismes de groupes taxonomiques donnés**.

Ex. [S] certains 'champignons' lichéniques pouvant s'associer avec **plusieurs espèces 'd'algues'**

Ex. [P] Petite Douve devant passer par un **Gastéropode**, une **Fourmi**, un **Mammifère** dans la réalisation d'un cycle complet

- Soit **strictement** spécifiques : impliquant **toujours les mêmes espèces**.

Ex. [S] certains 'champignons' lichéniques ne pouvant s'associer qu'avec **une seule espèce 'd'algues'**

Ex. [S] **Beaucoup d'espèces de Bactéries** semblent être **spécifiques** de la **Fabacée** avec laquelle elles s'associent dans le cadre de **nodosités**

Ex. [P] Petite Douve devant passer par un **Gastéropode**, une **Fourmi**, un **Mammifère** dans la réalisation d'un cycle complet

β. Une protection souvent mutuelle entre partenaires de la symbiose

- **Nodosités** : Bactéries protégées dans les **cellules racinaires**, **leghémoglobine** permettant d'éviter la **dénaturation** de la **nitrogénase**
- **Mycorhizes** : protection des **racines** par le **manchon mycélien**, protection du **champignon** par les **composés anti-prédateurs** d'origine végétale (**tanins...**)
- **Lichens** : **production conjointe** (par l'association des deux organismes) de **composés lichéniques** réduisant la prédation
- **Micro-organismes du rumen de Vache** : **protection** dans l'organisme animal.

γ. Une lutte entre hôte et parasite supposant la mise en place de protections contre l'autre protagoniste

c. Une possibilité de vie libre au moins transitoire, quoique l'interaction soit souvent obligatoire pour l'un des protagonistes (ou les deux)

α. Cas de la symbiose : des situations variées

- **Nodosités** : **Fabacées** vivent **libres**, **Bactéries** vivent **libres** (elles sont alors **flagellées**)...
(!) Symbiose **facultative**
(!) Symbiose **suscitée par les plantes** en cas de pénurie d'azote minéral.
- **Mycorhizes** : plante et champignons peuvent **parfois vivre libres**, parfois non...
Plante âgée (arbre...) nécessite (presque) toujours des **mycorhizes**.
(!) Symbiose **facultative** ou **obligatoire** (obligatoire pour les **végétaux de taille importante**)
- **Lichens** : selon les cas, les **protagonistes** peuvent vivre **libres** ou **toujours associés** ; la symbiose peut être **facultative** ou **obligatoire** pour l'un ou l'autre, ou les deux protagonistes.
- **Micro-organismes du rumen** : ils **vivent toujours là** et la **symbiose** est **obligatoire** pour **eux** comme pour la **Vache**.

β. Cas du parasitisme : une obligation dans presque tous les cas pour le parasite, malgré des stades de vie libre

3. Symbiose et parasitisme, des interactions durables qui impliquent des adaptations morpho-anatomiques favorisant les échanges trophiques

a. Une structuration morpho-anatomique des protagonistes à localisation particulière et présentant des surfaces d'échanges

α. Des modifications morpho-anatomiques dues à l'interaction

Symbiose

- **Nodosité** = localisation **racinaire**, structure qui n'existe que par l'interaction (**excroissance racinaire**, organisation particulière des **tissus conducteurs** : **cordons vasculaires...**) ; **perte du flagelle** chez la Bactérie...
- **Mycorhize** = localisation **racinaire**, structure particulière n'existant **que lors de l'interaction**.

▲ FIGURE 107. **Les échanges trophiques dans trois associations.**
D'après SEGARRA *et al.* (2015)

- Un **Lichen** dans son ensemble résulte de l'**interaction entre les deux protagonistes** qui, s'ils existent de manière libre, n'ont **pas la même organisation**.
- *Par contre, dans le cas des micro-organismes du rumen, il n'y a pas de modifications liées à l'interaction.*

Parasitisme

- **Petite Douve** : altération de l'hôte et de ses **tissus** par la présence du parasite, quel que soit le stade.
À l'échelle de l'organisme : **symptômes** physiologiques.
- **'Plantes' ou 'champignons' parasites** : altération locale des **tissus de l'hôte** au niveau de l'**haustorium**.

β. Localisation et présence de surfaces d'échanges entre les protagonistes de l'interaction

Symbiose

- **Nodosités** : surface d'échange = **membrane péribactéroïde**
- **Mycorhizes** : surface d'échange = **hyphes** dans **paroi** ou au niveau d'**arbuscules** > **proximité** entre membranes des protagonistes
- **Lichens** : **zone de contact** entre les **hyphes** et les **cellules algales**

Parasitisme

- **Petite Douve** : localisation de l'adulte dans le **foie**, présence d'une **ventouse buccale**
NB Autres **stades** : **localisation** permettant la **nutrition** avec souvent une **ébauche de ventouse buccale**.
- **Virus** : *cas particulier, pénétration intracellulaire.*

b. Des échanges trophiques bi- ou unilatéraux entre protagonistes

α. Cas de la symbiose : des échanges réciproques

▼ TABLEAU XV. **Apports trophiques dans le cadre de la symbiose entre la Vache et les micro-organismes du rumen.** D'après PEYCRU *et al.* (2014)

APPORTS DES PARTENAIRES DE LA SYMBIOSE DE LA PANSE DES RUMINANTS.

Apports du ruminant	Échanges	Apports des micro-organismes
Milieu constant, anoxique et réducteur T = 40 °C pH = 6,5	----->	
Brassage du contenu de la panse	-----> ←-----	Microbrassage
Macromolécules glucidiques (amidon, cellulose, hémicellulose, pectine)	----->	
	AGV ←-----	Digestion de la cellulose, hémicellulose, pectine par les enzymes des micro-organismes ; formation d'acides gras volatils (AGV) par fermentations
Molécules azotées (protéines végétales, urée)	----->	Digestion libérant NH ₃ ; synthèse de protéines des micro-organismes et de vitamines
	NH ₃ , vitamines, protéines ←-----	
Eau	----->	

En noir : apports du ruminant aux micro-organismes.

En bleu : apports des micro-organismes aux ruminants. Lorsqu'il n'y a pas de molécule(s) indiquée(s) en face d'une flèche c'est que l'action s'accompagne d'une transformation de matière.

▲ FIGURE 108. **Un exemple de syntrophie entre micro-organismes dans le rumen de la Vache [pour information ?].** D'après PEYCRU *et al.* (2014)

- **Nodosités** (figure 107) : **Fabacées** fournissent des **photoassimilats**, **Bactéries** fournissent des **AA** ou du **NH₄⁺**... [Fonctionnement de la nodosité à expliciter, origine de l'azote minéral = fixation de **diazote** par la **nitrogénase** bactérienne]
- **Mycorhizes/Lichen** (figure 107) : **'plante'/algue'** fournit des **photoassimilats**, **champignon** augmente l'**absorption** de la solution hydrominérale du sol (parfois fournit des AA)
- **Rumen de la Vache** (tableau XV) : symbiose entre **Vache** (récupère des **nutriments digérés** : exemple des **acides gras volatils** + digestion ultérieure des **micro-organismes eux-mêmes**) et **'bactéries'** (récupèrent des **aliments végétaux mastiqués**, « ruminés »... où elles **prélèvent leur propre matière organique** [revoir le **chapitre 7 sur la Vache**] + **symbioses** entre **micro-organismes**, voire **syntrophie** (**consommation par un micro-organisme des déchets métaboliques de l'autre**) (figure 108).

β. Cas du parasitisme : une consommation de l'hôte ou de ses ressources par le parasite

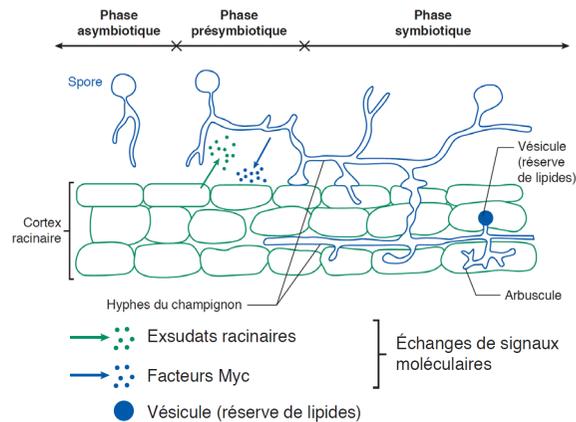
- **Petite Douve** : consommation de **sang, bile, tissus**...
- **'plantes' / 'champignons' parasites** de **'plantes' chlorophylliennes** : **prélèvement** de **sève élaborée** riche en **photoassimilats** (**saccharose**) et éventuellement **acides aminés** ; ou **prélèvement direct** au niveau des **cellules** (cas de la figure 109).

4. Symbiose et parasitisme, des interactions souvent spécifiques et qui s'inscrivent dans le temps

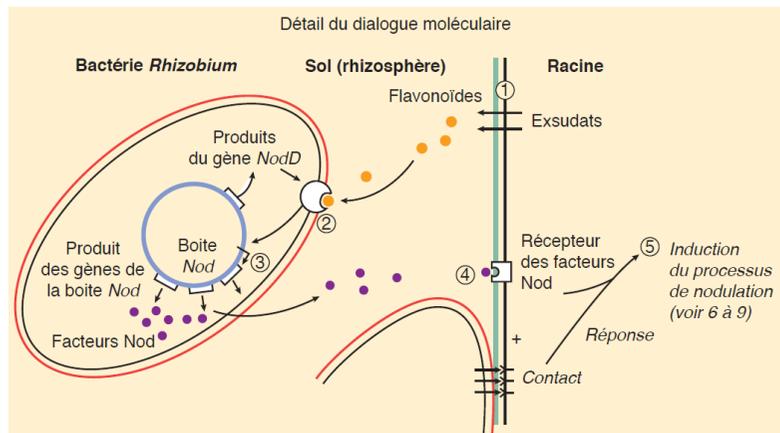
a. Des interactions dont la spécificité est plus ou moins élevée

b. Des interactions supposant le rapprochement des partenaires

α. Cas de la symbiose : un dialogue moléculaire possible entre protagonistes avant la mise en place de la symbiose



▲ FIGURE 110. Mise en place d'une mycorhize (mycorhization). D'après SEGARRA *et al.* (2015).

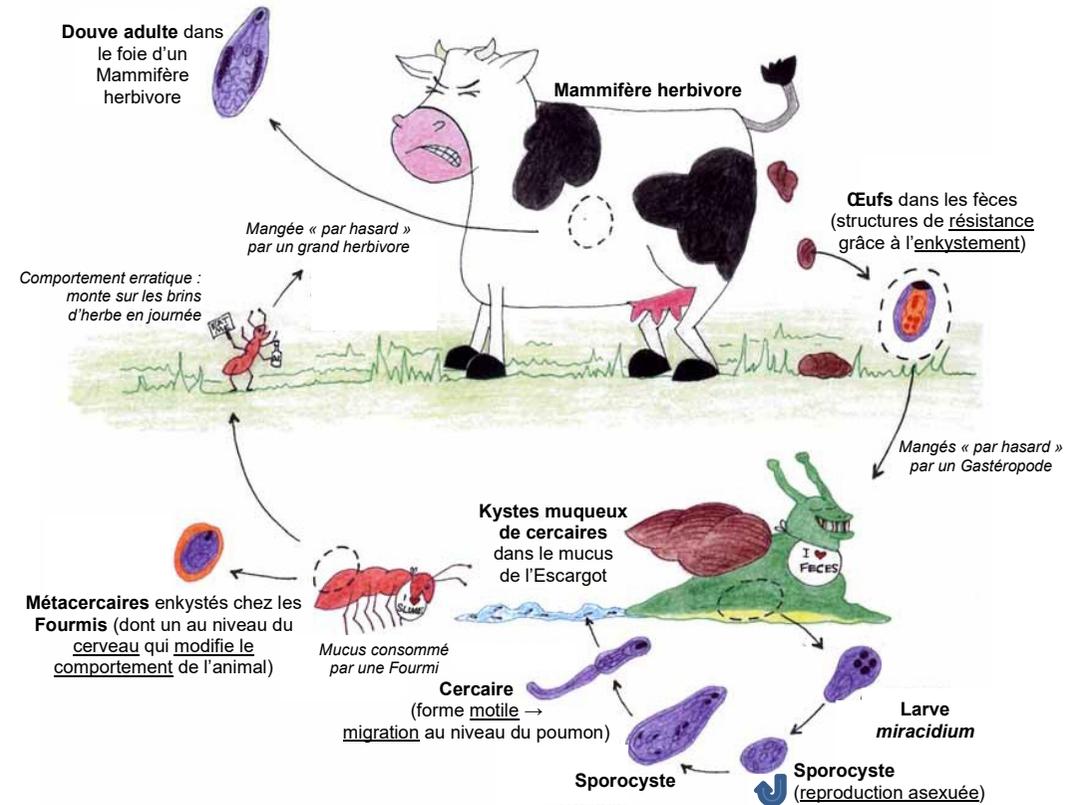


1. Les racines émettent des composés flavonoïdes qui attirent les *Rhizobium* libres dans le sol (nutrition saprophytique, pas de fixation de diazote).
2. Les bactéries expriment à leur surface des récepteurs aux flavonoïdes (spécificité entre les genres de *Rhizobium* et certaines espèces de Fabacées)
3. Le signal reçu induit l'expression de gènes de la famille *nod* produisant des facteurs NOD libérés dans le sol.
4. Les racines expriment à leur surface des récepteurs aux facteurs NOD.
5. Leur fixation ainsi que l'adhérence des cellules bactériennes aux poils absorbants de la racine induit le processus de nodulation.

▲ FIGURE 111. Dialogue moléculaire en amont de la mise en place d'une mycorhize (nodulation). D'après SEGARRA *et al.* (2015).

- **Nodosités** (figure 111) : production de **composés attractifs** (ex. flavonoïdes) par les cellules racinaires et de **facteurs Nod** par les **Bactéries**.
(!) Le **rapprochement** des protagonistes se fait grâce au **flagelle** des **Bactéries**.
- **Mycorhizes** (figure 110) : production d'**exsudats** de nature variée par les **cellules racinaires** et de **facteurs Myc** par les '**champignons**'.
(!) Le **rapprochement** des protagonistes se fait par **croissance orientée** des **hyphes mycéliennes**.

β. Cas du parasitisme : des parasites présentent des formes libres de résistance et des stratégies favorisant la mise en contact des protagonistes



▲ FIGURE 112. Vision humoristique du cycle parasitaire de la Petite Douve du foie *Dicrocoelium dendriticum*.

<https://wasmuthlab.wordpress.com/teaching/discovery-days/dicrocoelium-dendriticum/>
(consultation avril 2018), modifié / traduit

c. Une mise en place progressive de l'interaction

α. Cas de la symbiose : une structure chimérique édifiée progressivement

- **Mycorhizes** : mycorhization progressive par croissance des hyphes mycéliennes vers puis dans la racine, avec mise en place de différenciations éventuelles (ex. arbuscules, vésicules) → revoir la figure 110.
- **Nodosités** : nodulation par étapes (revoir le TP 4.1. ou voir la figure 113).
- **Lichens** : son édification est mal comprise car un Lichen peut mettre des années à s'édifier et ne croître que d'1 mm par an !
(!) Les Lichens peuvent du reste se reproduire (revoir le TP 4.2.).

β. Cas du parasitisme : l'intégration dans un cycle parasitaire et un investissement notoire dans la reproduction (stratégie r)

d. Un impact sur la dynamique des populations : l'exemple du parasitisme

5. En guise de bilan : panorama des adaptations à la symbiose et au parasitisme au travers de deux exemples

Repris des tableaux bilans du TP 4.1 (Relations trophiques)

a. Cas de la symbiose (exemple des nodosités) : des adaptations à toutes les échelles

▼ TABLEAU XVI. Les adaptations des protagonistes de la nodosité racinaire aux différentes échelles.

Échelle		Fabacée	Bactérie
Macroscopique	Adaptations morpho-anatomiques	Formation d'une proéminence racinaire = nodosité	
	Adaptations histologiques	- Formation d'un méristème nodulaire permettant la mise en place du nodule (dédifférenciation de péricycle) - Mise en place de sclérenchyme limitant les échanges gazeux et protégeant la structure	- Flagelle permettant le déplacement jusqu'à la racine - Puis perte du flagelle - Formation de bactéroïdes
Cellulaire		- Formation d'un cordon d'infection	
Moléculaire		- Facteurs d'attractions : flavonoïdes - Protéines contrôlant la nodulation : nodulines - Protection de la nitrogénase : leghémoglobine	- Facteurs Nod : dialogue moléculaire initiant la nodulation - Nitrogénase : enzyme permettant la diazotrophie

b. Cas de la symbiose (exemple de la Petite Douve) : des adaptations de fonctions variées

▼ TABLEAU XVII. Quelques adaptations de la Petite Douve à la vie parasitaire.

Fonctions de relation	Tégument résistant aux défenses de l'hôte, avec mucus protecteur
	Structures de fixation à l'hôte (chez l'adulte : ventouses >> adaptation à la vie fixée)
Fonctions de nutrition	Fonctions sensorielles réduites (<i>l'animal vit dans un monde sans lumière et presque aucun son</i>)
	Ventouse buccale, système digestif permettant la digestion de bile et de sang chez l'adulte
	Réserves dans les œufs (apportées par les glandes vitellogènes) <i>La Petite Douve est un cas particulier : son appareil digestif est peu développé mais, généralement, le système digestif des parasites est hypertrophié.</i>
Fonctions de reproduction	Liées au cycle de vie
	Existence de formes libres : permettent l' infection et le passage entre les hôtes
	Formes libres = formes de résistance (notamment les œufs : enkystement)
	Utilisation et détournement des fonctions des hôtes intermédiaires
	Reproduction asexuée (sporocystes)
Chez l'adulte	Hermaphrodisme : contrebalance la faible probabilité de rencontrer un partenaire sexuel <i>(!) Pas d'autofécondation</i>
	Système reproducteur hypertrophié : - forte production de gamètes (l'animal est « prêt » en cas de rencontre) - forte production d' œufs >> stratégie r

- La plupart des **parasites** (notamment les **endoparasites**) présentent notamment :
 - Une fonction de **reproduction exacerbée**, avec un **hermaphrodisme fréquent** et une **reproduction asexuée possible**, en lien avec la **stratégie r** et la **faible probabilité de rencontre des partenaires sexuels** ;
 - Des **fonctions de perception atrophiée** (pas grand-chose à voir ou à détecter dans le noir au sein d'un organisme...);
 - Une **fonction de nutrition hypertrophiée**, même si l'exemple de la Petite Douve n'est pas très parlant à ce niveau ;
 - Des **adaptations à la vie fixée**, mais aussi des **phases de mobilité active** ou **passive** grâce à des **formes libres**, des **formes de résistance**...

D. Les relations mangeur-mangé ou prédation au sens large, des interactions interspécifiques où un organisme en consomme un autre

1. Rappel : la diversité des relations d'exploitation (phytophagie, prédation s. str., microprédation, parasitisme, hyperparasitisme ...)

2. L'herbivorie (au sens large) ou phytophagie : la consommation d'un végétal par un animal

a. Les modalités de la phytophagie

α. Une interaction de durée variable (souvent prolongée) à laquelle survit généralement le végétal

β. Une interaction recouvrant divers régimes alimentaires : un bref panorama

Phyllophages = foliovores →

Herbivores s. str. →

Frugivores = carpophages →

Granivores (cléthrophages) →

Pollinivores →

Nectarivores →

Xylophages (lignivores) →

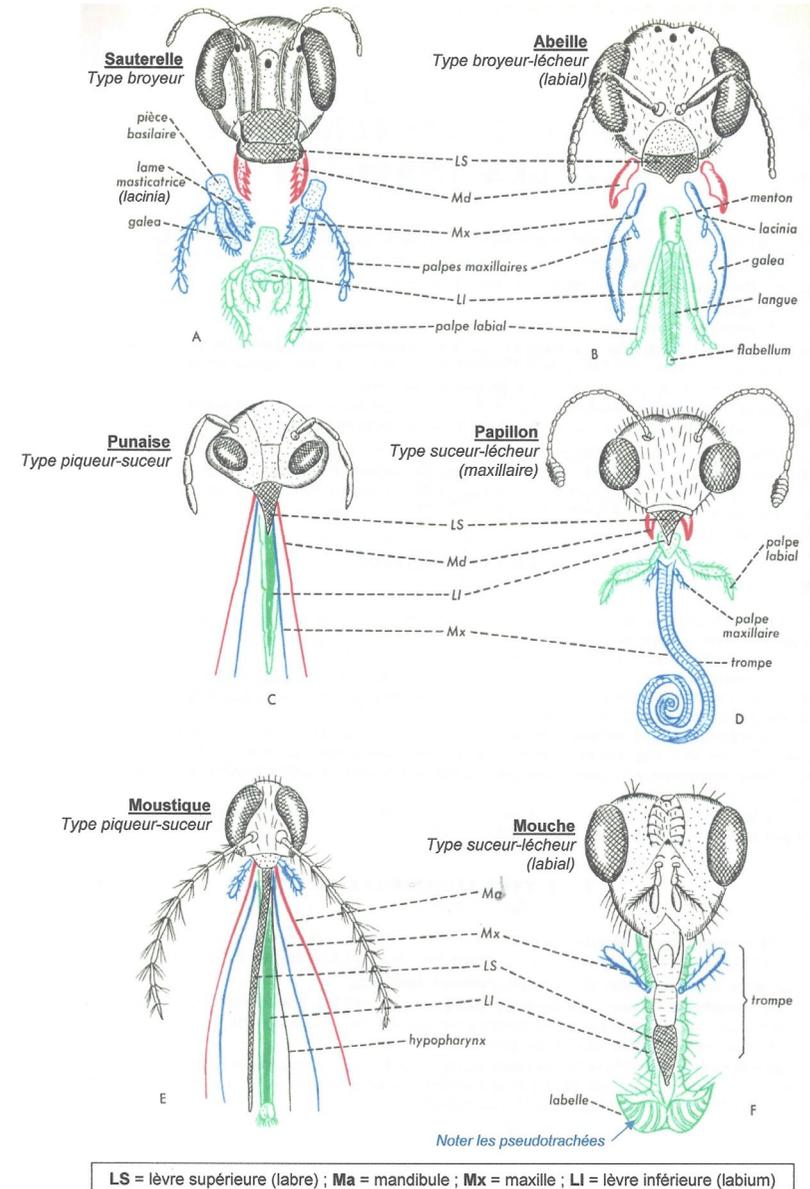
Rhizophages →

Consommateurs de sève élaborée

γ. Une interaction supposant des structures morpho-anatomiques permettant la prise alimentaire : exemples chez les Insectes et la Vache

i. Les pièces buccales des Insectes, des structures autorisant des régimes alimentaires phytophages variés

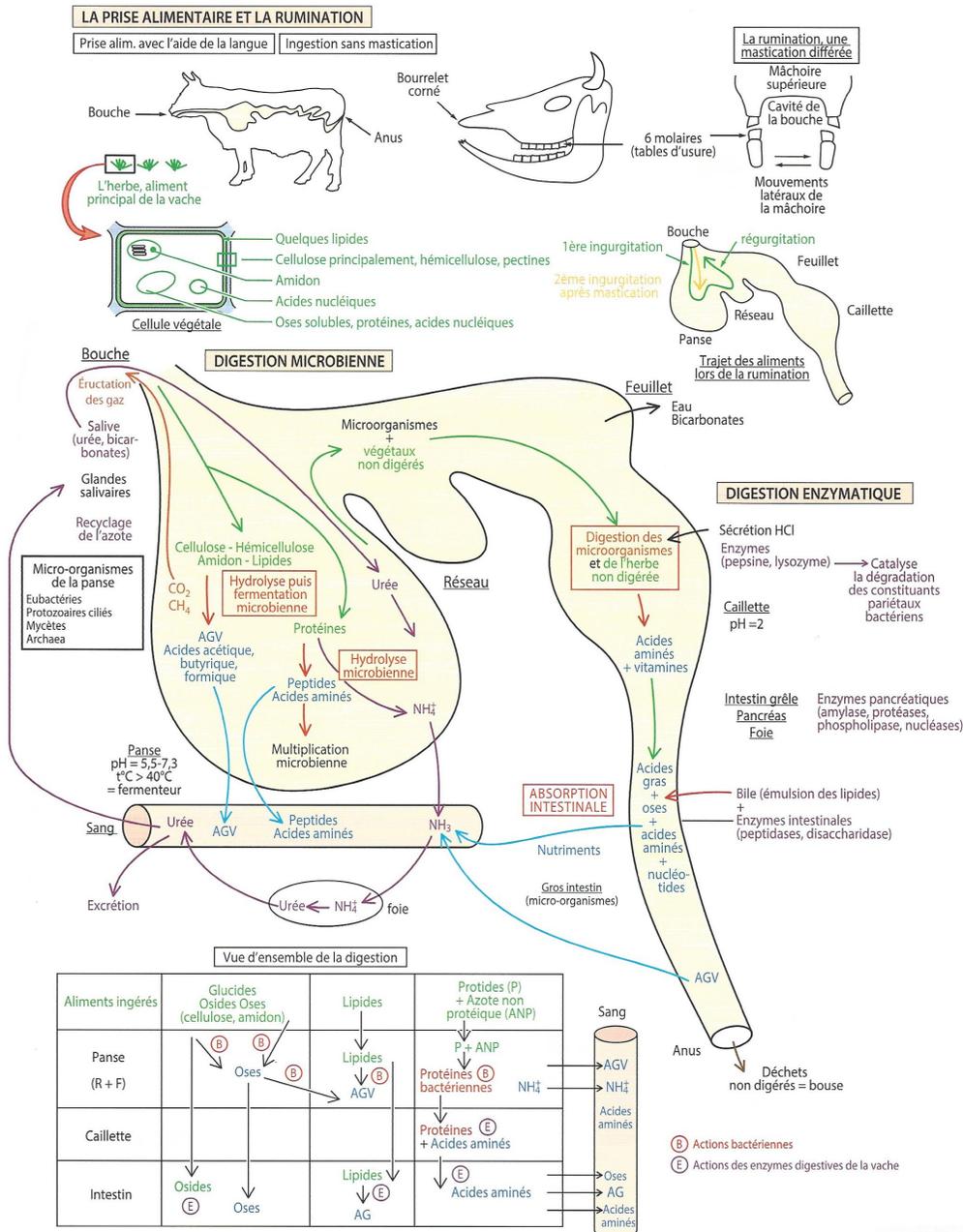
- **Type broyeur** (Criquets, Coléoptères variés, nombreuses larves d'Insectes...) : permettent des régimes alimentaires variés, y compris phytophages : granivorie [ex. Charançons], phyllophagie [ex. chenilles], xylophagie [ex. Termites]...
- **Type piqueur-suceur** pouvant permettre la consommation de sève élaborée [ex. Pucerons, Punaises, Tipules...];
- **Type lécheur-suceur** des Papillons permettant la nectarivorie ;
- **Type lécheur-suceur** des Mouches pouvant permettre la frugivorie (liquides suintants) ;
- **Type broyeur-lécheur** des Hyménoptères permettant la nectarivorie [ex. nombreuses espèces], la frugivorie (liquides suintants) [ex. Guêpes]



▲ FIGURE 114. Quelques exemples de pièces buccales d'Insectes (revoir TP 4.1.).

Document transmis par G. CODOU-DAVID (LEGTA Olivier de Serres, Quetigny, 21), source inconnue.

(!) Les Moustiques ne sont pas des phytophages mais les Tipules (« Cousins », Diptères s'alimentant de sève) ont des pièces buccales semblables. Idem pour les Sauterelles (carnassières) dont les pièces buccales sont communes aux Criquets, Coléoptères, larves d'ordres variées...



▲ FIGURE 115. Synthèse sur la prise alimentaire et la digestion chez la Vache (revoir le chapitre 7). D'après SAINTPIERRE et al. (2017)

ii. L'appareil masticateur de la Vache, une structure assurant la prise alimentaire d'herbes et la rumination

Rappel de la formule dentaire de la Vache :

Sélénodonte =

δ. Une interaction impliquant fréquemment des symbioses avec des micro-organismes digérant la cellulose (voire la lignine) : exemple de la Vache

▲ FIGURE 116. Une chaîne trophique au sein même des Ruminants. Original.

b. Les réponses végétales à la phytophagie

α. La phytophagie, un stress pour les végétaux qui ne peuvent pas fuir (en lien avec la vie fixée)

β. Des stratégies de défense : la protection et/ou la lutte contre les phytophages

i. Deux grands types de stratégies de défense qui cohabitent souvent : défenses directes (lutte contre les phytophages) et indirectes (attraction des prédateurs de phytophages)

Défenses directes :

Protections anatomiques

Cuticule épaisse, épines, poils (limitant la progression des Insectes)... (figure 117)

Protections chimiques

Molécules toxiques (tanins, cyanure...).

Défenses indirectes :

Fourniture d'une protection ou d'un habitat

ex. tiges creuses abritant des prédateurs, feuilles abritant des prédateurs...

Fourniture de nourriture

ex. exsudation de nectar nourrissant les prédateurs (figure 118)

Attraction chimique

Production de signaux attracteurs de prédateurs

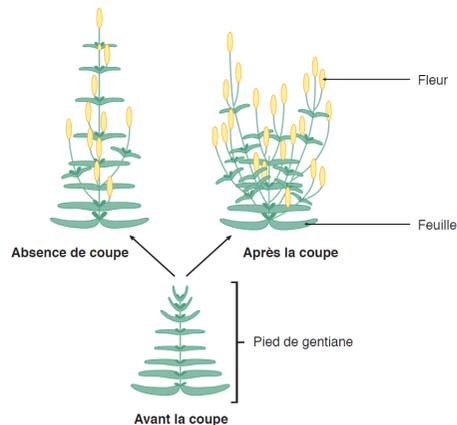
- ii. Des organismes dont les défenses peuvent être constitutives (toujours exprimées) ou induites (exprimées suites à la phytophagie)

γ. Des stratégies de tolérance : une augmentation de la croissance et/ou de la fitness des plantes en présence de phytophages

Tolérance à la phytophagie :

Cas 1 : augmentation de la croissance

On constate ainsi que de nombreuses 'plantes' soumises à l'action de phytophages produisent plus de feuilles, de fleurs, de fruits... qu'en l'absence de phytophages (figure 122).



Notez que les jardiniers utilisent cette propriété des 'plantes' pour stimuler leur croissance !

▲ FIGURE 122. Tolérance : repousse massive après consommation.
D'après SEGARRA *et al.* (2015).

Cas 2 : augmentation de la valeur adaptative (fitness)

- à cause de la modification du développement (cas 1) : si la 'plante' produit plus de fruits, sa fécondité et donc sa fitness augmentent logiquement !
- par sélection naturelle (sur plusieurs générations) : les 'plants' les plus résistants à la phytophagie sont sélectionnés (ceux qui survivent le mieux/le plus longtemps) alors que les plus sensibles sont contre-sélectionnés.

δ. Des stratégies d'évitement : un échappement aux phytophages

Évitement de la phytophagie :

- **Morpho-anatomique** : sélection d'un port ou d'une structure réduisant les chances de la plante d'être consommée.

Ex. dans la prairie

Les plantes en rosette (comme les Pâquerettes) sont moins consommées par les grands herbivores que les Poacées plus grandes.

- **Temporel** : croissance ou floraison en dehors des périodes de présence des herbivores.

Ex. dans la prairie

Les plantes à floraison précoce (ex. Crocus) peuvent échapper au pâturage des Bovins.

c. Les conséquences écologiques de la phytophagie

- α. Une entrée de la matière et de l'énergie dans les consommateurs primaires
- β. Une possibilité d'action sur les effectifs végétaux

3. La prédation (au sens strict) : la consommation d'un animal par un autre (consommateur secondaire)

a. Définition et exemples

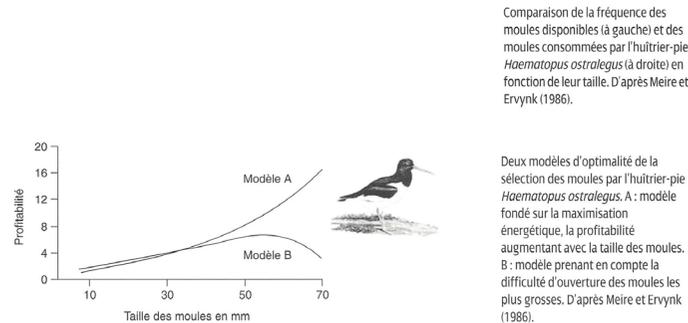
b. Des adaptations des protagonistes

- α. Les proies : plutôt des stratégies r, aux comportements d'évitement (ou sociaux / grégaires), avec une perception des prédateurs
- β. Les prédateurs : plutôt des stratégies K, aux comportements de recherche, avec une perception des proies, et des adaptations morpho-anatomiques et/ou physiologiques à la prédation

c. Le « choix » des proies par les prédateurs

- α. Le choix des organismes les moins résistants : individus chétifs, malades, jeunes ou âgés...
- β. Une tendance à la fourniture d'un effort minimal de prédation pour un rendement énergétique maximal : l'optimal foraging

Théorie de l'optimal foraging (théorie de recherche optimale de nourriture) :



▲ FIGURE 124. Optimal foraging chez l'Huître-Pie (espèce littorale d'Oiseau consommant notamment des moules).
D'après CAMPAN & SCAPINI (2002).

Exemple de l'Huître-Pie

On constate que l'Huître-Pie consomme **préférentiellement** des **Moules de taille intermédiaire** sans lien avec leur disponibilité réelle, ce qui implique une **sélection** de sa part. La raison est que les plus **petites Moules** le **nourrissent peu** rapport à l'**énergie dépensée** dans leur ouverture, alors que les **plus grosses** sont trop **difficiles à ouvrir** et **consommement beaucoup d'énergie** : le **compromis** se trouve donc dans les **Moules de taille intermédiaire**, **préférentiellement consommées**.

γ. Une réponse des prédateurs à la diversité et l'abondance des proies

d. Un impact mutuel des proies et prédateurs sur leurs dynamiques respectives de population (modèle de LOTKA-VOLTERRA)

Rappels du chapitre 19 (Populations)

α. Aspects mathématiques et graphiques du modèle

β. Une difficile applicabilité dans les conditions expérimentales (cas des expériences de GAUSE, 1934) ou naturelles

γ. Des difficultés qui s'expliquent par la faible complexité du modèle et ses limites

E. La compétition interspécifique : une lutte entre deux espèces dans l'accès à une même ressource

1. Deux grands types de compétition

▲ FIGURE 130. Typologie de la compétition interspécifique : exploitation vs. interférence.
D'après SEGARRA *et al.* (2015).

a. La compétition indirecte dans le cadre de l'exploitation de ressources communes : la compétition par exploitation

Compétition par exploitation :

Ex. **compétition pour la lumière** entre les **espèces de la strate herbacée** : les plus hautes recevront plus de lumière.

▲ FIGURE 125. Évolution du régime alimentaire des Notonectes (part des Éphémères dans l'alimentation) en fonction de l'abondance d'une ressource (part des Éphémères dans les proies proposées). D'après SEGARRA *et al.* (2015).

b. La compétition directe par inhibition de la croissance entre protagonistes : la compétition par interférence

Compétition par interférence :

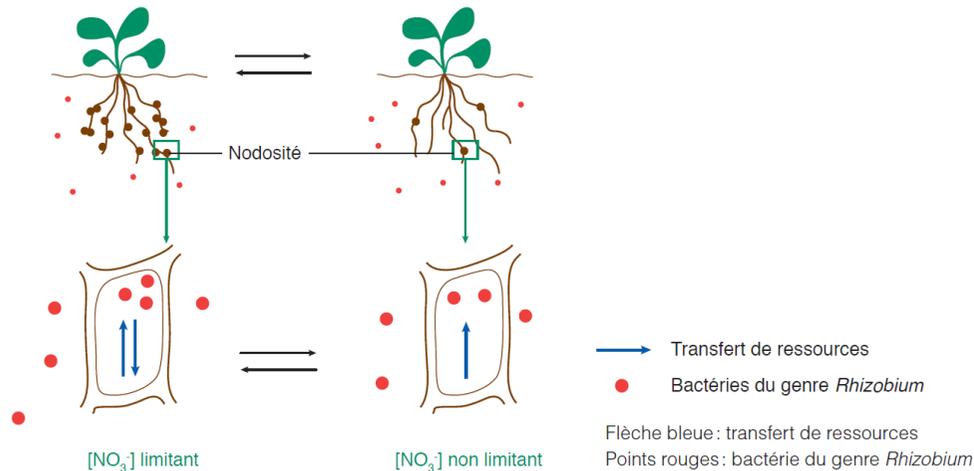
Ex. télétoxicité.

2. Une conséquence fréquente : l'exclusion compétitive, restriction de la répartition (ou de l'abondance) d'une espèce par l'autre

→ revoir la partie de ce cours consacrée à la niche écologique (partie I)

F. Une classification des relations interspécifiques qui ne peut gommer des cas intermédiaires : la plasticité des relations interspécifiques

Mutualisme – symbiose parasitisme



▲ FIGURE 131. Transition symbiose-parasitisme dans le cas d'une nodosité.
D'après SEGARRA *et al.* (2015).

G. Les conséquences écologiques et évolutives des relations interspécifiques

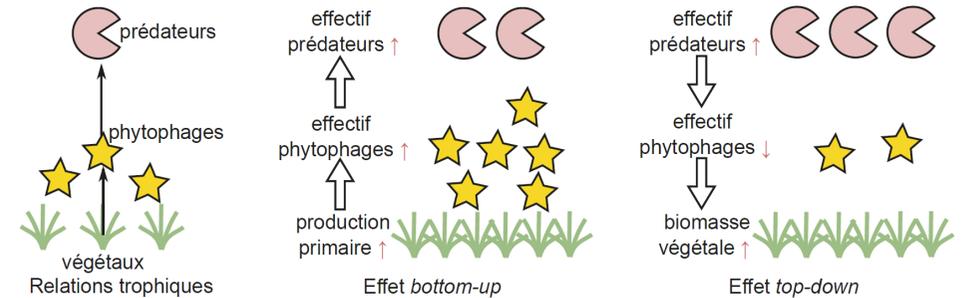
1. Les relations interspécifiques, des interactions aux conséquences sur la structuration et le fonctionnement de l'écosystème

a. Une dimension trophique fréquente qui assure la circulation de matière et d'énergie dans l'écosystème

b. Un contrôle entre niveaux trophiques : les régulations descendante (top-down) et ascendantes (bottom-up)

Régulation descendante = effet top-down :

Régulation ascendante = effet bottom-up :



Contrôle des effectifs ascendants (bottom-up) ou descendants (top-down).
La variation à l'origine du contrôle peut être une augmentation (comme sur la figure) ou une diminution.

▲ FIGURE 131bis. Transition symbiose-parasitisme dans le cas d'une nodosité.
D'après PERRIER, BEAUX *et al.* (2021).

c. Des relations qui définissent des espèces clefs-de-voute au rôle fonctionnel majeur

d. Des relations qui impactent la dynamique des populations impliquées (exemple de la prédation et du modèle de LOTKA-VOLTERRA)

2. Les relations interspécifiques, des interactions comportant une dimension évolutive

a. Des relations qui impactent les individus : fitness individuelle des individus impliqués vs. fitness des individus non impliqués

▼ TABLEAU XVIII. **Effet des principales interactions sur la *fitness* individuelle des individus impliqués dans l'interaction par rapport à des individus de la même espèce non impliqués.**

D'après PEYCRU *et al.* (2014)

Conséquences pour chaque espèce		Nom de l'interaction
Espèce A	Espèce B	
+	+	Mutualisme (symbiose, coopération)
+	-	Parasitisme Prédation
+	0	Commensalisme
0	-	Amensalisme
0	0	Neutralisme
-	-	Compétition

+ : augmentation de la valeur sélective de l'espèce ; - diminution de la valeur sélective de l'espèce.

b. Des relations qui impactent différenciellement la *fitness* des individus impliqués dans les interactions et des génotypes, tendant à la sélection d'adaptations à l'interaction

Exemple : quelle est la *fitness* comparée de deux individus soumis à un parasite donné ? **Celui qui résiste mieux** aura donc une *fitness* plus élevée que l'autre et **transmettra sa résistance** à sa descendance.

c. Les relations interspécifiques et la coévolution

α. Mise en évidence de cospéciations par les phylogénies en miroir (= cophylogénies)

Cospéciation :

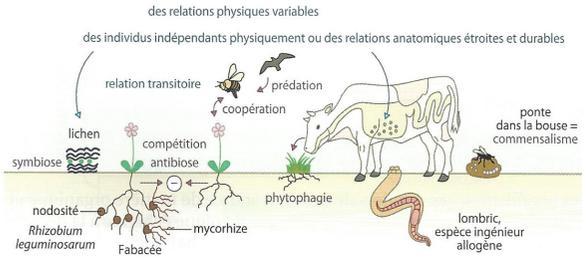
β. La coévolution, résultat d'une pression de sélection mutuelle entre organismes en interaction

Coévolution = coadaptation :

γ. Course aux armements et théorie de la Reine rouge

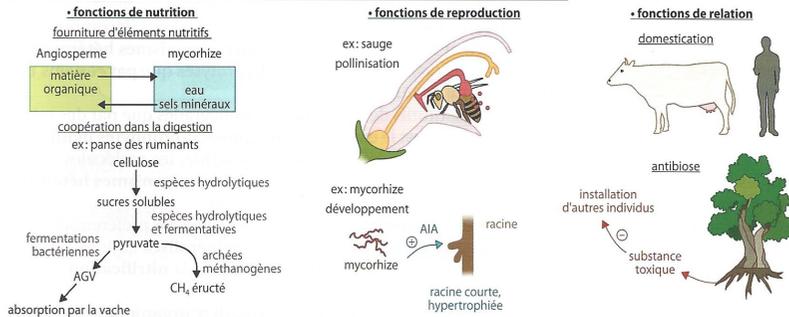
Théorie de la Reine rouge :

DIVERSITÉ DES RELATIONS INTERSPÉCIFIQUES

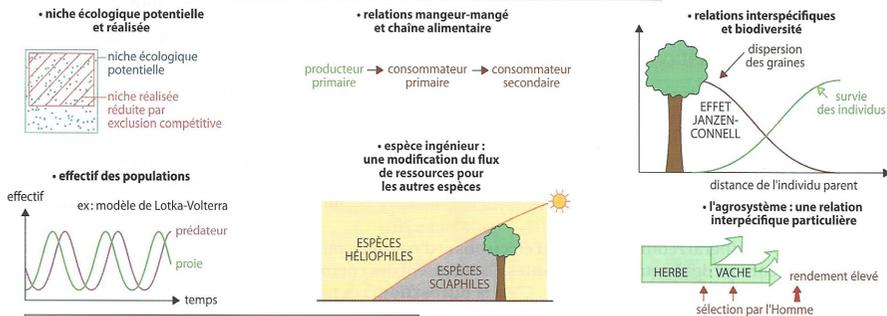


	espèce A	espèce B
mutualisme	+	+
coopération		
symbiose		
relation mangeur-mangé	prédateur herbivore	proie herbe
parasitisme	parasite	hôte
compétition	-	-
antibiose	-	o
commensalisme	+	o
neutralisme	o	o

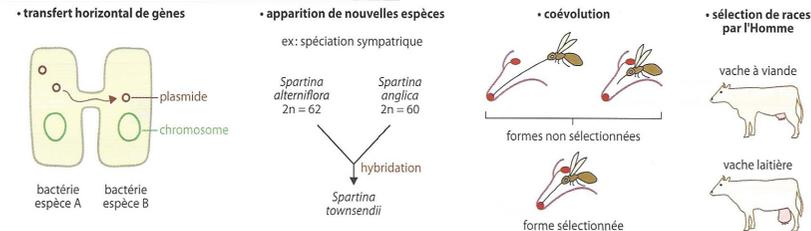
PARTICIPATION DES RELATIONS INTERSPÉCIFIQUES À LA BIOLOGIE DES INDIVIDUS



CONSÉQUENCES DES RELATIONS INTERSPÉCIFIQUES SUR LES POPULATIONS ET ÉCOSYSTÈMES



RELATIONS INTERSPÉCIFIQUES À L'ÉCHELLE DES ESPÈCES



▲ FIGURE 134. Bilan sur les relations interspécifiques. D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017).

III. Les écosystèmes, des entités dynamiques où l'homme exerce une influence variable : le fonctionnement des écosystèmes

A. Les écosystèmes, des entités traversées par des flux de matière et d'énergie

Capacités exigibles

- ✓ **Construire** un réseau trophique en identifiant les niveaux trophique (notion discutée autour d'exemple d'espèces polyphages).
- ✓ **Montrer** que chaque espèce prélève dans son environnement des substances (de nature différente selon s'il s'agit de producteurs, consommateurs ou décomposeurs) et en rejette d'autres (notion de flux), et crée de la biomasse (notion de production et de productivité), en se limitant à un végétal et un animal (la vache).
- ✓ **Mettre en évidence** les pertes énergétiques d'un niveau trophique à l'autre au travers de la construction d'une pyramide de productivité.
- ✓ **Expliquer** la nature de ces pertes (notamment la notion de minéralisation au travers des réactions du catabolisme).

1. La structure trophique des écosystèmes

a. Trois grands types d'organismes : producteurs primaires, consommateurs, décomposeurs

▲ FIGURE [59]. Les trois grands statuts trophiques dans un écosystème typique. D'après PEYCRU *et al.* (2014)

Structure trophique d'un écosystème :

α. Les producteurs primaires, organismes autotrophes faisant entrer la matière et l'énergie dans la biocénose

Producteurs primaires :

β. Les consommateurs (= producteurs secondaires), organismes hétérotrophes faisant circuler la matière et l'énergie dans la biocénose

Producteurs secondaires = consommateurs :

γ. Les décomposeurs, organismes hétérotrophes qui s'alimentent de déchets organiques produits par d'autres espèces

Décomposeurs :

b. Des organismes connectés par des chaînes et des réseaux trophiques

α. Une chaîne trophique, une suite d'organismes se consommant les uns à la suite des autres

Chaîne trophique :

β. Des chaînes trophiques interconnectées par le biais d'espèces polyphages : les réseaux trophiques

Réseau trophique :

→ interconnexion des chaînes trophiques par les espèces polyphages =

(!) Quel que soit son niveau trophique (2, 3, 4...), un **consommateur** est toujours un **producteur secondaire** (il n'existe pas de producteur « tertiaire » ou « quaternaire » malgré les erreurs de certains manuels). On distinguera ensuite les **consommateurs de rang 1** (**consommateurs primaires** = **phytophages**) et les **consommateurs de rang supérieur** (2, 3, 4...) (**consommateurs secondaires** = **carnivores**) (pas de « consommateur tertiaire/quaternaire », on parlera de « consommateur de rang n : d'ordre n »).

▲ **FIGURE 135. Quelques relations interspécifiques dans la prairie.**
D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017), modifié / corrigé.

γ. Des rangs dans les chaînes alimentaires : les niveaux trophiques

Niveau trophique :

δ. Des représentations pyramidales de l'effectif, de la biomasse ou de l'énergie contenus dans chaque niveau trophique : les pyramides trophiques

Pyramide trophique (= écologique) :

On notera que, sauf en cas de renouvellement extrêmement rapide d'un niveau trophique (exemple du plancton), les pyramides montrent une réduction au fur et à mesure que le rang trophique augmente : il ne peut y avoir plus d'énergie ou de matière dans un niveau qui dépend de l'apport du précédent.

Biomasse :

Assimilation :

La biomasse est **souvent exprimée en unité de masse par unité de surface** (exemple : masse de Fougère par ha de forêt), ce qui est **en réalité** rigoureusement une **densité de biomasse**.

b. Entrées et pertes de matière et d'énergie chez les producteurs primaires

Exemples de pyramides écologiques (D'après Odum 1976 et 1971).

(a) Pyramide des nombres dans une prairie nord-américaine à *Poa pratensis* (le nombre de producteurs correspond à celui de pieds de pâturin) ; (b) pyramides des biomasses dans un champ abandonné de Géorgie (en $g \cdot m^{-2} \cdot an^{-1}$) ; (c) pyramides des énergies « herbe-veau-enfant » en $kJ \cdot an^{-1}$ et pour une surface de 10 acres américains (soit $40\,470\ m^2$).

▲ FIGURE 136. **Pyramides écologiques**. D'après PEYCRU *et al.* (2014).

2. Les flux (= transferts) et les pertes (= la dissipation) d'énergie dans les réseaux trophiques

a. Notions de flux trophique, de perte d'énergie, de biomasse et d'assimilation

Flux (= transfert) trophique :

L'équivalence matière / énergie en écologie

On notera que, dès lors qu'il y a **consommation**, les **transferts de matière** et les **transferts d'énergie** se **superposent** puisque l'**énergie transférée** l'est par le biais de la **matière organique consommée**.

Perte énergétique :

▲ FIGURE 136bis. **Entrée et pertes d'énergie au niveau des producteurs primaires**.

Les données sont exprimées en indice (référence : indice 100).

D'après PEYCRU *et al.* (2014).

a. Des entrées (dissociées) de matière et d'énergie d'origine abiotique : lumière et matière minérale

-
-

On notera, pour ce **seul premier niveau trophique**, une **dissociation** entre **source de matière** et **source d'énergie**.

Production :

Expression :

Productivité :

1.

2.

Turn-over = vitesse de renouvellement de biomasse :

Production primaire :

$$PPN = PPB - R$$

PPN (production primaire nette) = PPB (Production primaire brute = énergie assimilée par photosynthèse) – R (énergie perdue par métabolisme notamment respiration)

β. Des pertes de matière et d'énergie (plutôt conjointes) par chaleur, transpiration et respiration

-
- >
- >
-
- >

γ. Une influence déterminante des rythmes saisonniers (contrôlant notamment l'apport de lumière) et de l'intervention humaine (pouvant augmenter l'apport de matière par fertilisation)

c. Entrées et pertes de matière et d'énergie chez les producteurs secondaires (= consommateurs)

α. Des entrées (conjointes) de matière et d'énergie d'origine biologique

=

β. Des pertes (plutôt conjointes) de matière et d'énergie par chaleur, transpiration, respiration et excrétion azotée

-
- >
- >
-
- >
- >

I = énergie ingérée / A = énergie assimilée / NA = énergie non assimilée (= fèces)
 R = énergie perdue par métabolisme (respiration, urines)
 PS = production secondaire

▲ FIGURE 139. Transferts et pertes d'énergie dans un consommateur.
D'après PEYCRU *et al.* (2014). Les données sont exprimées en indice (référence : indice 100).

d. Une efficacité des flux dont il est possible de rendre compte en calculant des rendements

$$\text{Rendement d'exploitation} = \frac{\text{Ingestion de nourriture}}{\text{Production de proies}}$$

$$\text{Rendement d'assimilation} = \frac{\text{Assimilation}}{\text{Ingestion}}$$

$$\text{Rendement de production nette} = \frac{\text{Production (croissance et reproduction)}}{\text{Assimilation}}$$

$$\text{Rendement de production brute} = \text{Rendement d'assimilation} \times \text{Rendement de production nette}$$
$$= \frac{\text{Production}}{\text{Ingestion}}$$

$$\text{Rendement écologique} = \text{Rendement d'exploitation} \times \text{Rendement d'assimilation} \times \text{Rendement de production nette}$$
$$= \frac{\text{Production de consommateurs}}{\text{Production de proies}}$$

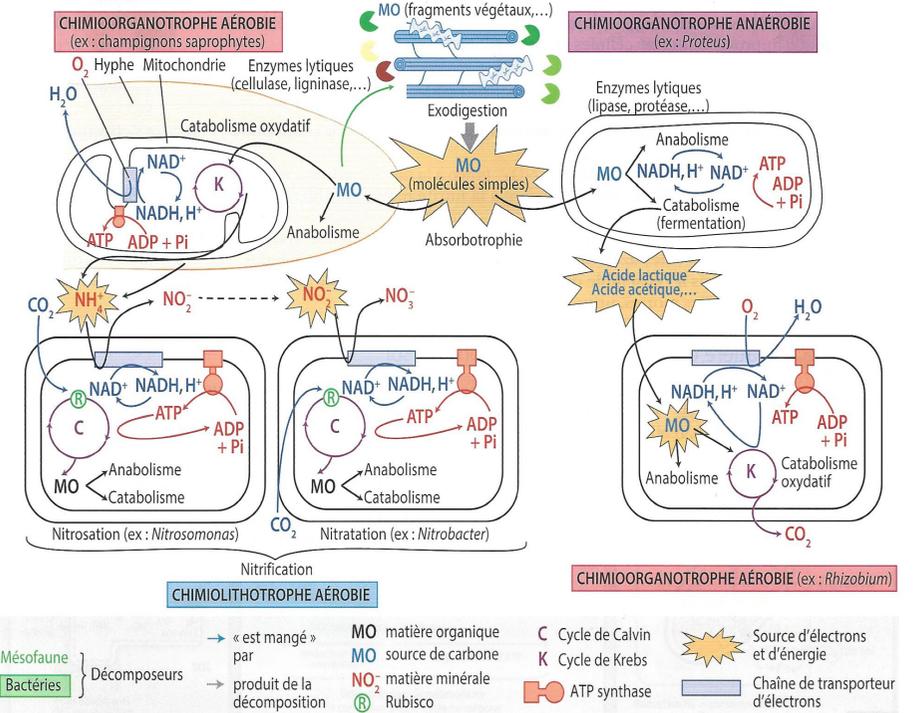
▲ FIGURE 140. Quelques rendements énergétiques (pour information ?).
D'après RICKLEFS & MILLER (2005).

3. Le rôle des décomposeurs et minéralisateurs (essentiellement dans le sol)

Décomposition au sens large :

▲ FIGURE 141. La décomposition (au sens large) de la matière organique. D'après PEYCRU *et al.* (2014).

UNE MINÉRALISATION POSSIBLE PAR UNE DIVERSITÉ DES TYPES TROPHIQUES DES MICROORGANISMES



◀▲ FIGURE 142. La décomposition (au sens large) de la matière organique : une vision plus complète. D'après PEYCRU *et al.* (2014).
Revoir les types trophiques vus en Biotechnologies.

a. La décomposition au sens strict : la fragmentation et la simplification moléculaire de la matière organique morte (débris, déchets, cadavres)

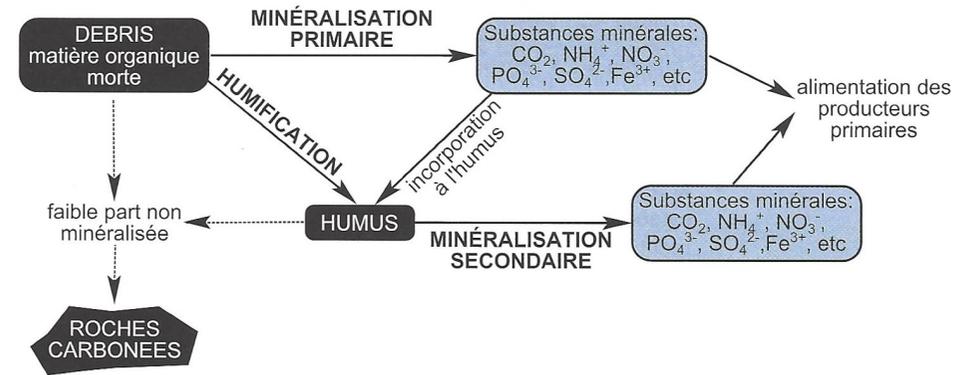
Décomposition au sens strict :

Animaux, 'mycètes', Bactéries, Archées...

α. La fragmentation, une activité surtout permise par la pédofaune

Pédofaune =

Détritivores =



Deux temps de la minéralisation (modifié d'après Duchaufour).

▲ FIGURE 143. La fragmentation de la nécromasse dans le sol.
D'après SEGARRA *et al.* (2015).

▲ FIGURE 145. Les minéralisations dans le sol. D'après PEYCRU *et al.* (2014).

β. Une exodigestion des polymères notamment due aux 'mycètes' et Bactéries

4. L'importance dans ces processus de l'énergie auxiliaire, énergie environnementale abiotique facilitant l'activité biologique

Énergie auxiliaire :

Exemples : vent permettant la pollinisation, chaleur solaire réchauffant les organismes, courant d'eau permettant de véhiculer des ions minéraux...

5. La présence de cycles de matière dans l'écosystème

a. Les cycles biogéochimiques et le vocabulaire associé (formes d'un élément chimique, réservoir, flux = transfert, temps de résidence)

Cycle biogéochimique = cycle de la matière :

L'élément chimique existe, dans un cycle, sous différentes formes physiques et chimiques.

Réservoir :

Flux (= transfert) :

▲ FIGURE 144. Les exodigestions par la microflore du sol (Bactéries, 'mycètes').
D'après PEYCRU *et al.* (2014).

b. La minéralisation : la production d'humus (humification) et d'ions minéraux ou gaz inorganiques (minéralisation au sens strict)

Minéralisation du carbone

- Dans tout l'écosystème :

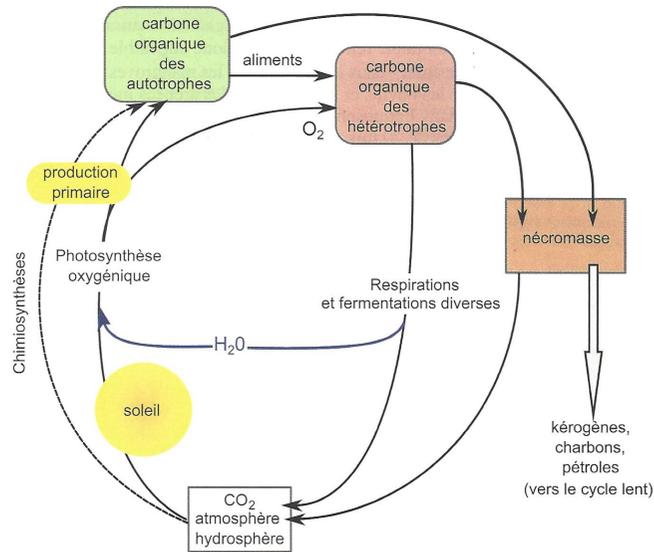
- Dans le sol :

>

>

>

b. L'exemple du cycle du carbone (cycle court)

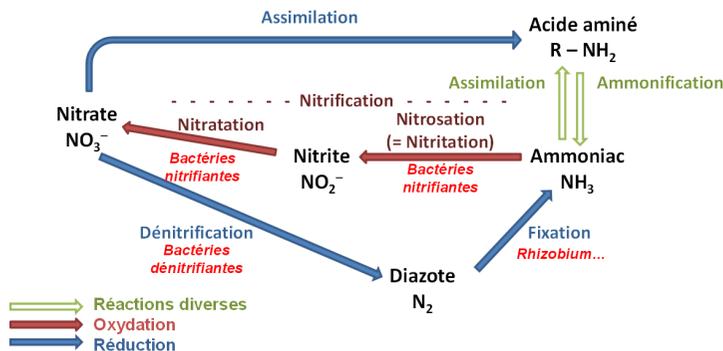


Le cycle court du carbone.

Régi par le couple « photosynthèse-respiration » il est relié aux cycles de O₂ et de H₂O.

▲ FIGURE 146. Le cycle court du carbone. D'après PEYCRU *et al.* (2014).

c. L'exemple du cycle de l'azote (simplifié)



▲ FIGURE 147. Le cycle de l'azote très simplifié.

B. Les écosystèmes, entités dynamiques qui peuvent se transformer au cours du temps

1. Les successions écologiques, des séquences de stades biocénétiques se succédant naturellement au cours du temps et tendant vers un climax

Succession écologique :
Climax :

Voir BCPST2

▲ FIGURES 149-150 (à combiner). Une succession écologique complète (série progressive). D'après PEYCRU *et al.* (2014).

On notera que, si tous les cortèges d'espèces évoluent (Animaux, Bactéries, 'champignons'...), les stades sont surtout définis par la mise en place successive des **strates végétales**.

2. Des séries généralement progressives où la biodiversité, la biomasse, la production et la proportion de stratégies K tendent à augmenter

Série progressive :

Succession primaire :

Succession secondaire :

3. Un climax pas toujours atteint : la possibilité d'un blocage (exemple de la prairie pâturée)

Stade de blocage :

Quand un stade de blocage semble demeurer quasi-définitif, on l'appelle **paraclimax**. C'est le cas par exemple des landes sur la côte bretonne (le vent, notamment, empêche la forêt de se développer).

Le **pâturage** dû aux **grands herbivores** constitue typiquement une action qui **induit un stade de blocage** au **stade prairial**.

4. L'existence de séries régressives

Série régressive :

5. La possibilité d'une absorption des perturbations d'origine naturelle ou anthropique et du retour à l'état antérieur : la résilience

Résilience :

- 1.
- 2.
- 3.

Bilan (adapté du programme)

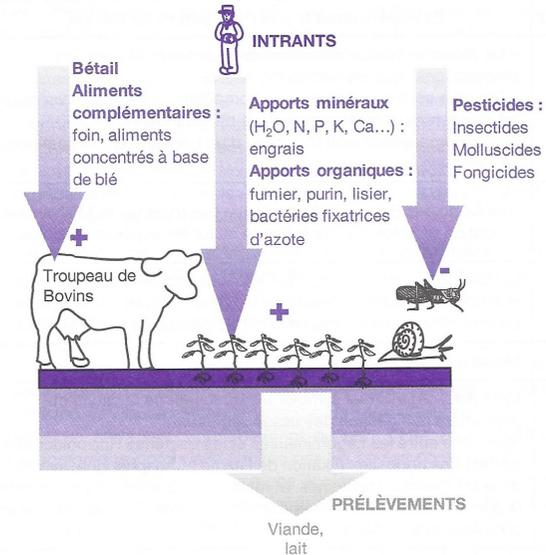
✓ Les **écosystèmes** sont des **systèmes dynamiques** et **évolutifs**, subissant des **successions écologiques** tendant naturellement vers un **état stable** final appelé **climax**. La possibilité de **maintien à un stade de blocage** est possible.

C. Les écosystèmes, entités impactées par les activités anthropiques : l'exemple de l'activité agricole

1. Notions d'écosystème « naturel », d'agrosystème et d'agro-écosystème

Voir plus haut

2. Les agrosystèmes, des écosystèmes simplifiés par l'homme où des intrants sont exportés et des prélèvements opérés



Intrants et exportations dans un élevage de Bovins.

▲ FIGURE 152. **Importations et exportations dans les agrosystèmes.**
D'après DENGEUD *et al.* (2014).

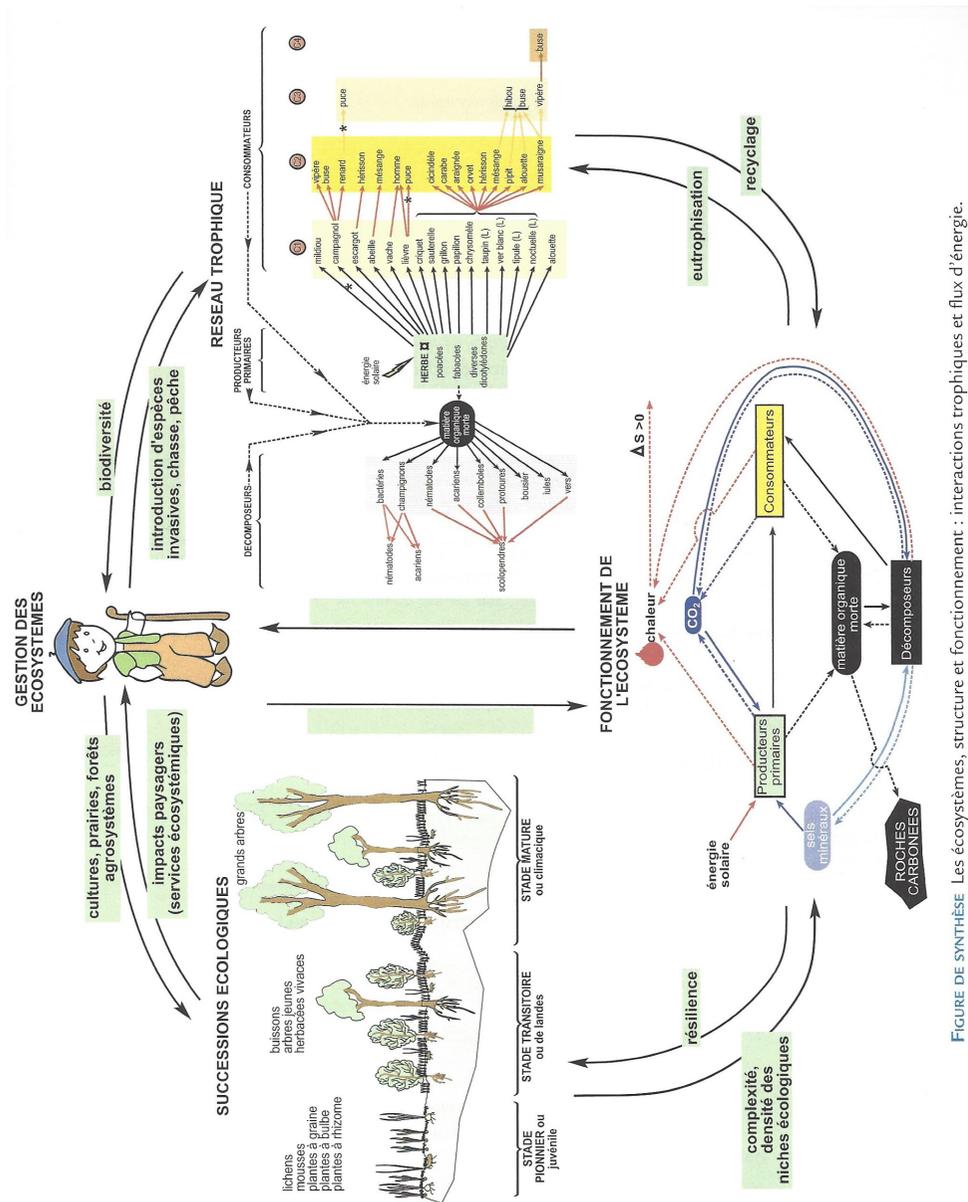
On appelle **intrants** l'ensemble des produits apportés par l'homme aux terres et aux cultures agricoles.

3. Les agrosystèmes, des écosystèmes à forte productivité dont la biodiversité est réduite et contrôlée par l'homme

4. Les agrosystèmes, des écosystèmes dont les pratiques peuvent impacter négativement l'environnement

Pratiques intensives :

Pratiques extensives :



▲ FIGURE 154. Bilan sur l'écologie fonctionnelle. D'après PEYCRU et al. (2014).

Bilan : une vue d'ensemble de l'écosystème prairial

D'après SAINTPIERRE et al. (2017)

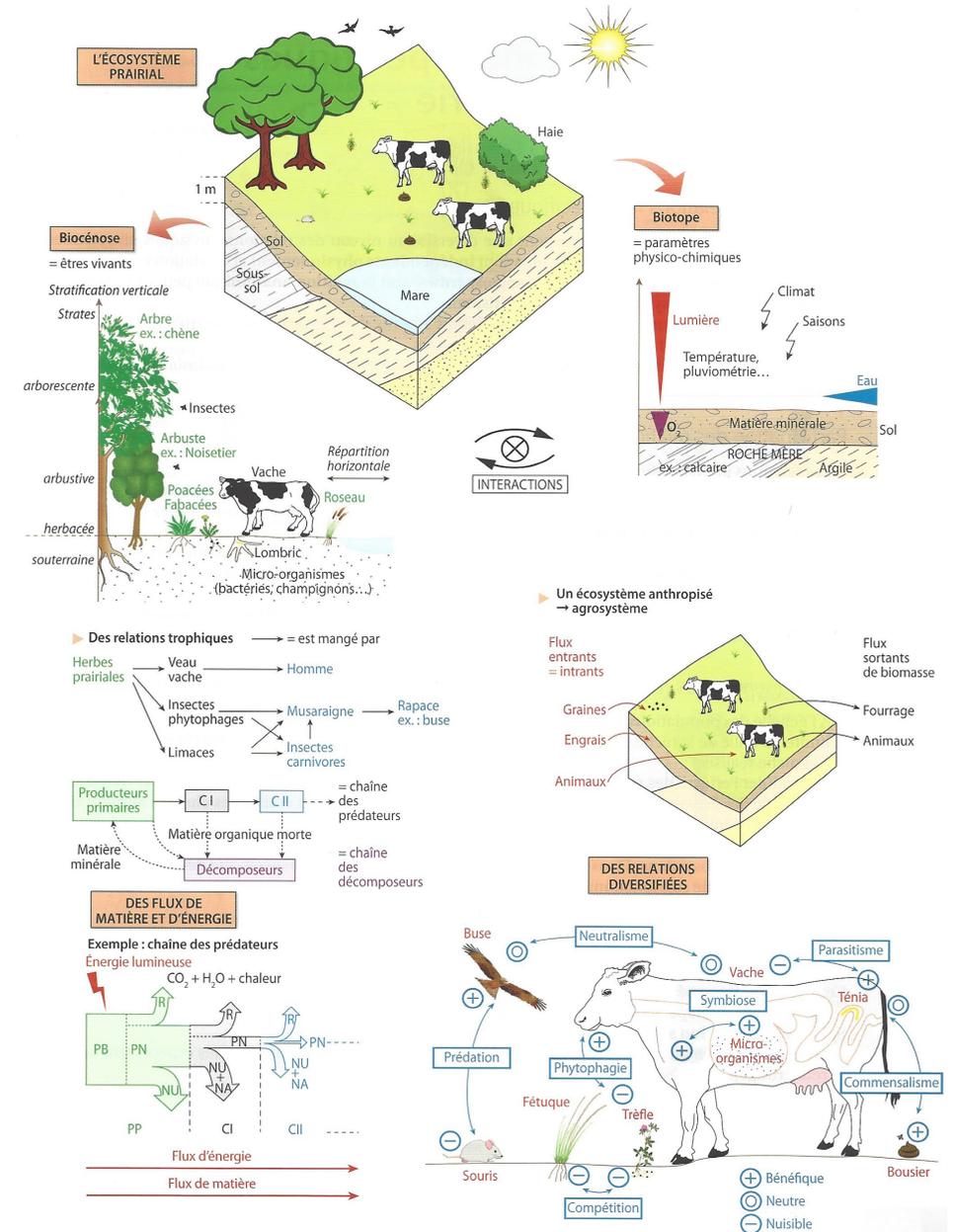


FIGURE DE SYNTHÈSE Les écosystèmes, structure et fonctionnement : interactions trophiques et flux d'énergie.

Plan complet du chapitre

Objectifs : extraits du programme	1
Introduction	2
I. Les écosystèmes, des entités structurées comprenant une biocénose et un biotope en interaction	5
A. Les écosystèmes, objets naturels ou conceptuels ?	5
1. Définitions	5
a. Notion de biocénose (ou communauté) : les êtres vivants d'un lieu	5
b. Notion de biotope : les caractéristiques physico-chimiques d'un lieu	5
c. Notion d'écosystème : le biotope, la biocénose, et les relations entre tous leurs éléments constitutifs	5
2. Une délimitation qui dépend du scientifique : la relativité de la notion d'écosystème et la diversité des échelles envisageables	6
3. L'existence d'un couplage biotope-biocénose	6
B. Les écosystèmes, des entités organisées résultant de l'action de facteurs écologiques variés : la structure des écosystèmes	6
1. La zonation (structuration spatiale) des écosystèmes : une répartition des composants dans l'espace (éventuellement sous le contrôle de gradients)	6
a. La zonation horizontale : une répartition plus ou moins hétérogène des organismes due à la variation latérale des caractéristiques du milieu	6
b. La zonation verticale : la répartition en hauteur des organismes au sein de l'écosystème	9
α. Dans les écosystèmes terrestres typiques : une distribution des organismes largement contrôlée par les strates végétales	9
i. Les différentes strates	9
ii. Une action importante sur le biotope, notamment les facteurs climatiques, entre les strates comme au sein des strates : notion de microclimat	10
➤ La stratification végétale, facteur à l'origine de microclimats	10
➤ Des modifications microclimatiques au sein même d'une strate : l'exemple de la strate herbacée d'une prairie	10
➤ Des modifications microclimatiques entre les strates : l'exemple de l'écosystème forestier	11
➤ Des modifications microclimatiques possibles à l'échelle d'un organisme	12
β. Dans les écosystèmes aquatiques : un étagement possible contrôlé par des facteurs variés (lumière, température, oxygénation...) [limite programme]	12
2. Les facteurs écologiques abiotiques : l'impact du biotope sur l'écosystème	16
a. Les facteurs climatiques (le climat) : les caractéristiques atmosphériques	16
α. La notion de climat et ses échelles spatiales de variation (macroclimat, mésoclimat, microclimat)	16
β. La diversité des paramètres climatiques terrestres (précipitations, éclairement, température, humidité, vents...)	16
γ. Un outil d'estimation des conditions écologiques climatiques d'un lieu donné : les diagrammes ombrothermiques	17
δ. Les grandes zones climatiques du globe, des zones caractérisées par des biomes	17
i. Les grandes ensembles climatiques mondiaux	17
ii. Une superposition à des grands types écosystémiques : les biomes terrestres	18
δ. Les paramètres de contrôle du climat régional et mondial	19
i. La quantité d'énergie solaire reçue en fonction de la latitude : le contrôle latitudinal du climat (avec saisonnalité)	19
ii. Le relief : le contrôle altitudinal et géomorphologique du climat et ses conséquences écosystémiques	20
➤ Action climatique du relief et principales conséquences écologiques	20

➤ Des adaptations au froid (exemple des organismes végétaux herbacés de prairies alpines)	21
➤ Conséquences sur la structure des écosystèmes : l'étagement de la biocénose (notamment des formations végétales)	22
iii. L'influence des vents d'origine océanique : le contrôle océanique du climat	23
b. Les facteurs édaphiques : les caractéristiques abiotiques du sol	24
α. La diversité des facteurs édaphiques : un panorama	24
i. La composition en fractions granulométriques (limons, argiles, sables...) : la texture du sol	24
ii. Les éléments constitutifs du sol et leur concentration : la composition chimique du sol (liée à la roche-mère, à l'activité biologique, au lessivage...) + le pH	25
iii. L'agencement des éléments constitutifs d'un sol : la structure du sol	25
iv. La porosité du sol et l'eau dans le sol	25
β. Des facteurs édaphiques qui dépendent eux-mêmes des facteurs climatiques (rappels de géologie : diagramme de Pedro)	26
γ. Des facteurs édaphiques qui impactent la présence, l'abondance et la répartition des êtres vivants : rôle des facteurs édaphiques sur la biocénose	26
δ. Une rétroaction de la biocénose sur les caractéristiques abiotiques du sol : le couplage biotope-biocénose dans le sol	26
c. La combinaison des facteurs climatiques et édaphiques, facteur majeur de contrôle des écosystèmes et de leur structuration	28
d. Les facteurs hydriques : l'importance de l'eau dans les écosystèmes	29
α. L'eau dans les écosystèmes terrestres	29
i. La disponibilité et l'abondance de l'eau dans les écosystèmes terrestres, facteur écologique majeur dépendant des paramètres climatiques et édaphiques (concept de zones de vie d'HOLDRIDGE)	29
ii. Le cas particulier des Animaux : la possibilité de déplacements jusqu'aux points d'eau	30
β. L'eau dans les écosystèmes aquatiques	31
i. La diversité des écosystèmes aquatiques	31
ii. Un milieu zoné surtout par la profondeur et les paramètres physico-chimiques associés	31
➤ Cas du milieu marin et du milieu littoral	31
➤ Cas des milieux d'eaux douces : l'exemple d'un lac (stratification photique, stratification thermique et oxygénique)	31
γ. L'importance de la composition de l'eau	33
e. L'existence de variations temporelles des facteurs abiotiques impactant les biocénoses, leur physiologie et leur cycle de vie	33
α. Les variations circadiennes (= journalières) du biotope	33
β. Les variations annuelles (= saisonnières) du biotope	34
i. La diversité des variations saisonnières	34
ii. Quelques réponses à ces variations	34
iii. Des variations également présentes dans le milieu aquatique	37
γ. Les variations ponctuelles ou « accidentelles » du biotope	37
3. Les facteurs écologiques biotiques : l'impact de la biocénose sur l'écosystème	37
a. La diversité des populations présentes (la biodiversité spécifique) et leurs caractéristiques structurales et fonctionnelles	37
α. La notion de biodiversité (génétique, spécifique, écosystémique)	37
β. La possibilité d'estimer et quantifier la biodiversité spécifique	38
i. L'inventaire des espèces et l'emploi d'indices de diversité spécifique	38
ii. Diversité locale, diversité régionale	39
iii. Relation aire-espèces : loi d'ARRHENIUS (1921)	40
γ. Importance des espèces présentes : exemple de la biodiversité spécifique d'une prairie pâturée (un panorama)	40

δ. Importance des caractéristiques des populations présentes	41		
i. Les relations intraspécifiques	41		
ii. Les paramètres démographiques et génétiques	41		
b. Les relations interspécifiques	41		
α. La diversité des relations interspécifiques	41		
β. Un effet sur la structure des écosystèmes : l'exemple de la dispersion des individus végétaux par les interactions négatives (effet JANZEN-CONNELL)	42		
c. Le positionnement trophique des espèces	43		
α. Les producteurs primaires, organismes autotrophes faisant entrer la matière et l'énergie dans la biocénose	43		
β. Les consommateurs (= producteurs secondaires), organismes hétérotrophes faisant circuler la matière et l'énergie dans la biocénose	44		
γ. Les décomposeurs, organismes hétérotrophes qui s'alimentent de déchets organiques produits par d'autres espèces	44		
d. La présence d'espèces de forte importance écologique : les espèces clef-de-voûte et les espèces ingénieurs	44		
α. Les espèces clef-de-voûte, des espèces dont la présence ou l'absence modifie drastiquement la structure et/ou le fonctionnement de l'écosystème	44		
β. Les espèces ingénieurs (= espèces architectes), un cas particulier d'espèces clef-de-voûte qui contraignent l'organisation spatiale de l'écosystème et la répartition ou l'accessibilité des ressources	45		
i. Conceptualisation de la notion	45		
ii. Deux exemples en lien avec la prairie (à retenir !) : les Lombrics et les Mammifères brouteurs (ex. Bovins)	46		
e. L'homme, facteur écologique majeur et atypique	48		
α. Une anthropisation variable des écosystèmes : écosystèmes naturels vs. écosystèmes agricoles (agrosystèmes dont les agro-écosystèmes) ou urbanisés	48		
β. La diversité des perturbations d'origine anthropique et l'anthropisation de la biosphère	48		
i. Les changements d'habitats dus aux activités humaines	48		
ii. Le changement global (= réchauffement climatique)	49		
iii. Les espèces étrangères qui deviennent invasives	49		
iv. La chasse, la pêche et la surexploitation des ressources biologiques	50		
v. La pollution chimique et ses conséquences	50		
vi. Les écosystèmes et la biodiversité : vers une sixième grande crise biologique ? [pour information]	51		
γ. Vers un sursaut ? Conservation des écosystèmes et de la biodiversité, et développement durable	51		
4. L'écosystème, un système ouvert en interaction avec d'autres écosystèmes [limite programme]	52		
a. Une entité inscrite dans un paysage qui échange des éléments de biotope et de biocénose avec les écosystèmes alentour	52		
b. Des interactions entre écosystèmes qui dépendent de leur connectivité... et restreintes par la fragmentation des habitats	53		
C. Les écosystèmes terrestres, des entités dont le substrat est un sol	54		
1. Le sol, interface entre géosphère, biosphère, atmosphère et hydrosphère provenant de l'altération physique, chimique et biologique d'une roche	54		
2. La structure spatiale du sol	55		
a. La structuration spatiale du sol : une entité découpée en niveaux superposés, les horizons	55		
b. Des variations latérales de structure ou composition possibles, éventuellement selon des gradients	55		
3. La composition organique et minérale du sol : le biotope	56		
a. La fraction organique : molécules biologiques, molécules humiques	56		
b. La fraction minérale : éléments de roches/minéraux (dont les argiles), eau, ions, air	56		
		c. Des fractions qui s'associent et forment notamment un complexe argilo-humique (CAH) retenant les cations	56
		4. La composition biologique du sol : une biocénose particulière	56
		a. La présence de l'appareil souterrain des plantes	57
		b. La présence de mycéliums de 'champignons' variés	58
		c. La présence d'une faune diversifiée et en grande partie détritivore : la pédofaune	58
		d. La présence d'une flore microbienne aux types trophiques variés et comprenant des organismes minéralisateurs	60
		5. La sapromasse ou nécromasse, matière organique morte du sol constituant un stade transitionnel entre monde vivant et état minéral	60
		D. La réponse des populations à l'ensemble des facteurs écologiques de leur environnement et leur position dans l'écosystème	61
		1. Les espèces face aux facteurs écologiques	61
		a. La notion de facteur limitant : loi du minimum (SPRENGEL-LIEBIG) et loi de tolérance (SHELFORD)	61
		b. L'existence de préférences physiologiques chez une espèce : courbes de tolérance	61
		c. Une tolérance face aux variations environnementales qui diffère entre les espèces : valence écologique, euryécie / mésoécie / sténoécie	62
		2. La niche écologique, une notion qui rend compte des atouts et contraintes du milieu vis-à-vis d'une espèce donnée	62
		a. Une notion plus ou moins difficile à conceptualiser	62
		α. Quelques définitions historiques qui expliquent les nuances conceptuelles entre auteurs	62
		i. La définition de GRINNEL (1917) : les conditions environnementales et les adaptations de l'espèce (niche d'habitat)	62
		ii. La définition d'ELTON (1927) : la place ou le rôle de l'espèce dans l'écosystème, notamment la place dans les réseaux trophiques (niche fonctionnelle)	62
		iii. La définition de HUTCHINSON (1957) : l'ensemble des conditions dans lesquelles vit et se perpétue une population correspondant à un hypervolume	62
		β. Proposition d'une synthèse : la somme des conditions abiotiques et biotiques d'une espèce au sein d'un écosystème	63
		b. La modélisation des niches écologiques, des espaces multi-dimensionnels (hypervolumes)	63
		α. Une représentation graphique possible pour un, deux ou trois paramètres	63
		β. La nécessité de la modélisation mathématique et informatique à partir de quatre facteurs écologiques	64
		c. Niche écologique potentielle vs. niche écologique réalisée	64
		α. Les conditions abiotiques d'existence d'une espèce : la niche écologique potentielle (= fondamentale)	64
		β. Une restriction de la niche écologique par les interactions interspécifiques (notamment négatives) : le déplacement de niche	64
		γ. Les conditions écologiques complètes d'existence d'une espèce dans un écosystème : la niche écologique réalisée (= réelle)	64
		d. Niche écologique et évolution	65
		α. La libération des niches écologiques suite aux extinctions, facteur favorisant la spéciation et les radiations évolutives	65
		β. Les déplacements durables de niche, une modalité d'évolution sur laquelle agit la sélection naturelle	67
		γ. Les convergences évolutives, des scénarios explicables par la théorie de la niche écologique	67
		δ. L'espèce, un concept qui peut être envisagé sous l'angle de la niche écologique : l'espèce écologique	68
		E. Bilan : l'écosystème comme résultant des actions combinées et interdépendantes du biotope et de la biocénose	68

II. Des interactions entre les populations de la biocénose : les relations interspécifiques	69
A. La diversité des relations interspécifiques : un panorama	69
1. Les relations indifférentes (neutralisme au sens large), interactions sans bénéfices ni coûts particuliers pour les protagonistes	70
a. Le neutralisme au sens strict ou cohabitation neutre	70
b. La synécie, une association physique durable sans réel impact sur les protagonistes [hors programme]	70
2. Les relations antagonistes, où au moins l'un des partenaires subit un préjudice	70
a. La compétition interspécifique, opposition dans le cadre de l'utilisation d'une même ressource	70
b. L'amensalisme, interaction neutre pour un protagoniste et néfaste pour l'autre	70
c. Les relations mangeur-mangé ou prédation au sens large	71
α. La phytophagie (ou herbivorie au sens large), consommation d'un autotrophe (producteur primaire) par un hétérotrophe (consommateur primaire)	71
β. La prédation au sens strict, consommation d'un hétérotrophe par un autre hétérotrophe (consommateur secondaire)	71
d. Le parasitisme, interaction durable où un parasite vit et se nourrit aux dépens d'un hôte	71
α. Proposition d'une définition	71
β. Endoparasites et ectoparasites	71
γ. Discussion de la définition : cas des microprédateurs et des parasitoïdes	71
δ. Les organismes pathogènes : souvent parasites du point de vue de l'écologue	72
3. Les relations favorables, où au moins l'un des protagonistes tire un bénéfice de l'interaction (sans nuire à l'autre)	72
a. Cas où un seul protagoniste tire un bénéfice de l'interaction (les carposes)	72
α. Le commensalisme, interaction trophique où un protagoniste consomme les restes de repas de l'autre (ou des déchets produits) [inclus syntrophie]	72
β. L'inquilinisme, interaction où l'abri d'un organisme est utilisé par une autre espèce [pour information ?]	72
γ. La phorésie, interaction où une espèce en transporte une autre [pour information ?]	73
b. Cas des interactions réciproquement profitables aux deux partenaires : les mutualismes	73
α. La symbiose (au sens français), un mutualisme durable	73
β. La coopération interspécifique, un mutualisme transitoire	73
B. La coopération interspécifique, ensemble d'interactions interspécifiques brèves à bénéfices réciproques	73
1. Principales fonctions possibles des coopérations	73
a. Rôle trophique	73
b. Rôle de protection ou défense	74
c. Rôle dans le cycle de reproduction ou développement	74
2. Caractère spécifique ou non spécifique de la coopération	74
3. Caractère obligatoire ou facultatif de la coopération	74
C. La symbiose et le parasitisme, des interactions interspécifiques durables à bénéfices respectivement réciproques et unilatéraux	75
1. Panorama introductif des relations symbiotiques et parasitaires : des relations qui affectent tous les types d'organismes	75
a. Cas des relations symbiotiques	75
b. Cas des relations parasitaires	75
2. Symbiose et parasitisme, des interactions durables qui affectent les fonctions de relation des protagonistes	76
a. Une fixation et/ou une inclusion fréquente d'un protagoniste sur/dans l'autre (vie fixée)	76
α. Cas de la symbiose : inclusion fréquente d'un protagoniste dans l'autre	76
β. Cas du parasitisme : une inclusion complète du parasite dans son hôte (endoparasites) ou l'ancrage sur l'hôte par une structure fixatrice ou nourricière (ectoparasites)	77
b. Des interactions plus ou moins spécifiques impliquant souvent les fonctions de protection ou de défense	77
α. Une spécificité plus ou moins haute des interactions durables	77
β. Une protection souvent mutuelle entre partenaires de la symbiose	77
γ. Une lutte entre hôte et parasite supposant la mise en place de protections contre l'autre protagoniste	77
c. Une possibilité de vie libre au moins transitoire, quoique l'interaction soit souvent obligatoire pour l'un des protagonistes (ou les deux)	78
α. Cas de la symbiose : des situations variées	78
β. Cas du parasitisme : une obligation dans presque tous les cas pour le parasite, malgré des stades de vie libre	78
3. Symbiose et parasitisme, des interactions durables qui impliquent des adaptations morpho-anatomiques favorisant les échanges trophiques	79
a. Une structuration morpho-anatomique des protagonistes à localisation particulière et présentant des surfaces d'échanges	79
α. Des modifications morpho-anatomiques dues à l'interaction	79
β. Localisation et présence de surfaces d'échanges entre les protagonistes de l'interaction	79
b. Des échanges trophiques bi- ou unilatéraux entre protagonistes	79
α. Cas de la symbiose : des échanges réciproques	79
β. Cas du parasitisme : une consommation de l'hôte ou de ses ressources par le parasite	80
4. Symbiose et parasitisme, des interactions souvent spécifiques et qui s'inscrivent dans le temps	81
a. Des interactions dont la spécificité est plus ou moins élevée	81
b. Des interactions supposant le rapprochement des partenaires	81
α. Cas de la symbiose : un dialogue moléculaire possible entre protagonistes avant la mise en place de la symbiose	81
β. Cas du parasitisme : des parasites présentent des formes libres de résistance et des stratégies favorisant la mise en contact des protagonistes	82
c. Une mise en place progressive de l'interaction	82
α. Cas de la symbiose : une structure chimérique édiflée progressivement	82
β. Cas du parasitisme : l'intégration dans un cycle parasitaire et un investissement notoire dans la reproduction (stratégie r)	82
d. Un impact sur la dynamique des populations : l'exemple du parasitisme	82
5. En guise de bilan : panorama des adaptations à la symbiose et au parasitisme au travers de deux exemples	83
a. Cas de la symbiose (exemple des nodosités) : des adaptations à toutes les échelles	83
b. Cas de la symbiose (exemple de la Petite Douve) : des adaptations de fonctions variées	83
D. Les relations mangeur-mangé ou prédation au sens large, des interactions interspécifiques où un organisme en consomme un autre	84
1. Rappel : la diversité des relations d'exploitation (phytophagie, prédation s. str., microprédation, parasitisme, hyperparasitisme ...)	84
2. L'herbivorie (au sens large) ou phytophagie : la consommation d'un végétal par un animal	84
a. Les modalités de la phytophagie	84
α. Une interaction de durée variable (souvent prolongée) à laquelle survit généralement le végétal	84
β. Une interaction recouvrant divers régimes alimentaires : un bref panorama	84
γ. Une interaction supposant des structures morpho-anatomiques permettant la prise alimentaire : exemples chez les Insectes et la Vache	84
i. Les pièces buccales des Insectes, des structures autorisant des régimes alimentaires phytophages variés	84
ii. L'appareil masticateur de la Vache, une structure assurant la prise alimentaire d'herbes et la rumination	86
δ. Une interaction impliquant fréquemment des symbioses avec des micro-organismes digérant la cellulose (voire la lignine) : exemple de la Vache	86
b. Les réponses végétales à la phytophagie	86

α. La fragmentation, une activité surtout permise par la pédofaune	104
β. Une exodigestion des polymères notamment due aux 'mycètes' et Bactéries	104
b. La minéralisation : la production d'humus (humification) et d'ions minéraux ou gaz inorganiques (minéralisation au sens strict)	104
4. L'importance dans ces processus de l'énergie auxiliaire, énergie environnementale abiotique facilitant l'activité biologique	105
5. La présence de cycles de matière dans l'écosystème	105
a. Les cycles biogéochimiques et le vocabulaire associé (formes d'un élément chimique, réservoir, flux = transfert, temps de résidence)	105
b. L'exemple du cycle du carbone (cycle court)	105
c. L'exemple du cycle de l'azote (simplifié)	105
B. Les écosystèmes, entités dynamiques qui peuvent se transformer au cours du temps	106
1. Les successions écologiques, des séquences de stades biocénétiques se succédant naturellement au cours du temps et tendant vers un climax	106
2. Des séries généralement progressives où la biodiversité, la biomasse, la production et la proportion de stratégies <i>K</i> tendent à augmenter	106
3. Un climax pas toujours atteint : la possibilité d'un blocage (exemple de la prairie pâturée)	107
4. L'existence de séries régressives	107
5. La possibilité d'une absorption des perturbations d'origine naturelle ou anthropique et du retour à l'état antérieur : la résilience	108
C. Les écosystèmes, entités impactées par les activités anthropiques : l'exemple de l'activité agricole	108
1. Notions d'écosystème « naturel », d'agrosystème et d'agro-écosystème	108
2. Les agrosystèmes, des écosystèmes simplifiés par l'homme où des intrants sont ajoutés et des prélèvements opérés	108
3. Les agrosystèmes, des écosystèmes à forte productivité dont la biodiversité est réduite et contrôlée par l'homme	109
4. Les agrosystèmes, des écosystèmes dont les pratiques peuvent impacter négativement l'environnement	109
5. Caractéristiques comparées d'un écosystème naturel et d'un agrosystème	109
Bilan : une vue d'ensemble de l'écosystème prairial	111
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes	111
Références	112
Plan complet du chapitre	113
Plan modérément simplifié (4 niveaux)	117
Plan simplifié (3 niveaux)	120
Plan très simplifié (2 niveaux)	121

Plan modérément simplifié (4 niveaux)

Objectifs : extraits du programme	1
Introduction	2
I. Les écosystèmes, des entités structurées comprenant une biocénose et un biotope en interaction	5
A. Les écosystèmes, objets naturels ou conceptuels ?	5
1. Définitions	5
a. Notion de biocénose (ou communauté) : les êtres vivants d'un lieu	5
b. Notion de biotope : les caractéristiques physico-chimiques d'un lieu	5
c. Notion d'écosystème : le biotope, la biocénose, et les relations entre tous leurs éléments constitutifs	5
2. Une délimitation qui dépend du scientifique : la relativité de la notion d'écosystème et la diversité des échelles envisageables	6
3. L'existence d'un couplage biotope-biocénose	6
B. Les écosystèmes, des entités organisées résultant de l'action de facteurs écologiques variés : la structure des écosystèmes	6
1. La zonation (structuration spatiale) des écosystèmes : une répartition des composants dans l'espace (éventuellement sous le contrôle de gradients)	6
a. La zonation horizontale : une répartition plus ou moins hétérogène des organismes due à la variation latérale des caractéristiques du milieu	6
b. La zonation verticale : la répartition en hauteur des organismes au sein de l'écosystème	9
2. Les facteurs écologiques abiotiques : l'impact du biotope sur l'écosystème	16
a. Les facteurs climatiques (le climat) : les caractéristiques atmosphériques	16
b. Les facteurs édaphiques : les caractéristiques abiotiques du sol	24
c. La combinaison des facteurs climatiques et édaphiques, facteur majeur de contrôle des écosystèmes et de leur structuration	28
d. Les facteurs hydriques : l'importance de l'eau dans les écosystèmes	29
e. L'existence de variations temporelles des facteurs abiotiques impactant les biocénoses, leur physiologie et leur cycle de vie	33
3. Les facteurs écologiques biotiques : l'impact de la biocénose sur l'écosystème	37
a. La diversité des populations présentes (la biodiversité spécifique) et leurs caractéristiques structurales et fonctionnelles	37
b. Les relations interspécifiques	41
c. Le positionnement trophique des espèces	43
d. La présence d'espèces de forte importance écologique : les espèces clef-de-voûte et les espèces ingénieurs	44
e. L'homme, facteur écologique majeur et atypique	48
4. L'écosystème, un système ouvert en interaction avec d'autres écosystèmes [<i>limite programme</i>]	52
a. Une entité inscrite dans un paysage qui échange des éléments de biotope et de biocénose avec les écosystèmes alentour	52
b. Des interactions entre écosystèmes qui dépendent de leur connectivité... et restreintes par la fragmentation des habitats	53
C. Les écosystèmes terrestres, des entités dont le substrat est un sol	54
1. Le sol, interface entre géosphère, biosphère, atmosphère et hydrosphère provenant de l'altération physique, chimique et biologique d'une roche	54
2. La structure spatiale du sol	55
a. La structuration spatiale du sol : une entité découpée en niveaux superposés, les horizons	55
b. Des variations latérales de structure ou composition possibles, éventuellement selon des gradients	55

3. La composition organique et minérale du sol : le biotope	56	2. Caractère spécifique ou non spécifique de la coopération	74
a. La fraction organique : molécules biologiques, molécules humiques	56	3. Caractère obligatoire ou facultatif de la coopération	74
b. La fraction minérale : éléments de roches/minéraux (dont les argiles), eau, ions, air	56	C. La symbiose et le parasitisme, des interactions interspécifiques durables à bénéfiques respectivement réciproques et unilatéraux	75
c. Des fractions qui s'associent et forment notamment un complexe argilo-humique (CAH) retenant les cations	56	1. Panorama introductif des relations symbiotiques et parasitaires : des relations qui affectent tous les types d'organismes	75
4. La composition biologique du sol : une biocénose particulière	56	a. Cas des relations symbiotiques	75
a. La présence de l'appareil souterrain des plantes	57	b. Cas des relations parasitaires	75
b. La présence de mycéliums de 'champignons' variés	58	2. Symbiose et parasitisme, des interactions durables qui affectent les fonctions de relation des protagonistes	76
c. La présence d'une faune diversifiée et en grande partie détritivore : la pédofaune	58	a. Une fixation et/ou une inclusion fréquente d'un protagoniste sur/dans l'autre (vie fixée)	76
d. La présence d'une flore microbienne aux types trophiques variés et comprenant des organismes minéralisateurs	60	b. Des interactions plus ou moins spécifiques impliquant souvent les fonctions de protection ou de défense	77
5. La sapromasse ou nécromasse, matière organique morte du sol constituant un stade transitionnel entre monde vivant et état minéral	60	c. Une possibilité de vie libre au moins transitoire, quoique l'interaction soit souvent obligatoire pour l'un des protagonistes (ou les deux)	78
D. La réponse des populations à l'ensemble des facteurs écologiques de leur environnement et leur position dans l'écosystème	61	3. Symbiose et parasitisme, des interactions durables qui impliquent des adaptations morpho-anatomiques favorisant les échanges trophiques	79
1. Les espèces face aux facteurs écologiques	61	a. Une structuration morpho-anatomique des protagonistes à localisation particulière et présentant des surfaces d'échanges	79
a. La notion de facteur limitant : loi du minimum (SPRENGEL-LIEBIG) et loi de tolérance (SHELFORD)	61	b. Des échanges trophiques bi- ou unilatéraux entre protagonistes	79
b. L'existence de préférences physiologiques chez une espèce : courbes de tolérance	61	4. Symbiose et parasitisme, des interactions souvent spécifiques et qui s'inscrivent dans le temps	81
c. Une tolérance face aux variations environnementales qui diffère entre les espèces : valence écologique, euryécie / mésoécie / sténoécie	62	a. Des interactions dont la spécificité est plus ou moins élevée	81
2. La niche écologique, une notion qui rend compte des atouts et contraintes du milieu vis-à-vis d'une espèce donnée	62	b. Des interactions supposant le rapprochement des partenaires	81
a. Une notion plus ou moins difficile à conceptualiser	62	c. Une mise en place progressive de l'interaction	82
b. La modélisation des niches écologiques, des espaces multi-dimensionnels (hypervolumes)	63	d. Un impact sur la dynamique des populations : l'exemple du parasitisme	82
c. Niche écologique potentielle vs. niche écologique réalisée	64	5. En guise de bilan : panorama des adaptations à la symbiose et au parasitisme au travers de deux exemples	83
d. Niche écologique et évolution	65	a. Cas de la symbiose (exemple des nodosités) : des adaptations à toutes les échelles	83
E. Bilan : l'écosystème comme résultant des actions combinées et interdépendantes du biotope et de la biocénose	68	b. Cas de la symbiose (exemple de la Petite Douve) : des adaptations de fonctions variées	83
II. Des interactions entre les populations de la biocénose : les relations interspécifiques	69	D. Les relations mangeur-mangé ou prédation au sens large, des interactions interspécifiques où un organisme en consomme un autre	84
A. La diversité des relations interspécifiques : un panorama	69	1. Rappel : la diversité des relations d'exploitation (phytophagie, prédation s. str., microprédation, parasitisme, hyperparasitisme ...)	84
1. Les relations indifférentes (neutralisme au sens large), interactions sans bénéfices ni coûts particuliers pour les protagonistes	70	2. L'herbivorie (au sens large) ou phytophagie : la consommation d'un végétal par un animal	84
a. Le neutralisme au sens strict ou cohabitation neutre	70	a. Les modalités de la phytophagie	84
b. La synécie, une association physique durable sans réel impact sur les protagonistes [<i>hors programme</i>]	70	b. Les réponses végétales à la phytophagie	86
2. Les relations antagonistes, où au moins l'un des partenaires subit un préjudice	70	c. Les conséquences écologiques de la phytophagie	89
a. La compétition interspécifique, opposition dans le cadre de l'utilisation d'une même ressource	70	3. La prédation (au sens strict) : la consommation d'un animal par un autre (consommateur secondaire)	89
b. L'amensalisme, interaction neutre pour un protagoniste et néfaste pour l'autre	70	a. Définition et exemples	89
c. Les relations mangeur-mangé ou prédation au sens large	71	b. Des adaptations des protagonistes	89
d. Le parasitisme, interaction durable où un parasite vit et se nourrit aux dépens d'un hôte	71	c. Le « choix » des proies par les prédateurs	90
3. Les relations favorables, où au moins l'un des protagonistes tire un bénéfice de l'interaction (sans nuire à l'autre)	72	d. Un impact mutuel des proies et prédateurs sur leurs dynamiques respectives de population (modèle de LOTKA-VOLTERRA)	91
a. Cas où un seul protagoniste tire un bénéfice de l'interaction (les carposes)	72	E. La compétition interspécifique : une lutte entre deux espèces dans l'accès à une même ressource	93
b. Cas des interactions réciproquement profitables aux deux partenaires : les mutualismes	73	1. Deux grands types de compétition	93
B. La coopération interspécifique, ensemble d'interactions interspécifiques brèves à bénéfices réciproques	73	a. La compétition indirecte dans le cadre de l'exploitation de ressources communes : la compétition par exploitation	94
1. Principales fonctions possibles des coopérations	73	b. La compétition directe par inhibition de la croissance entre protagonistes : la compétition par interférence	94
a. Rôle trophique	73	2. Une conséquence fréquente : l'exclusion compétitive, restriction de la répartition (ou de l'abondance) d'une espèce par l'autre	94
b. Rôle de protection ou défense	74		
c. Rôle dans le cycle de reproduction ou développement	74		

F. Une classification des relations interspécifiques qui ne peut gommer des cas intermédiaires : la plasticité des relations interspécifiques	95
G. Les conséquences écologiques et évolutives des relations interspécifiques	95
1. Les relations interspécifiques, des interactions aux conséquences sur la structuration et le fonctionnement de l'écosystème	95
a. Une dimension trophique fréquente qui assure la circulation de matière et d'énergie dans l'écosystème	95
b. Un contrôle entre niveaux trophiques : les régulations descendante (<i>top-down</i>) et ascendantes (<i>bottom-up</i>)	95
c. Des relations qui définissent des espèces clefs-de-voûte au rôle fonctionnel majeur	96
d. Des relations qui impactent la dynamique des populations impliquées (exemple de la prédation et du modèle de LOTKA-VOLTERRA)	96
2. Les relations interspécifiques, des interactions comportant une dimension évolutive	96
a. Des relations qui impactent les individus : <i>fitness</i> individuelle des individus impliqués vs. <i>fitness</i> des individus non impliqués	96
b. Des relations qui impactent différenciellement la <i>fitness</i> des individus impliqués dans les interactions et des génotypes, tendant à la sélection d'adaptations à l'interaction	96
c. Les relations interspécifiques et la coévolution	97
III. Les écosystèmes, des entités dynamiques où l'homme exerce une influence variable : le fonctionnement des écosystèmes	99
A. Les écosystèmes, des entités traversées par des flux de matière et d'énergie	99
1. La structure trophique des écosystèmes	99
a. Trois grands types d'organismes : producteurs primaires, consommateurs, décomposeurs	99
b. Des organismes connectés par des chaînes et des réseaux trophiques	99
2. Les flux (= transferts) et les pertes (= la dissipation) d'énergie dans les réseaux trophiques	100
a. Notions de flux trophique, de perte d'énergie, de biomasse et d'assimilation	100
b. Entrées et pertes de matière et d'énergie chez les producteurs primaires	101
c. Entrées et pertes de matière et d'énergie chez les producteurs secondaires (= consommateurs)	102
d. Une efficacité des flux dont il est possible de rendre compte en calculant des rendements	103
3. Le rôle des décomposeurs et minéralisateurs (essentiellement dans le sol)	103
a. La décomposition au sens strict : la fragmentation et la simplification moléculaire de la matière organique morte (débris, déchets, cadavres)	104
b. La minéralisation : la production d'humus (humification) et d'ions minéraux ou gaz inorganiques (minéralisation au sens strict)	104
4. L'importance dans ces processus de l'énergie auxiliaire, énergie environnementale abiotique facilitant l'activité biologique	105
5. La présence de cycles de matière dans l'écosystème	105
a. Les cycles biogéochimiques et le vocabulaire associé (formes d'un élément chimique, réservoir, flux = transfert, temps de résidence)	105
b. L'exemple du cycle du carbone (cycle court)	105
c. L'exemple du cycle de l'azote (simplifié)	105
B. Les écosystèmes, entités dynamiques qui peuvent se transformer au cours du temps	106
1. Les successions écologiques, des séquences de stades biocénétiques se succédant naturellement au cours du temps et tendant vers un climax	106
2. Des séries généralement progressives où la biodiversité, la biomasse, la production et la proportion de stratégies <i>K</i> tendent à augmenter	106
3. Un climax pas toujours atteint : la possibilité d'un blocage (exemple de la prairie pâturée)	107
4. L'existence de séries régressives	107

5. La possibilité d'une absorption des perturbations d'origine naturelle ou anthropique et du retour à l'état antérieur : la résilience	108
C. Les écosystèmes, entités impactées par les activités anthropiques : l'exemple de l'activité agricole	108
1. Notions d'écosystème « naturel », d'agrosystème et d'agro-écosystème	108
2. Les agrosystèmes, des écosystèmes simplifiés par l'homme où des intrants sont ajoutés et des prélèvements opérés	108
3. Les agrosystèmes, des écosystèmes à forte productivité dont la biodiversité est réduite et contrôlée par l'homme	109
4. Les agrosystèmes, des écosystèmes dont les pratiques peuvent impacter négativement l'environnement	109
5. Caractéristiques comparées d'un écosystème naturel et d'un agrosystème	109

Bilan : une vue d'ensemble de l'écosystème prairial	111
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes	111
Références	112
Plan complet du chapitre	113
Plan modérément simplifié (4 niveaux)	117
Plan simplifié (3 niveaux)	120
Plan très simplifié (2 niveaux)	121

Plan simplifié (3 niveaux)

Objectifs : extraits du programme	1
Introduction	2
I. Les écosystèmes, des entités structurées comprenant une biocénose et un biotope en interaction	5
A. Les écosystèmes, objets naturels ou conceptuels ?	5
1. Définitions	5
2. Une délimitation qui dépend du scientifique : la relativité de la notion d'écosystème et la diversité des échelles envisageables	6
3. L'existence d'un couplage biotope-biocénose	6
B. Les écosystèmes, des entités organisées résultant de l'action de facteurs écologiques variés : la structure des écosystèmes	6
1. La zonation (structuration spatiale) des écosystèmes : une répartition des composants dans l'espace (éventuellement sous le contrôle de gradients)	6
2. Les facteurs écologiques abiotiques : l'impact du biotope sur l'écosystème	16
3. Les facteurs écologiques biotiques : l'impact de la biocénose sur l'écosystème	37
4. L'écosystème, un système ouvert en interaction avec d'autres écosystèmes [limite programme]	52
C. Les écosystèmes terrestres, des entités dont le substrat est un sol	54
1. Le sol, interface entre géosphère, biosphère, atmosphère et hydrosphère provenant de l'altération physique, chimique et biologique d'une roche	54
2. La structure spatiale du sol	55
3. La composition organique et minérale du sol : le biotope	56
4. La composition biologique du sol : une biocénose particulière	56
5. La sapromasse ou nécromasse, matière organique morte du sol constituant un stade transitionnel entre monde vivant et état minéral	60
D. La réponse des populations à l'ensemble des facteurs écologiques de leur environnement et leur position dans l'écosystème	61
1. Les espèces face aux facteurs écologiques	61
2. La niche écologique, une notion qui rend compte des atouts et contraintes du milieu vis-à-vis d'une espèce donnée	62
E. Bilan : l'écosystème comme résultant des actions combinées et interdépendantes du biotope et de la biocénose	68
II. Des interactions entre les populations de la biocénose : les relations interspécifiques	69
A. La diversité des relations interspécifiques : un panorama	69
1. Les relations indifférentes (neutralisme au sens large), interactions sans bénéfices ni coûts particuliers pour les protagonistes	70
2. Les relations antagonistes, où au moins l'un des partenaires subit un préjudice	70
3. Les relations favorables, où au moins l'un des protagonistes tire un bénéfice de l'interaction (sans nuire à l'autre)	72
B. La coopération interspécifique, ensemble d'interactions interspécifiques brèves à bénéfices réciproques	73
1. Principales fonctions possibles des coopérations	73
2. Caractère spécifique ou non spécifique de la coopération	74
3. Caractère obligatoire ou facultatif de la coopération	74
C. La symbiose et le parasitisme, des interactions interspécifiques durables à bénéfices respectivement réciproques et unilatéraux	75
1. Panorama introductif des relations symbiotiques et parasitaires : des relations qui affectent tous les types d'organismes	75
2. Symbiose et parasitisme, des interactions durables qui affectent les fonctions de relation des protagonistes	76
3. Symbiose et parasitisme, des interactions durables qui impliquent des adaptations morpho-anatomiques favorisant les échanges trophiques	79
4. Symbiose et parasitisme, des interactions souvent spécifiques et qui s'inscrivent dans le temps	81
5. En guise de bilan : panorama des adaptations à la symbiose et au parasitisme au travers de deux exemples	83
D. Les relations mangeur-mangé ou prédation au sens large, des interactions interspécifiques où un organisme en consomme un autre	84
1. Rappel : la diversité des relations d'exploitation (phytophagie, prédation s. str., microprédation, parasitisme, hyperparasitisme ...)	84
2. L'herbivorie (au sens large) ou phytophagie : la consommation d'un végétal par un animal	84
3. La prédation (au sens strict) : la consommation d'un animal par un autre (consommateur secondaire)	89
E. La compétition interspécifique : une lutte entre deux espèces dans l'accès à une même ressource	93
1. Deux grands types de compétition	93
2. Une conséquence fréquente : l'exclusion compétitive, restriction de la répartition (ou de l'abondance) d'une espèce par l'autre	94
F. Une classification des relations interspécifiques qui ne peut gommer des cas intermédiaires : la plasticité des relations interspécifiques	95
G. Les conséquences écologiques et évolutives des relations interspécifiques	95
1. Les relations interspécifiques, des interactions aux conséquences sur la structuration et le fonctionnement de l'écosystème	95
2. Les relations interspécifiques, des interactions comportant une dimension évolutive	96
III. Les écosystèmes, des entités dynamiques où l'homme exerce une influence variable : le fonctionnement des écosystèmes	99
A. Les écosystèmes, des entités traversées par des flux de matière et d'énergie	99
1. La structure trophique des écosystèmes	99
2. Les flux (= transferts) et les pertes (= la dissipation) d'énergie dans les réseaux trophiques	100
3. Le rôle des décomposeurs et minéralisateurs (essentiellement dans le sol)	103
4. L'importance dans ces processus de l'énergie auxiliaire, énergie environnementale abiotique facilitant l'activité biologique	105
5. La présence de cycles de matière dans l'écosystème	105
B. Les écosystèmes, entités dynamiques qui peuvent se transformer au cours du temps	106
1. Les successions écologiques, des séquences de stades biocénétiques se succédant naturellement au cours du temps et tendant vers un climax	106
2. Des séries généralement progressives où la biodiversité, la biomasse, la production et la proportion de stratégies K tendent à augmenter	106
3. Un climax pas toujours atteint : la possibilité d'un blocage (exemple de la prairie pâturée)	107
4. L'existence de séries régressives	107
5. La possibilité d'une absorption des perturbations d'origine naturelle ou anthropique et du retour à l'état antérieur : la résilience	108
C. Les écosystèmes, entités impactées par les activités anthropiques : l'exemple de l'activité agricole	108
1. Notions d'écosystème « naturel », d'agrosystème et d'agro-écosystème	108
2. Les agrosystèmes, des écosystèmes simplifiés par l'homme où des intrants sont ajoutés et des prélèvements opérés	108
3. Les agrosystèmes, des écosystèmes à forte productivité dont la biodiversité est réduite et contrôlée par l'homme	109

4. Les agrosystèmes, des écosystèmes dont les pratiques peuvent impacter négativement l'environnement	109
5. Caractéristiques comparées d'un écosystème naturel et d'un agrosystème	109
Bilan : une vue d'ensemble de l'écosystème prairial	111
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes	111
Références	112
Plan complet du chapitre	113
Plan modérément simplifié (4 niveaux)	117
Plan simplifié (3 niveaux)	120
Plan très simplifié (2 niveaux)	121

Bilan : une vue d'ensemble de l'écosystème prairial	111
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes	111
Références	112
Plan complet du chapitre	113
Plan modérément simplifié (4 niveaux)	117
Plan simplifié (3 niveaux)	120
Plan très simplifié (2 niveaux)	121

Plan très simplifié (2 niveaux)

Objectifs : extraits du programme	1
Introduction	2
I. Les écosystèmes, des entités structurées comprenant une biocénose et un biotope en interaction	5
A. Les écosystèmes, objets naturels ou conceptuels ?	5
B. Les écosystèmes, des entités organisées résultant de l'action de facteurs écologiques variés : la structure des écosystèmes	6
C. Les écosystèmes terrestres, des entités dont le substrat est un sol	54
D. La réponse des populations à l'ensemble des facteurs écologiques de leur environnement et leur position dans l'écosystème	61
E. Bilan : l'écosystème comme résultant des actions combinées et interdépendantes du biotope et de la biocénose	68
II. Des interactions entre les populations de la biocénose : les relations interspécifiques	69
A. La diversité des relations interspécifiques : un panorama	69
B. La coopération interspécifique, ensemble d'interactions interspécifiques brèves à bénéfiques réciproques	73
C. La symbiose et le parasitisme, des interactions interspécifiques durables à bénéfiques respectivement réciproques et unilatéraux	75
D. Les relations mangeur-mangé ou prédation au sens large, des interactions interspécifiques où un organisme en consomme un autre	84
E. La compétition interspécifique : une lutte entre deux espèces dans l'accès à une même ressource	93
F. Une classification des relations interspécifiques qui ne peut donner des cas intermédiaires : la plasticité des relations interspécifiques	95
G. Les conséquences écologiques et évolutives des relations interspécifiques	95
III. Les écosystèmes, des entités dynamiques où l'homme exerce une influence variable : le fonctionnement des écosystèmes	99
A. Les écosystèmes, des entités traversées par des flux de matière et d'énergie	99
B. Les écosystèmes, entités dynamiques qui peuvent se transformer au cours du temps	106
C. Les écosystèmes, entités impactées par les activités anthropiques : l'exemple de l'activité agricole	108

© Tanguy JEAN. Les textes et les figures originales sont la propriété de l'auteur. Les figures extraites d'autres sources restent évidemment la propriété des auteurs ou éditeurs originaux.

Remerciements : Frédéric SAURETY (LEGTA Louis Pasteur, Lempdes),

Geneviève CODOU-DAVID (LEGTA Olivier de Serres, Quetigny).

Document terminé en avril 2019 (prépa TB). Dernière révision : juin 2023.

Contact : Tanguy.Jean4@gmail.com

Adresse de téléchargement : <https://www.svt-tanguy-jean.com/>



Ces données sont placées sous licence *Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation commerciale 4.0 CC BY NC* qui autorise la reproduction et la diffusion du document, à condition d'en citer explicitement la source et de ne pas en faire d'utilisation commerciale.