

Chapitre 2 – Les écosystèmes, des ensembles d'interactions

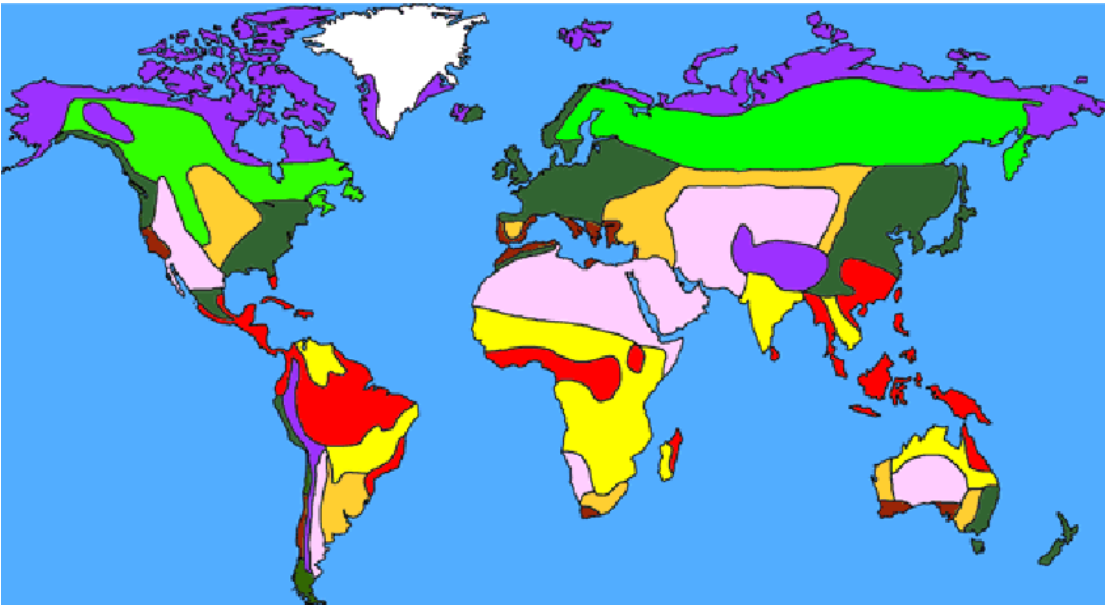


Les écosystèmes, une notion vaste

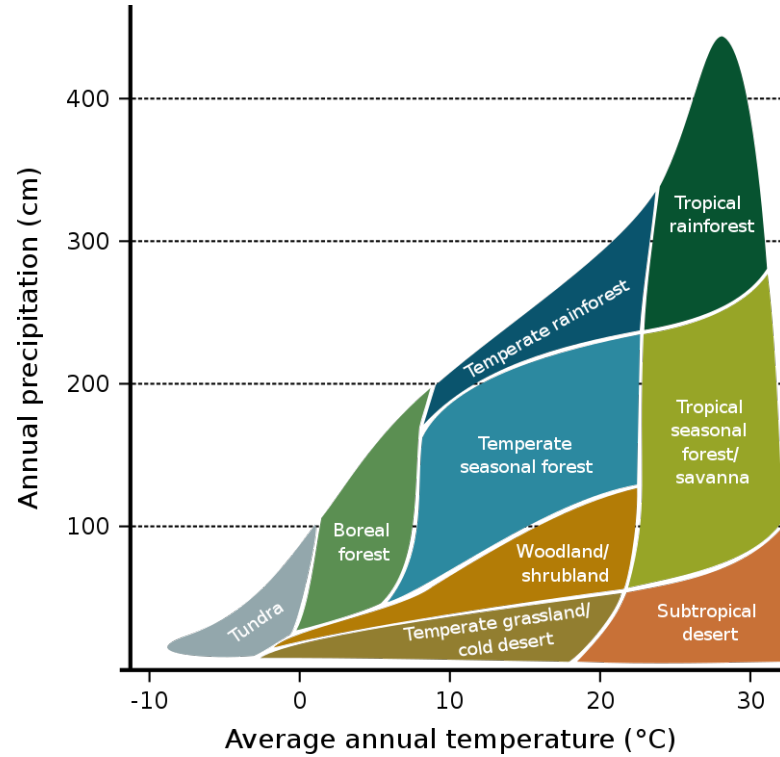
Écosystème = milieu homogène dans lequel vivent des associations végétales et animales caractéristiques

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.

Les biomes, des macro-écosystèmes



- | | |
|--|--|
|  Forêt tropicale humide |  Désert |
|  Savane |  Forêt tempérée décidue |
|  Prairie |  Forêt boréale/taïga |
|  Chaparral |  Toundra |



Source : <https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques>

Les prairies

prairie = espace couvert d'une végétation dont la partie aérienne varie de quelques centimètres (pelouses et végétation semi-aride) à plus de 2 mètres pour les savanes. Cet espace est totalement ou en grande partie dépourvu d'arbres.



Prairie boréale
(avec forêt en arrière plan)

Diversité des prairies

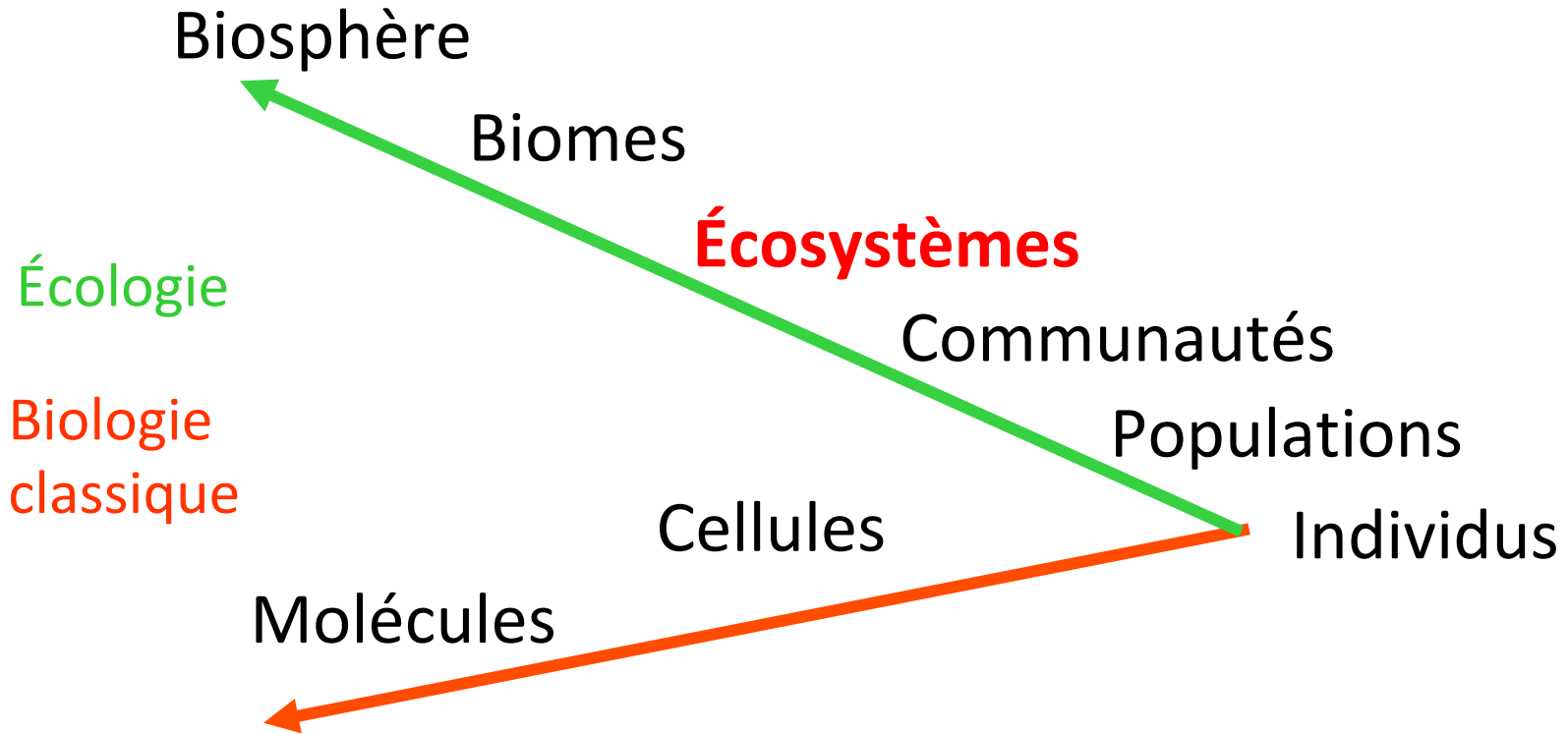
Type de prairie	Prairie boréale	Savane	Prairie tempérée
Localisation	Dakota (Canada)	Burkina Faso	Kansas (États-Unis)
Température annuelle moyenne en °C	2,5	25	13,5
Température moyenne en saison chaude en °C	16	33	20
Température moyenne en saison froide en °C	-12,5	21	7
Pluviosité en mm/an	450 - 700	75 – 125	700 - 800
Espèces herbacées dominantes	chiendent, pâturin, carex, koelerie	andropogon, pennisetum (herbes aux éléphants)	spartine, pâturin, benoîte, buchloe
Caractéristiques du climat	Saisons contrastées	Alternance de saisons sèche et pluvieuse	Hivers froids, étés ponctués de périodes de sécheresse

1. Organisation des écosystèmes

1.1. Biotope et biocénose

Cas d'une prairie pâturée de climat tempéré

Les niveaux d'organisation



Les termes à connaître

Écosystème = ensemble des êtres vivants et du milieu dans lequel ils vivent, avec toutes les interactions entre eux (*Dajoz, 2006*).

Biocénose = totalité des êtres vivants qui peuplent un écosystème donné (*Ramade, 2008*).

Communauté = ensemble d'individus de même taxon, interagissant ensemble donc ayant une certaine unité spatio-temporelle et de taille (*Beisel, 2022*).

Groupe fonctionnel = groupe d'espèces ayant un rôle ou un comportement similaire pour un processus écologique indépendamment de leur appartenance taxonomique.

Exemples de communautés

Oiseaux d'une prairie particulière

Végétaux des rives d'une mare

Arbres d'une forêt précise

Herbacées d'une prairie pâturée

Les traits fonctionnels

Trait = toute caractéristique morphologique, physiologique ou phénologique (= développementale) mesurable au niveau de l'individu, de la cellule à l'organisme. Exemple de traits pour un végétal :

Fonction	Trait fonctionnel
Fécondité Dispersion	Nombre de graines Hauteur des inflorescences
Interception de la lumière Aptitude à la compétition	Hauteur végétative
Acquisition des ressources	Surface foliaire
Absorption racinaire	Surface racinaire

Type et groupe fonctionnels

Type fonctionnel = combinaison de traits fonctionnels fréquemment associés et définissant des stratégies écologiques particulières.

Groupe fonctionnel = ensemble d'espèces présentant les mêmes façons d'utiliser les ressources et de répondre à l'environnement.

Exemples de groupes fonctionnels

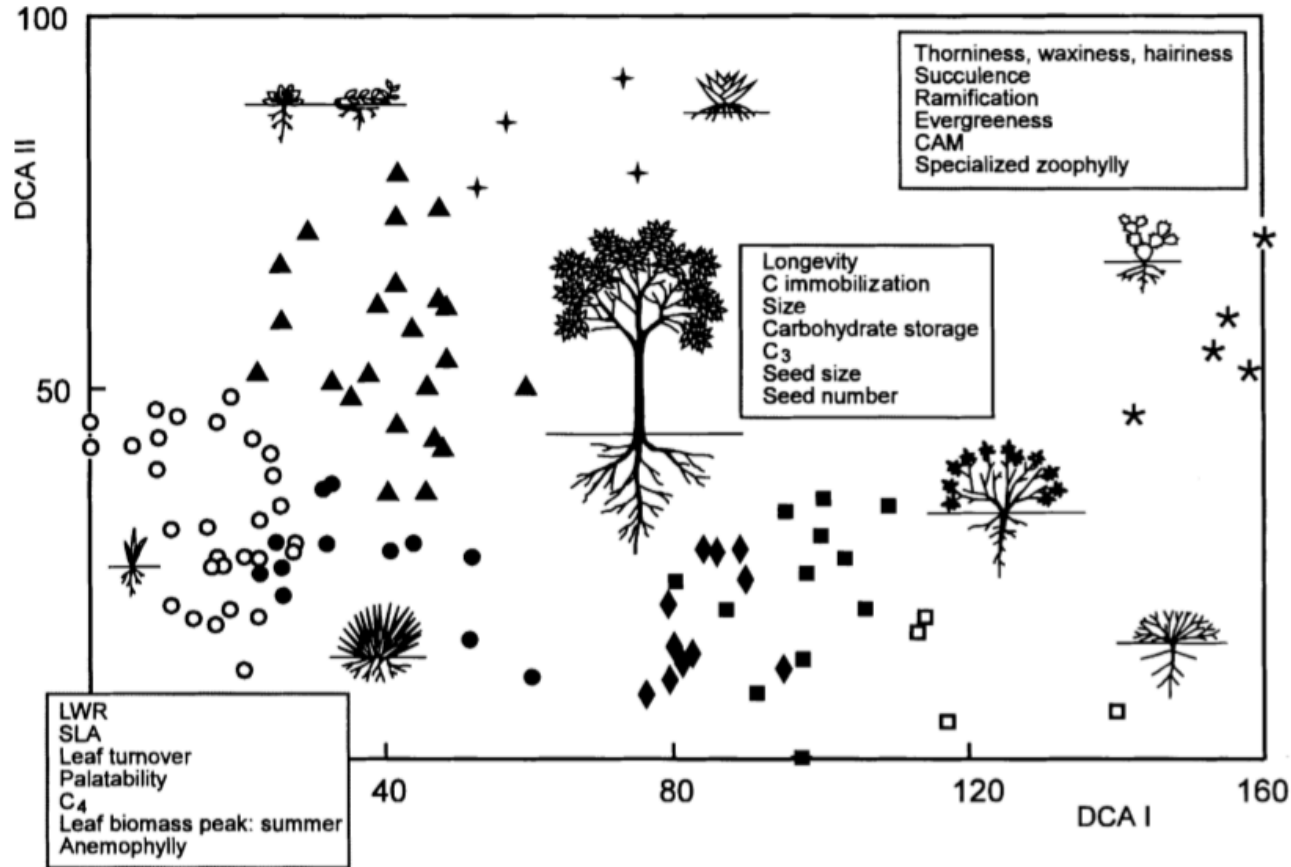
Pollinisateurs

Décomposeurs

Consommateurs secondaires (prédateurs)

Producteurs primaires

Quelques groupes fonctionnels

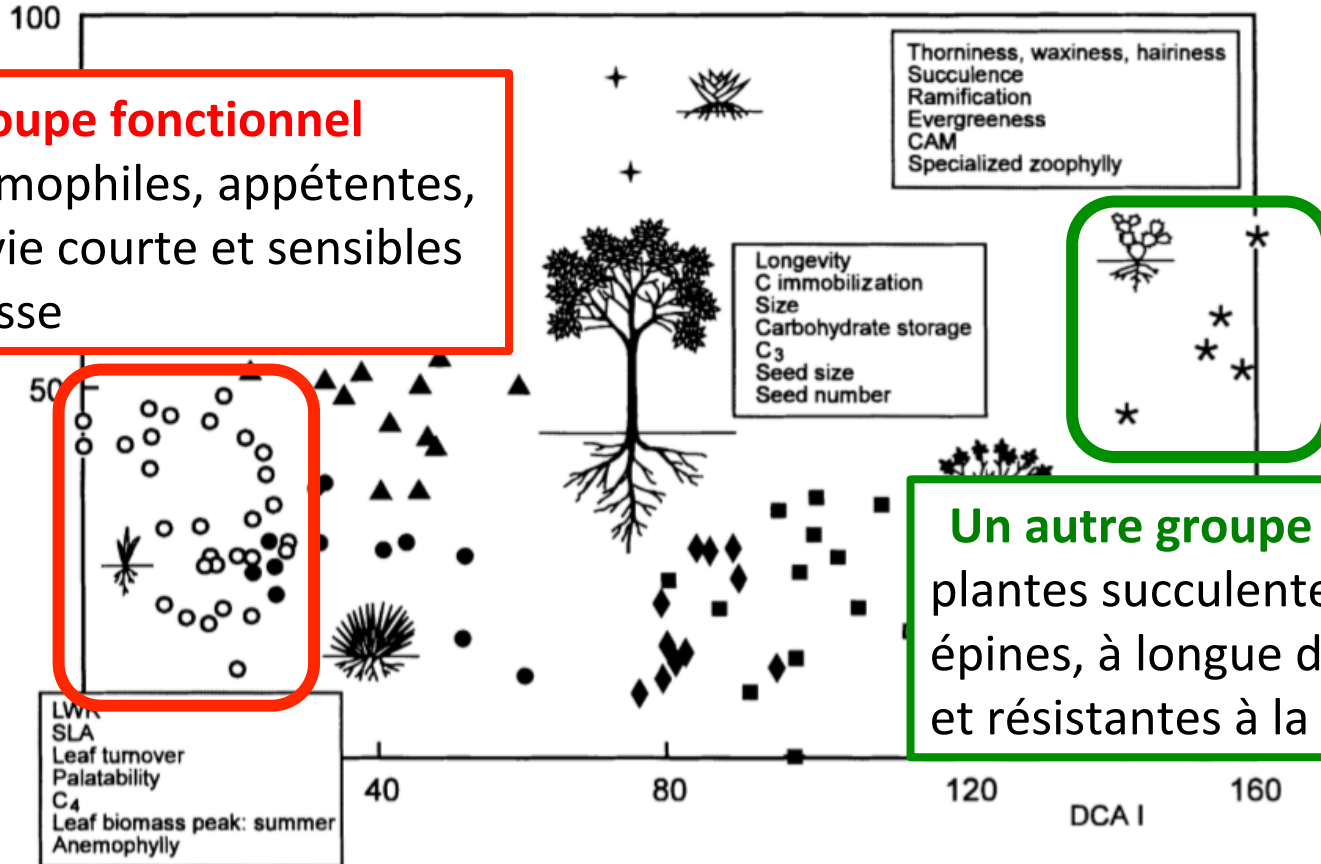


DCA I et DCA II = matrices de traits incluant l'intensité de photosynthèse, la croissance, le stockage, la défense...

Quelques groupes fonctionnels

Un groupe fonctionnel

petites, anémophiles, appétentes,
à durée de vie courte et sensibles
à la sécheresse



Un autre groupe fonctionnel
plantes succulentes CAM à
épines, à longue durée de vie
et résistantes à la sécheresse

Évaluer la diversité spécifique : les indices

Soit S le nombre total d'espèces décrites dans le milieu
et Q le nombre total d'individus dans le milieu

Indice de Margalef (1958)

$$R_{Mg} = \frac{S-1}{\ln(Q)}$$

Indice de Menhinick (1964)

$$R_{Mh} = \frac{S}{\sqrt{Q}}$$

Plus les valeurs sont élevées, plus le milieu présente une richesse.

L'indice H' de Shannon et Weaver

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

$$p_i = \frac{q_i}{Q}$$

q_i = nombre d'individus de l'espèce i
 Q = nombre total d'individus

- **H'** est compris entre 0 et 4,5 le plus souvent. Il dépend :
- de **S**
 - de l'**équitabilité**

Indice d'équirépartition = indice d'équitabilité de Piélou = $E = J' = \frac{H'}{\text{Log}_2(S)}$

Milieu stable quand $E > 0,75$

Les espèces animales de la prairie pâturée



Petits Mammifères



Insectivores: hérisson, taupe, musaraigne



Herbivores: campagnol



Régime mixte: souris des champs

Autres Vertébrés



Lézard



alouette



mésange

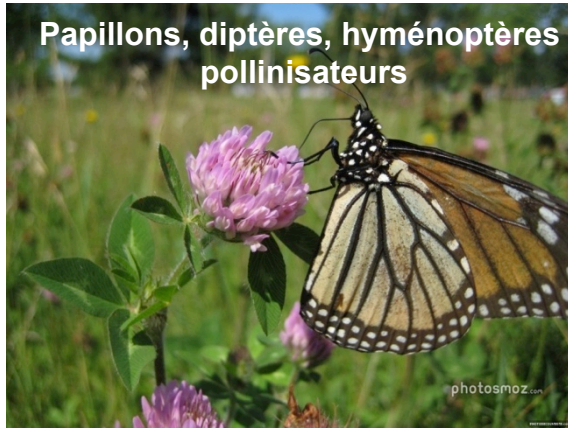
Passereaux



© René Dumoulin

Rapaces (buse)

Insectes, Arachnides, vers...



Hanneton: adulte phyllophage



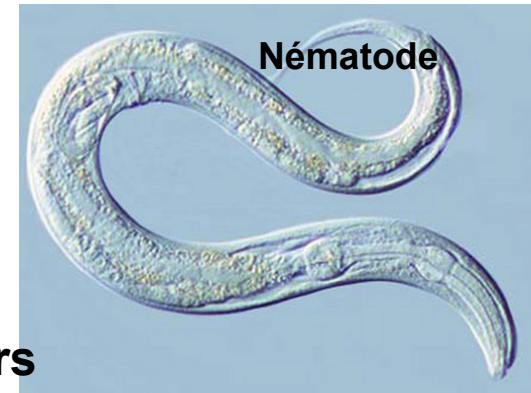
larve radicivore...



Insectes



Vers



Espèces végétales : Poacées



Ivraie (*Lolium* sp) = Ray-Grass



Paturin (*Poa* sp)



Dactyle aggloméré

Des familles très diversifiées



Marguerite



Sauge



Salsifis des prés



Œillet des chartreux



Centaurée jacée



Achillée millefeuille



Trèfle rampant



Trèfle des prés

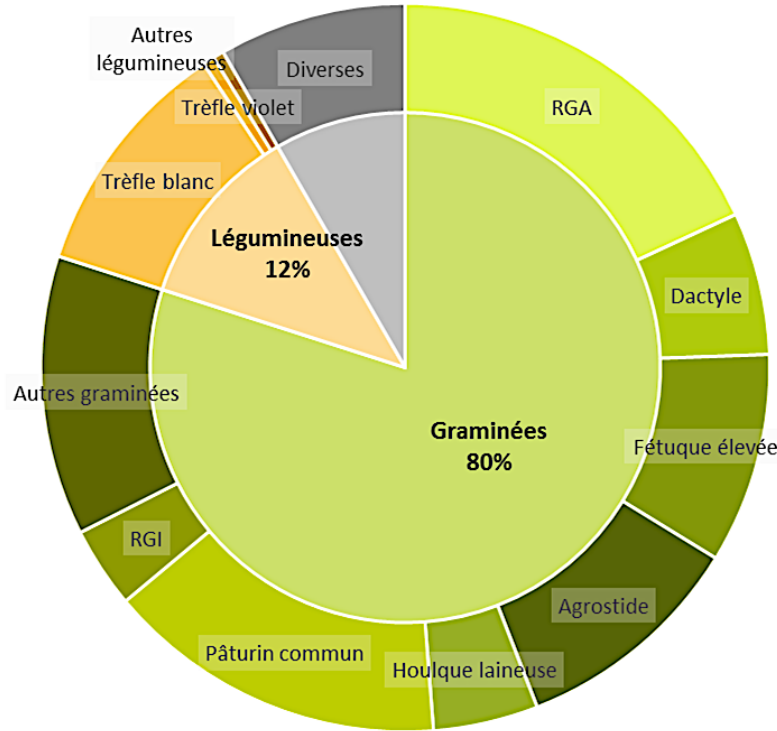


Les rhinanthes



Polygales

La composition floristique d'une prairie permanente



Tous autotrophes, producteurs primaires de la prairie.

Plantes vivaces et héliophiles à

- multiplication végétative intense
- tolérance au piétinement
- croissance stimulée par le broutage

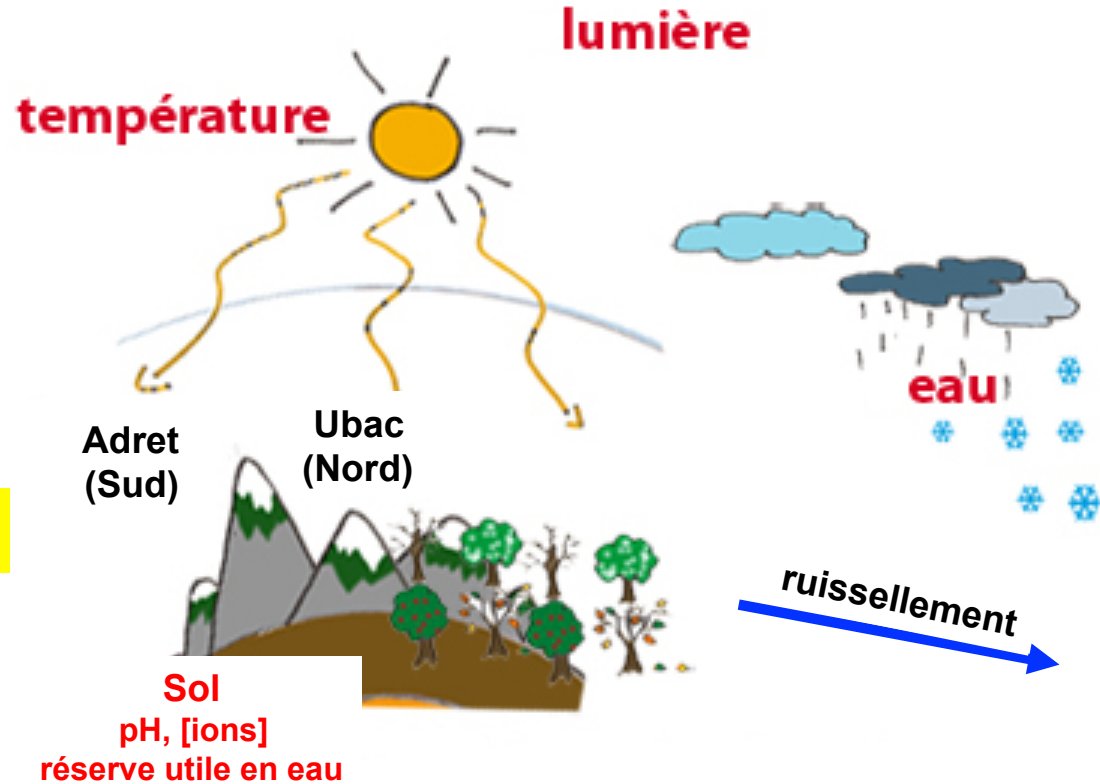
Un milieu ouvert, c'est-à-dire avec moins de 25% de surface couverte par des espèces ligneuses.

Abondance des organismes du sol

Groupe d'êtres vivants	Densité dans le sol	Localisation
Bactéries	10^{13} à $10^{15} \text{ m}^{-2} = 150 \text{ g.m}^{-2}$	Localisation variable selon le type trophique
Champignons	350 g.m^{-2}	Mycélium dans tout le sol
Algues	10^8 à 10^9 m^{-2}	Dans la zone superficielle
Eucaryotes unicellulaires	10^7 à 10^9 m^{-2}	Dans l'eau interstitielle
Vers nématodes	$5 \cdot 10^6 \text{ m}^{-2}$	Dans l'eau interstitielle et la matière organique
Acariens	$4 \cdot 10^4 \text{ m}^{-2}$	Litière, bois mort, bouses, cadavres
Insectes	4 500 m^{-2}	Larves et adultes à différentes profondeurs
Lombrics	100 à 180 m^{-2}	Litière et sol
Campagnols	50 à 1000 ha^{-1}	Galeries (profondeur de 20 cm à 1 m)

Les caractéristiques du biotope

Climatiques



Topographiques

Édaphiques

Les prairies diffèrent selon le biotope



Pelouse calcaire du Périgord

Source : <http://www.pnr-perigord-limousin.fr/>



Prairie humide de Camargue

Source : <https://www.objectifgard.com>

Diversité des prairies

Prairie mésophile



Prairie de montagne

Prairie hygrophile

Pelouse calcaire sèche

Lande...



Prairie permanente ou naturelle = non labourée depuis au moins 5 ans

Prairie temporaire = semée (20% minimum de Poacées)

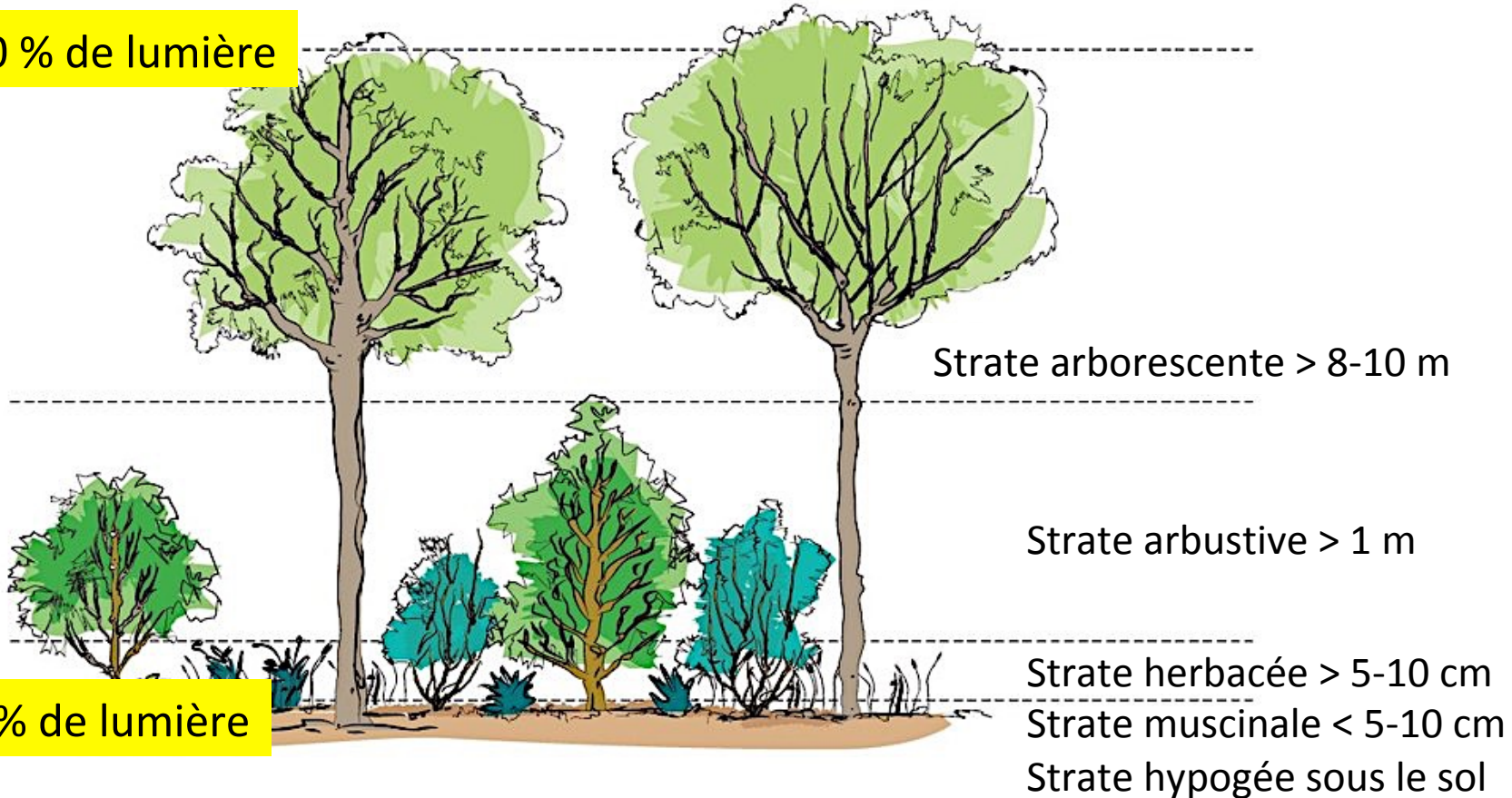
Prairie artificielle = entièrement semée (> 80% de Légumineuses)

1. Organisation des écosystèmes

1.2. La structuration spatiale

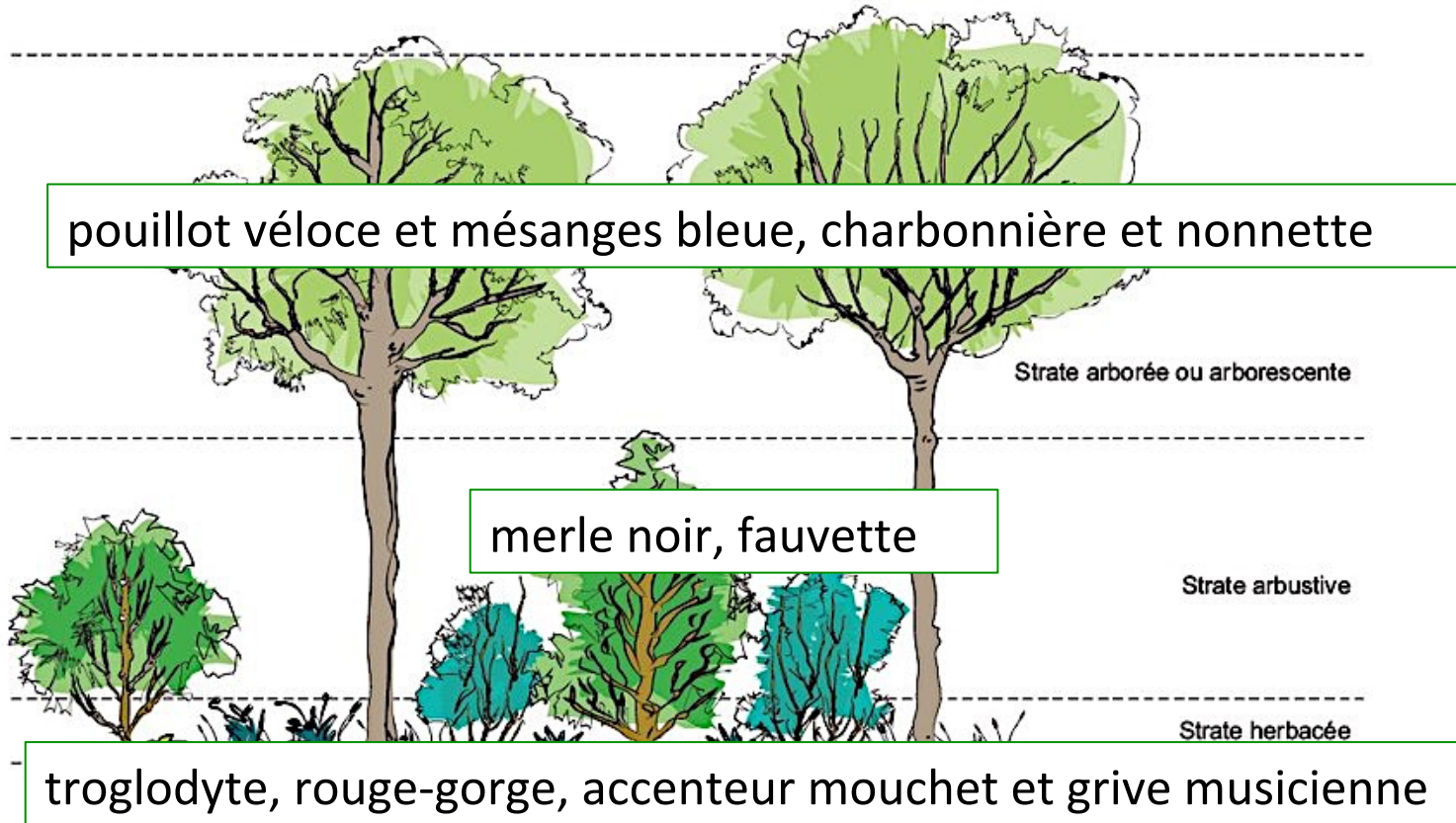
La stratification verticale des végétaux

100 % de lumière

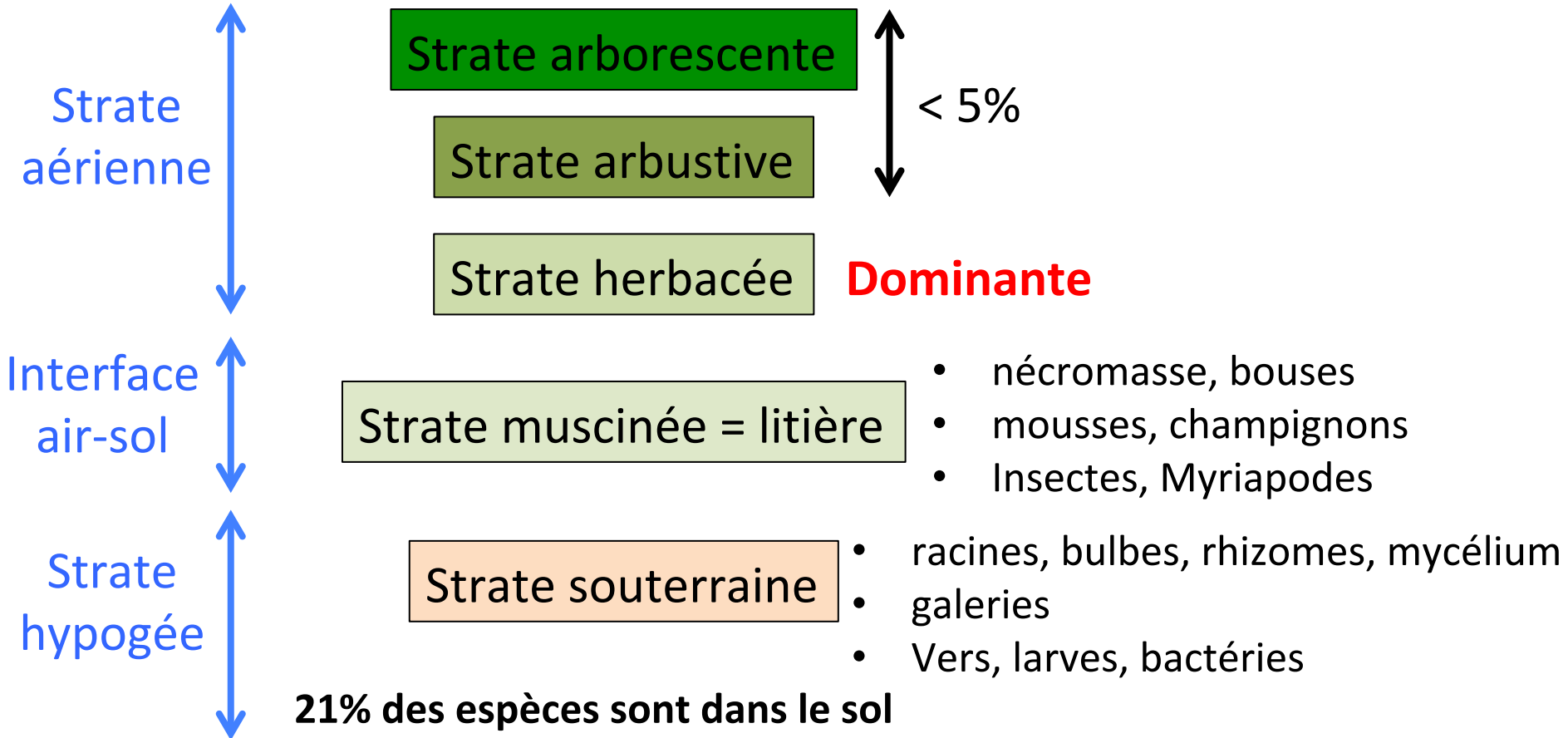


2,5 % de lumière

Les animaux aussi !



Les strates de la prairie



Hétérogénéité horizontale



1. Organisation des écosystèmes

1.3. L'influence marquée des espèces ingénieurs

Espèce ingénieur = organisme qui modifie de façon importante son environnement au point d'avoir un impact significatif sur d'autres espèces.

Exemples : castor, arbre...

Action des bovins sur la prairie

➤ Piétinement

➤ Préférences alimentaires

- zones de refus
- recul de la forêt et absence de strate arbustive développée

➤ Bouses

- pas de pousse de l'herbe en-dessous
- développement des coprophages

Une espèce **ingénieur** est une espèce modifie les conditions biotiques et abiotiques du milieu et agit ainsi sur l'habitat et la disponibilité en ressources pour les autres espèces.

La bouse, un écosystème



Effectifs dans une bouse

Insectes adultes	Diptère : <i>Nematocera</i>	150
	Diptère : <i>Brachycera</i>	85
	Coléoptères : <i>Polyphaga</i>	191
	Autres	67
Larves d'insectes	Diptère : <i>Nematocera</i>	317
	Diptère : <i>Brachycera</i>	523
	Coléoptères	127
	Autres	25
Arachnides	Acariens : <i>Oribatida</i>	390
	Acariens : <i>Gamasida</i>	639
	Acariens : <i>Actinedida</i>	28
	Acariens : <i>Acaridita</i>	24
	Autres acariens	14
	Araignées	5

Effet du piétinement



Les Lombrics, espèces ingénieurs

Actions des lombrics sur le sol

Aération et drainage

Modifications
structurales du
sol

Brassage

Décomposition

Fertilisation

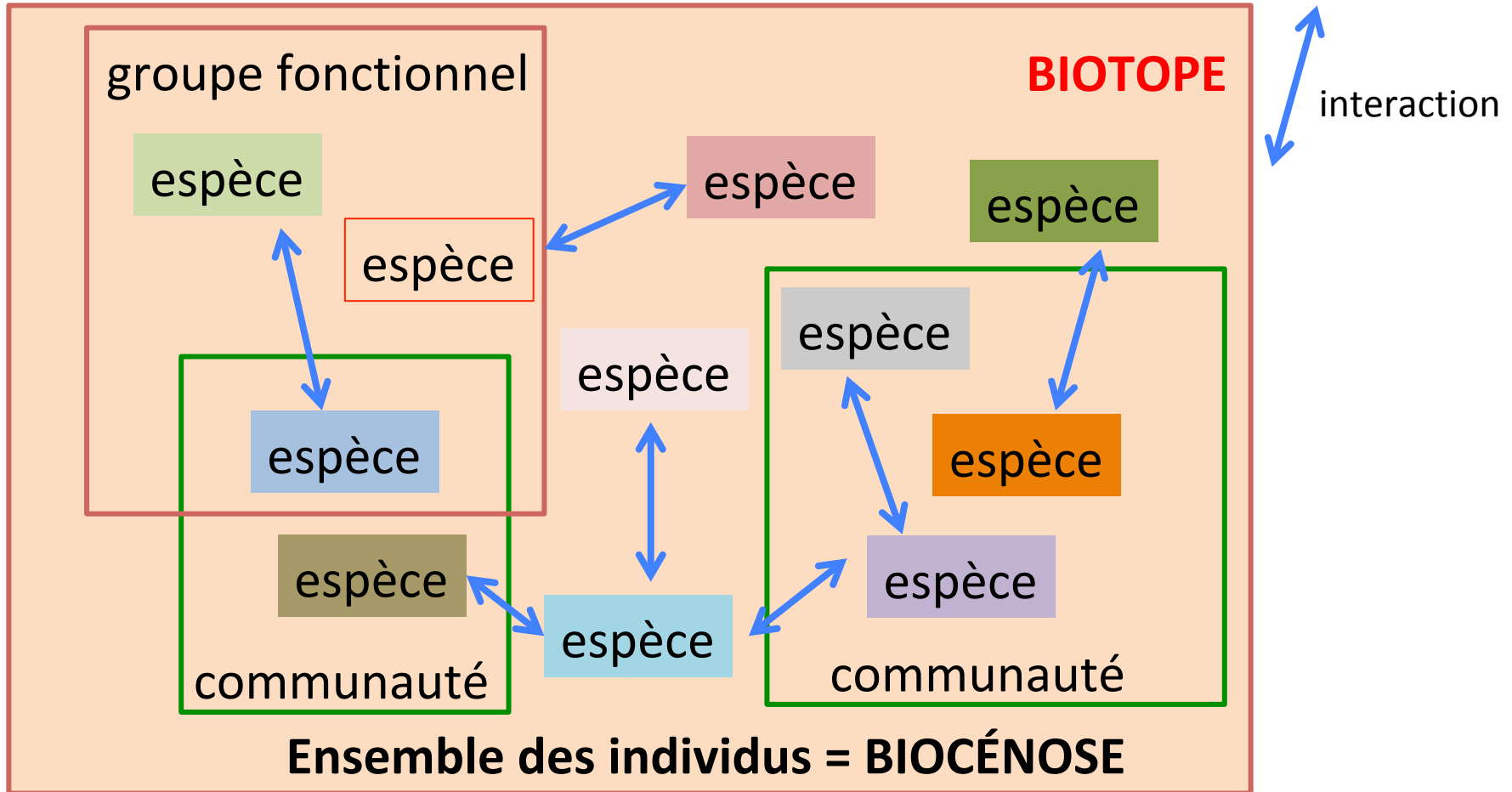
Modification des
microorganismes



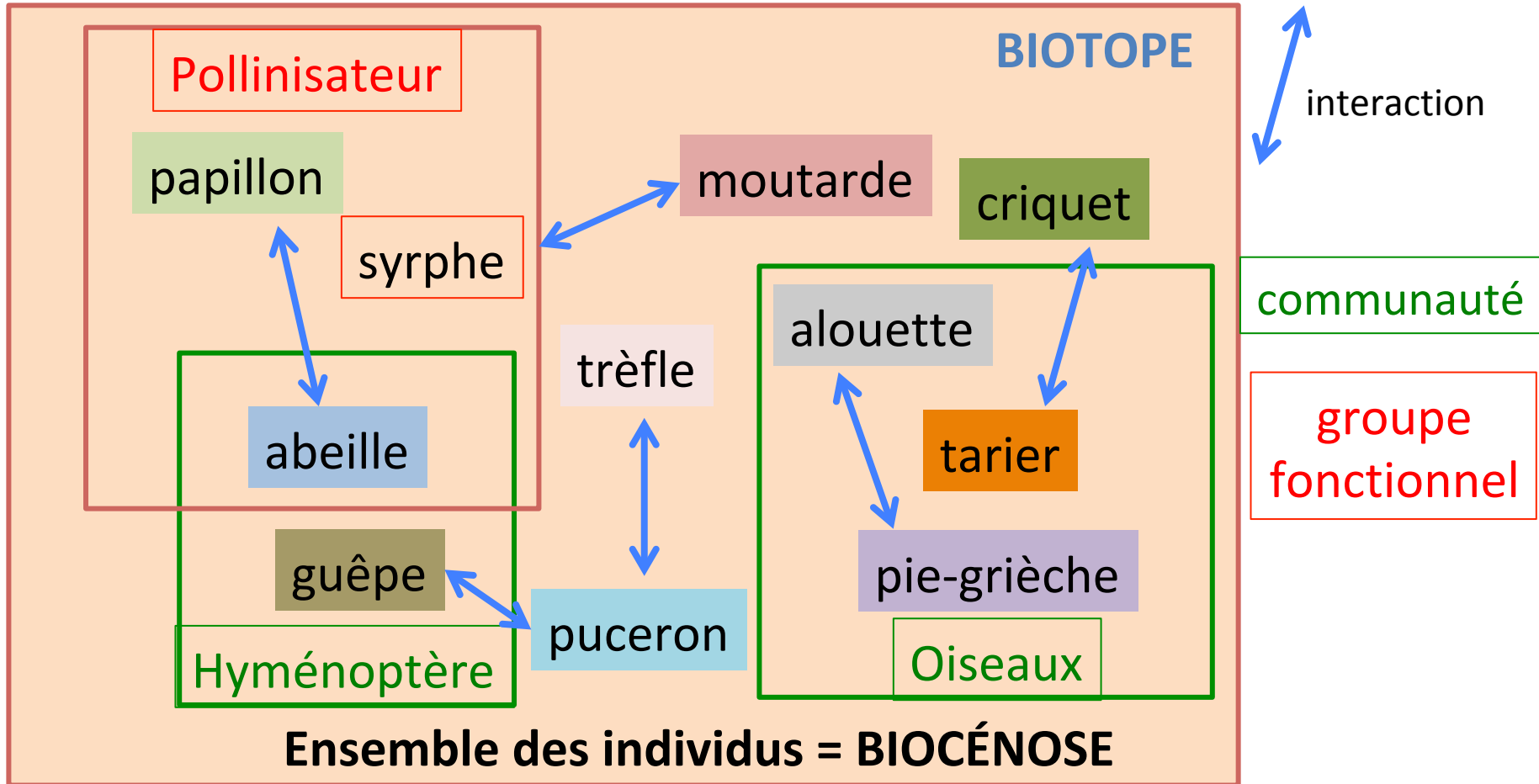
Favorise
l'installation
des
herbacées

Modifications
structurales et
physico-
chimiques du
sol
= rhizosphère

BILAN : l'écosystème



BILAN : l'écosystème prairie très partiel !



2. Diversité des relations interspécifiques et conséquences sur la structure de l'écosystème

2.1. Relations interspécifiques et valeur sélective

La valeur sélective = valeur adaptative = fitness

La valeur sélective, notée w , reflète le **succès reproducteur**.

La valeur sélective d'un individu dépend de :

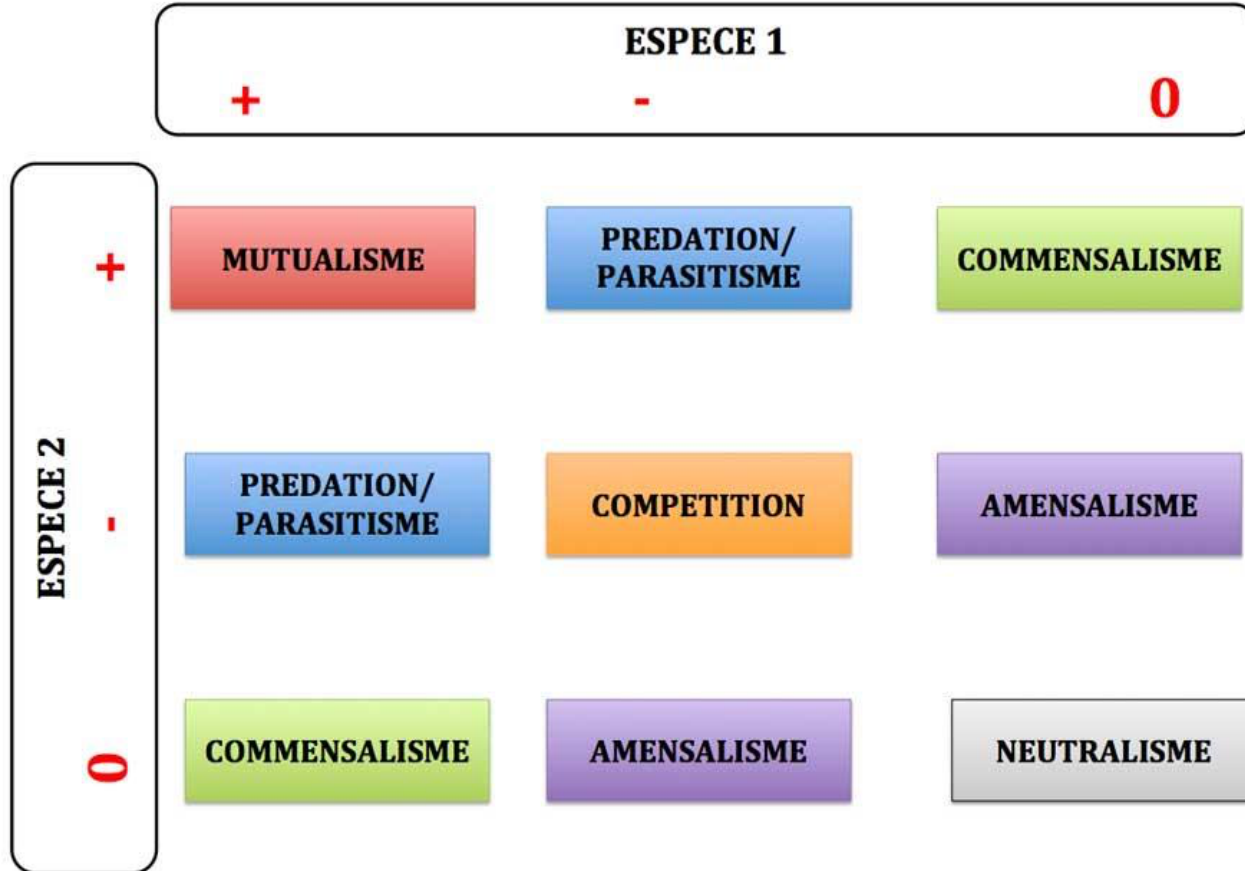
- sa viabilité v = probabilité d'arriver à l'âge de procréer
- sa fertilité f = nombre moyen de descendants viables à la génération suivante.

$$w = v.f$$

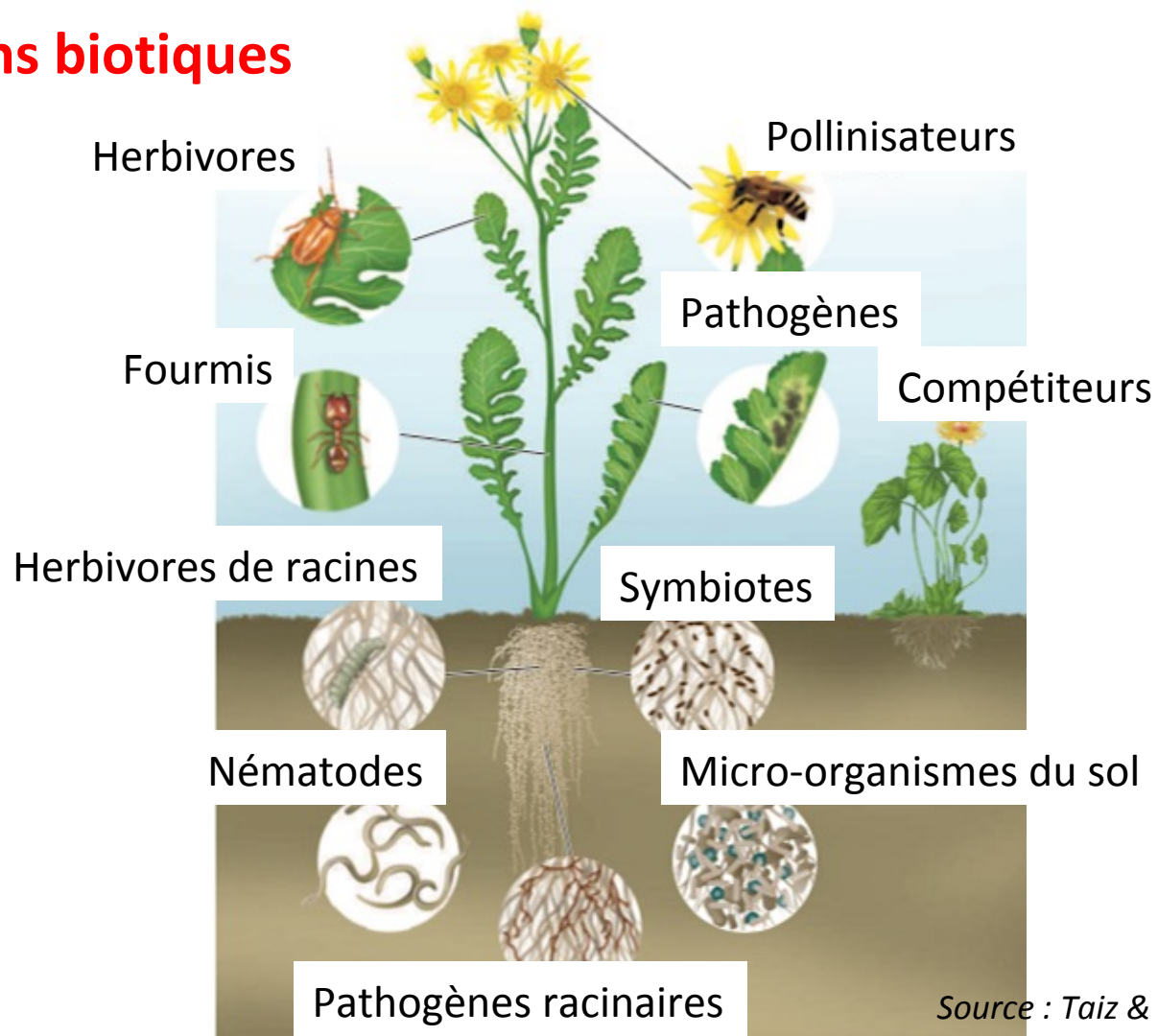
Exemple : la valeur sélective d'une mésange qui possède un taux de mortalité annuel de 65% et des portées annuelles moyennes de 8 oisillons est de

$$w = 0,35 \times 8 = 2,8$$

Les relations interspécifiques



Les interactions biotiques



Le mutualisme dans la prairie

❖ Mutualisme transitoire

- Pollinisation
- Zoochorie
- Haie offrant un espace pour les **oiseaux** (nidification) qui dispersent les graines et enrichissent le sol



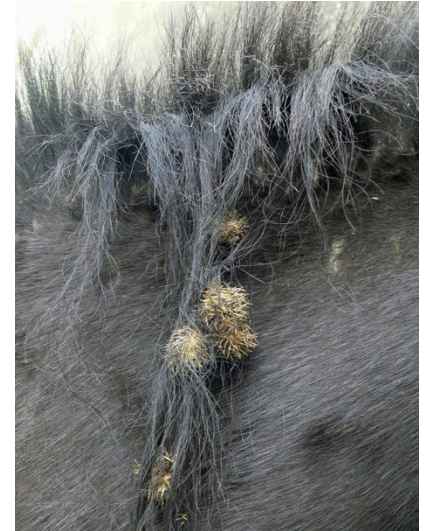
<https://www.ecologie.gouv.fr>



© Brès



© Haerths



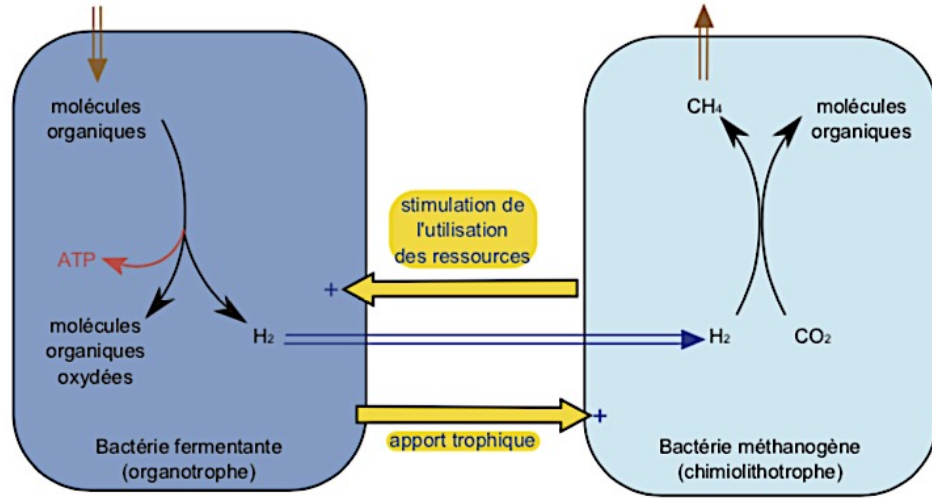
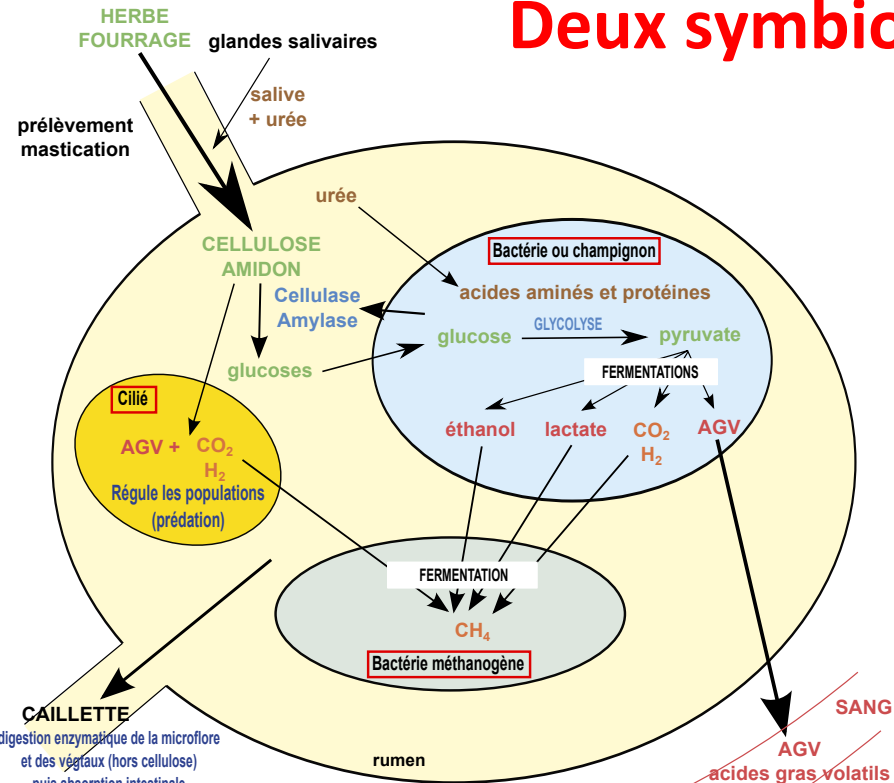
© encyclotron

Le mutualisme dans la prairie

❖ Mutualisme durable = symbiose

- **Mycorhizes** : symbiose entre la racine et un mycélium
- **Nodosités** : symbiose entre la racine et la bactérie *Rhizobium*
- **Rumen – microflore des Bovins**
- **Lichens** (cf TP)

Deux symbioses simultanées dans le rumen



Bactérie cellulolytique

Bactérie méthanogène

Syntrophie

Mutualisme et valeur sélective

Facteurs qui favorisent la viabilité

- échanges trophiques bénéficiant aux 2 partenaires
- protection de l'endosymbionte (chaleur, anoxie...)
- libération de toxines protégeant les 2 partenaires

Facteurs qui favorisent la fécondité

- aide à la dispersion des graines
- augmentation du rendement de pollinisation

Mais coût énergétique important

Prédation et parasitisme dans la prairie

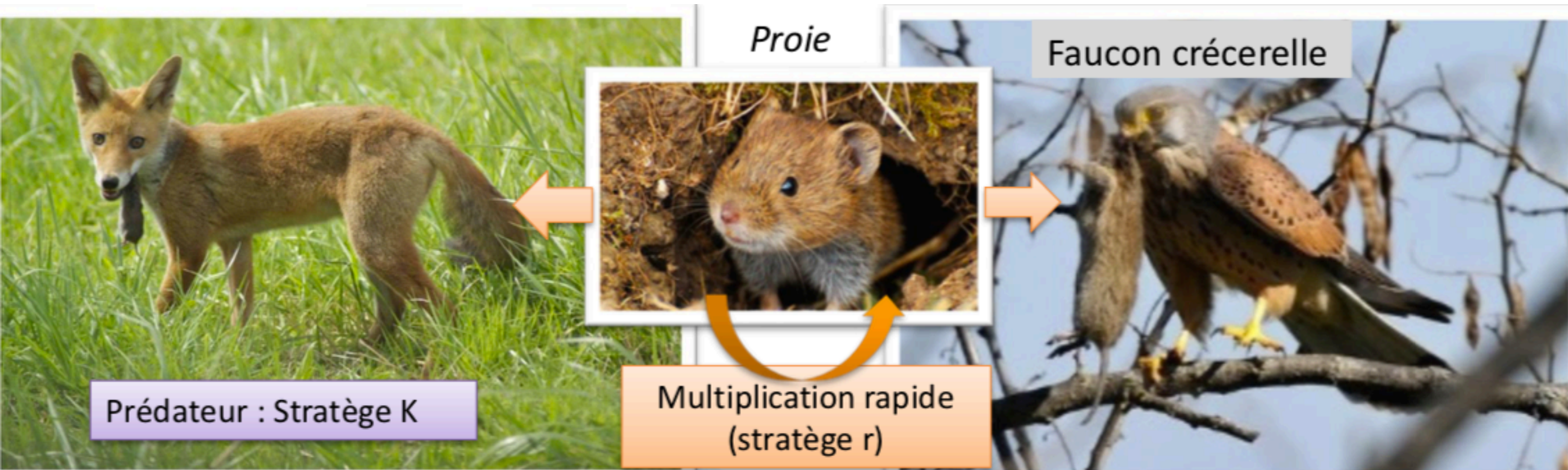
❖ Prédation

- animaux phytophages
- prédateurs et proies (tous deux animaux)

❖ Parasites et pathogènes

- Virus
- Bactéries et champignons pathogènes
- Parasites de la Vache (ténia, tiques...)

Proies et prédateurs : des biologies différentes



Les prédateurs

Adaptations comportementales et morpho-anatomiques



Source : crdp strasbourg

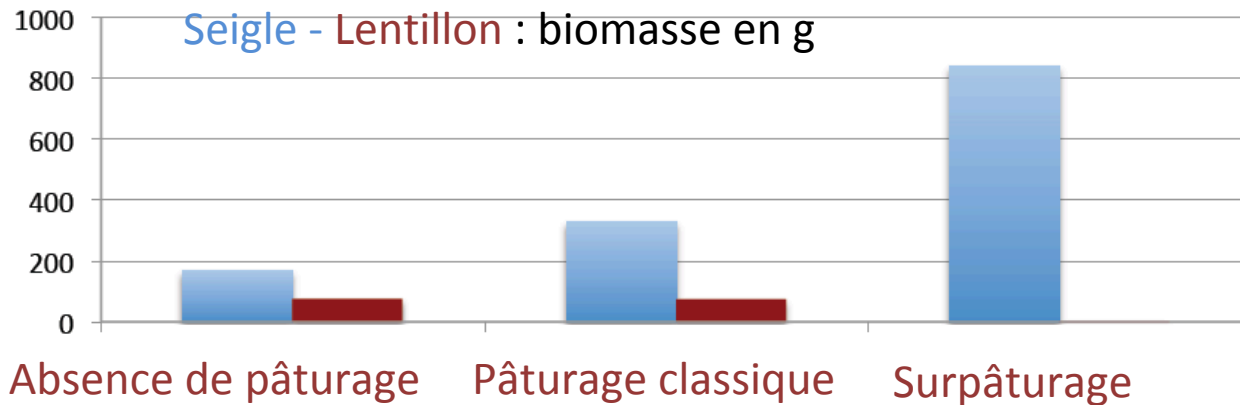
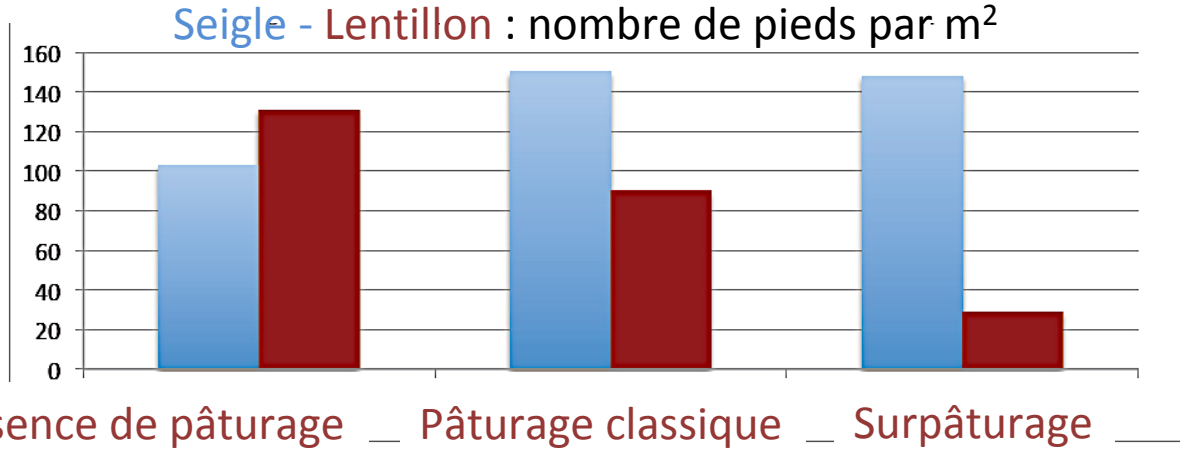
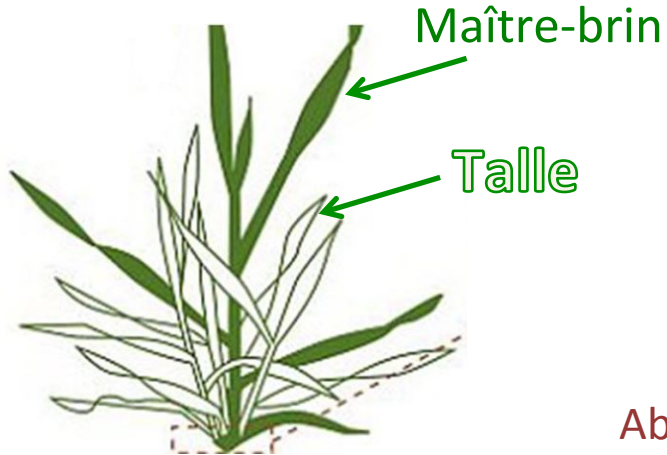
Sources : le telegramme et <https://www.jardiner-autrement.fr>

Prédation et valeur sélective

Globalement, la **prédation** :

- augmente la valeur sélective du prédateur (viabilité voire fécondité) ;
- diminue la valeur sélective de la proie mais exerce une sélection des proies, éliminant les faibles et malades de la population.

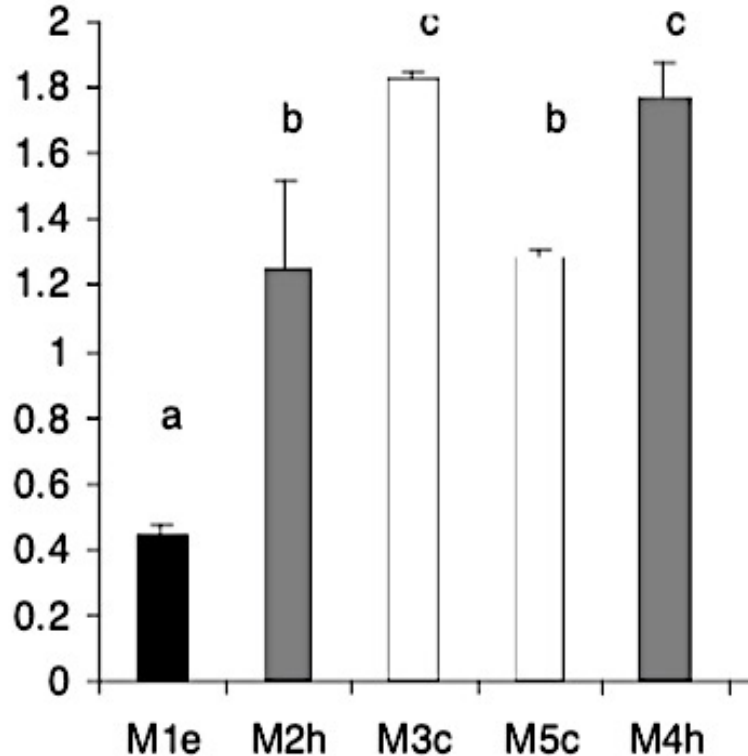
Effet du broutage sur la population végétale



Effet du pâturage sur la diversité spécifique

Indice de Shannon

Communauté de plantes herbacées mésophiles



M1e : prairie non pâturée

M2h : prairie faiblement pâturée par des chevaux

M3c : prairie faiblement pâturée par des vaches

M5c : prairie fortement pâturée par des chevaux

M4h : prairie fortement pâturée par des vaches

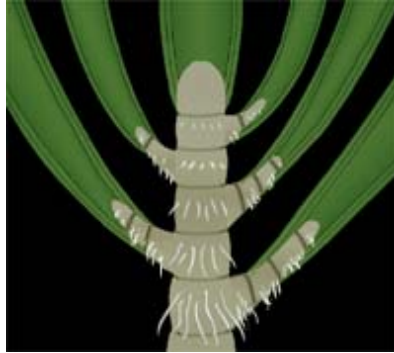
Effets du pâturage =

- **préférences qui modulent la communauté**
- **bouses ou crottins fertilisants**
- **piétinement**

Effet des herbivores (pâtûre bovine)

EFFET POSITIF

Tallage
de
poacées
vivaces



Refus
de
broutage



EFFET NEGATIF

Non
reproduction
des
annuelles



Epuisement
des
jeunes
ligneuses

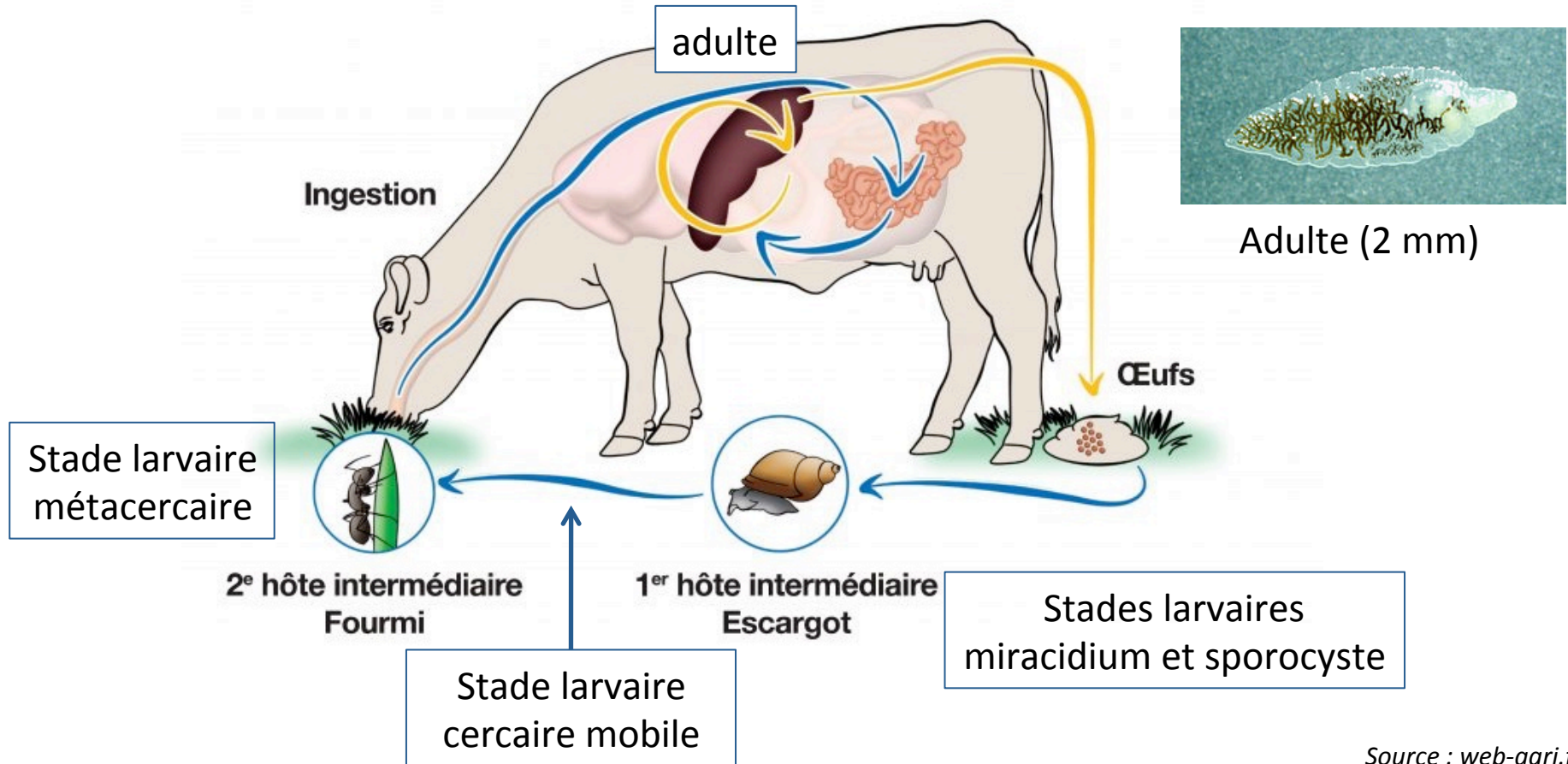


Herbivorie et valeur sélective

Dans le cas des **phytophages** :

- la valeur sélective de l'herbivore (viabilité voire fécondité) augmente ;
- le végétal brouté répond par une **augmentation des effectifs** des individus de **petite taille** : c'est une stratégie d'**évitement**. Mais la fécondité décroît (moins de floraison).
- La présence de l'herbivore agit sur le milieu.

Le cycle de la petite Douve du foie (*Dicrocoelium*)



Parasitisme et valeur sélective

Globalement, le **parasitisme** :

- augmente la valeur sélective du parasite (viabilité voire fécondité) ;
- diminue la valeur sélective de l'hôte même si le parasite ne tue pas son hôte (dans l'immédiat)

Cependant :

- l'hôte se défend (comportement d'évitement, système immunitaire...) ;
- le parasite dépend de la densité de la population de l'hôte.

Compétitions dans la prairie

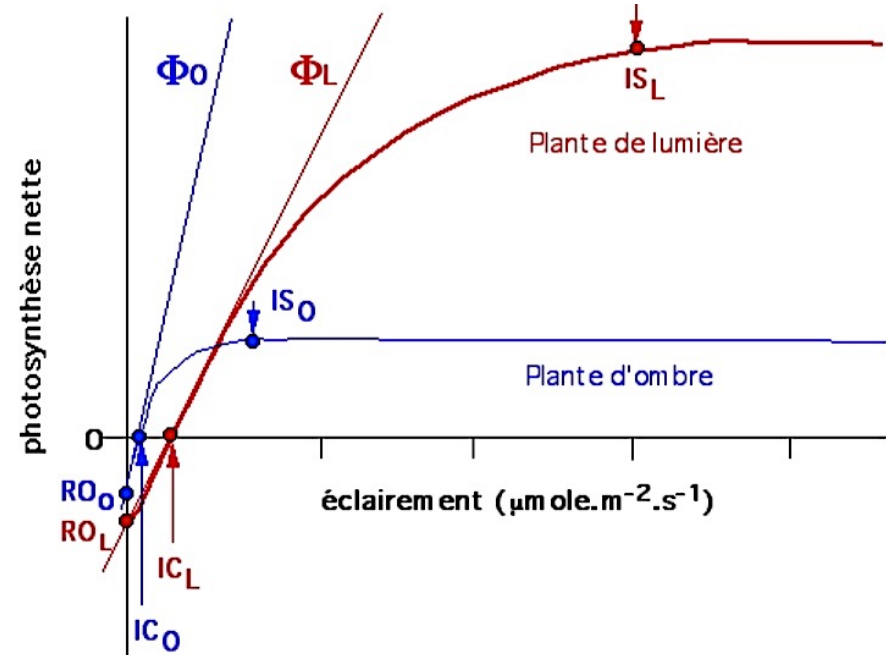
❖ **Compétition par exploitation d'une ressource**

- Herbacées en compétition pour la lumière et l'azote
- Animaux en compétition pour une plante, un type de graine, une place pour nicher...

❖ **Compétition par interférence (\approx amensalisme)**

- **Allélopathie** des plantes
- **Antibiotiques** libérés par les bactéries et champignons du sol

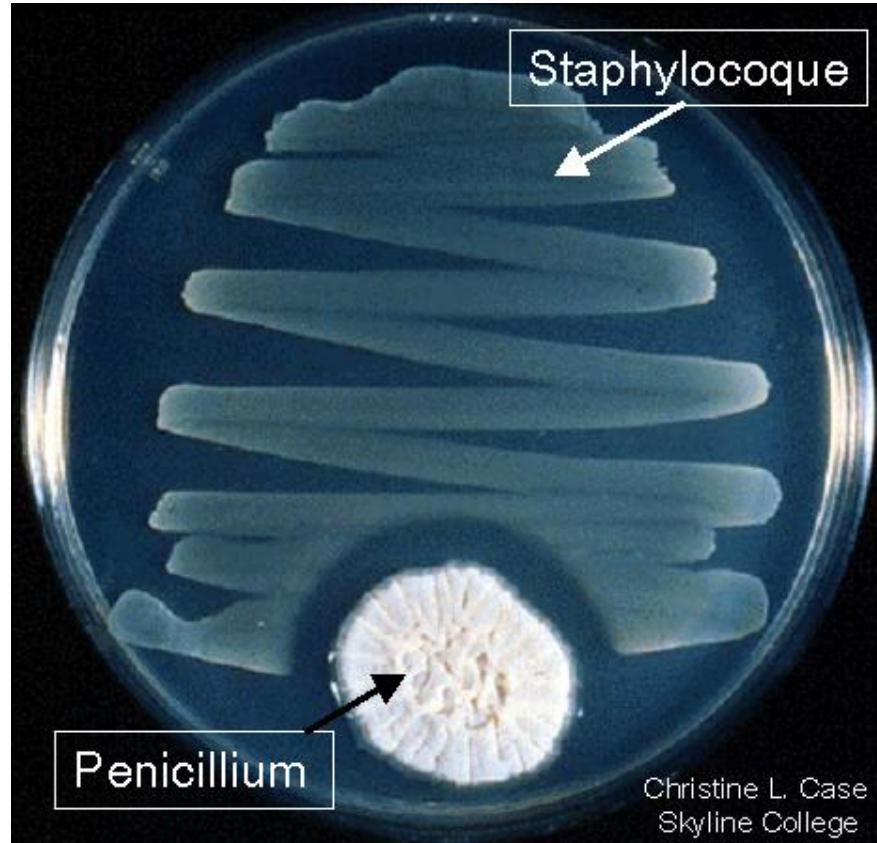
Compétition pour la lumière



Plantes d'ombre plus performantes à faible luminosité
que les plantes de lumière

Allélopathie : l'exemple de Flemming

Compétition par interférence : allélopathie



Compétition et valeur sélective

Compétition par exploitation

- effet négatif pour les 2 compétiteurs
- le plus efficace peut conduire à l'exclusion de l'autre espèce.

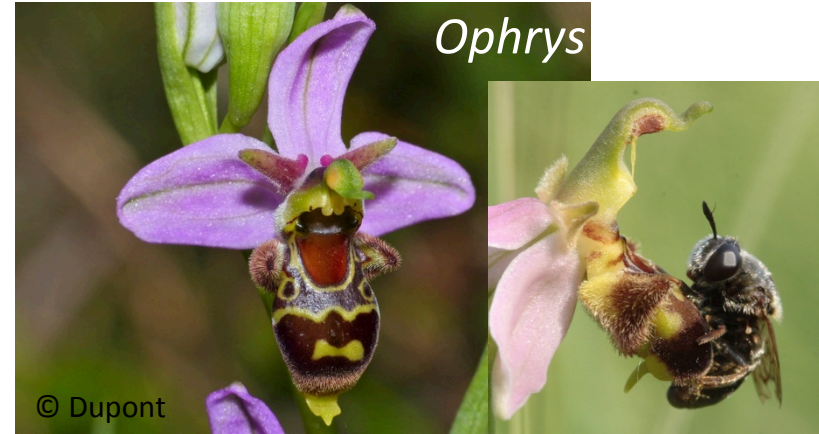
Compétition par interférence (parfois classé en amensalisme)

- effet négatif pour les 2 compétiteurs mais moins marqué pour celui qui libère les substances toxiques (seulement le coût énergétique de synthèse).

Commensalisme et amensalisme dans la prairie

❖ Commensalisme (0/+)

- Coprophages des bouses de vache
- Orchidées mimant les abdomens des Insectes femelles



❖ Amensalisme (0/-)

- **Piétinement** par les bovins sur les escargots
- Épervière dont la rosette empêche le développement des autres plantes
- Allélopathie (discutable : coût énergétique)



BILAN

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

+ augmentation de la valeur
sélective de l'espèce

- diminution de la valeur
sélective de l'espèce

Des cas limites

De symbiose à parasitisme selon les conditions du biotope

Dans un sol riche en azote, la bactérie *Rhizobium* se comporte comme un parasite dans les nodosités des Fabacées.

De neutralisme à compétition selon le stade de développement

Un jeune épicéa n'a pas de conséquence sur le développement des framboisiers, tant que sa taille ne fait pas d'ombre au sol forestier.

Un épicéa de grande taille est compétitif et exclut le framboisier.

2. Diversité des relations interspécifiques et conséquences sur la structure de l'écosystème

2.2. Niche écologique et répartition des espèces

Les préférences physiologiques des espèces



tolérance

tolérance

température °C	7	10	12	optimum	25	26
activité	S.O	S.	R.E	A.O	S.	S.O

S.O : sommeil dans la coquille operculée

S : sommeil

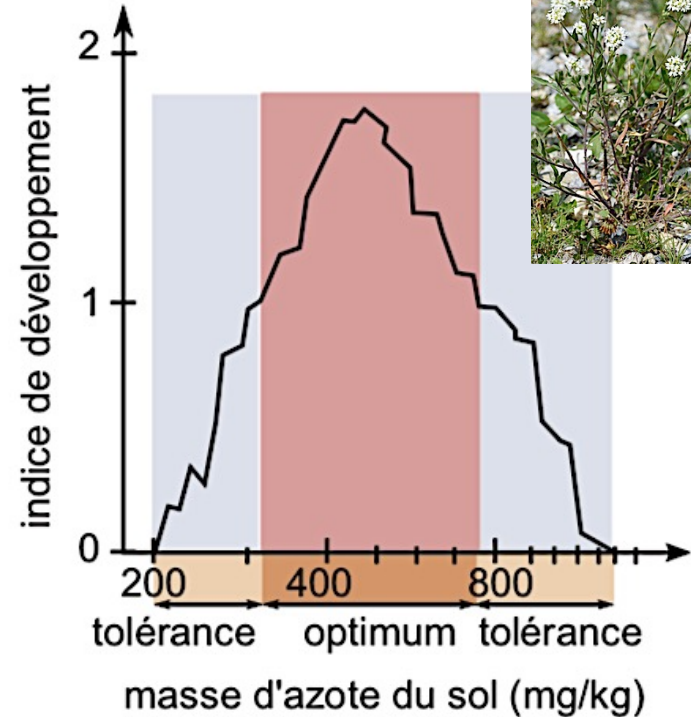
R.E : repos éveillé

A.O : activité optimale

Optimum physiologique : vie active et productivité

Conditions défavorables : vie ralentie

Entre les deux : **tolérance physiologique**



La niche écologique potentielle (= fondamentale)

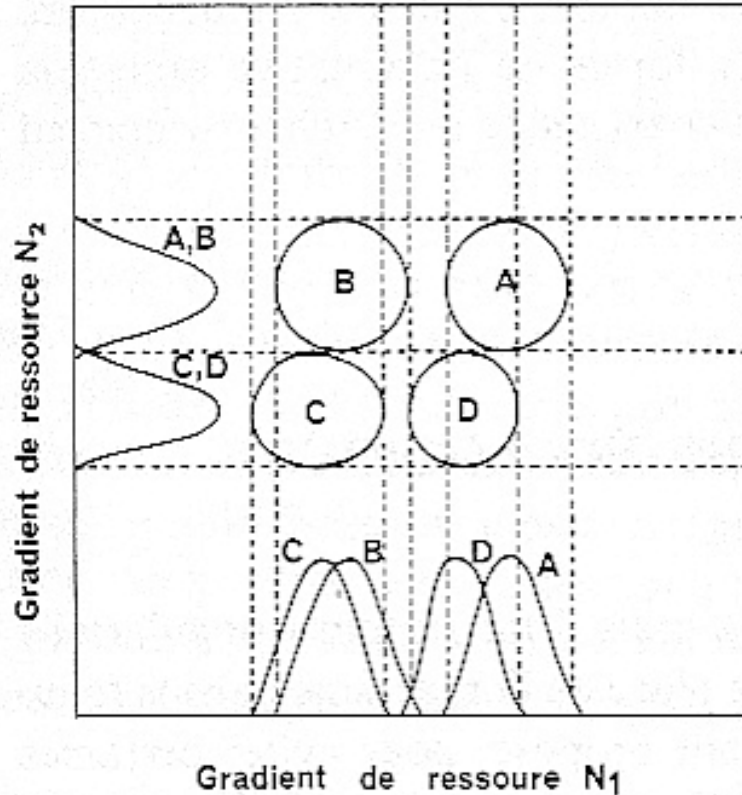
Ensemble des conditions biotiques et abiotiques nécessaires au maintien de la population.

Les facteurs qui déterminent la niche sont groupés en facteurs :

- **spatiaux** : liés au biotope (conditions physico-chimiques, place disponible...)
- **trophiques** : liés au type trophique, aux relations interspécifiques, à l'abondance de ressources...
- **temporels** : liés à l'occupation du territoire (migration), à la rencontre des individus, au moment de reproduction...

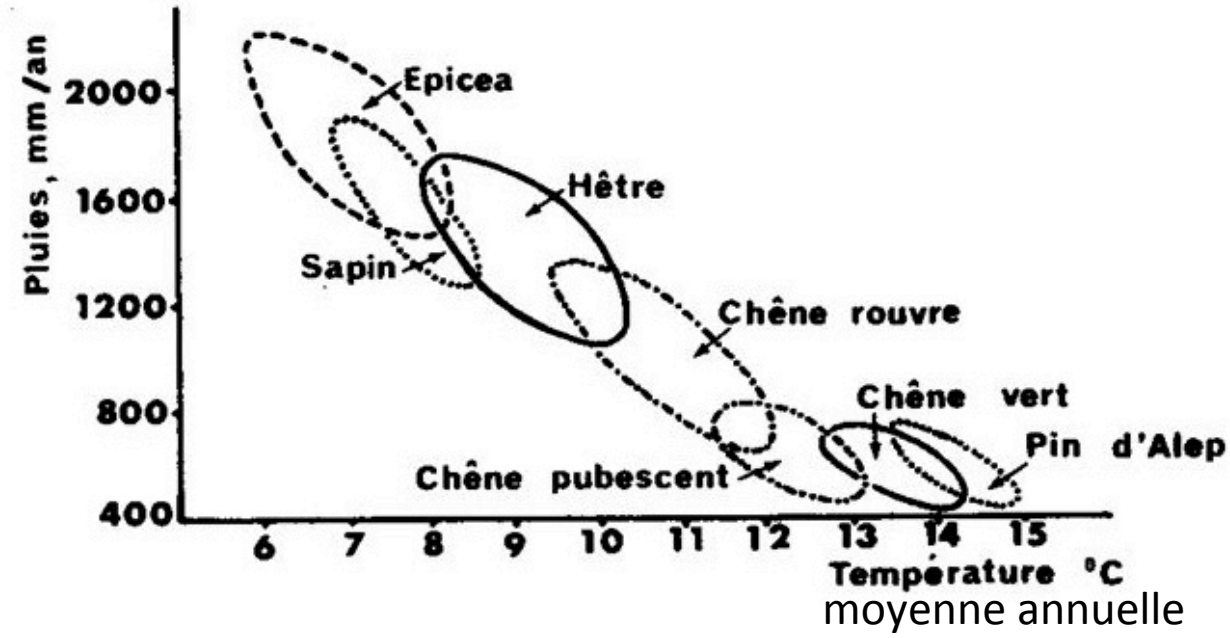
La niche écologique potentielle

4 espèces qui cohabitent : A, B, C et D

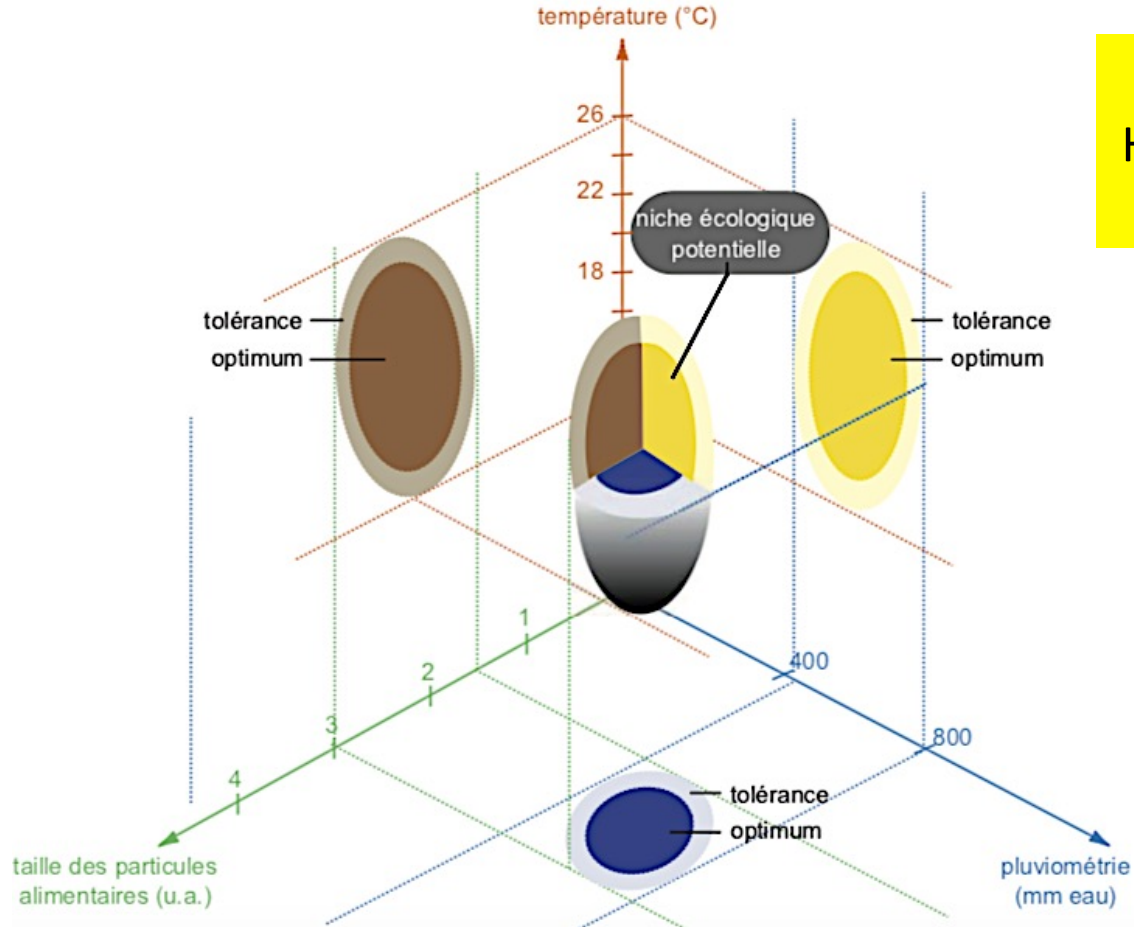


Pas de recouvrement de niches => cohabitation prospère.

Niche pluvio-thermique



Un hypervolume à n dimensions

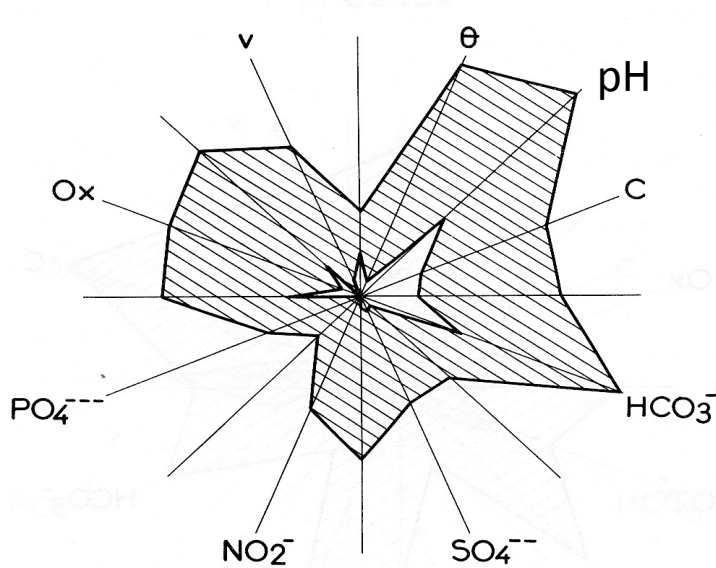


Odum (1959)
Habitat = adresse de l'espèce
Niche = profession

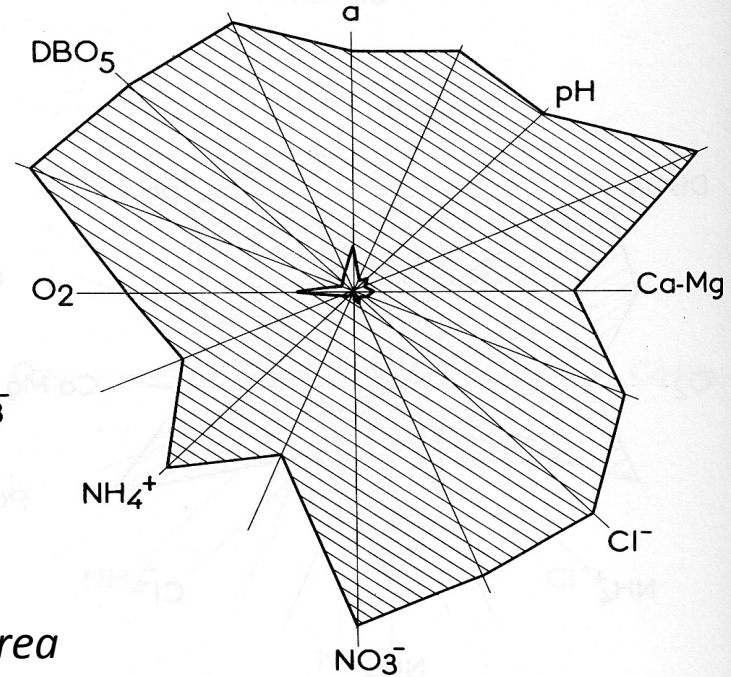
La valeur sélective est nulle hors de ce volume.

Une représentation en diagramme radar

Chaque axe représente un facteur de l'environnement et la gamme tolérée

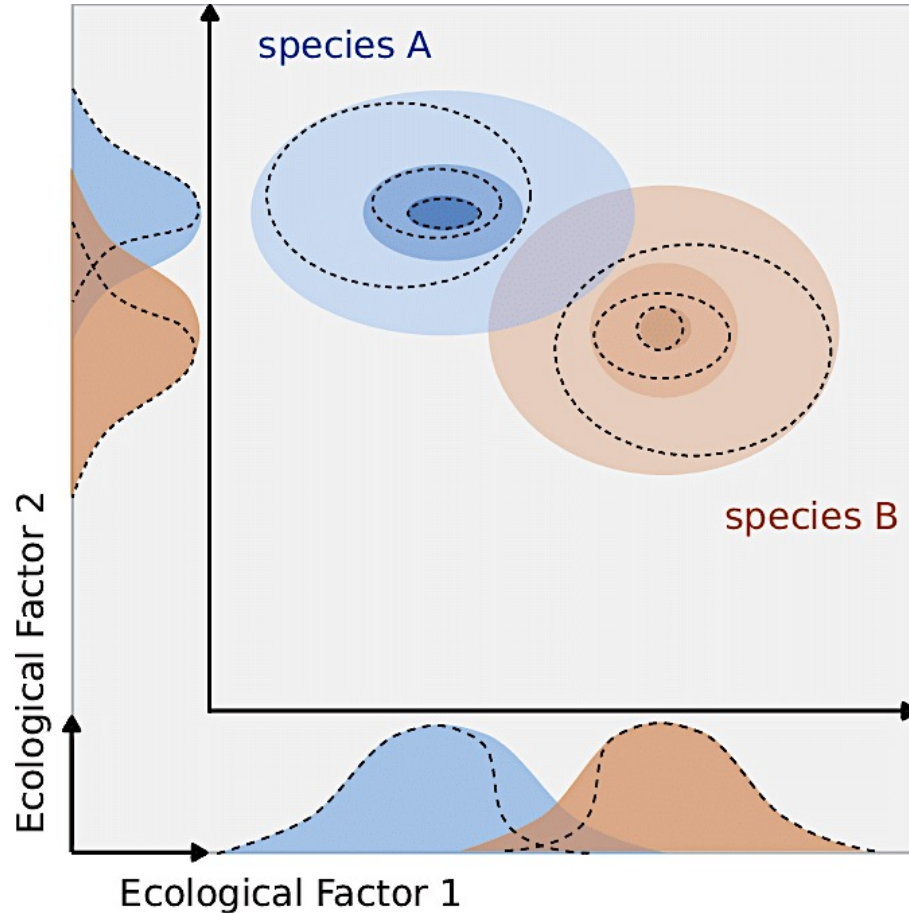


Larve d'Ephémère *Heptagenia sulphurea*



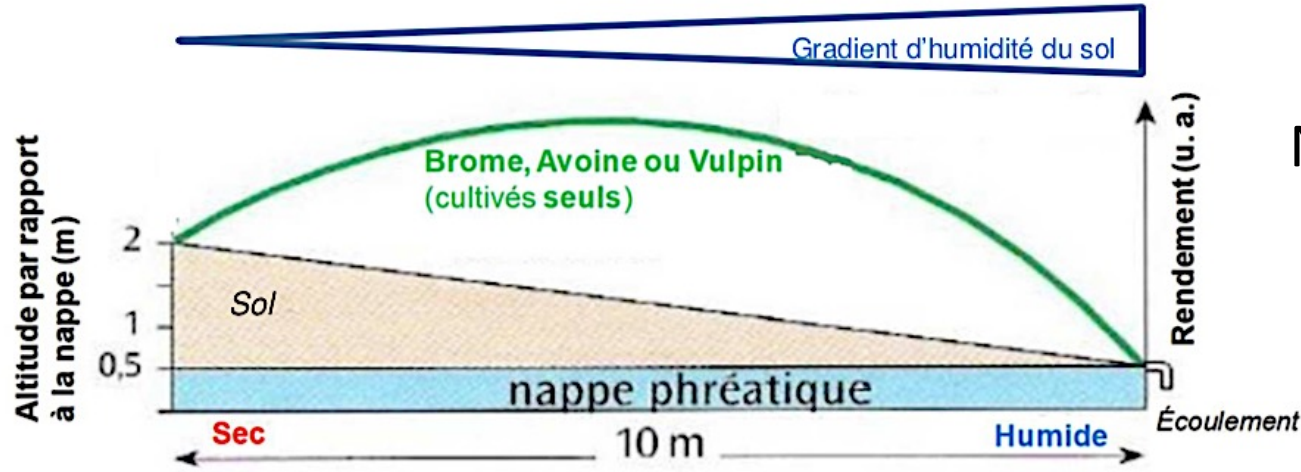
Larve de *Baetis rhodani*

Les niches réalisées souvent réduites

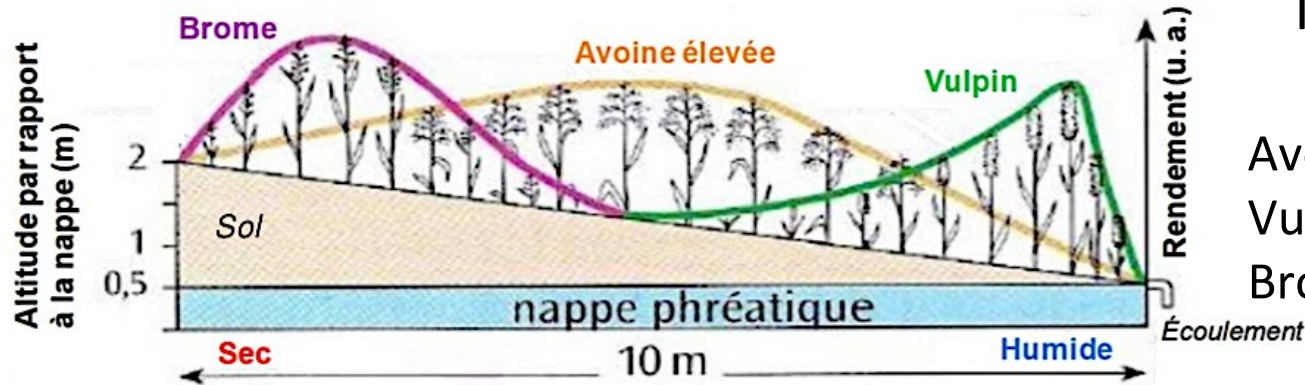


Niche potentielle en couleur
Niche réalisée délimitée par les pointillés

Une répartition issue de restriction de niches



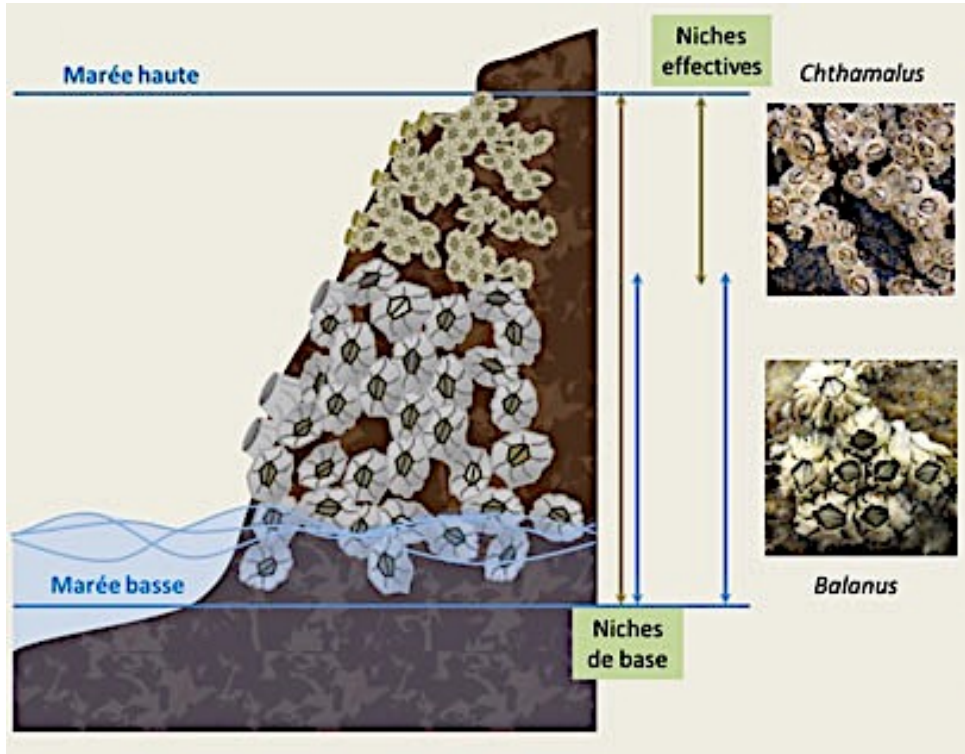
Niches **potentielles**
de 3 Poacées



Niches **réalisées** des
3 Poacées :

Avoine plus compétitive
Vulpin tolère l'humidité
Brome tolère la sécheresse

La niche réalisée est plus petite

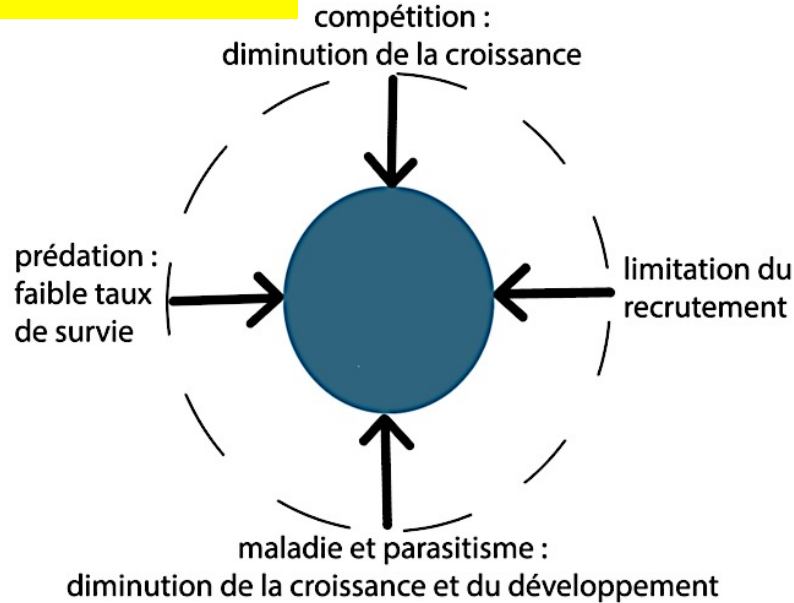


La répartition de *Balanus* est due aux conditions abiotiques du milieu (temps d'exondation court).

La répartition de *Chthamalus* est due à l'exclusion compétitive par *Balanus*, plus compétitif.

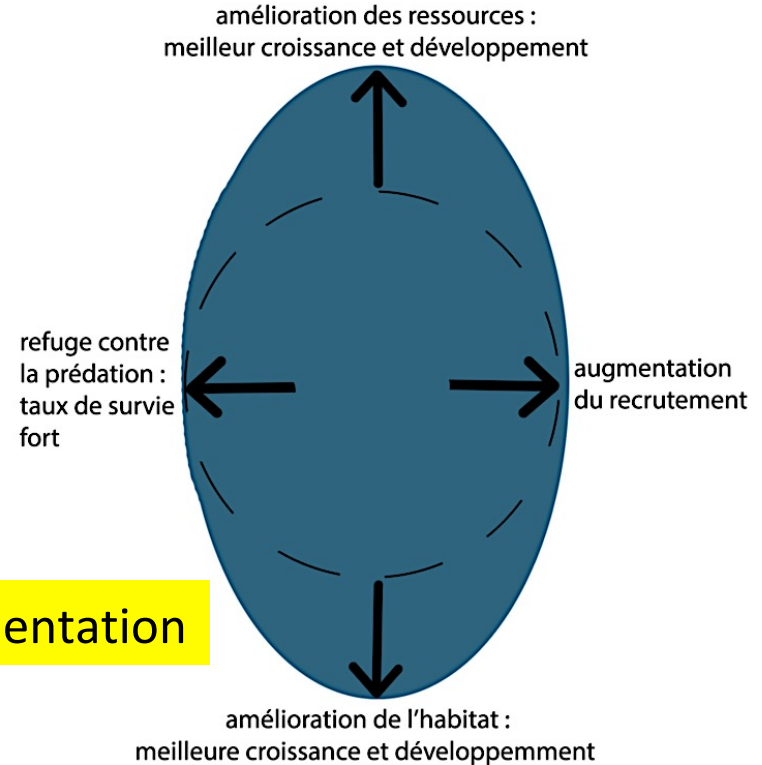
La rencontre de 2 niches

=> Réduction



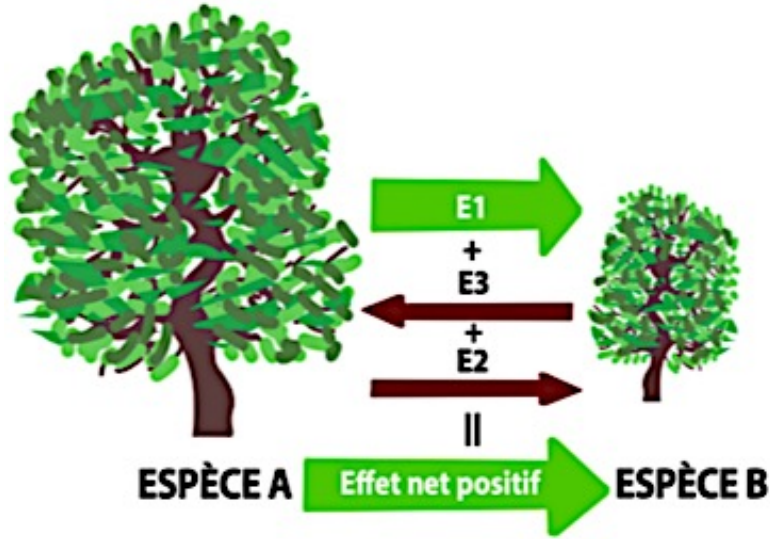
Légende : ● niche écologique réalisée
 - - niche écologique fondamentale

=> Augmentation



Recrutement = nombre de descendants atteignant l'âge de procréer.

Des cas de facilitation

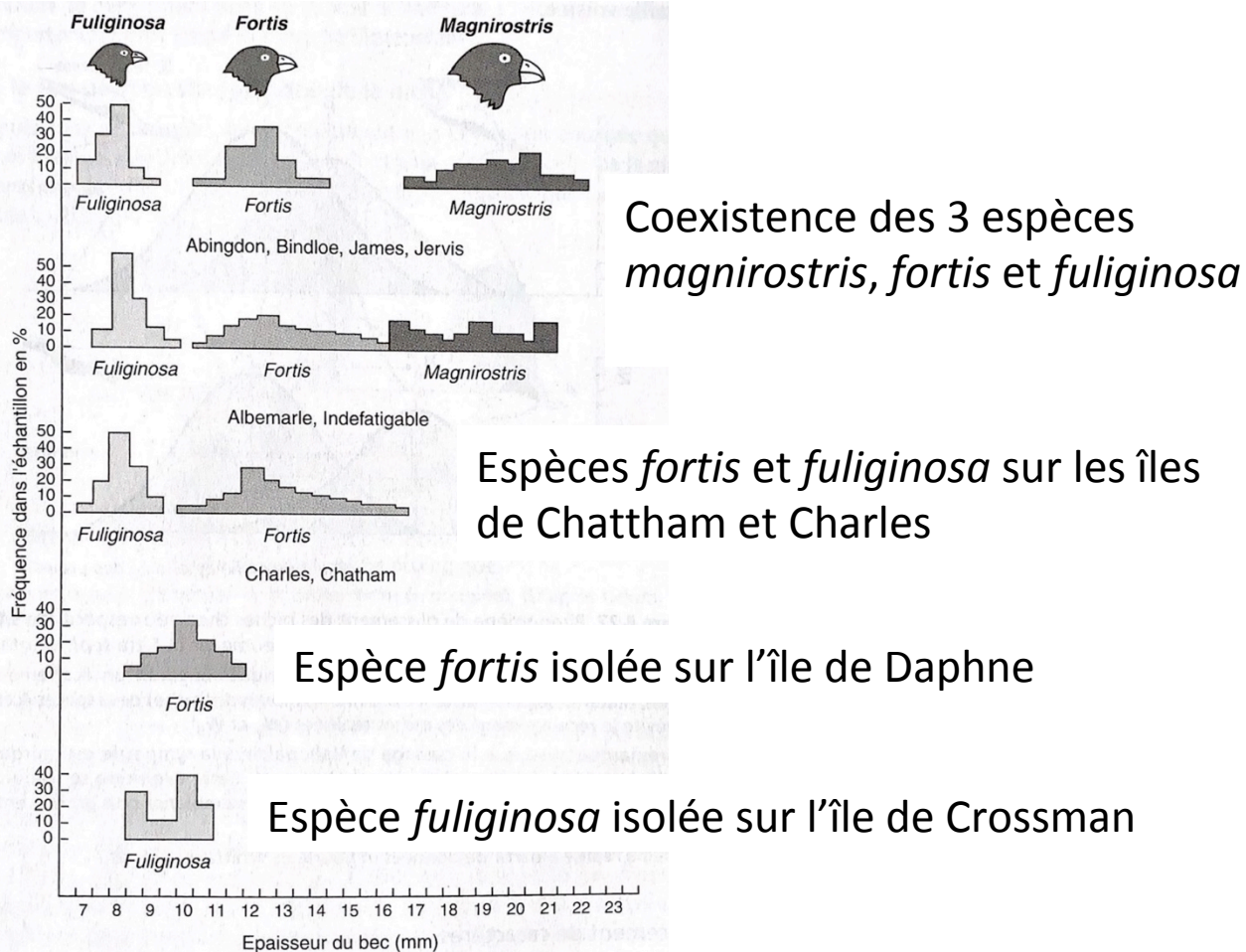


Plante « nurse » qui fait de l'ombre à la jeune plante et diminue ainsi l'évapotranspiration en climat aride (E1). Bilan positif malgré la compétition (E2 et E3)

Niche élargie si :

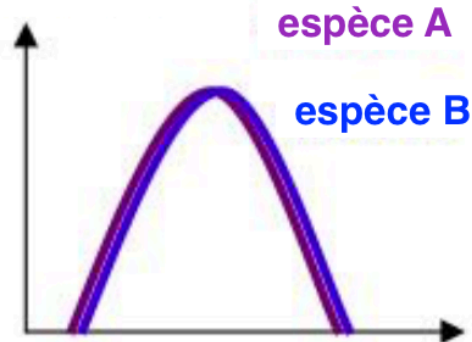
- arrivée de l'espèce mycélienne compatible pour établir une mycorhize ;
- arrivée d'une espèce qui libère des antifongiques dans le sol ;
- arrivée d'une nouvelle proie ;
- arrivée d'un nouveau refuge ou nouvel espace pour nidifier...

Les pinsons des Galapagos



La pression de sélection permet l'évolution des niches

Valeur sélective

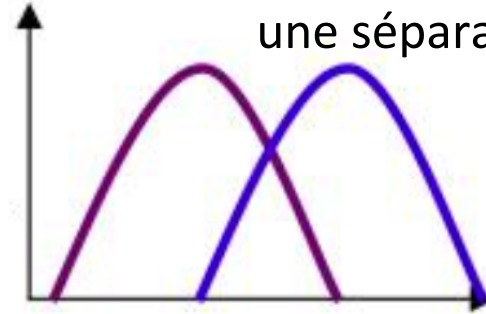


Gradient environnemental

Les 2 espèces ont exactement la même niche

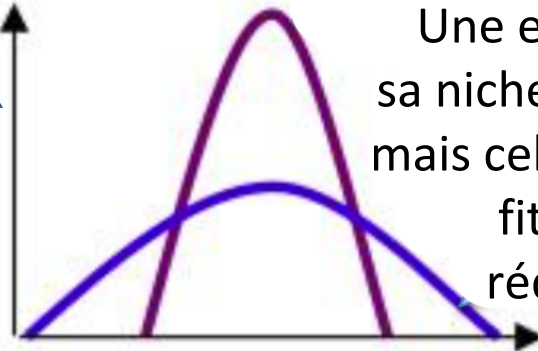
évolutions possibles

2 stratégies K qui évoluent vers une séparation de niche



Déplacement de phénotype

Une espèce élargit sa niche (stratégie r) mais cela diminue sa fitness. L'autre réduit sa niche.



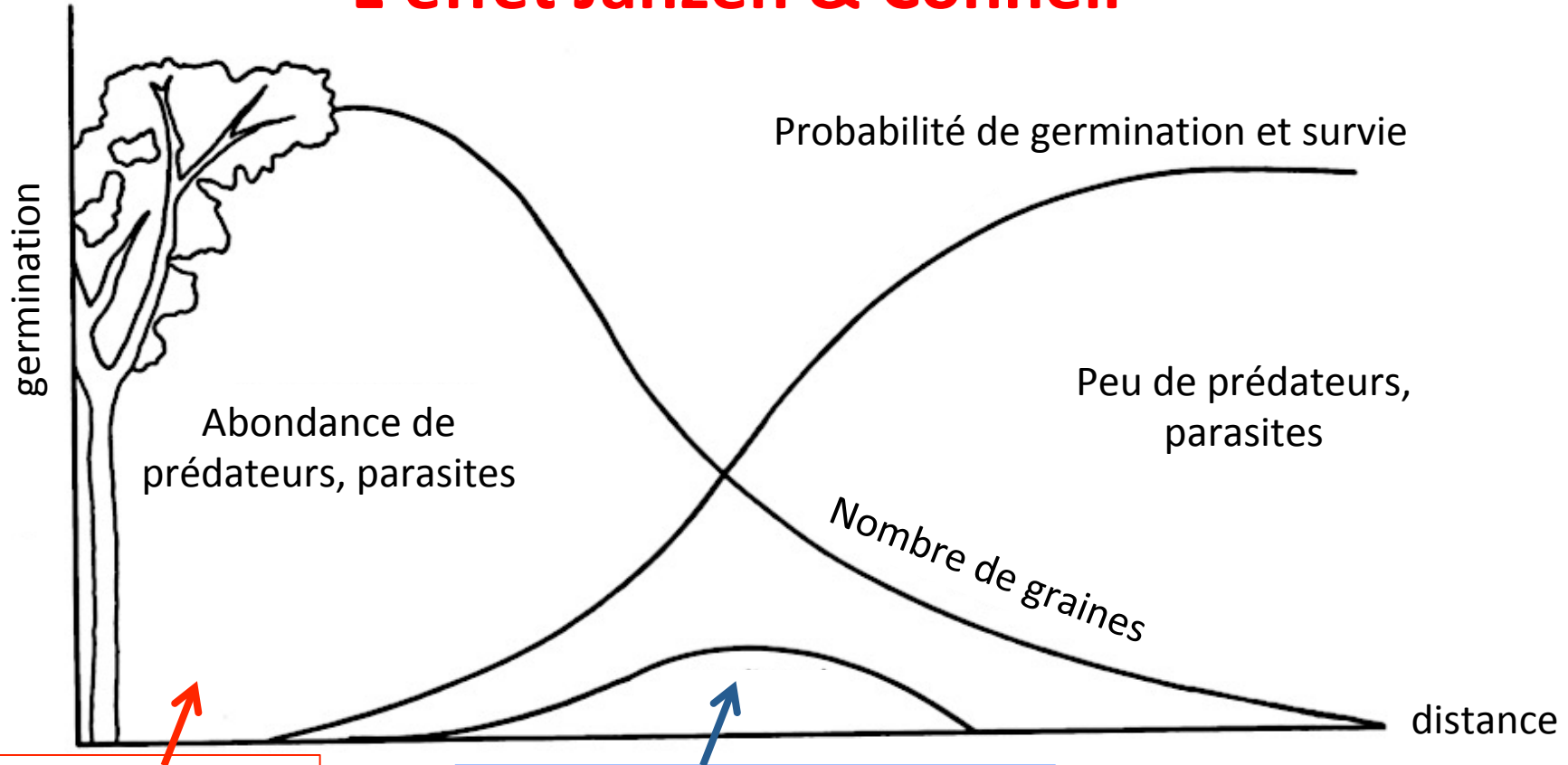
Le recouvrement de niches

- **Exclusion compétitive** d'une espèce si elles ont exactement la même niche (rare car issue de coévolution) : cas des invasives
- **Déplacement de niche** : chaque population se répartit en fonction des autres (*Balanus/Chthamalus*)
- **Différenciation par sélection** et déplacement de caractères : (pinsons des Galapagos) : cela évite la compétition
- **Facilitation** : la niche s'élargit

2. Diversité des relations interspécifiques et conséquences sur la structure de l'écosystème

2.3. Le maintien des espèces dans leur milieu

L'effet Janzen & Connell



Zone de colonisation par d'autres espèces

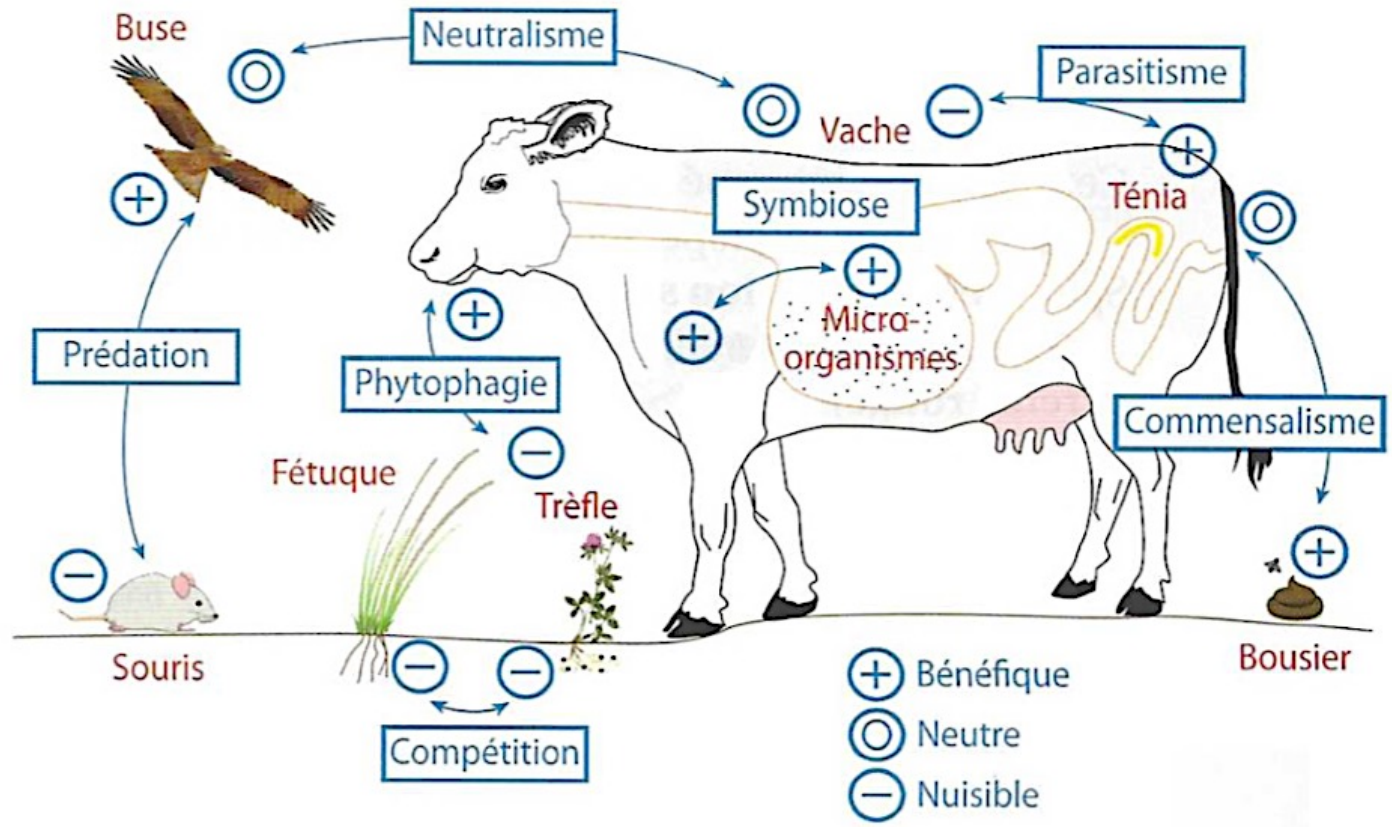
Zone de colonisation privilégiée

Les espèces clé de voûte

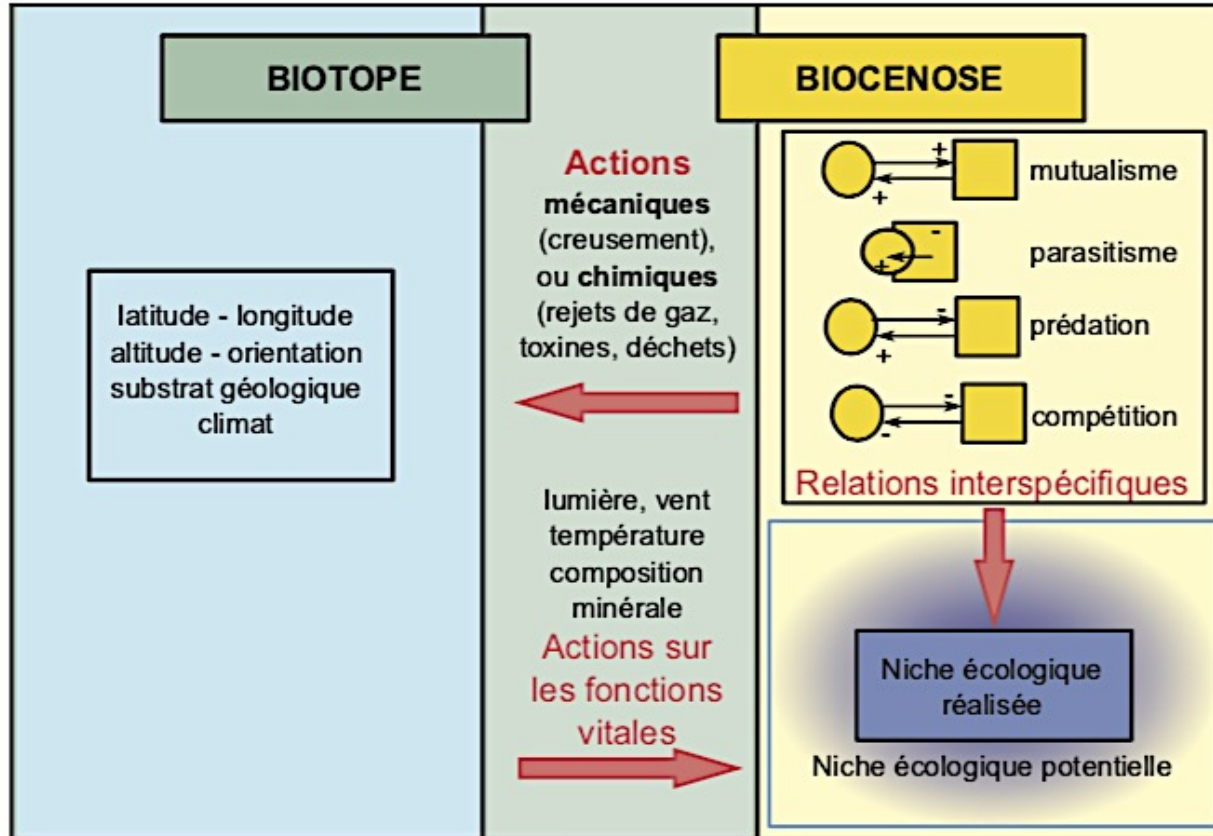


- La vache agit sur le peuplement :
- via les prélèvements de nourriture (préférences, hauteur de coupe...);
 - via le piétinement ;
 - via les bouses

Conclusion



Conclusion



La lutte biologique



**Coccinelles et larves de coccinelles
prédatrices de pucerons**