

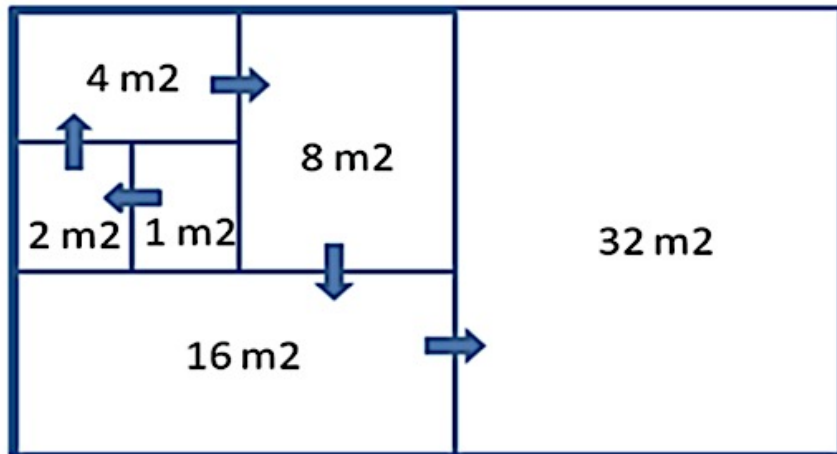
TD – Les écosystèmes

1. La diversité spécifique des écosystèmes

1.1. Le protocole de détermination de l'aire minimale et de la richesse spécifique

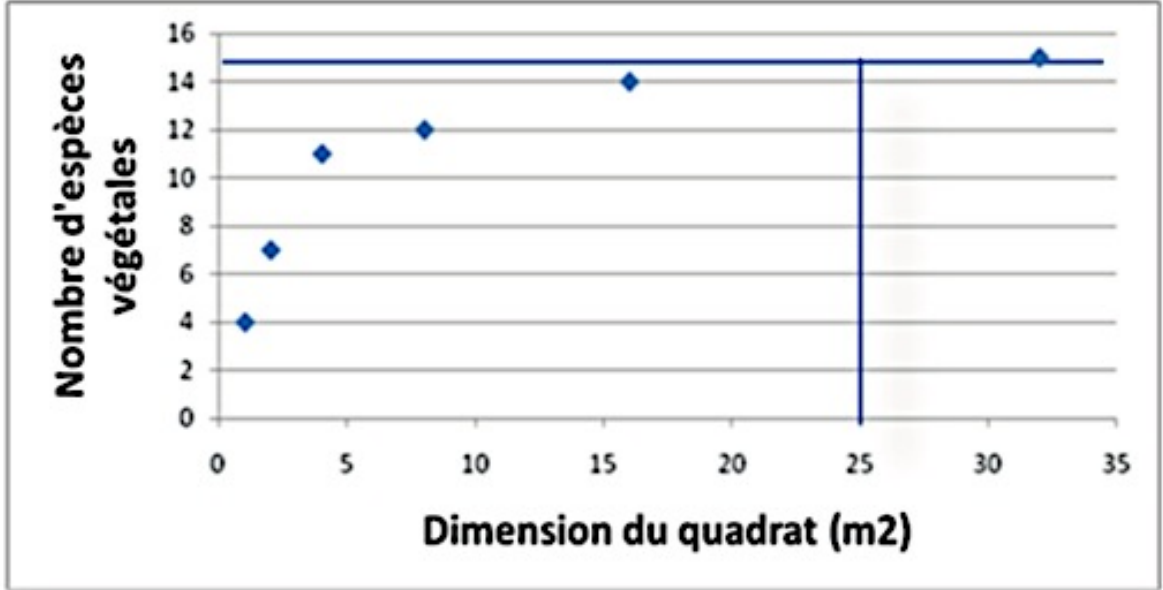
Déterminer l'aire minimale

Exemple de la végétation autour du lac de Ribou (Maine et Loire)



Aire du quadrat (m ²)	Nouvelles espèces	Nombre total d'espèces
1	<i>Lycopus europaeus</i> <i>Phalaris arundinacea</i> <i>Rorippa amphibia</i> une pousse indéterminée	4
2	<i>Juncus effusus</i> <i>Lemna minor</i> <i>Lythrum saliciria</i>	7
4	<i>Iris pseudacorus</i> <i>Mentha aquatica</i> <i>Oenanthe crocata</i> <i>Ranunculus peltatus</i>	11
8	<i>Carex sp</i>	12
16	<i>Alisma plantago-aquatica</i> <i>Salix sp</i>	14
32	<i>Callitriche sp</i>	15
64	-	-

Déterminer l'aire minimale



Courbe de saturation = courbe de raréfaction

Comparer la biodiversité de 2 milieux

Pour comparer 2 milieux, il est possible de calculer l'indice de similitude

$$i = \frac{2c}{S_1 + S_2}$$

où, S_1 = le nombre total d'espèces enregistrées dans la première communauté,
 S_2 = le nombre total d'espèces enregistrées dans la deuxième communauté,
et c = le nombre d'espèces communes aux deux communautés.

Cet indice est une mesure très simple de la biodiversité, variant de 0 quand il n'y a pas d'espèces communes entre les deux communautés, à la valeur 1 lorsque les mêmes espèces existent dans les deux communautés.

Évaluer la diversité spécifique

Des indices simples et empiriques

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)

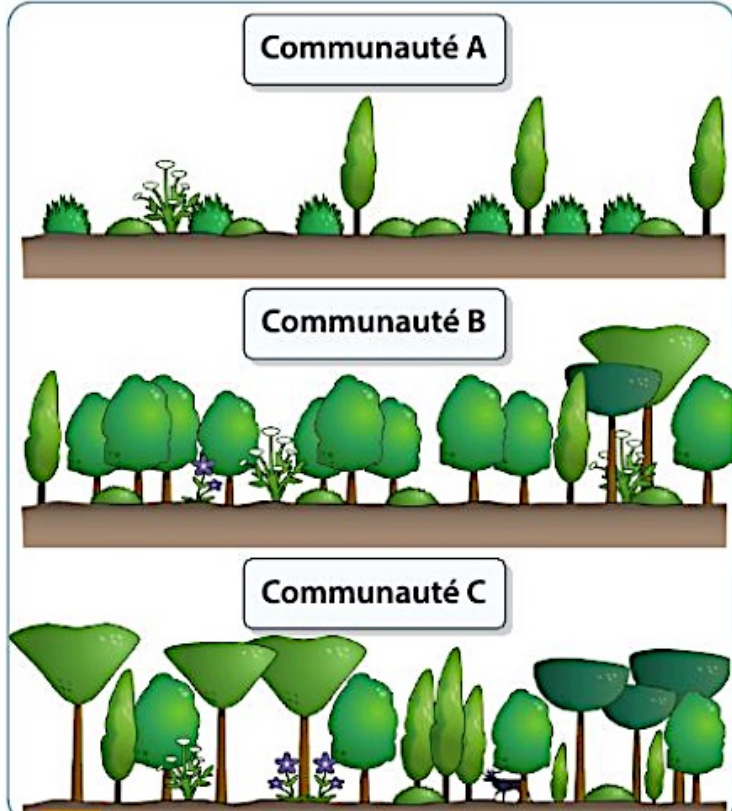
$$R_{Mg} = \frac{S-1}{\ln(Q)}$$

Indice de Menhinick (1964)

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

Évaluer la diversité spécifique

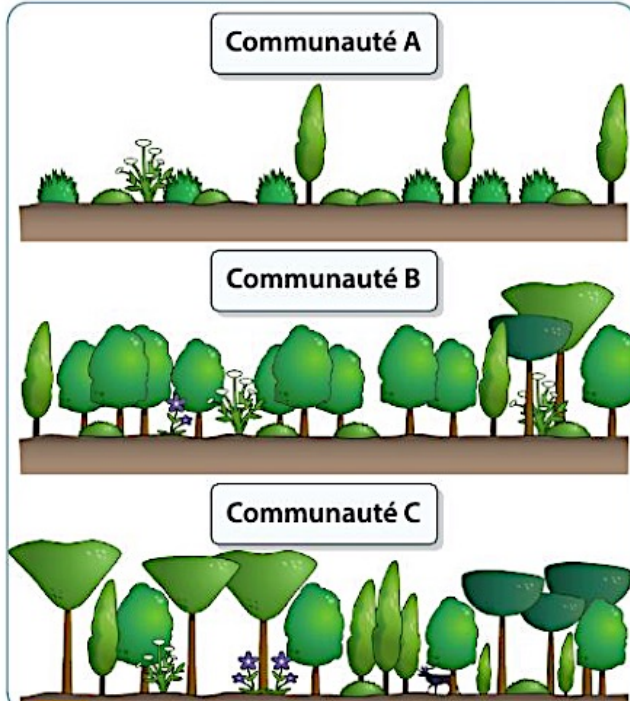
Exemple de l'évaluation par l'indice de Margalef



Calculer R_{Mg} pour les 3 communautés et discuter la richesse spécifique

Évaluer la diversité spécifique

Exemple de l'évaluation par l'indice de Margalef



$$R_{Mg} = \frac{S-1}{\ln(Q)} = \frac{4-1}{\ln(15)} = 1,107$$

$$R_{Mg} = \frac{S-1}{\ln(Q)} = \frac{7-1}{\ln(21)} = 1,971$$

$$R_{Mg} = \frac{S-1}{\ln(Q)} = \frac{9-1}{\ln(22)} = 2,588$$

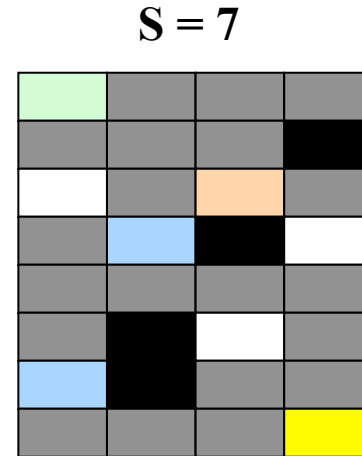
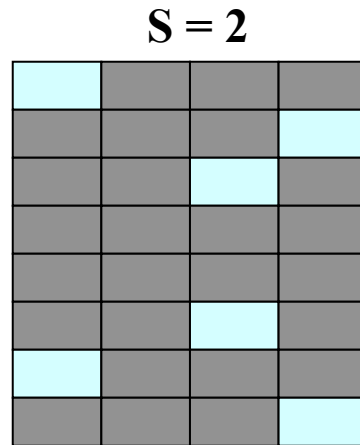
Évaluer la diversité spécifique : notée H'

Quelques indices parmi lesquels l'indice de Shannon et Weaver
Approche « avec les mains »

Deux composantes :

- Richesse taxonomique
- Équitabilité

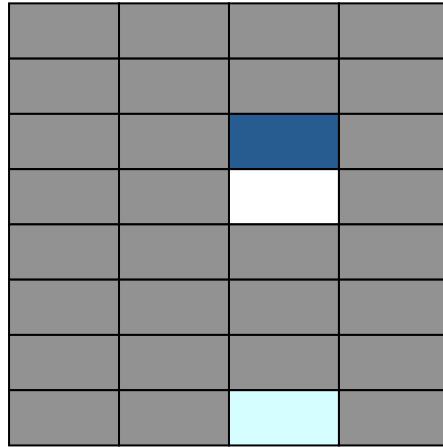
Une espèce = une couleur
Une case = un individu



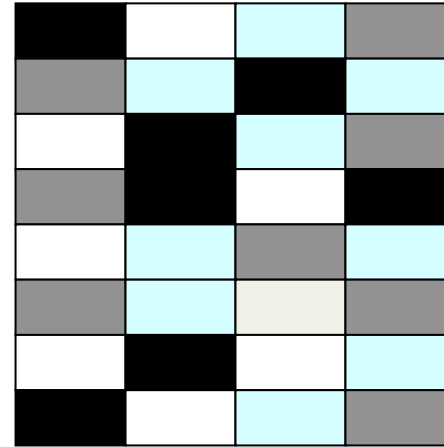
Il est clair que la communauté de droite est plus riche.

Évaluer la diversité spécifique : notée H'

Quelques indices parmi lesquels l'indice de Shannon et Weaver
Approche « avec les mains »



$S = 4$

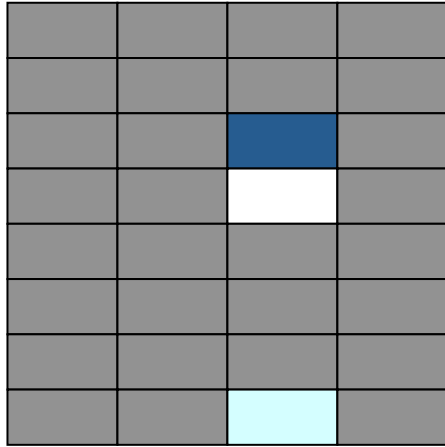


$S = 4$

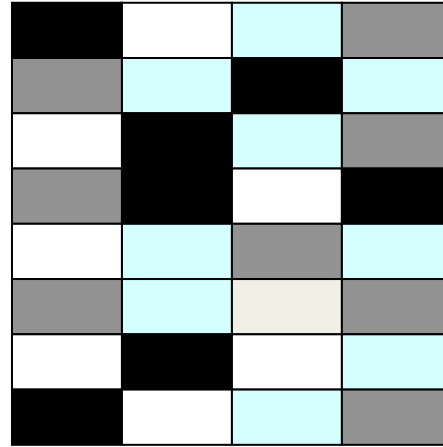
Les deux milieux présentent 4 espèces.
Que penser de la diversité spécifique ?

Évaluer la diversité spécifique : notée H'

Quelques indices parmi lesquels l'indice de Shannon et Weaver
Approche « avec les mains »



$S = 4$



$S = 4$

Plus grande diversité spécifique

Les deux milieux présentent
4 espèces mais celle de
gauche peut facilement
« basculer » vers une
moindre richesse si un seul
individu meurt. La diversité
est moins robuste.

L'indice 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' dépend :**
- de **S** (H' ↗ quand S ↗)
 - de **l'équitabilité**

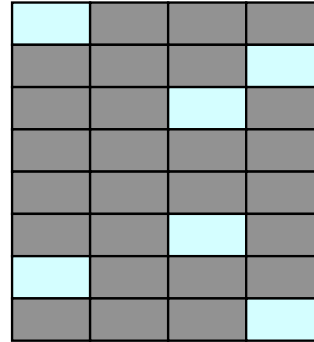
régularité de la distribution des effectifs des différentes espèces de la communauté

Indices de Shannon et Weaver et d'équirépartition

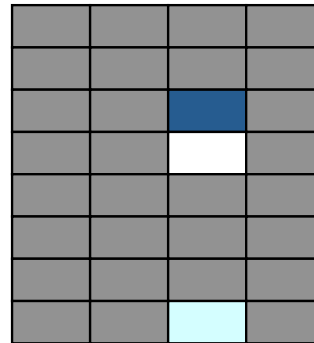
$$E = \frac{H'}{\log_2(S)}$$

Plus E est proche de 1, plus les effectifs sont équitables et la richesse équilibrée. On parle de stabilité pour $E > 0,75$.

S = 2
 E = 0,70
 H' = 0,70

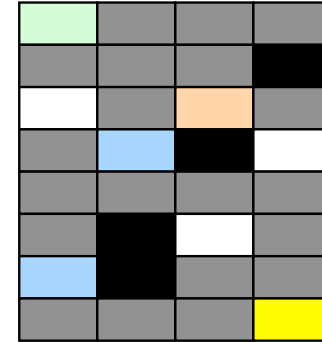


E = 0,30
 H' = 0,60

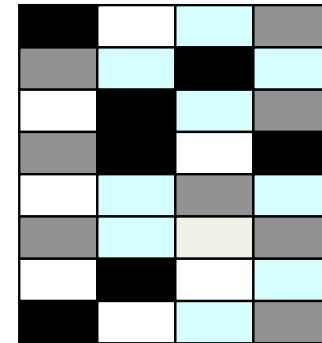


S = 4

S = 7
 E = 0,70
 H' = 1,95



E = 0,99
 H' = 1,99



S = 4

Indice de Shannon et Weaver

Dans la pratique

- H' minimum est différent de 0
- Les plus fortes valeurs de H' observées ne dépassent pas 4,5
- H' à utiliser dans un **cadre comparatif**

1. La richesse spécifique des écosystèmes

1.2. Études de cas

Exercice 1

	Oliveraie	Pinède		Oliveraie	Pinède
Poacées	9	7	Iridacées	0	1
Asparagacées	1	2	Fagacées	0	1
Santalacées	0	1	Asteracées	10	1
Crassulacées	0	1	Lamiacées	1	2
Aquifoliacées	0	1	Plantaginacées	1	0
Cistacées	0	1	Diantacées	1	0
Adoxacées	0	1	Convolvulacées	1	0
Oléacées	0	3	Borraginacées	1	0
Anacardiées	2	1	Géraniacées	2	0
Liliacées	1	1	Ulmacées	1	0
Rosacées	3	2	Fabacées	2	2
Rubiées	2	1	Polygonacées	1	0

Exercice 1

1. L'oliveraie est un milieu dit ouvert : elle possède une aire minimale plus petite que la pinède, milieu dit fermé : les milieux forestiers ont souvent une aire minimale plus vaste ($> 100 \text{ m}^2$), du fait de l'hétérogénéité et la dimension des végétaux la composant.

Type de végétation	Aire minimale
Forêts	200-500 m ²
Pelouses sèches	50-100 m ²
Landes à chaméphytes	10-25 m ²
Prés de fauche	10-25 m ²
Prairies amendées	5-10 m ²
Communautés de Bryophytes	1-4 m ²
Communautés de Lichens	0.1-1 m ²

Exercice 1

2. L'oliveraie présente 39 espèces différentes, réparties en 16 familles.
La pinède présente 29 espèces différentes, réparties en 17 familles.

La diversité spécifique est plus grande dans l'oliveraie.
La diversité génétique est plus grande dans la pinède.

$$\text{Indice de similitude} = \frac{2c}{S_1 + S_2} = \frac{2 \times 9}{16 + 17} = 0,54$$

3. Les deux milieux représentent ensemble 24 familles différentes : la richesse spécifique est plus importante.

Exercice 2

	Site de Woimbey Fauche après le 10 juillet	Site de Sampigny Fauche avant le 22 juin
Plantes indicatrices non Fabacées		
<i>Achillea ptarmica</i>	1	
<i>Cardamine pratensis</i>	10	
<i>Centaurea thuyleri</i>	32	
<i>Crepis biennis</i>	12	
<i>Filipendula ulmaria</i>	23	
<i>Galium verum</i>		
<i>Lychnis flos-coculi</i>	5	
<i>Peucedanum carvifolium</i>		5
<i>Rumex acetosa</i>	14	6
<i>Silaum silaus</i>		
<i>Tragopogon pratensis</i>		
Fabacées indicatrices		
<i>Lathyrus pratensis</i>	11	
<i>Lotus corniculatus</i>	30	
<i>Trifolium pratense</i>	4	
<i>Vicia craca</i>	25	
Plantes à fleur colorée non indicatrices		
<i>Ajuga reptans</i>		
<i>Bellis perennis</i>		
<i>Cerastium fontanum</i>		
<i>Cirsium arvense</i>		
<i>Colchicum autumnale</i>		

<i>Geranium dissectum</i>		
<i>Glechoma hederacea</i>		
<i>Plantago lanceolata</i>		
<i>Polygonum amphibium</i>	1	
<i>Potentilla reptans</i>	1	
<i>Ranunculus acris</i>	6	
<i>Ranunculus repens</i>	92	70
<i>Rumex crispus</i>	15	5
<i>Stellaria gramineum</i>		
<i>Taraxacum officinale</i>	72	21
Poacées, Cypéracées et Joncacées		
<i>Agrostis stolonifera</i>	63	52
<i>Alopecurus pratensis</i>	21	
<i>Arrhenatrum elatius</i>		
<i>Bromus racemosus</i>		
<i>Dactylis glomerata</i>		
<i>Elytrigia repens</i>	11	
<i>Festuca pratensis</i>	10	
<i>Holcus lanatus</i>		
<i>Hordeum secalinum</i>		
<i>Lolium perenne</i>	87	1
<i>Phleum pratense</i>	5	
<i>Poa trivialis</i>	11	54

Exercice 2

1.a. Site de Woimpey : 24 espèces

Site de Sampigny : 8 espèces

1.b. Indices

Woimpey

Sampigny

Indice de Margalef $R_{Mg} = \frac{S-1}{\ln(Q)} = \frac{24-1}{\ln(562)} = 3,63$

$$R_{Mg} = \frac{8-1}{\ln(213)} = 1,306$$

Indice de Menhinick $RMh = \frac{S}{\sqrt{Q}} = \frac{24}{\sqrt{562}} = 1,012$

$$RMh = \frac{S}{\sqrt{Q}} = \frac{8}{\sqrt{213}} = 0,548$$

Indice de Shannon & Weaver (diapo suivante)

Exercice 2

Indice de Shannon & Weaver du site de Woimpey = 3,83

espèces																									Q
qi	1	10	32	12	23	5	14	11	30	4	25	1	1	6	92	15	72	63	21	11	10	87	5	11	562
pi	0,0018	0,0178	0,0569	0,0214	0,0409	0,0089	0,0249	0,0196	0,0534	0,0071	0,0445	0,0018	0,0018	0,0107	0,1637	0,0267	0,1281	0,1121	0,0374	0,0196	0,0178	0,1548	0,0089	0,01957	
Log2(pi)	-9,134	-5,812	-4,134	-5,549	-4,611	-6,812	-5,327	-5,675	-4,228	-7,134	-4,491	-9,134	-9,134	-6,549	-2,611	-5,228	-2,965	-3,157	-4,742	-5,675	-5,812	-2,691	-6,8125	-5,675	H'
- pi.Log2(pi)	0,0163	0,1034	0,2354	0,1185	0,1887	0,0606	0,1327	0,1111	0,2257	0,0508	0,1998	0,0163	0,0163	0,0699	0,4274	0,1395	0,3798	0,3539	0,1772	0,1111	0,1034	0,4167	0,06061	0,11108	3,82598

Indice de Shannon & Weaver du site de Sampigny = 2,29

espèces									Q
qi	5	6	70	5	21	51	1	54	213
pi	0,0235	0,0282	0,3286	0,0235	0,0986	0,2394	0,0047	0,2535	
Log2(pi)	-5,413	-5,15	-1,605	-5,413	-3,342	-2,062	-7,735	-1,98	H'
- pi.Log2(pi)	0,1271	0,1451	0,5276	0,1271	0,3295	0,4938	0,0363	0,5019	2,2883

1.c. Indices d'équirépartition $E = \frac{H'}{\text{Log}_2(S)}$

Woimpey : $E = 0,8345$

Sampigny : $E = 0,7628$

Exercice 2

$$1.d. \text{ Indice de similitude} = \frac{2c}{S_1 + S_2} = \frac{2 \times 7}{24 + 8} = 0,44$$

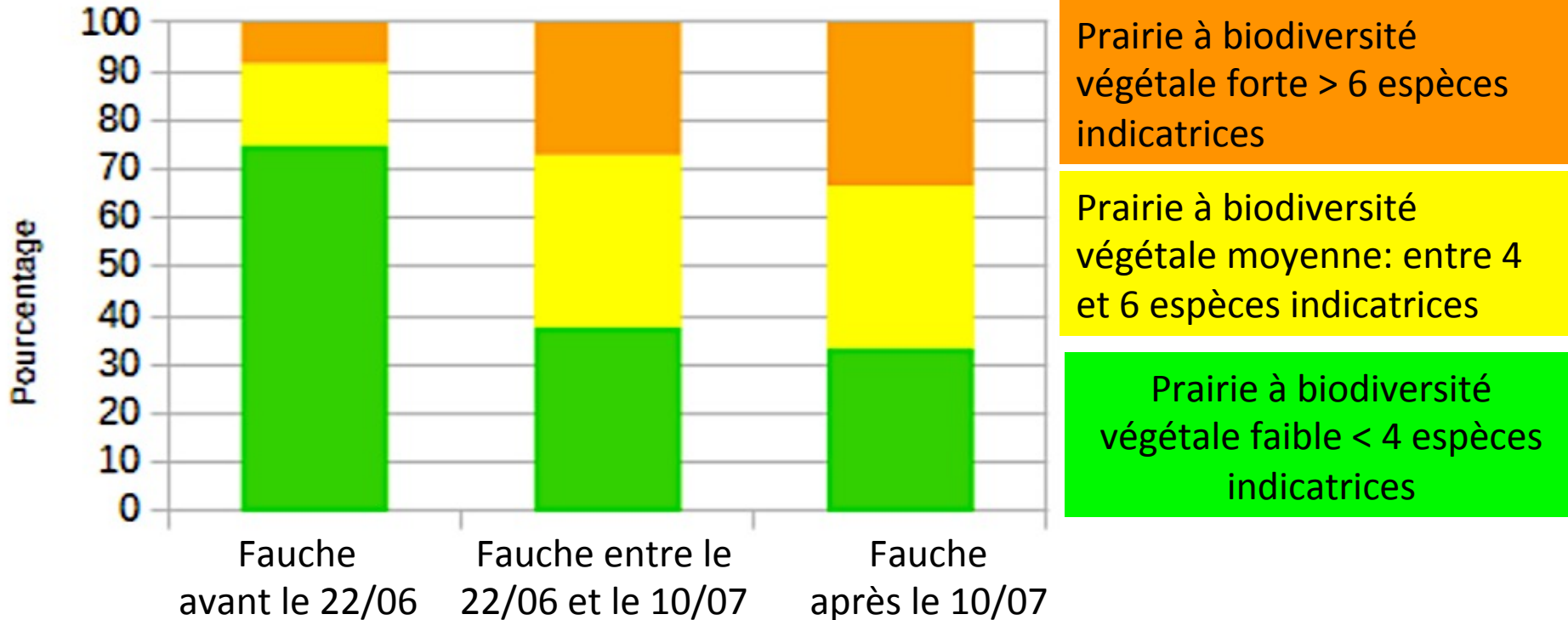
2. Les deux prairies ont une flore très différente car seulement 44 % des espèces sont communes.

Le site de Sampigny, fauché précocement, présente une plus faible diversité spécifique qu'à Woimpey, quelque soit l'indice employé. Sa stabilité est légèrement plus faible mais la répartition est plutôt équilibrée.

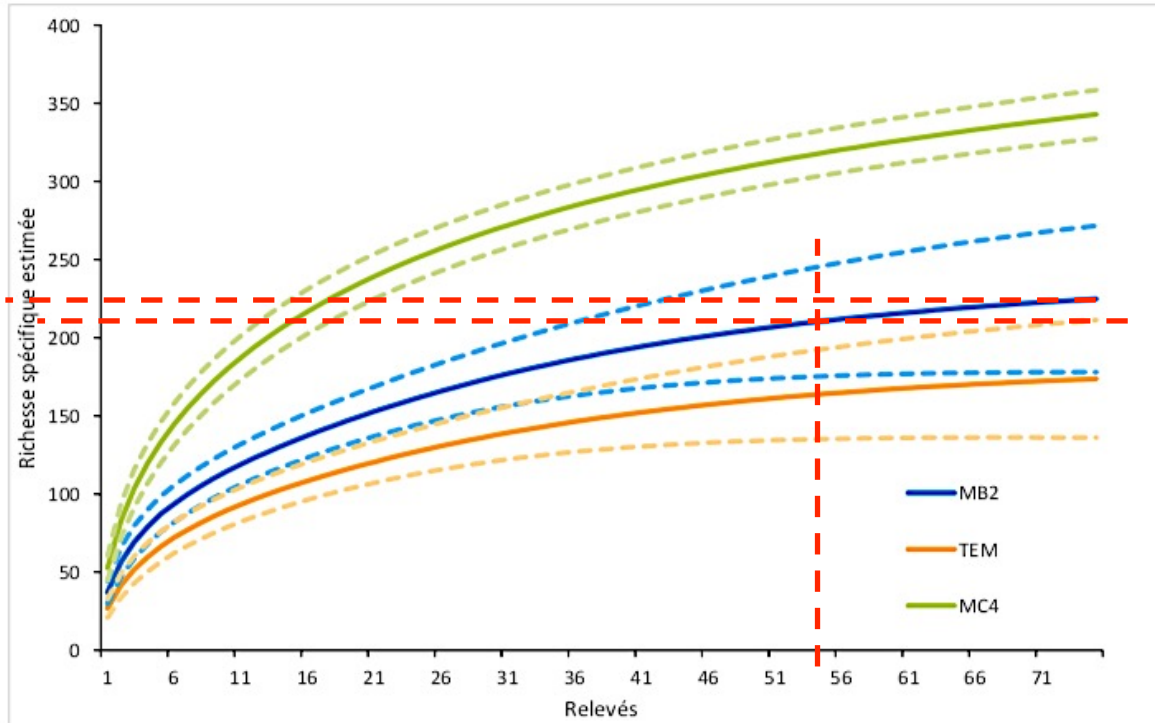
Une fauche tardive semble favoriser la biodiversité.

Complément à l'exercice 2

Analyse de 166 prairies de Meuse



Exercice 3



Environ 225 espèces recensées pour MB2. 95% de 225 espèces constituent 214 espèces. Ce seuil est atteint au bout de 55 relevés.

Richesse spécifique : $MC4 > MB2 > TEM$
 Importance de la gestion

2. Les relations interspécifiques

Exercice 4

Variété de <i>Glomus</i>	A	B	C	D	E
1. Biomasse des parties aériennes	0	0	0	0	0
2. Biomasse des racines	-	0	0	0	0
3. Largeur des feuilles	0	0	+	0	0
4. Concentration en phosphore dans les tiges	+	0	0	+	0
5. Concentration en phosphore dans les racines	0	0	0	0	0
6. Nombre de talles	0	0	-	0	+
7. Efficacité d'utilisation de l'eau *	+	0	+	-	0
8. Transpiration foliaire	0	0	0	0	0

Exercice 4

Variété de <i>Glomus</i>	A	B	C	D	E
1. Biomasse des parties aériennes	0	0	0	0	0
2. Biomasse des racines	-	0	0	0	0
3. Largeur des feuilles	0	0	+	0	0
4. Concentration en phosphore dans les tiges	+	0	0	+	0
5. Concentration en phosphore dans les racines	0	0	0	0	0
6. Nombre de talles	0	0	-	0	+
7. Efficacité d'utilisation de l'eau *	+	0	+	-	0
8. Transpiration foliaire	0	0	0	0	0

Dans tous les cas, le champignon reçoit un bénéfice : de la matière organique

A – positif pour les points 4 et 7. La biomasse des racines est sans doute compensée par le réseau de filaments mycéliens. => **ymbiose**

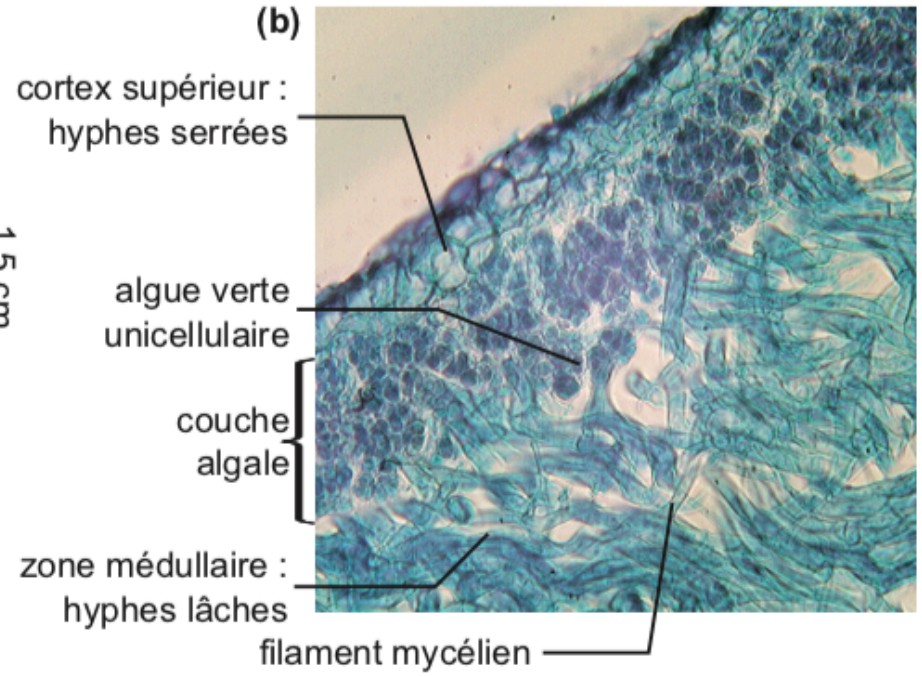
E – positif pour le point 6 et neutre pour les autres : l'association favorise la multiplication => **ymbiose**

D – positif pour 4 mais négatif pour 7. L'eau ayant un rôle majeur => **parasitisme ?**

B – totalement neutre pour la plante mais bénéfique pour le champignon => **commensalisme**

C – positif pour 3 et 7 (végétatif) mais négatif pour 6 (reproduction) => **les deux ?**

Parmelia, un lichen foliacé



Coloration au bleu de toluidine

Observation de lichen au microscope

Parmelia



Algue unicellulaire

Hyphe mycélien



Cortex mycélien supérieur

Algues unicellulaires enserrées
par des hyphes mycéliens

Zone médullaire

Cortex mycélien inférieur

Coupe transversale d'un lichen observé au microscope optique (x400)

Les lichens



Xanthorie



Usnée



Graphis

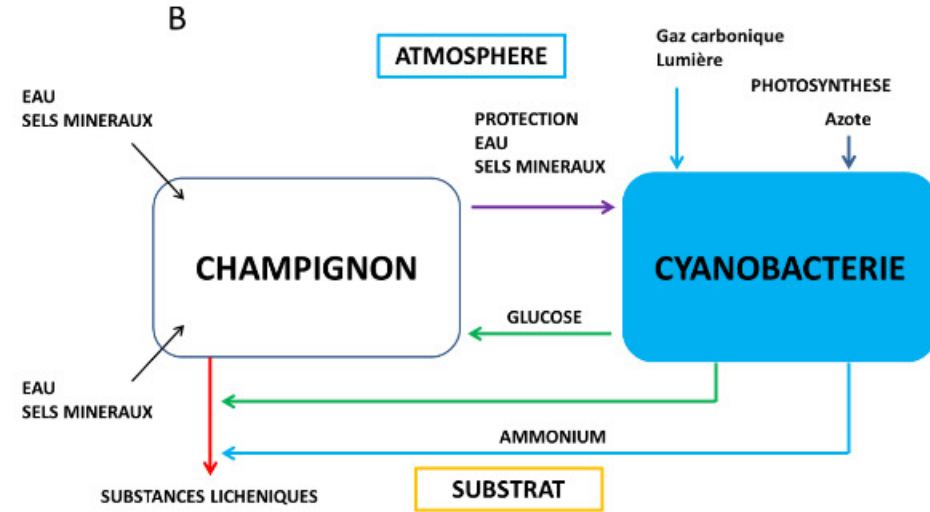
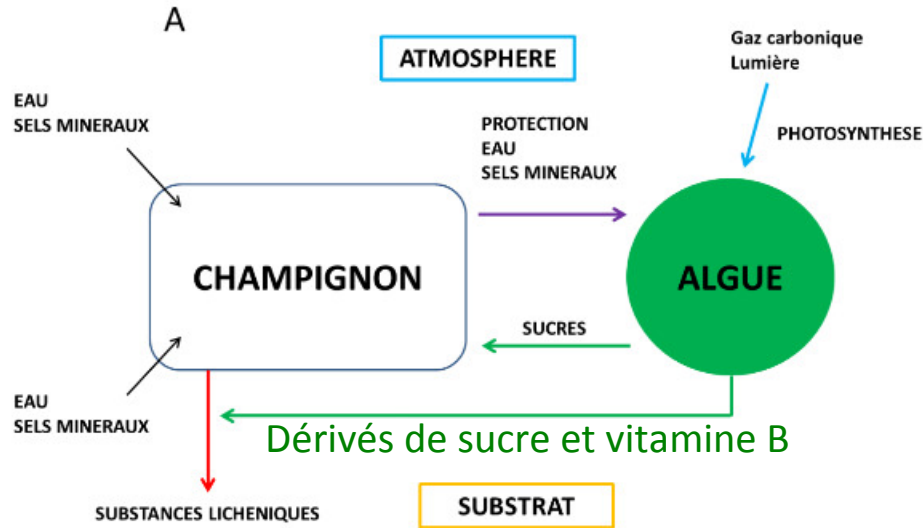


Collema



Peltigère

Les échanges trophiques



Les Cyanobactéries réduisent le N_2

3. La productivité des écosystèmes

Exercice 6 – Calcul de productivité

Type d'écosystème	Biomasse (t.ha ⁻¹)		Production nette (g.m ⁻² .an ⁻¹)		Productivité (a ⁻¹)
	Gamme	Moyenne	Gamme	Moyenne	
Forêts ombrophiles tropicales	60-800	450	1000-3500	2200	0,049
Forêts tropicales caducifoliées	60-600	350	1000-2500	1600	0,046
Forêts tempérées de conifères	60-2000	350	600-2500	1300	0,037
Forêts tempérées caducifoliées	60-600	300	600-2500	1200	0,040
Forêts boréales (taïga)	60-400	200	400-2000	800	0,040
Savanes	2-150	40	200-2000	900	0,225
Steppes tempérées	2-50	16	200-1500	600	0,375
Toundra	1-30	6	100-400	140	0,233
Déserts buissonnants	1-40	7	10-250	90	0,129
Déserts extrêmes, zones polaires	0-2	0,2	0-10	3	0,150
Agroécosystèmes	4-120	10	100-3500	650	0,650
Marécages	30-500	150	800-3500	2000	0,133
Lacs et fleuves	0-1	0,2	100-1500	250	12,500
Océan (au large)		0,03		125	41,667
Zones d'upwelling	0,05-1	0,2	400-1000	500	25,000
Plateau continental	0,01-0,4	0,1	200-600	360	36,000
Récifs coralliens et herbiers	0,4-40	20	500-4000	2500	1,250
Estuaires	0,1-60	10	200-3500	1500	1,500

Exercice 6 – Calcul de productivité

La productivité primaire correspond à la biomasse végétale produite par unité de temps et par unité de biomasse déjà présente dans l'écosystème.

Elle traduit donc une vitesse de production de la matière végétale sèche par les végétaux chlorophylliens. La productivité primaire se mesure en unité de masse produite (par exemple en tonnes de matière sèche) par unité de biomasse résident (kg de matière sèche) et par unité de temps (par an par exemple).

Exercice 6 – Calcul de productivité

Forêts : productivités similaires entre 0,037 et 0,049 g de matière produite par gramme de végétal et par an.

Prairies : productivités allant de 0,225 (savane) à 0,375 (steppe) g de matière produite par gramme de végétal et par an donc 10 fois plus importante que les forêts.

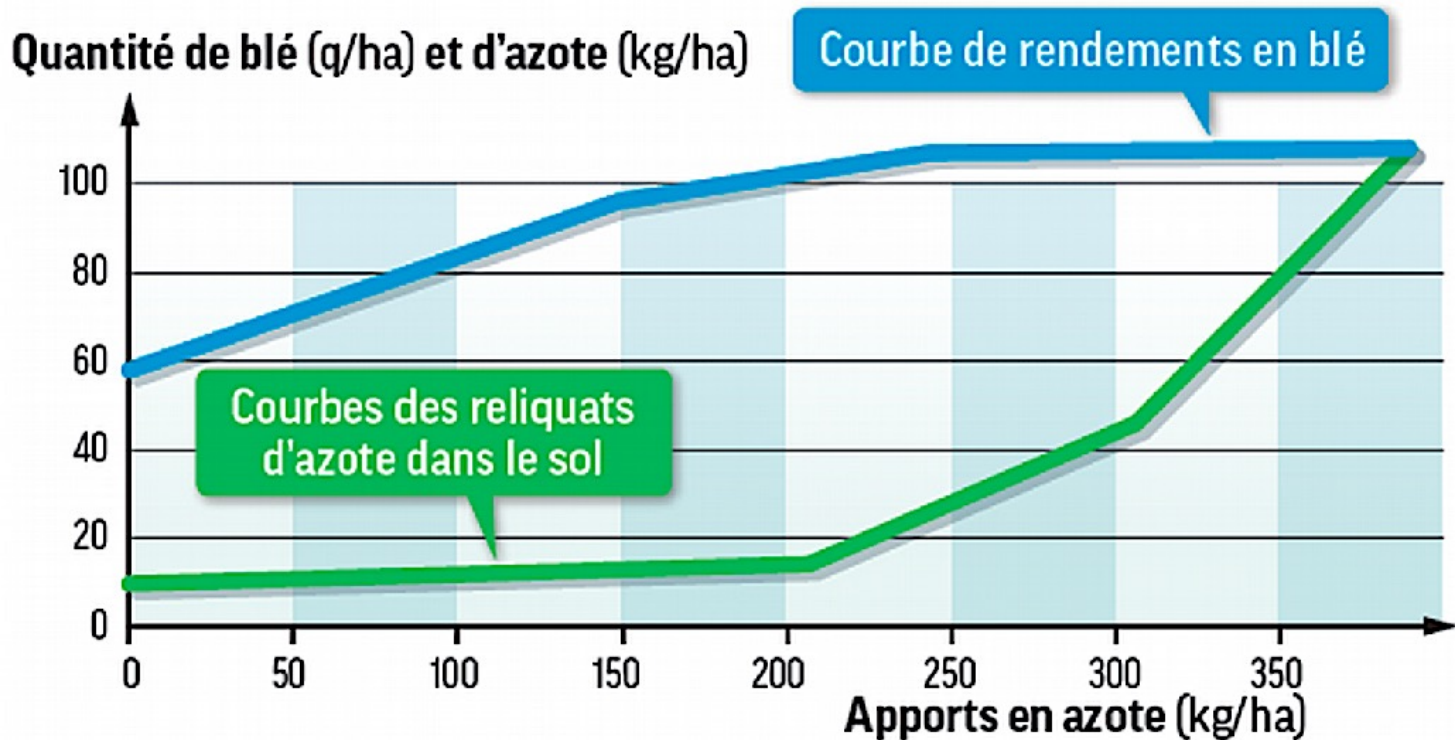
Agrosystème : 0,650 g de matière produite par gramme de végétal et par an.

Exercice 6 – Calcul de productivité

Pour les forêts : la production nette est supérieure en climat tropical ($2\,200 \text{ g.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$) par rapport aux climats froids (forêt boréale à $800 \text{ g.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$).

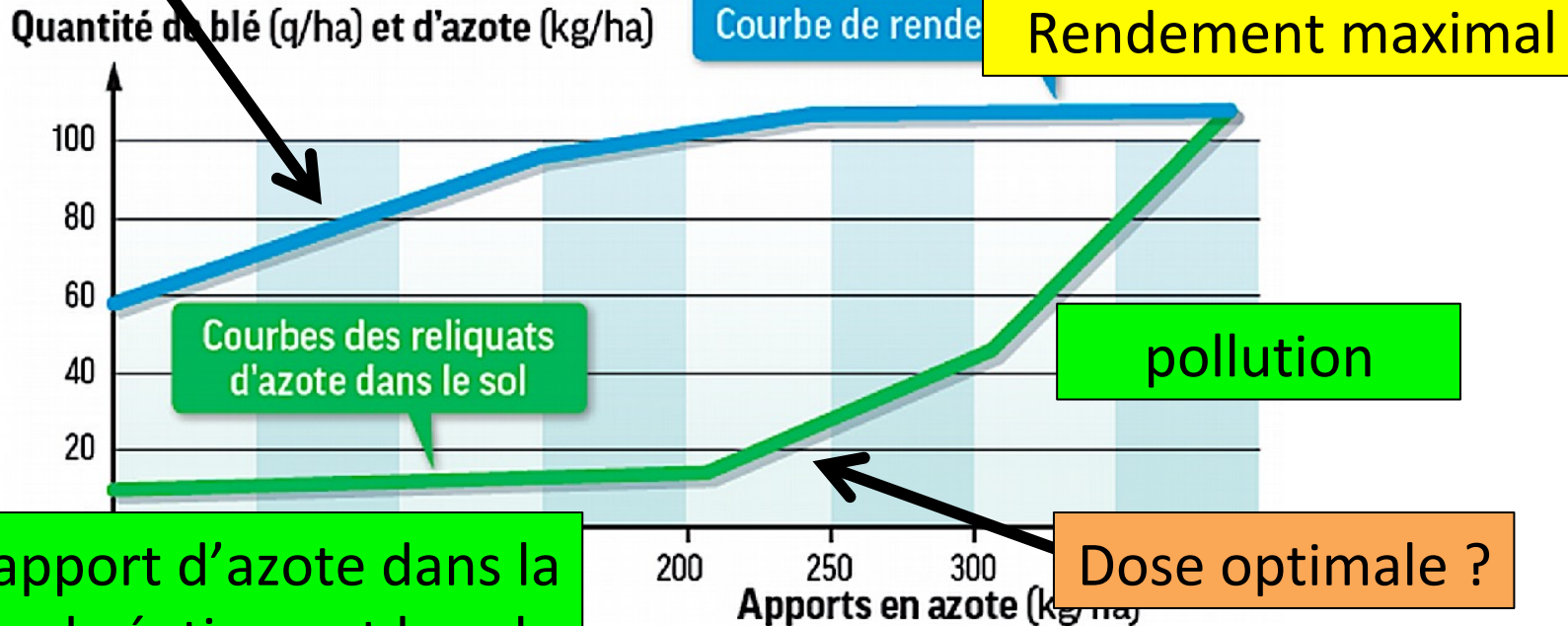
Pour les prairies, la production nette reflète la même évolution avec la savane à $900 \text{ g.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ pour une valeur de $140 \text{ g.m}^{-2}.\text{a}^{-1}$ pour la toundra.

Exercice 7 – Influence de la fertilisation



Exercice 7 – Influence de la fertilisation

Rendement augmenté de 60 à 105 q.ha⁻¹
soit x 1,75 (ou + 75%)



Faible apport d'azote dans la
nappe phréatique et le sol

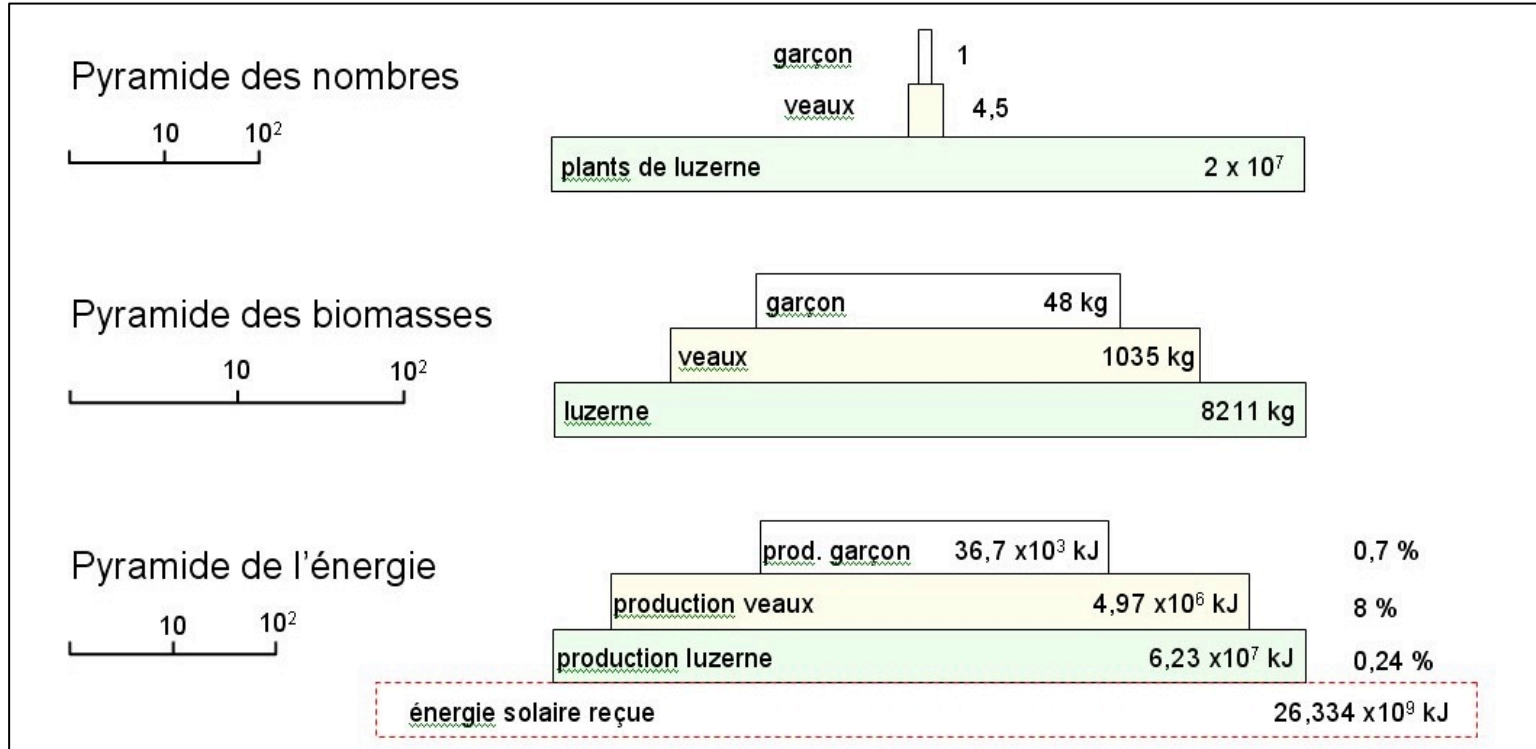
4. Les flux de matière et d'énergie dans les écosystèmes

Exercice 8 : Différentes pyramides dans une prairie

	Nombre	Biomasse	Énergie
Soleil			$2,6 \cdot 10^{10}$ kJ
Luzerne	2 107	8211 kg	$6,2 \cdot 10^7$ kJ
Veau	4,5	1035 kg	$4,9 \cdot 10^6$ kJ
Garçon en croissance	1	48 kg	$3,7 \cdot 10^4$ kJ

- Représenter les différentes pyramides à partir des données.
- Calculer le rendement entre chaque niveau pour la pyramide des énergies.
- Indiquer quelle est la donnée manquante dans cette chaîne trophique.
- Formuler une critique à ce document, à propos des calculs réalisés pour l'enfant.

Exercice 8 : Différentes pyramides dans une prairie⁴¹



Il manque les décomposeurs : biomasse du sol >>>> biomasse animale aérienne.

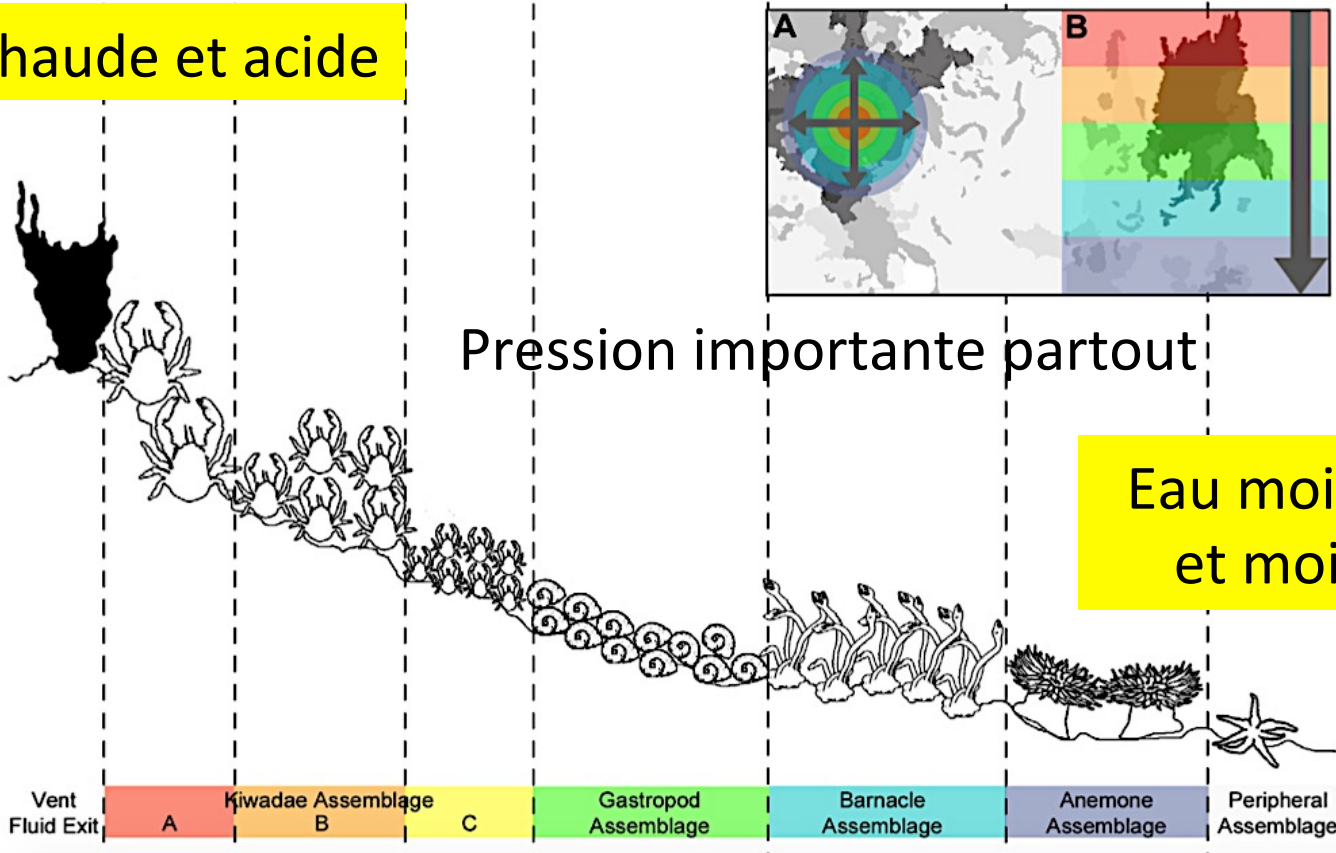
Critique : chaîne trop simplifiée, faible production de luzerne, non intégration du régime omnivore pour le garçon.

Exercice 9 : un écosystème abyssal

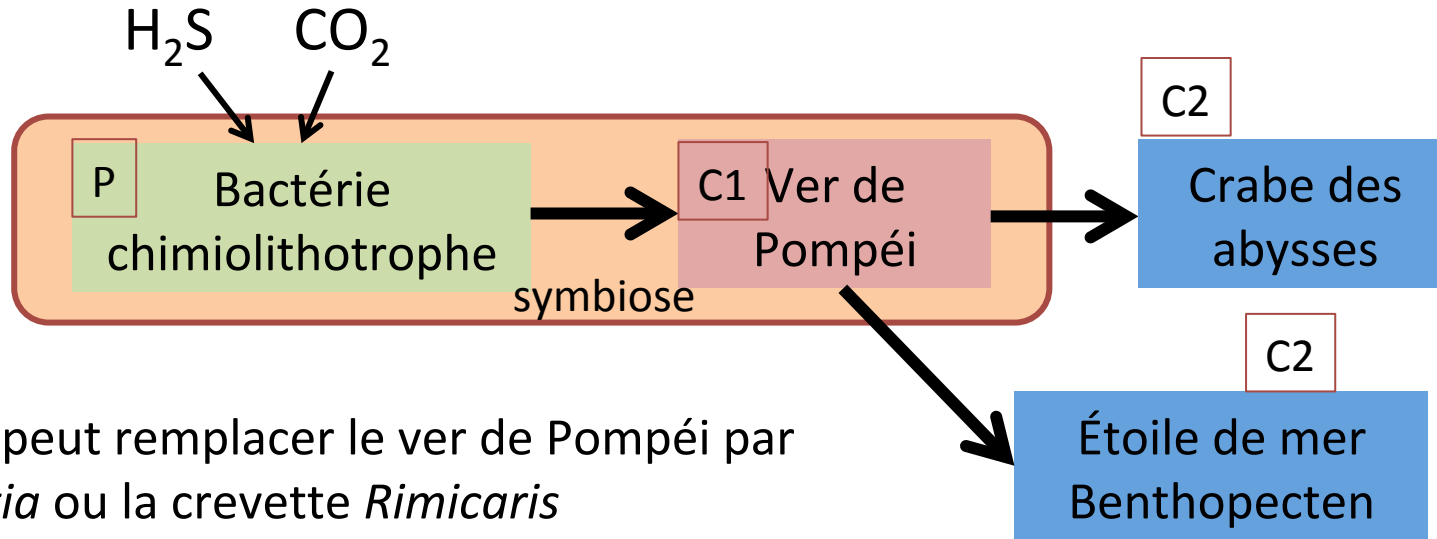


Exercice 9 : un écosystème abyssal

Eau chaude et acide



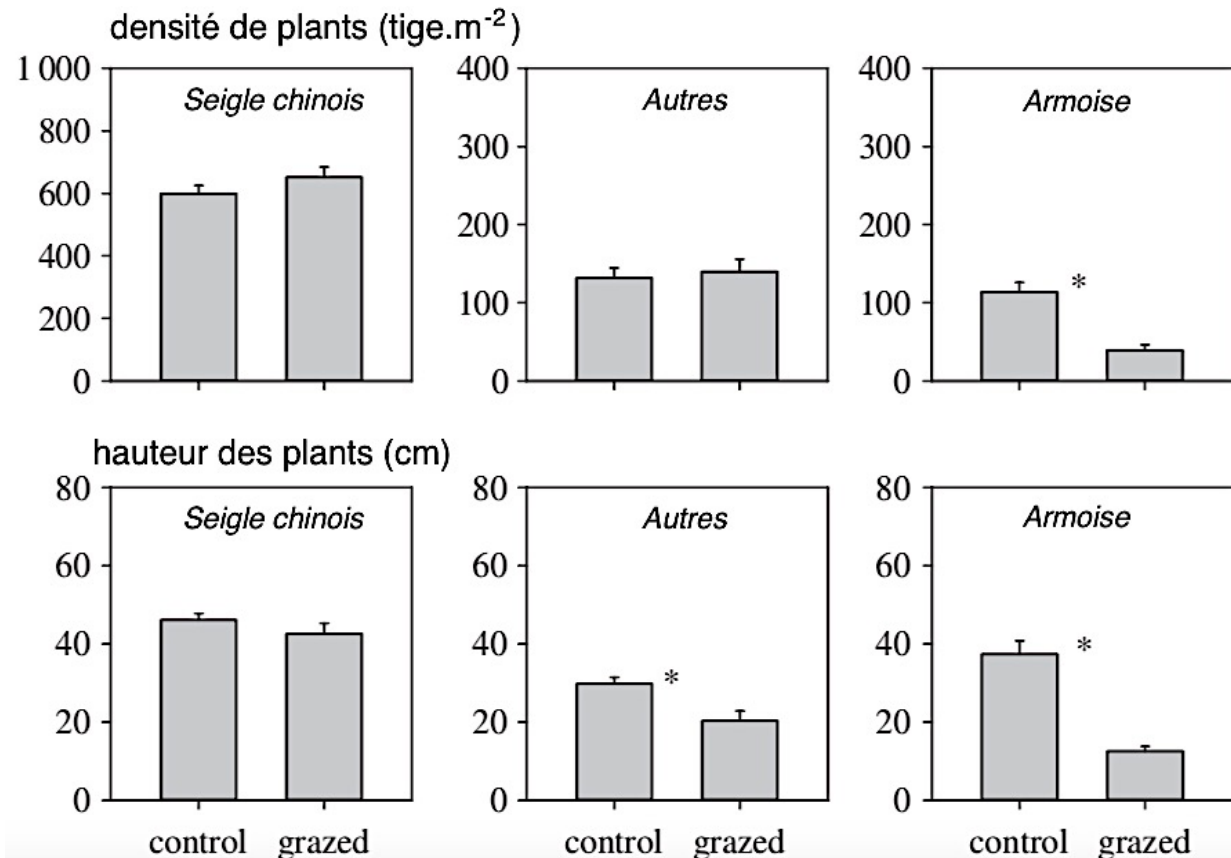
Exercice 9 : un écosystème abyssal



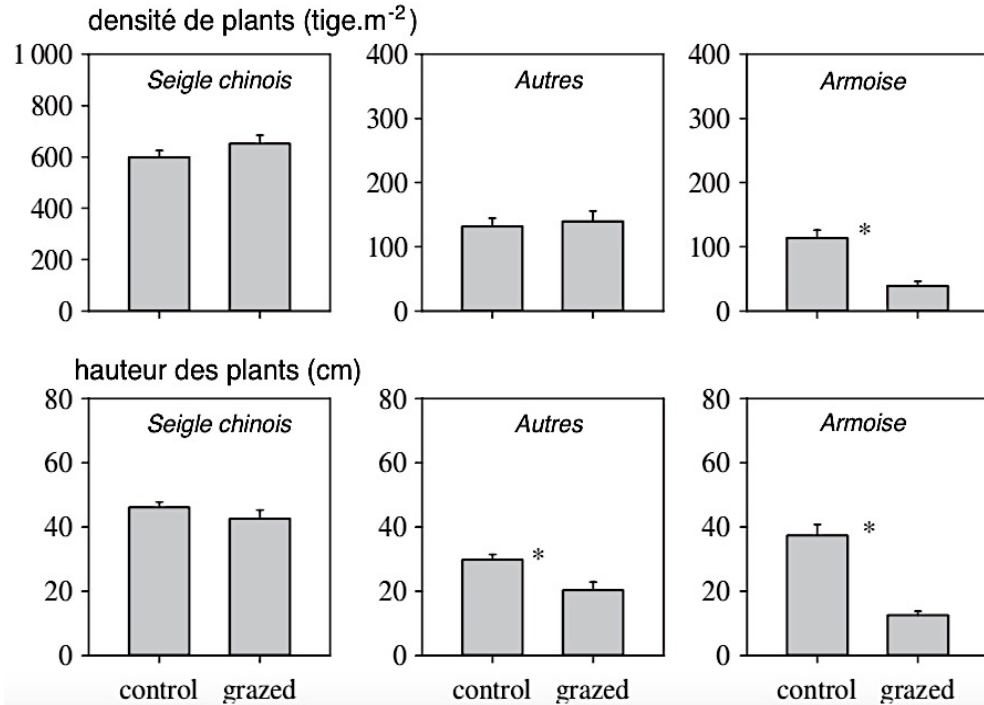
On peut remplacer le ver de Pompéi par *Riftia* ou la crevette *Rimicaris*

Le ver de Pompéi est une espèce ingénieur car il modifie son milieu de vie en abaissant la température locale grâce à la circulation d'eau fraîche. Il est le lieu de vie (abri) et produit une matière organique (excréments) utilisable par d'autres espèces.

Exercice 10 : seigle, sauterelles et araignées



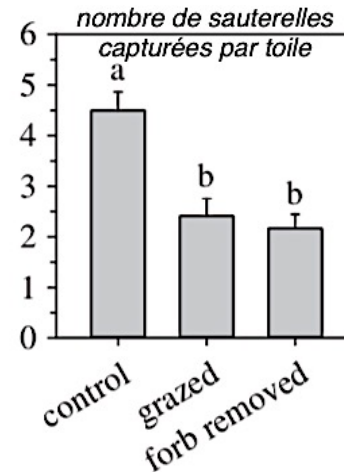
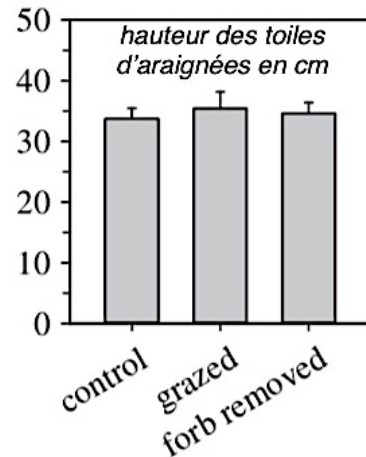
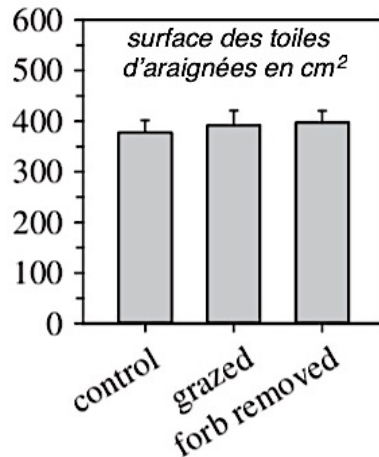
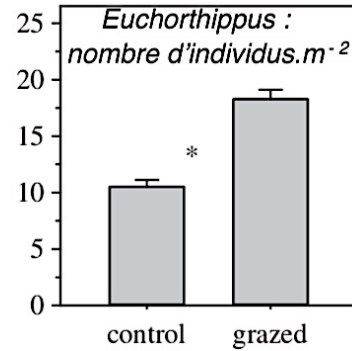
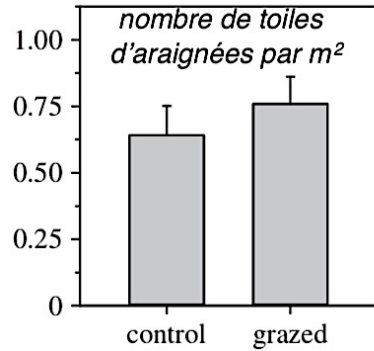
Exercice 10 : seigle, sauterelles et araignées



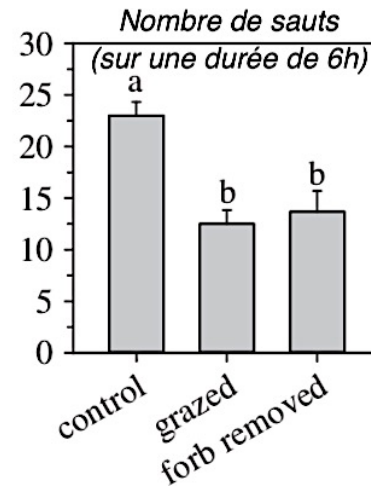
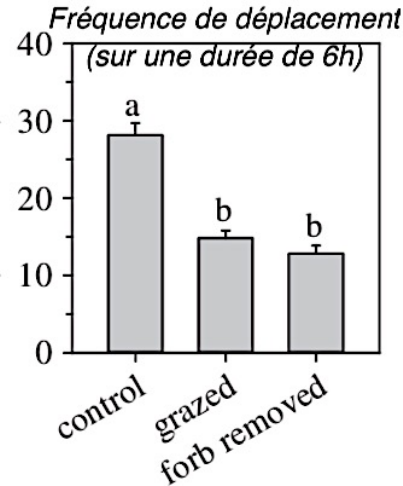
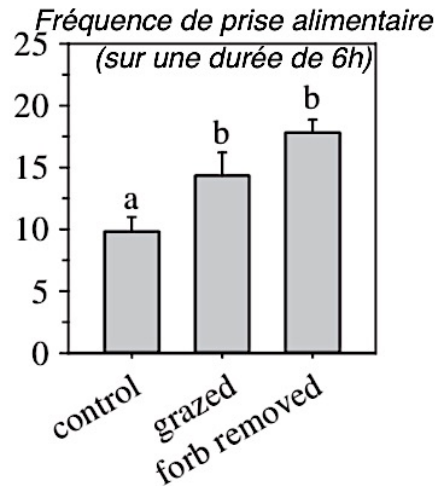
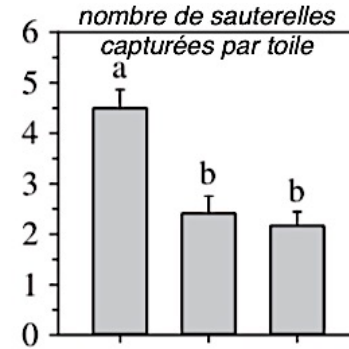
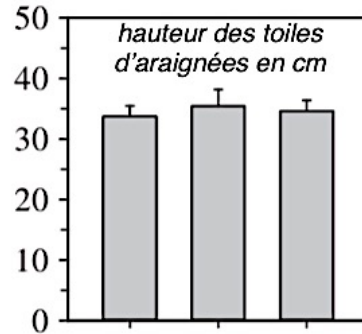
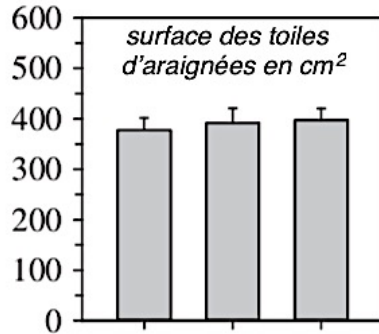
1. Le pâturage n'a pas d'effet sur le seigle. Le pâturage réduit la densité de l'armoise et la hauteur de tous les plants autres que le seigle.

2. Les moutons semblent préférer l'armoise. Ils broutent aussi un peu les autres espèces mais semblent éviter le seigle chinois.

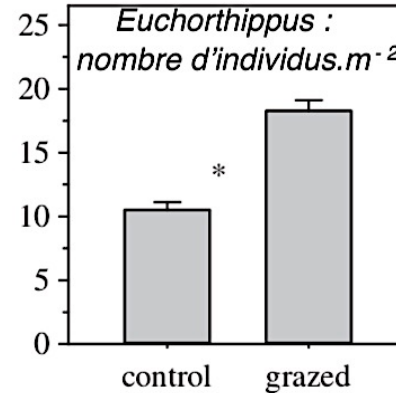
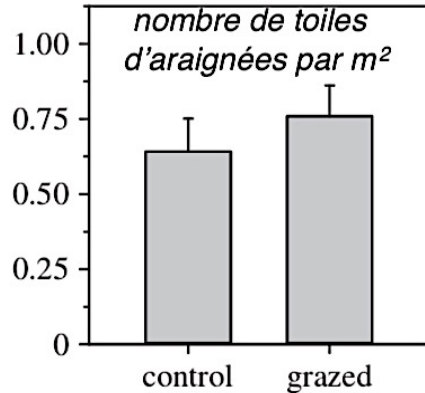
Exercice 10 : seigle, sauterelles et araignées



Exercice 10 : seigle, sauterelles et araignées



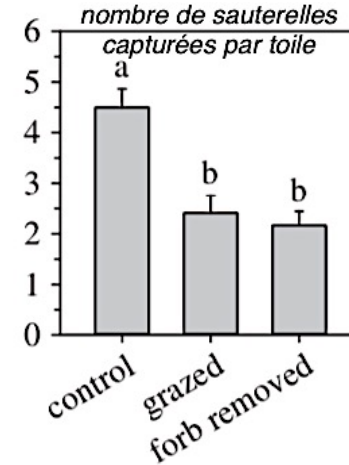
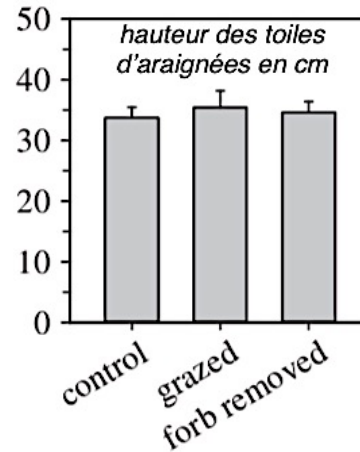
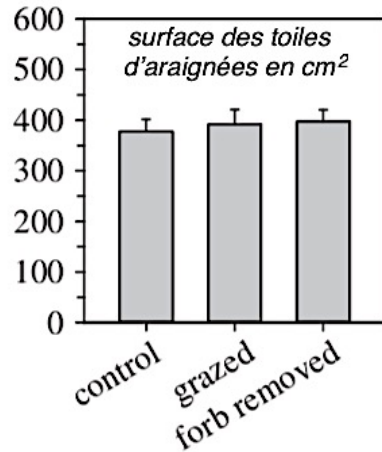
Exercice 10 : seigle, sauterelles et araignées



Pas d'effet sur les effectifs d'araignées femelles (nombre de toiles équivalent dans les 2 types de parcelles).

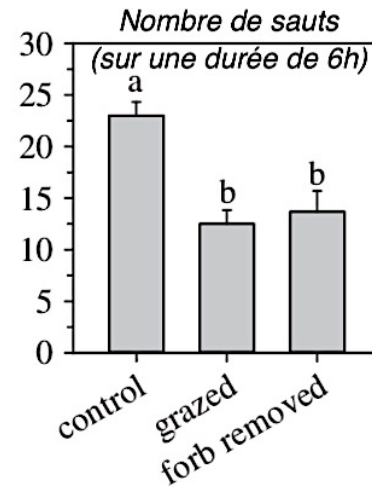
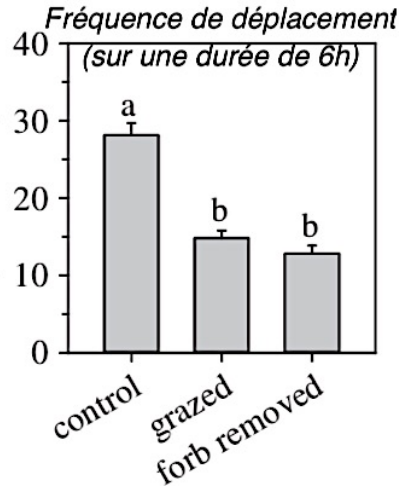
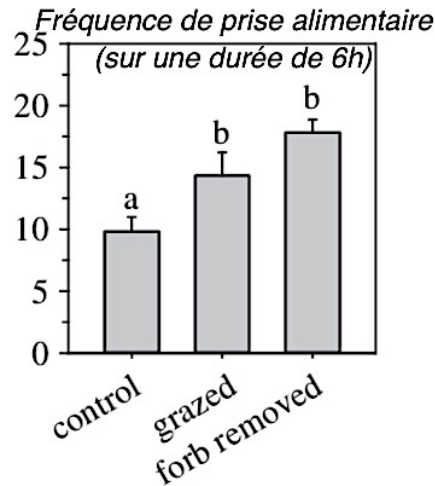
Hausse des effectifs de sauterelles dans les parcelles pâturées : effectifs x 1,7.

Exercice 10 : seigle, sauterelles et araignées



Les toiles d'araignées sont aussi nombreuses, aussi grandes et situées à la même hauteur. Par contre, dans les parcelles pâturées ou celles auxquelles l'armoise a été enlevée manuellement, le nombre de sauterelles capturées est réduit de moitié.

Exercice 10 : seigle, sauterelles et araignées



Dans les parcelles pâturées ou celles auxquelles l'armoise a été enlevée manuellement, les sauterelles montrent une alimentation plus fréquente (17 périodes pour 6h soit 3 fois par heure contre 1,5 fois par heure pour le témoin). Les sauterelles se déplacent 2 fois moins et sautent 1,8 fois moins.

Exercice 10 : seigle, sauterelles et araignées

Dans les parcelles pâturées ou celles auxquelles l'armoise a été enlevée manuellement, l'armoise est peu abondante et les herbes autres que le seigle sont moins hautes : le seigle y domine alors.

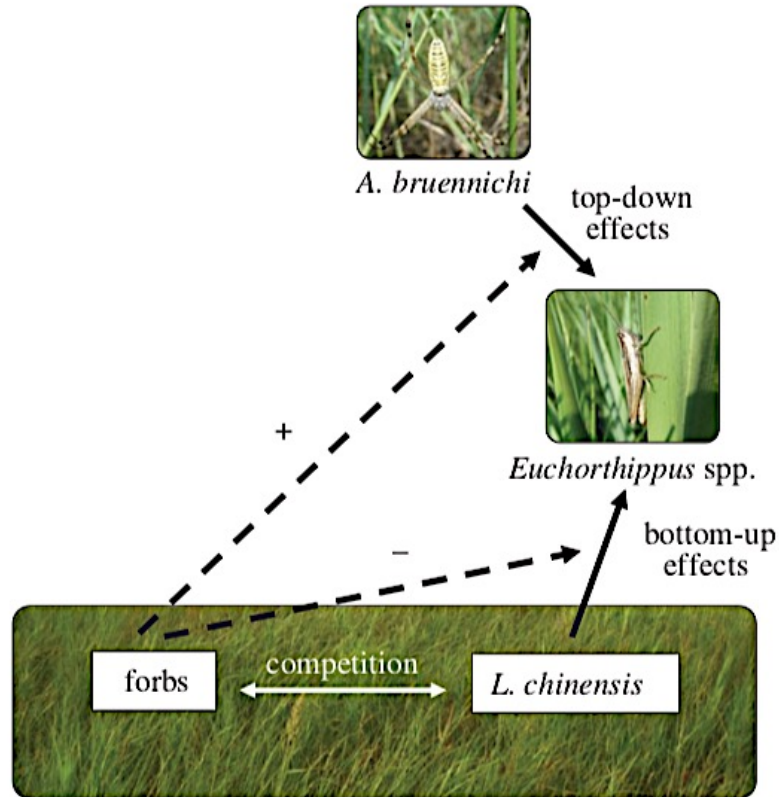
Or les sauterelles s'alimentent à partir de seigle.

Elles peuvent alors manger de manière plus fréquente, en se déplaçant peu et sautant peu. Elles sont alors moins attrapées dans les toiles : la prédation diminue.

La hausse des effectifs des sauterelles peut s'expliquer par :

- une plus grande abondance de seigle (effet bottom-up) ;
- une plus faible prédation (effet top-down).

Exercice 10 : seigle, sauterelles et araignées

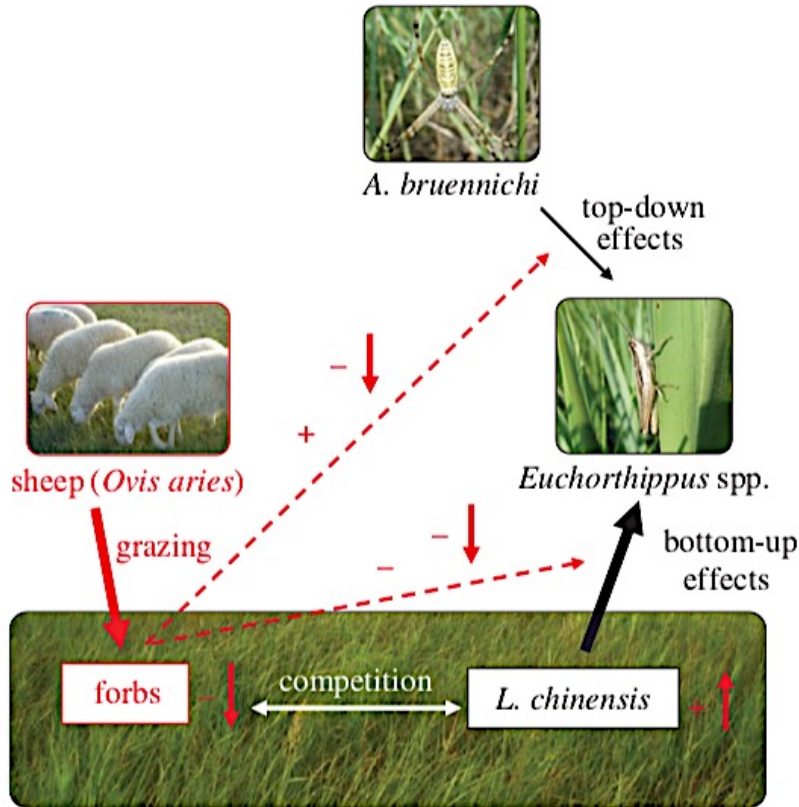


Prairie non pâturée

L'armoise favorise la prédation car elle brise la continuité des plants de seigle et « oblige » les sauterelles à sauter entre deux plants de seigle, rendant plus fréquentes les captures dans les toiles d'araignées. Le nombre de sauterelles décroît : effet **top-down**.

La présence d'armoise diminue l'effet **bottom-up** de la présence du seigle, espèce consommée par les sauterelles.

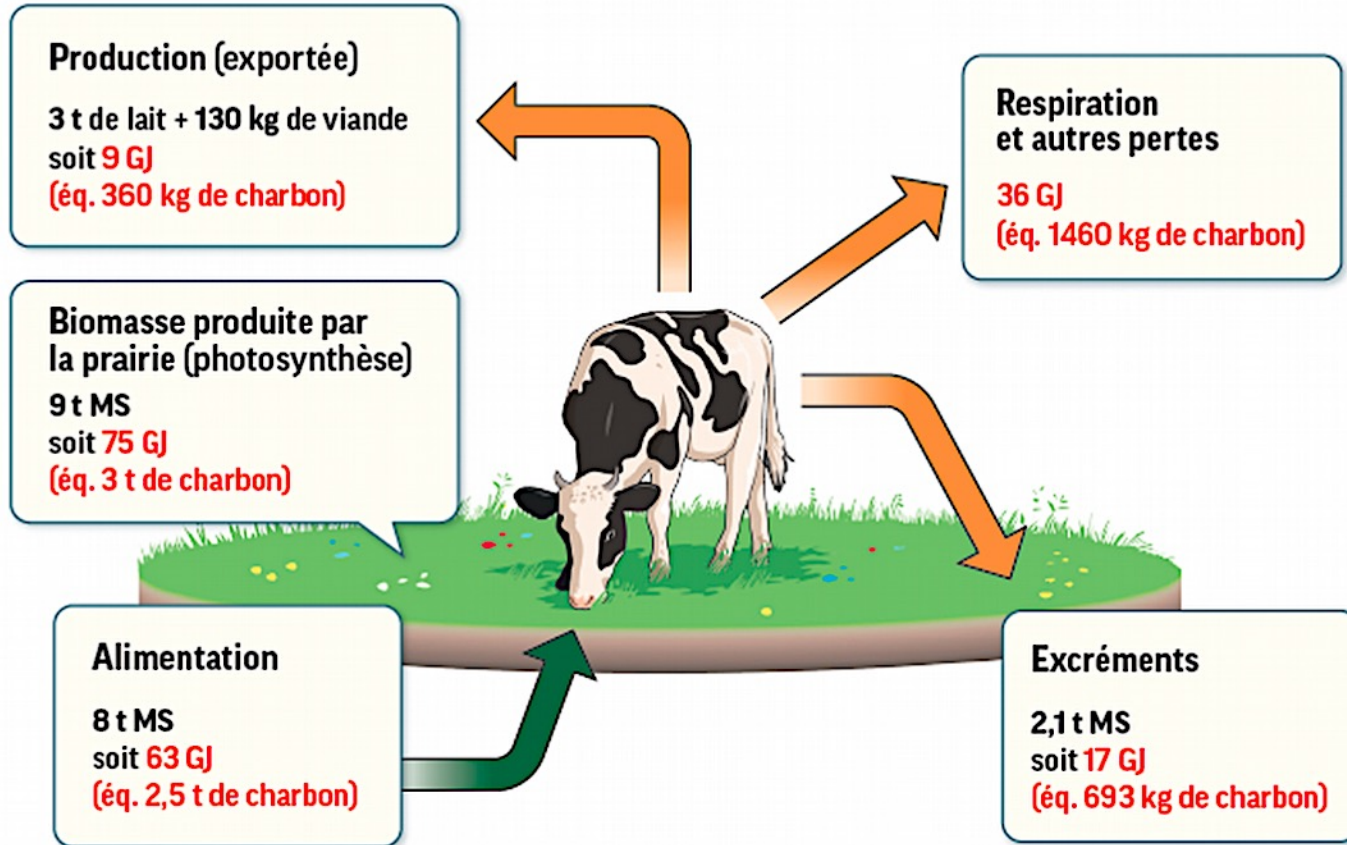
Exercice 10 : seigle, sauterelles et araignées



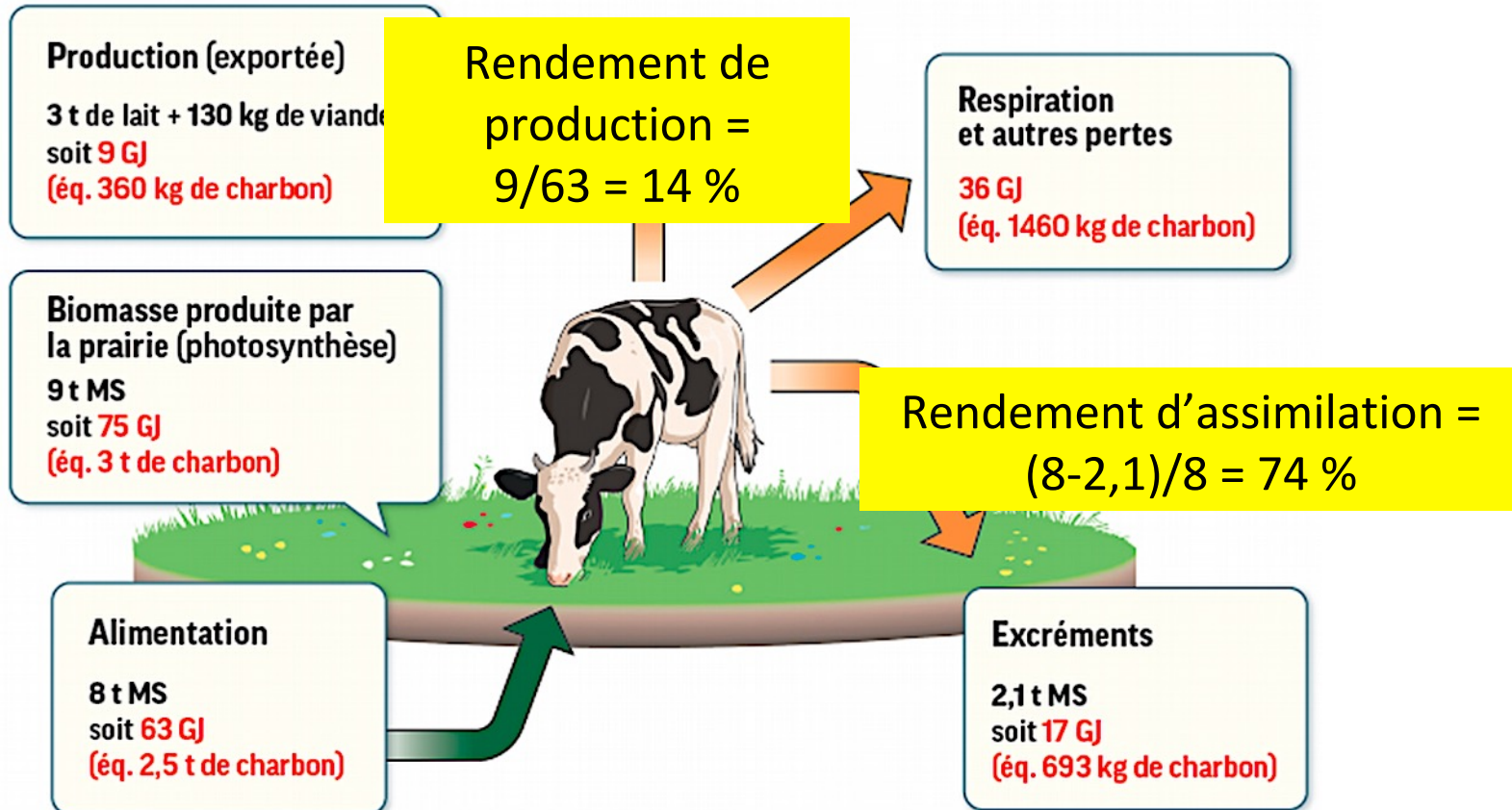
En diminuant la présence de l'armoise, le pâturage par les moutons diminue l'effet **top-down** dû aux araignées : le nombre de sauterelles augmente.

La diminution de l'armoise augmente la présence relative du seigle, aliment des sauterelles : l'effet **bottom-up** favorise l'augmentation des effectifs de sauterelles.

Exercice 11 : rendements écologiques d'une prairie



Exercice 11 : rendements écologiques d'une prairie



Exercice 11 : rendements écologiques d'une prairie

- Calculer le rendement écologique, c'est-à-dire la part de l'énergie ingérée par l'alimentation aboutissant à une production alimentaire.

$$\text{Rendement écologique} = 9 / 63 = 14 \%$$

- Calculer la part de l'énergie ingérée qui reste dans l'agrosystème et alimente la vie dans le sol.

$$\text{part} = 2,1 / 8 = 26 \% \text{ de recyclage ou } \text{part} = 17/63 = 27 \%$$

- Calculer le rendement énergétique de l'élevage en prenant comme source : l'énergie solaire à $42\,000 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$. Le comparer avec le rendement de la culture de blé tendre, estimée à 0,24%.

$$\text{Rendement énergétique} = 9 / 42\,000 = 0,021 \% \quad \ll \text{blé tendre}$$