

Écosystèmes et services environnementaux

COURS • S10 • PREMIÈRE

Spécialité de première, programme officiel. Cours original rédigé avec une IA. Le cours de ton enseignant fait foi.

Sommaire du cours

Ce que tu dois savoir faire	1
Cours	2
Exemples résolus	9
Méthodes et pièges	10
Vers le PASS	11
Exercices	11
Corrigés	13

Ce que tu dois savoir faire

- Définir un écosystème, sa biocénose et son biotope, et identifier les facteurs abiotiques et biotiques qui le structurent.
- Identifier et classer les interactions biotiques (compétition, prédation, parasitisme, mutualisme, symbiose, commensalisme) à partir d'exemples ou de résultats expérimentaux.
- Construire et analyser un réseau trophique, en plaçant producteurs, consommateurs et décomposeurs.
- Calculer des rendements de transfert d'énergie entre niveaux trophiques et interpréter une pyramide écologique.
- Décrire les cycles du carbone et de l'azote, en identifiant les êtres vivants qui en assurent chaque étape.
- Expliquer la dynamique d'un écosystème : équilibre dynamique, fluctuations des populations, perturbations, résilience, successions écologiques.
- Identifier et classer les services écosystémiques (approvisionnement, régulation, culturels, soutien).
- Exploiter des données pour évaluer l'effet d'une activité humaine sur un écosystème et argumenter une mesure de gestion durable.

Cours

1. Qu'est-ce qu'un écosystème ?

1.1. Définitions

Un **écosystème** est l'ensemble formé par une communauté d'êtres vivants, la **biocénose**, et le milieu dans lequel elle vit, le **biotope**, ainsi que l'ensemble des **interactions** qui les relient. Une forêt, une mare, un récif corallien, une prairie ou même l'intestin humain avec son microbiote sont des écosystèmes. Leurs limites sont souvent fixées par l'observateur : un écosystème est un système **ouvert**, qui échange de l'énergie et de la matière avec les écosystèmes voisins.

Une **population** est l'ensemble des individus d'une même espèce vivant dans un même lieu à un moment donné. La biocénose est l'ensemble des populations de l'écosystème.

1.2. Facteurs abiotiques et biotiques

Les **facteurs abiotiques** sont les caractéristiques physiques et chimiques du milieu : lumière, température, humidité, disponibilité en eau, pH, teneur en sels minéraux, teneur en dioxygène, nature du sol. Chaque espèce ne peut vivre que dans un intervalle de valeurs de chaque facteur, avec un optimum. Le facteur le plus éloigné de l'optimum limite souvent la population : c'est un **facteur limitant** (par exemple l'eau dans un désert, la lumière au sol d'une forêt dense, les nitrates dans une culture).

Les **facteurs biotiques** sont les effets des êtres vivants les uns sur les autres : ce sont les interactions biotiques. Les êtres vivants modifient aussi le biotope : les arbres d'une forêt créent un ombrage et un microclimat humide, les vers de terre aèrent et mélangent le sol.

2. Les interactions biotiques

2.1. Les interactions intraspécifiques

Entre individus d'une même espèce, on observe de la **compétition** (pour la nourriture, l'espace, les partenaires sexuels) mais aussi de la **coopération** (chasse en groupe, vie en colonie, défense collective). La compétition intraspécifique augmente avec la densité de la population : elle contribue à la limiter.

2.2. Les interactions interspécifiques

On les classe selon l'effet sur chacune des deux espèces : bénéfique (+), néfaste (moins) ou neutre (0).

Interaction	Espèce A	Espèce B	Exemple
Compétition	moins	moins	deux espèces de mésanges pour les mêmes cavités ; plantes pour la lumière
Prédation	+ (prédateur)	moins (proie)	lynx et lièvre ; coccinelle et puceron
Parasitisme	+ (parasite)	moins (hôte)	tique sur un mammifère ; gui sur un arbre

Interaction	Espèce A	Espèce B	Exemple
Mutualisme	+	+	abeille et fleur (pollinisation)
Symbiose	+	+	lichen (champignon et algue), mycorhizes, nodosités
Commensalisme	+	0	poissons-pilotes près des requins

La **symbiose** est un mutualisme **durable et obligatoire** (ou quasi obligatoire), avec une association physique étroite :

- le **lichen** associe un champignon, qui fournit eau et sels minéraux et protège contre la dessiccation, et une algue ou une cyanobactérie, qui fournit des matières organiques par photosynthèse ;
- les **mycorhizes** associent les racines de la plupart des plantes et des champignons du sol : le mycélium du champignon, très ramifié, augmente la surface d'absorption de l'eau et des ions (surtout phosphates), la plante cède des glucides au champignon ;
- les **nodosités** des Fabacées (pois, luzerne, trèfle) abritent des bactéries du genre *Rhizobium* qui fixent le diazote de l'air (N_2) et le transforment en composés azotés utilisables par la plante, en échange de matières organiques.

Le **principe d'exclusion compétitive** énonce que deux espèces ayant exactement les mêmes besoins (la même **niche écologique**) ne peuvent coexister durablement dans un milieu aux ressources limitées : l'une élimine l'autre. La coexistence est possible si les niches diffèrent (ressources, période ou zone d'activité différentes).

3. Les réseaux trophiques

3.1. Producteurs, consommateurs, décomposeurs

Les **relations trophiques** sont les relations alimentaires (« qui mange qui »). On distingue :

- les **producteurs primaires**, organismes **autotrophes** (végétaux chlorophylliens, algues, cyanobactéries) qui produisent leur matière organique à partir de matière minérale (CO_2 , eau, sels minéraux) grâce à l'énergie lumineuse, par **photosynthèse** ;
- les **consommateurs, hétérotrophes**, qui se nourrissent de matière organique : primaires (herbivores), secondaires (carnivores qui mangent des herbivores), tertiaires, etc. ;
- les **décomposeurs** (bactéries, champignons) et les **détritivores** (vers de terre, cloportes), qui transforment la matière organique morte (feuilles, cadavres, excréments) et finissent par la **minéraliser**, c'est-à-dire la transformer en matière minérale réutilisable par les producteurs.

Une **chaîne alimentaire** est une suite d'êtres vivants dans laquelle chacun mange le précédent. Les flèches vont toujours **du mangé vers le mangeur** (sens du transfert de matière et d'énergie). Dans un écosystème réel, les chaînes s'entrecroisent : beaucoup d'espèces ont plusieurs proies ou plusieurs prédateurs. L'ensemble forme un **réseau trophique**. La position d'un être vivant dans une chaîne est son **niveau trophique**.

Une chaîne alimentaire de prairie

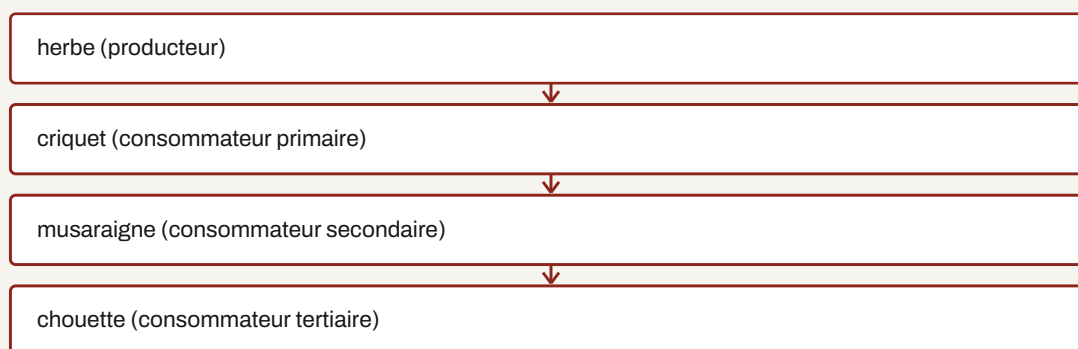


Schéma de principe original • lire les conditions et limites dans le texte

Un réseau trophique est d'autant plus **stable** qu'il est diversifié : si une proie se raréfie, un prédateur qui a plusieurs proies peut se reporter sur une autre. Certaines espèces, dites **espèces clés de voûte**, ont un effet sur l'écosystème bien plus grand que leur abondance ne le laisse prévoir (par exemple un grand prédateur qui régule les herbivores et permet la repousse de la végétation).

3.2. Les transferts d'énergie et de matière

L'énergie entre dans l'écosystème sous forme lumineuse et est convertie en énergie chimique par les producteurs. À chaque niveau trophique, une grande partie de l'énergie absorbée ne se retrouve pas dans la biomasse du niveau suivant :

- une partie de la matière n'est pas consommée (parties non mangées) ou pas assimilée (excréments) ; elle passe aux décomposeurs ;
- une partie importante est utilisée par la **respiration cellulaire** pour les besoins de l'organisme et finalement dissipée sous forme de **chaleur**.

La **production** d'un niveau est la matière organique (ou l'énergie) qu'il fabrique, sous forme de croissance et de reproduction, par unité de surface et de temps (par exemple en $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$). Le **rendement écologique** entre deux niveaux est :

$$\text{rendement} = \text{production du niveau } n + 1 / \text{production du niveau } n$$

Il est souvent de l'ordre de **10 %** (de 1 à 20 % selon les cas, plus faible pour les animaux à température constante, qui dépensent beaucoup en respiration). Conséquences :

- les chaînes alimentaires comptent rarement plus de quatre ou cinq maillons : il ne reste plus assez d'énergie au sommet ;
- les **pyramides** de production (et souvent de biomasse) sont larges à la base et étroites au sommet ;
- produire de la nourriture animale demande beaucoup plus de surface que produire la même quantité d'énergie sous forme végétale.

L'énergie **traverse** l'écosystème (flux à sens unique, de la lumière à la chaleur), alors que la matière y **circule** en cycles grâce aux décomposeurs.

Certaines substances peu dégradables et stockées dans les graisses (mercure, certains pesticides) se concentrent le long des chaînes : c'est la **bioamplification**. Les prédateurs du sommet en contiennent

les concentrations les plus élevées.

4. Les cycles de la matière

4.1. Le cycle du carbone

Le carbone se trouve sous forme minérale (CO_2 de l'atmosphère, ions hydrogénocarbonate de l'océan, roches carbonatées) et sous forme organique (biomasse, matière organique des sols, combustibles fossiles).

- La **photosynthèse** des producteurs fait passer le carbone minéral dans la matière organique : $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$.
- Le carbone circule ensuite dans les réseaux trophiques.
- La **respiration** de tous les êtres vivants, y compris les décomposeurs, le rend à l'atmosphère sous forme de CO_2 .
- Une partie de la matière organique échappe à la décomposition et est stockée à long terme : humus des sols, tourbières, sédiments, et à l'échelle géologique charbon, pétrole et gaz.
- L'océan échange du CO_2 avec l'atmosphère ; le plancton calcaire et les coraux fixent du carbone sous forme de carbonate de calcium.

Les activités humaines (combustion des énergies fossiles, déforestation) ajoutent du CO_2 à l'atmosphère plus vite que les réservoirs naturels ne l'absorbent : sa concentration a dépassé 420 ppm, contre environ 280 ppm avant la révolution industrielle.

4.2. Le cycle de l'azote

L'azote est indispensable aux êtres vivants (protéines, acides nucléiques). L'atmosphère contient 78 % de diazote N_2 , mais la grande majorité des êtres vivants ne peut pas l'utiliser directement. Les plantes absorbent l'azote sous forme minérale (ions nitrate NO_3^- et ammonium NH_4^+). Le cycle repose largement sur des micro-organismes :

- **fixation** du diazote par des bactéries libres du sol ou symbiotiques (Rhizobium des nodosités) et par des cyanobactéries : $\text{N}_2 \rightarrow$ ammonium puis composés organiques ;
- **assimilation** : les plantes absorbent nitrates et ammonium et fabriquent des molécules organiques azotées, transmises aux consommateurs ;
- **ammonification** : les décomposeurs transforment l'azote organique des cadavres et excréments en ammonium ;
- **nitrification** : des bactéries du sol oxydent l'ammonium en nitrites puis en nitrates (en milieu aéré) ;
- **dénitrification** : en milieu pauvre en dioxygène (sols gorgés d'eau), d'autres bactéries réduisent les nitrates en N_2 , qui retourne à l'atmosphère.

Le cycle de l'azote

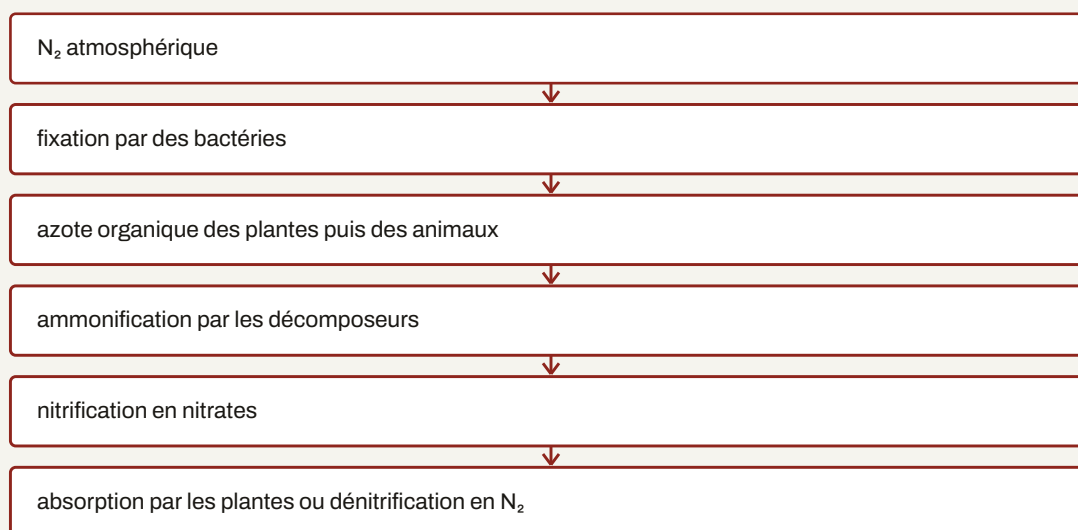


Schéma de principe original • lire les conditions et limites dans le texte

L'agriculture apporte des engrais azotés produits industriellement. En excès, les nitrates sont entraînés par les pluies vers les rivières et les côtes, où ils favorisent la prolifération d'algues : c'est l'**eutrophisation**. La décomposition de ces algues consomme le dioxygène de l'eau et provoque la mort de poissons. Les cultures de Fabacées, en enrichissant le sol en azote, permettent de réduire les engrais.

5. La dynamique des écosystèmes

5.1. Un équilibre dynamique

Un écosystème n'est pas figé : les effectifs des populations varient en permanence, au gré des naissances, des morts, des migrations, des saisons. On parle d'**équilibre dynamique** quand ces effectifs fluctuent autour de valeurs moyennes relativement stables sur une longue durée.

Les relations proie-prédateur produisent souvent des **oscillations décalées** : quand les proies abondent, les prédateurs, mieux nourris, se reproduisent davantage ; leur augmentation fait diminuer les proies ; les prédateurs, privés de nourriture, régressent à leur tour ; les proies se reconstituent. Les registres de fourrures de la Compagnie de la baie d'Hudson montrent ainsi des cycles d'environ dix ans pour le lièvre d'Amérique et le lynx du Canada, le pic des lynx suivant celui des lièvres (d'autres facteurs, comme la végétation consommée par les lièvres, interviennent aussi).

5.2. Perturbations et résilience

Une **perturbation** est un événement qui modifie brutalement l'écosystème : incendie, tempête, crue, sécheresse, épidémie, mais aussi coupe forestière, pollution, arrivée d'une **espèce exotique envahissante** (frelon asiatique, jussie, ragondin). La **résilience** est la capacité d'un écosystème à retrouver un fonctionnement comparable après une perturbation. Elle est plus grande quand la biodiversité est élevée (plusieurs espèces peuvent assurer une même fonction) et quand la perturbation est modérée. Au-delà d'un certain seuil, l'écosystème peut basculer vers un autre état, durablement différent (par exemple une forêt détruite remplacée par une lande après érosion du sol).

5.3. Les successions écologiques

Sur un milieu nu (coulée de lave, éboulis, champ abandonné), la végétation se met en place par étapes : c'est une **succession écologique**. Des espèces **pionnières** (lichens, mousses, herbacées annuelles) s'installent, créent un sol et modifient le microclimat. Elles sont progressivement remplacées par des herbacées vivaces, puis des arbustes, puis des arbres de lumière et enfin d'ombre. En France, l'état final le plus fréquent en plaine est une forêt de feuillus. Après une perturbation (incendie, abandon d'une culture), la succession reprend à partir d'un stade intermédiaire.

Une succession écologique

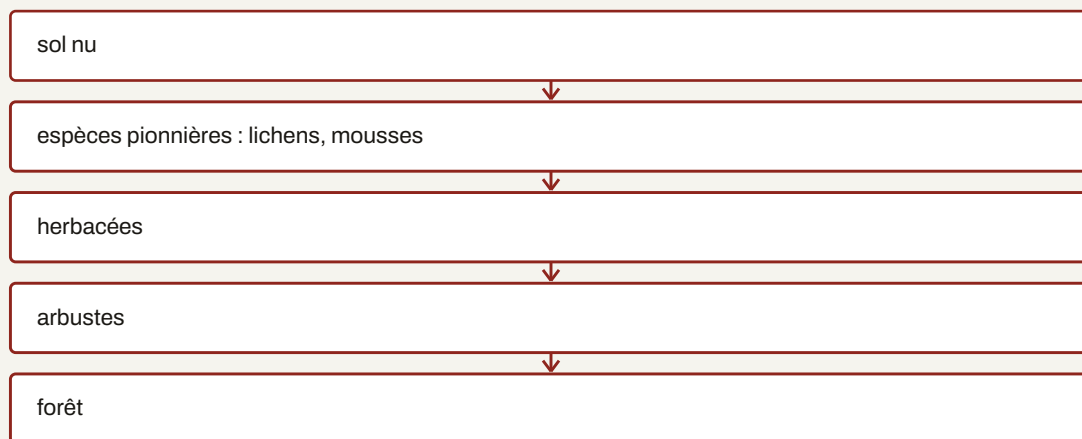


Schéma de principe original • lire les conditions et limites dans le texte

6. Les services écosystémiques

6.1. Définition et classification

Les **services écosystémiques** sont les bénéfices que les sociétés humaines tirent du fonctionnement des écosystèmes. On les classe en quatre catégories :

- **services d'approvisionnement** : production de nourriture (cultures, pêche, gibier), de bois, de fibres, d'eau douce, de molécules médicamenteuses (une part importante des médicaments dérive de substances naturelles) ;
- **services de régulation** : pollinisation des cultures, régulation du climat (stockage de carbone dans les forêts, les sols, les océans), épuration de l'eau par les zones humides, protection contre l'érosion et les crues (haies, ripisylves, mangroves), régulation des ravageurs par leurs prédateurs naturels ;
- **services culturels** : loisirs, tourisme, valeur esthétique, spirituelle, éducative et scientifique ;
- **services de soutien** : processus qui permettent tous les autres, comme la formation des sols, la photosynthèse, le recyclage des éléments (cycles du carbone et de l'azote).

Les quatre catégories de services écosystémiques

approvisionnement : nourriture, bois, eau

régulation : pollinisation, climat, épuration, crues

culturels : loisirs, paysages, savoirs

soutien : sols, photosynthèse, cycles

Repères complémentaires, sans séquence causale

6.2. L'exemple de la pollinisation

La plupart des plantes à fleurs sont pollinisées par des animaux, surtout des insectes. Environ trois quarts des principales cultures alimentaires mondiales bénéficient, au moins en partie, de la pollinisation animale, et environ un tiers de la production agricole mondiale en volume en dépend à des degrés divers. Le déclin des pollinisateurs, sauvages et domestiques, sous l'effet des pesticides, de la perte des habitats, des parasites et du changement climatique, menace donc directement des rendements agricoles. On estime la valeur de ce service en comparant la production avec et sans pollinisateurs, ou le coût d'un remplacement (pollinisation manuelle).

6.3. Évaluer un service

Évaluer un service permet de l'intégrer aux décisions d'aménagement. On peut estimer sa **valeur économique** (coût évité, par exemple l'usine de traitement d'eau qu'une zone humide rend inutile) ou ses effets mesurables (tonnes de carbone stockées, réduction des crues). Cette évaluation a des limites : beaucoup de services sont difficiles à chiffrer, et certains (valeur culturelle, existence des espèces) n'ont pas d'équivalent monétaire.

7. Les activités humaines et la gestion durable

7.1. Les pressions humaines

Les principales causes de dégradation des écosystèmes sont la destruction et la fragmentation des habitats (urbanisation, agriculture intensive, routes), la surexploitation (surpêche, déforestation), les pollutions (pesticides, nitrates, plastiques), les espèces exotiques envahissantes et le changement climatique. Elles réduisent la biodiversité et donc la capacité des écosystèmes à fournir des services.

Certaines exploitations modifient fortement un écosystème pour maximiser un seul service d'approvisionnement : une monoculture produit beaucoup, mais au prix d'une faible biodiversité, d'un sol appauvri, d'une forte dépendance aux engrais et aux pesticides, et d'une perte de services de régulation.

7.2. La gestion durable

Une **gestion durable** vise à satisfaire les besoins actuels sans compromettre la capacité des écosystèmes à fournir des services aux générations futures. Elle s'appuie sur la connaissance du fonctionnement des écosystèmes :

- **agroécologie** : rotations de cultures et associations avec des Fabacées (azote), maintien des haies et des bandes fleuries (pollinisateurs, prédateurs des ravageurs, protection contre l'érosion), **lutte biologique** (introduction ou favorisation d'auxiliaires, comme les coccinelles contre les pucerons), réduction des pesticides et des labours ;
- **exploitation raisonnée des ressources** : quotas de pêche fixés pour que les prélèvements ne dépassent pas le renouvellement des populations, tailles minimales de capture, gestion forestière qui replante et conserve des arbres âgés ;
- **protection et restauration** : aires protégées (parcs nationaux, réserves), restauration de zones humides, **corridors écologiques** reliant les habitats fragmentés (en France, la trame verte et bleue), effacement de barrages pour les poissons migrateurs ;
- **ingénierie écologique** : utiliser les êtres vivants pour assurer une fonction (lagunage pour épurer les eaux usées, plantations pour stabiliser des berges).

Gérer durablement un écosystème suppose de **mesurer** : suivre les effectifs des populations, la qualité de l'eau, la biodiversité, pour vérifier que les mesures produisent l'effet attendu et les ajuster.

Exemples résolus

Exemple 1 : exploiter une expérience de compétition

Énoncé. On cultive deux espèces de paramécies (organismes unicellulaires) qui se nourrissent des mêmes bactéries, avec une quantité de nourriture constante chaque jour. Résultats (nombre d'individus par mL) :

Jour	0	4	8	12	16	20
P. aurelia seule	2	60	180	200	200	200
P. caudatum seule	2	25	60	65	64	65
P. aurelia en mélange	2	45	120	170	185	195
P. caudatum en mélange	2	20	30	15	5	0

a) Décrire l'évolution de chaque espèce cultivée seule. b) Comparer avec les cultures en mélange. c) Identifier l'interaction et énoncer le principe illustré.

Résolution. a) Seules, les deux espèces croissent puis atteignent un **plateau** : environ 200 individus par mL pour P. aurelia dès le jour 12, environ 65 pour P. caudatum dès le jour 12. Le plateau traduit une limitation par la nourriture (compétition intraspécifique). b) En mélange, P. aurelia atteint presque le

même effectif que seule, un peu plus lentement (195 au jour 20 contre 200). *P. caudatum* croît au début (30 au jour 8) puis **décline jusqu'à disparaître** au jour 20, alors qu'elle se maintenait seule. Chaque espèce gêne l'autre, mais *P. aurelia* l'emporte. c) Les deux espèces utilisent la même ressource limitée et ont un effet négatif l'une sur l'autre : c'est une **compétition interspécifique**. L'élimination de *P. caudatum* illustre le **principe d'exclusion compétitive** : deux espèces de même niche écologique ne coexistent pas durablement quand la ressource est limitée.

Exemple 2 : transferts d'énergie dans un écosystème

Énoncé. Dans une prairie, on mesure la production de chaque niveau trophique (en $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$) : producteurs 20 000, consommateurs primaires 2 000, consommateurs secondaires 180, consommateurs tertiaires 12. a) Calculer les rendements entre niveaux successifs. b) Expliquer pourquoi les rendements sont faibles. c) Expliquer pourquoi on observe rarement un cinquième niveau.

Résolution. a) Primaires / producteurs : $2\,000 / 20\,000 = 0,10$, soit **10 %**. Secondaires / primaires : $180 / 2\,000 = 0,09$, soit **9 %**. Tertiaires / secondaires : $12 / 180 \approx 0,067$, soit **6,7 %**. b) À chaque niveau, une partie de la matière n'est pas consommée ou pas assimilée (elle part chez les décomposeurs), et une grande partie de l'énergie assimilée est utilisée par la **respiration cellulaire** puis dissipée en **chaleur** ; seule la fraction stockée en croissance et reproduction est disponible pour le niveau suivant. c) Avec un rendement d'environ 7 %, un cinquième niveau disposerait d'environ $12 \times 0,07 \approx 0,8 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$: une quantité d'énergie trop faible pour entretenir une population viable d'un grand prédateur sur une surface raisonnable.

Exemple 3 : évaluer un service de pollinisation

Énoncé. Dans un verger de pommiers, on compare des branches laissées libres et des branches enfermées dans un filet qui empêche l'accès des insectes. Branches libres : 40 % des fleurs donnent un fruit, masse moyenne d'un fruit 180 g. Branches sous filet : 6 % des fleurs donnent un fruit, masse moyenne 120 g. Un arbre porte en moyenne 1 000 fleurs. a) Calculer la production d'un arbre dans chaque cas. b) En déduire la part de la production due aux insectes pollinisateurs. c) Proposer deux mesures de gestion pour préserver ce service.

Résolution. a) Branches libres : $1\,000 \times 0,40 = 400$ fruits, $400 \times 0,180 = 72 \text{ kg}$. Sous filet : $1\,000 \times 0,06 = 60$ fruits, $60 \times 0,120 = 7,2 \text{ kg}$. b) Sans pollinisateurs, la production tombe de 72 à 7,2 kg : la part due à la pollinisation par les insectes est $(72 \text{ moins } 7,2) / 72 = 64,8 / 72 = 0,90$, soit **90 %**. Les insectes augmentent à la fois le nombre de fruits et leur masse (fruits mieux formés quand davantage d'ovules sont fécondés). c) Mesures possibles : implanter des **haies et des bandes fleuries** qui offrent nourriture et abris aux pollinisateurs sauvages ; **réduire ou décaler les traitements insecticides** (jamais pendant la floraison) ; installer des ruches pendant la floraison. Ce dernier point ne dispense pas de préserver les pollinisateurs sauvages, souvent très efficaces.

Méthodes et pièges

- Dans une chaîne ou un réseau trophique, la flèche va du mangé vers le mangeur (« est mangé par »), jamais l'inverse.
- Pour classer une interaction, détermine l'effet sur CHACUNE des deux espèces (+, moins, 0) avant de la nommer ; une symbiose est un mutualisme durable avec association étroite.
- Pour exploiter une expérience, compare toujours au témoin (espèce seule, branche sans filet) avant de conclure.

- Un rendement écologique se calcule en divisant la production du niveau supérieur par celle du niveau inférieur ; vérifie qu'il reste inférieur à 1 et exprime-le en pourcentage.
- Ne dis pas que l'énergie est « recyclée » : elle est dissipée en chaleur ; c'est la matière qui est recyclée par les décomposeurs.
- Dans le cycle de l'azote, ne confonds pas fixation (N_2 vers azote utilisable), nitrification (ammonium vers nitrates) et dénitrification (nitrates vers N_2).
- Un équilibre dynamique n'est pas un état immobile : les effectifs fluctuent autour d'une moyenne.
- Pour argumenter une mesure de gestion, relie-la toujours à un mécanisme écologique précis (quel service elle protège, par quelle interaction).

Vers le PASS

Les écosystèmes ne sont pas un chapitre du PASS en tant que tels, mais leurs raisonnements y reviennent. Le microbiote, présenté ici comme un écosystème, est étudié en microbiologie : communautés de micro-organismes, interactions entre espèces, effets d'un déséquilibre et de la transmission des agents infectieux. La bioamplification et l'exposition aux polluants sont reprises en santé publique, où l'on quantifie l'exposition, la dose et le risque pour les populations humaines. Enfin, la lecture d'un tableau de données expérimentales, la comparaison à un témoin et le calcul de rendements sont des compétences évaluées en permanence dans les épreuves.

Exercices

Niveau 1 : s'entraîner

1. Définir : biocénose, biotope, niveau trophique, décomposeur, service écosystémique.
2. Nommer l'interaction dans chaque cas et indiquer l'effet sur chaque espèce : a) le gui puise de la sève dans un pommier ; b) un champignon et une algue forment un lichen ; c) une buse capture un campagnol ; d) deux espèces d'herbe se disputent la lumière ; e) un bourdon butine une fleur et la pollinise.
3. Avec les êtres vivants suivants, construire un réseau trophique d'au moins deux chaînes : chêne, chenille, mésange, épervier, puceron, coccinelle, gland, mulot.
4. La production des producteurs d'un lac est de $8\,000\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$ et celle des consommateurs primaires de $640\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$. Calculer le rendement et prévoir la production des consommateurs secondaires si le rendement suivant vaut 10 %.
5. Classer les services suivants dans les quatre catégories : production de miel, épuration de l'eau par un marais, randonnée en forêt, formation d'un sol, stockage de carbone par une tourbière, pêche, régulation des pucerons par les syrphes, photosynthèse.

Niveau 2 : type bac

6. On cultive des pois dans deux lots de sol stérilisé, sans engrais azoté. Lot A : sol sans bactéries. Lot B : sol auquel on ajoute des bactéries *Rhizobium*. Après huit semaines, les plants du lot A sont chétifs et jaunes, sans nodosités, avec 0,8 g d'azote par plant ; ceux du lot B sont vigoureux, avec des nodosités sur les racines et 2,4 g d'azote par plant.
 - a) Quel est le rôle du lot A ? b) Interpréter les résultats. c) Nommer la relation entre le pois et *Rhizobium* et préciser ce qu'y gagne chaque partenaire. d) En déduire un intérêt agronomique des

Fabacées.

7. Voici l'évolution du nombre de lièvres et de lynx (en milliers) relevée sur 20 ans dans une région :
années 0, 5, 10, 15, 20 ; lièvres 30, 80, 20, 75, 25 ; lynx 2, 4, 6, 3, 5.

a) Décrire les variations des deux populations et le décalage entre elles. b) Proposer une explication fondée sur la relation proie-prédateur. c) Citer un autre facteur qui pourrait limiter la population de lièvres.

8. Dans un lac, la concentration d'un insecticide peu dégradable est de $0,00005 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ dans l'eau, $0,04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dans le plancton, $0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dans les petits poissons, $2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dans les poissons carnivores et $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dans les graisses des oiseaux piscivores.

a) Calculer le facteur de concentration entre le plancton et l'oiseau. b) Nommer et expliquer le phénomène. c) Expliquer pourquoi les prédateurs du sommet sont les plus menacés.

9. Après l'incendie d'une forêt de chênes, on relève les espèces dominantes au cours du temps : 1 an, herbacées annuelles ; 5 ans, graminées vivaces et genêts ; 15 ans, ronces, noisetiers, bouleaux ; 60 ans, chênes et hêtres.

a) Nommer ce phénomène. b) Expliquer comment chaque stade prépare le suivant. c) Que montre cette observation sur la résilience de l'écosystème ? À quelle condition pourrait-elle échouer ?

Niveau 3 : vers le PASS

10. Un hectare de culture produit $9 \times 10^7 \text{ kJ}$ par an d'énergie alimentaire végétale consommable. Un être humain a besoin d'environ $3,65 \times 10^6 \text{ kJ}$ par an. On suppose un rendement de 10 % pour la transformation de végétaux en viande consommable.

a) Combien de personnes un hectare peut-il nourrir si l'énergie est consommée sous forme végétale ?
b) Et si tout est d'abord donné à des animaux d'élevage, puis consommé sous forme de viande ?
c) Quelle conséquence en tirer pour la surface agricole nécessaire selon le régime alimentaire ?

11. Une population de poissons de 10 000 tonnes a, en l'absence de pêche, un taux d'accroissement annuel de 20 % quand elle est à moitié de la capacité du milieu (20 000 tonnes), et de 5 % quand elle est proche de cette capacité.

a) Calculer l'accroissement annuel en tonnes pour une population de 10 000 tonnes et pour une population de 19 000 tonnes. b) Quel prélèvement annuel maximal permet de maintenir une population stable de 10 000 tonnes ? c) Expliquer ce qui arrive si l'on prélève 3 000 tonnes par an à partir de 10 000 tonnes, et en déduire le principe d'un quota de pêche.

12. Dans un bassin versant agricole, on mesure la concentration en nitrates d'une rivière : $45 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en aval de parcelles cultivées sans haies, $18 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en aval de parcelles bordées d'une bande boisée humide de 20 m le long de la rivière.

a) Calculer le pourcentage de réduction dû à la bande boisée. b) Proposer deux mécanismes écologiques qui expliquent cette réduction. c) Nommer le service rendu et sa catégorie, et expliquer pourquoi il limite l'eutrophisation en aval.

13. Dans un écosystème, une espèce de prédateur est éliminée. On observe ensuite : explosion de la population de ses proies herbivores, surpâturage, disparition de jeunes arbres le long des cours d'eau, érosion accrue des berges, recul de plusieurs espèces d'oiseaux et de castors.

a) Montrer, en construisant une chaîne de causes, que ce prédateur agit bien au-delà de ses seules proies. b) Quel terme désigne une telle espèce ? c) Expliquer pourquoi la réintroduction du prédateur

peut améliorer des services de régulation.

Corrigés

1. **Biocénose** : ensemble des êtres vivants (des populations) d'un écosystème. **Biotope** : milieu physique et chimique où vit la biocénose. **Niveau trophique** : position d'un être vivant dans une chaîne alimentaire (producteur, consommateur primaire, secondaire...). **Décomposeur** : organisme (bactérie, champignon) qui transforme la matière organique morte et la minéralise. **Service écosystémique** : bénéfique que les sociétés humaines tirent du fonctionnement d'un écosystème.
2. a) **Parasitisme** : gui (+), pommier (moins). b) **Symbiose** : champignon (+), algue (+). c) **Prédation** : buse (+), campagnol (moins). d) **Compétition** : chacune des deux espèces (moins). e) **Mutualisme** : bourdon (+, nourriture), fleur (+, pollinisation).
3. Exemple de réseau (flèches du mangé vers le mangeur) : **chêne** → **chenille** → **mésange** → **épervier** ; **chêne** → **puceron** → **coccinelle** → **mésange** ; **chêne** → **gland** → **mulot** → **épervier** (le gland, produit par le chêne, est mangé par le mulot). Les chaînes se croisent au niveau du chêne, de la mésange et de l'épervier : c'est un réseau.
4. Rendement = $640 / 8\,000 = 0,08$, soit 8 %. Production des consommateurs secondaires = $640 \times 0,10 = 64 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$.
5. **Approvisionnement** : production de miel, pêche. **Régulation** : épuration de l'eau par un marais, stockage de carbone par une tourbière, régulation des pucerons par les syrphes. **Culturels** : randonnée en forêt. **Soutien** : formation d'un sol, photosynthèse.
6. a) Le lot A est le **témoin** : il ne diffère du lot B que par l'absence de Rhizobium et permet d'attribuer les différences aux bactéries.
b) Sans Rhizobium, les plants n'ont pas de nodosités, peu d'azote (0,8 g) et poussent mal : le sol stérilisé sans engrais manque d'azote utilisable. Avec Rhizobium, des **nodosités** se forment et les plants contiennent trois fois plus d'azote ($2,4 / 0,8 = 3$). L'azote supplémentaire ne peut venir que de l'air : les bactéries des nodosités **fixent le diazote N_2** et le rendent utilisable par la plante. c) C'est une **symbiose** : la plante reçoit des composés azotés, la bactérie reçoit des matières organiques (glucides issus de la photosynthèse) et un abri dans la nodosité. d) Les Fabacées enrichissent le sol en azote : en rotation ou en association, elles permettent de **réduire les apports d'engrais azotés**.
7. a) Les lièvres oscillent entre des maximums (80 et 75 milliers aux années 5 et 15) et des minimums (20 et 25 milliers aux années 10 et 20). Les lynx oscillent aussi, avec des maximums aux années 10 (6 milliers) et 20 (5 milliers) : leurs pics **suivent ceux des lièvres avec un décalage** d'environ cinq ans dans ces données.
b) Quand les lièvres sont nombreux, les lynx sont bien nourris et se reproduisent davantage : leur population augmente. Les lynx plus nombreux consomment plus de lièvres, qui diminuent. Privés de proies, les lynx régressent ; les lièvres, moins chassés, se multiplient à nouveau. C'est une **oscillation décalée proie-prédateur**. c) La quantité de **végétation disponible** (compétition intraspécifique pour la nourriture), les maladies, les parasites, les conditions climatiques hivernales.
8. a) Facteur = $20 / 0,04 = 500$: la concentration est 500 fois plus élevée dans l'oiseau que dans le plancton.
b) C'est la **bioamplification** (ou bioaccumulation le long de la chaîne). L'insecticide, peu dégradé et stocké dans les graisses, n'est pas éliminé ; chaque consommateur mange une grande quantité de proies (rendement faible, environ 10 %) et accumule l'insecticide qu'elles contenaient, d'où une

concentration croissante à chaque niveau. c) Les prédateurs du sommet reçoivent l'insecticide accumulé par tous les niveaux inférieurs : leurs concentrations sont les plus fortes et peuvent atteindre des **seuils toxiques** (troubles de la reproduction).

9. a) C'est une **succession écologique** (secondaire, car elle part d'un sol déjà existant).

b) Les herbacées annuelles, pionnières, colonisent le sol nu et le protègent de l'érosion, l'enrichissent en matière organique. Les graminées vivaces et les genêts (Fabacées qui fixent l'azote) enrichissent le sol en azote. Les arbustes et arbres de lumière (bouleaux, noisetiers) créent de l'ombre et un microclimat plus humide, favorables à la germination des chênes et des hêtres, arbres d'ombre qui finissent par les dominer. c) L'écosystème retrouve, en soixante ans environ, une forêt comparable : il est **résilient**. Cela peut échouer si la perturbation est trop forte ou répétée (incendies fréquents, sol entièrement érodé) ou si une espèce envahissante occupe le terrain : l'écosystème bascule alors vers un autre état durable (lande, garrigue).

10. a) $9 \times 10^7 / 3,65 \times 10^6 \approx 24,7$, **soit environ 24 personnes** (un nombre entier de personnes entièrement nourries).

b) Énergie sous forme de viande : $9 \times 10^7 \times 0,10 = 9 \times 10^6$ kJ ; $9 \times 10^6 / 3,65 \times 10^6 \approx 2,5$, **soit environ 2 personnes**. c) Passer par un niveau trophique supplémentaire divise l'énergie disponible par environ 10 : un régime riche en produits animaux demande **environ dix fois plus de surface agricole** pour la même énergie alimentaire.

11. a) 10 000 t : $10\,000 \times 0,20 = 2\,000$ t par an. 19 000 t : $19\,000 \times 0,05 = 950$ t par an.

b) Pour que la population reste à 10 000 t, le prélèvement doit égaler l'accroissement : **2 000 t par an au maximum**. c) Prélever 3 000 t alors que l'accroissement n'est que de 2 000 t fait **diminuer la population de 1 000 t la première année** ; plus petite, elle produit encore moins de jeunes en valeur absolue, et l'effondrement s'accélère. Un quota de pêche fixe donc les prélèvements **en dessous de l'accroissement naturel** de la population, estimé par un suivi scientifique, pour assurer son renouvellement.

12. a) Réduction = $(45 \text{ moins } 18) / 45 = 27 / 45 = 0,60$, **soit 60 %**.

b) Les racines des arbres et des plantes **absorbent les nitrates** pour leur croissance (assimilation) ; dans le sol humide pauvre en dioxygène, des bactéries réalisent la **dénitrification**, qui transforme les nitrates en N_2 rendu à l'atmosphère. La bande boisée ralentit aussi le ruissellement, ce qui laisse le temps à ces processus d'agir. c) C'est un service d'**épuration de l'eau**, de la catégorie **régulation**. Moins de nitrates atteignent les eaux en aval, donc moins de prolifération d'algues, moins de consommation de dioxygène lors de leur décomposition : l'**eutrophisation est limitée**.

13. a) Chaîne de causes : disparition du prédateur → les herbivores ne sont plus régulés et pullulent → surpâturage, les jeunes arbres des berges sont mangés → les berges ne sont plus tenues par les racines, l'érosion augmente → les oiseaux qui nichent dans ces arbres et les castors qui s'en nourrissent reculent. Le prédateur agit donc sur la **végétation, le sol et d'autres espèces animales**, pas seulement sur ses proies : c'est une **cascade trophique**.

b) C'est une **espèce clé de voûte**. c) En régulant à nouveau les herbivores, le prédateur permet la repousse de la végétation des berges, qui **stabilise les sols** (protection contre l'érosion et les crues), améliore la **qualité de l'eau** et rétablit des habitats : il restaure des **services de régulation** et la biodiversité.