

La biodiversité

I. Définition et composantes de la Biodiversité

A) Bref historique, définition

- Années 1970 : Une prise de conscience
- 1980 : Biological diversity (T.Lovejoy)
=> Premier emploi de la notion de diversité biologique
- 1980-1986 : « Biodiversity »
=> Premier emploi du terme « Biodiversité »
- 1992 : Sommet de la Terre à Rio (ONU)
=> Médiatisation du concept de biodiversité

Première définition :

=> La **biodiversité** correspond à la **variabilité des organismes vivants [...]**, comprenant également la **diversité au sein des espèces (diversité intra-spécifique, génétique notamment)** et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes (**diversité écosystémique**).

La biodiversité, et plus précisément son maintien, est un élément essentiel du concept de développement durable.

=> En effet le **développement durable** consiste à **répondre aux besoins actuels sans empêcher les générations futures d'en faire de même, notamment au travers de la préservation des services liés à la biodiversité.**

B) Composantes de la Biodiversité

1. La diversité au sein des espèces : Diversité génétique

Il existe une variabilité des gènes au sein d'une même espèce :

- Diversité au sein des espèces domestiques
=> Au sein d'une espèce domestiquée il existe une certaine diversité des individus, qui peuvent appartenir à différentes variétés, races, souches ... (appellation variable selon l'organisme concerné)
- Diversité au sein des espèces sauvages
=> La diversité au sein des espèces sauvages est difficile à mettre en évidence. Celle-ci reflète le potentiel adaptatif des espèces (face aux variations des conditions du milieu, au stress et perturbations ...). Notion d'écotypes.

2. Diversité entre espèces (inter-spécifique)

Une **espèce** désigne une population ou un ensemble de populations dont les individus peuvent se reproduire entre eux et engendrer une descendance viable et féconde/fertile (Mayr 1942).

Difficultés et limites du concept d'espèce :

- Certaines espèces sont bien différenciées génétiquement, isolées reproductivement, mais en pratique ne sont pas distinguables sur le plan morphologique.
=> Cas des **espèces Cryptiques**
- Certaines espèces sont bien différenciées génétiquement et morphologiquement mais peuvent parfois s'hybrider.
=> Cela peut notamment être observé chez les plantes, notamment entre espèces appartenant à la même lignée ou à 2 lignées issues d'une diversification relativement récente.
 - C'est notamment le cas des Orchidées, chez qui l'on trouve beaucoup d'**hybridations intragénériques** et même d'**hybridations intergénériques**.
=> Exemple : *Anacamptis morio* X *Serapias lingua* = *Orchiserapias x capitata*

C) Diversité des écosystèmes

Il existe une diversité des environnements physiques (biotopes) et des communautés vivantes (biocénoses) dans un paysage (ensemble d'écosystèmes en interaction).

=> C'est l'objet d'étude de l'écologie du paysage

D) Diversité fonctionnelle

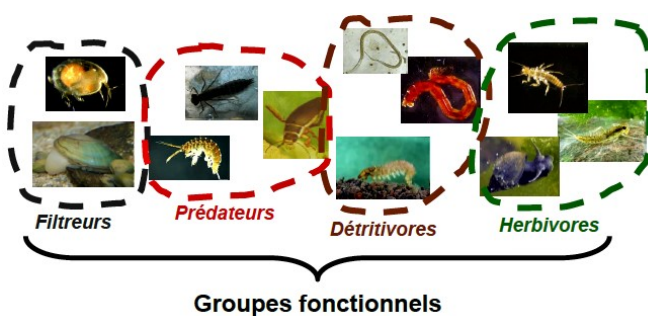
La prise en compte de la composante « diversité fonctionnelle » dans la biodiversité est relativement récente.

Si on considère une diversité en espèces d'un peuplement d'invertébrés aquatiques d'un cours d'eau alors on peut regrouper ces espèces en différents **groupes fonctionnels** (régime alimentaire par exemple).

La **diversité fonctionnelle** correspond à la **diversité en groupes fonctionnels au sein d'une communauté**.

=> Le groupe fonctionnel peut par exemple être :

- **Type de régime alimentaire** (filtreurs, prédateurs, détritivores, herbivores ...).
- **Type d'appareil racinaire**.
- **Mode de dispersion des graines** (zoochores, anémochores, hydrochores ...).
- Etc ...



II. Biodiversité à l'échelle planétaire

A) Combien y a-t-il d'espèces sur Terre

Historiquement :

- Carl von Linné (1707-1778)
 - Père de la nomenclature binomiale des espèces : *Genre + espèce*
 - Description de très nombreuses espèces.

Pourquoi est-ce important de connaître le nombre d'espèces sur Terre ?

- **Savoir ce que l'on a, et comprendre les bénéfices que peut en tirer l'Homme.**
- **Savoir ce que l'on perd, et donc cibler les priorités de conservation.**

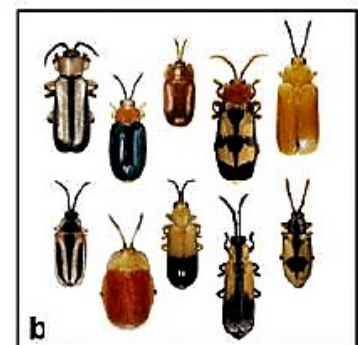
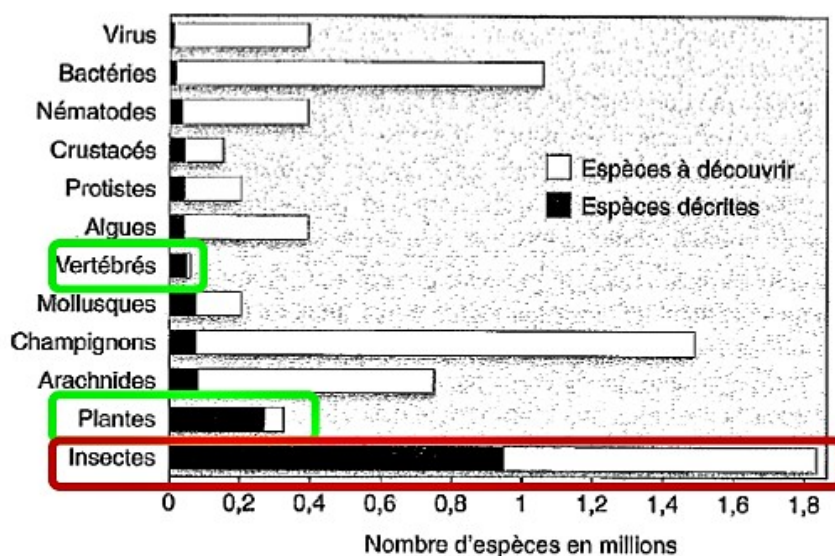
Actuellement, 1,5 millions d'espèces sont connues mais on estime qu'il pourrait en exister entre 3 et 100 millions d'espèces au total.

=> Les connaissances relatives à la diversité des espèces sont donc très partielles et les estimations sont très approximatives

- Vertébrés et Plantes sont des groupes relativement connus.
- Les insectes correspondent au groupe le (+) diversifié.

=> Nous ne disposons en réalité que d'une **connaissance très fragmentaire** de la diversité en espèce :

- **Certains taxons sont beaucoup mieux décrits que d'autres.**
- **Certains milieux (ex : zones tempérées) sont beaucoup mieux connus que d'autres (ex : zones tropicales, fonds marins).**



(Source: Ramade p. 298)

Les grandes expéditions naturalistes du XXIème siècle

- Radeau des cimes
=> Exploration de la canopée des forêts tropicales
- La planète revisitée
=> Exploration des « hot-spot » de biodiversité

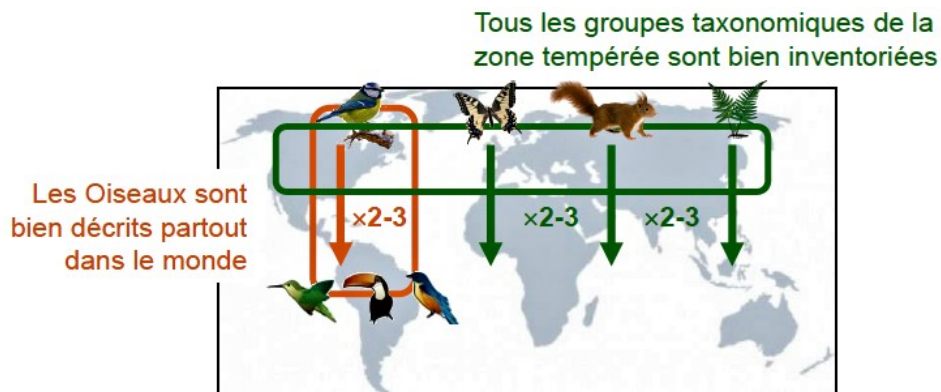
=> environ 18 000 nouvelles espèces sont découvertes chaque année (pas seulement des espèces de petite taille et pas que dans des zones inexplorées)

B) Comment estimer le nombre d'espèces sur Terre

Utilisation de taxons bien décrits (Raven 1985)

Les Oiseaux sont bien décrits partout dans le monde et tous les groupes taxonomiques de la zone tempérée sont bien inventoriés.

=> On trouve 2 à 3 fois (+) d'espèces en zones tropicales par rapport aux zones tempérées



- Critiques :
- Le ratio observé pour les oiseaux est-il réellement valable pour tous les taxons ?
 - Les zones tempérées sont-elles vraiment bien inventoriées ?

Utilisation de ratios de diversité

Exemple de ratio plantes-champignons (Hawksworth 1991) :

- En Grande-Bretagne on retrouve 6 fois (+) d'espèces de champignons que de plantes à fleurs
 - Sur la totalité du Globe il existe 27 000 espèces de plantes à fleur donc $270\,000 \times 6 = 1,6$ millions d'espèces de champignons.
- Critiques :
- Le ratio plante-champignon est-il vraiment le même partout ?

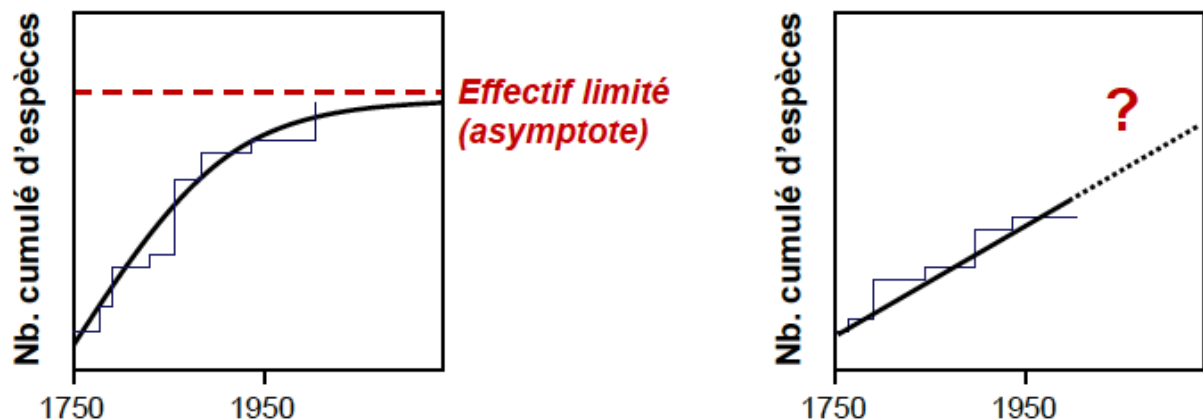
Exemple du ratio Arbres-Insectes phytophages (Erwin 1982) :

- On trouve 163 espèces de coléoptères pour sur une espèce d'arbre donnée en forêt tropicale.
=> Ces espèces de coléoptères ne sont retrouvées que sur cette espèce
 - Il existe environ 50 000 espèces d'arbres.
=> En prenant en compte toute ces espèces d'arbre et le nombre d'espèces exclusives à une espèce d'arbre on peut estimer le nombre d'espèces de coléoptères à 8 millions
 - Les coléoptères représentent 40 % des insectes.
=> On peut donc estimer à 20 millions le nombre d'espèces d'insectes retrouvés sur les différentes espèces d'arbres
 - 1/3 des espèces d'insectes connues sont retrouvées au niveau du Sol.
=> En ajoutant ça aux 20 millions estimées dans les arbres, cela porte l'estimation à 30 millions d'espèces d'insectes
- Critique :
- Toute les espèces d'insectes phytophages ne sont pas spécialistes d'une seule espèces d'arbres.

Analyse des découvertes d'espèces au cours du temps (Bebber et al. 2007, Mora et al. 2008)

Il y a superposition du nombre d'espèces découvertes au cours du temps avec un modèle mathématique, qui donne un seuil ou effectif limite.

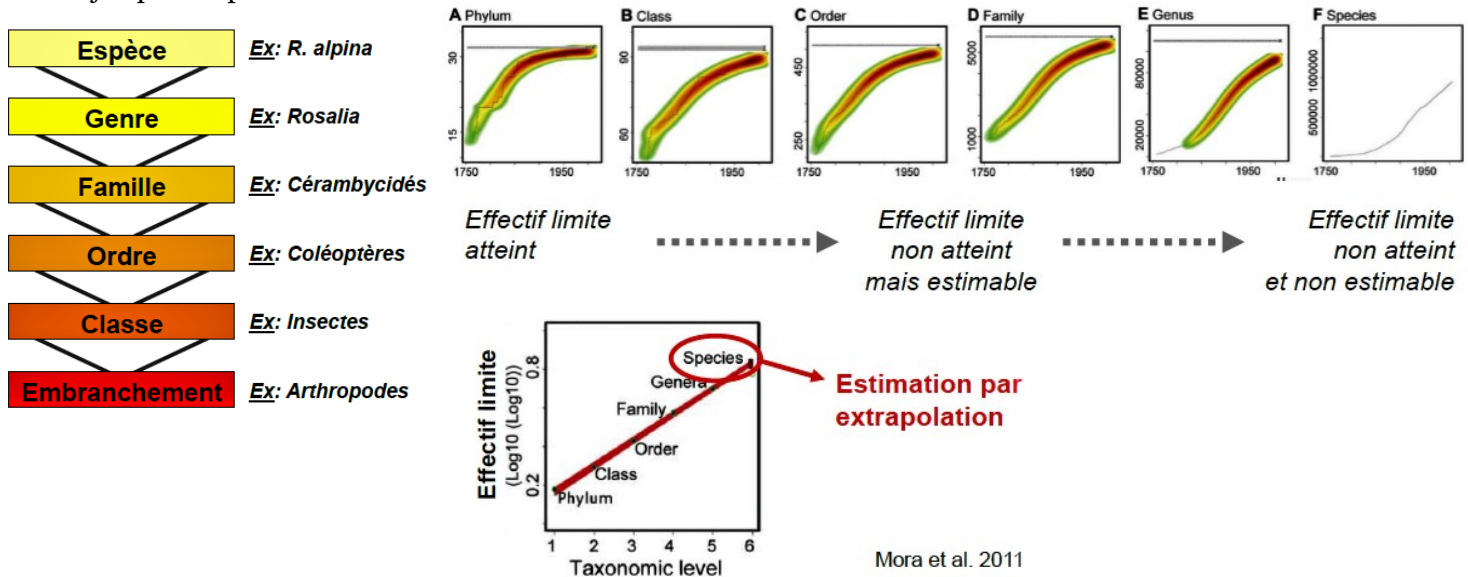
=> Cependant **il existe des variations selon les taxons**



- Critiques :
- Ne fonctionne que lorsqu'un modèle asymptotique peut être ajusté.
=> Ce qui est généralement le cas pour les taxons dans lesquels la majorité des espèces ont déjà été découvertes (intérêt limité donc)
 - Ne tient pas compte de la variation dans le temps de l'effort d'échantillonnage.

Analyse des découvertes d'espèces au cours du temps en parallèle avec la classification taxonomique (How many Species Are There on Earth and in the Ocean ? 2011)

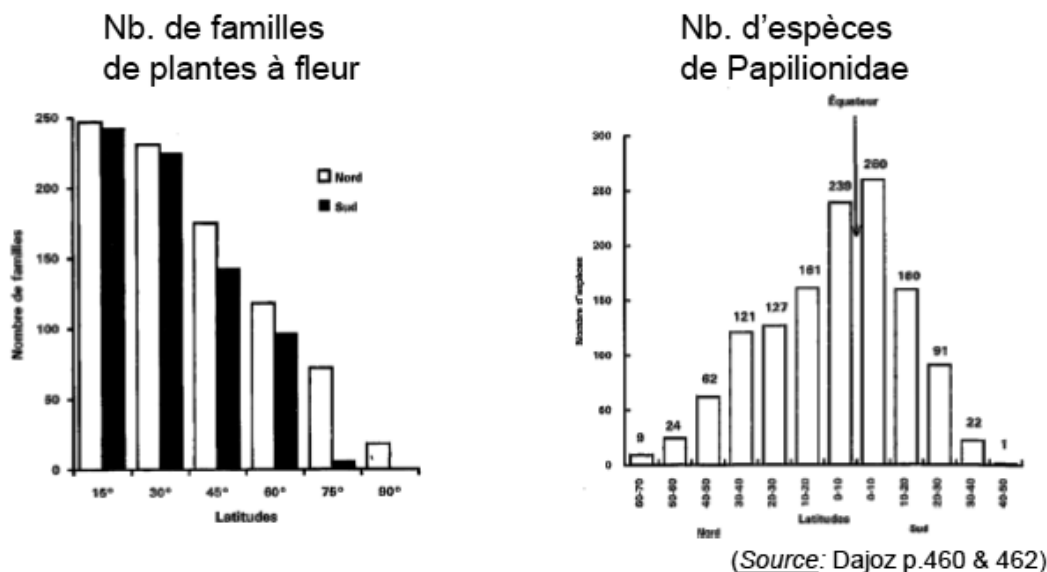
Principe : On effectue la superposition du nombre d'unités taxonomiques découvertes au cours avec un modèle mathématique en commençant par rang taxonomique de l'embranchement (pour lequel on considère que tous ont probablement été découverts) puis avec les rangs taxonomiques inférieurs et jusqu'à l'espèce.



- On remarque alors que (+) on descend dans les rangs taxonomiques, (-) l'effectif/seuil limite est atteint puis estimable (lorsqu'il n'est plus atteint), jusqu'à ce qu'il ne soit plus estimable.
=> Arrivé au rang taxonomique de l'espèce, le seuil limite n'est pas atteint et n'est pas estimable
- On sait cependant qu'il existe une très bonne relation entre le niveau/rang taxonomique et son effectif limite, ce qui permet une estimation par extrapolation.
- En utilisant cette technique, le nombre d'espèces a pu être estimé à 8,7 millions (+-1,3 millions).

C) Variations de la biodiversité dans l'espace

Exemple : nombre de familles de plantes à fleurs et nombre d'espèces de Papilionidae



=> La diversité est maximale au niveau équatorial pour ces 2 taxons (mais cela a été démontré pour d'autres taxons)

- 50 % des espèces connues se trouvent en zone tropicale.
- 80 % de la biodiversité de la planète se trouverait en zone tropicale.

Autre exemple du nombre d'espèces d'arbres :

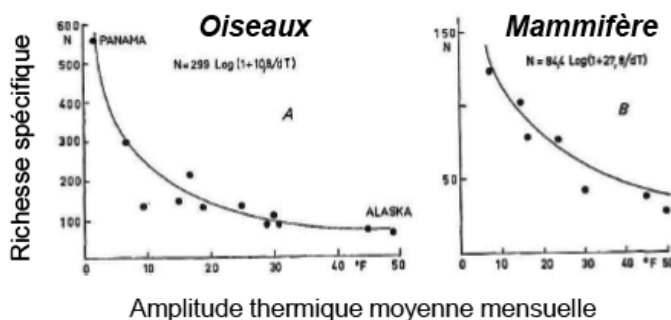
- À l'échelle de l'Europe on trouve (-) 100 espèces
- Sur 1 ha de forêt amazonienne en équateur on trouve 473 espèces (pour 1561 individus donc environ 3 individus de chaque espèce).
=> Il existe énormément d'espèces rares au niveau des régions tropicales

Il existe une variation latitudinale de la biodiversité, avec un maximum au niveau équatorial.

Pourquoi y a-t-il plus d'espèces sous les tropiques ?

➤ **Hypothèse de la stabilité climatique**

- A l'échelle des temps géologiques les zones tropicales n'ont pas été touchées par les glaciations.
- A l'échelle intra-annuelle il n'existe que de faibles amplitudes thermiques sous les tropiques.



➤ **Hypothèse de la spécialisation des espèces**

- Exemples : Les insectes phytophages sont beaucoup (+) spécialisés en zone tropicales.

➤ **Hypothèse d'une (+) grande surface**

- La ceinture tropicale est (+) grande que la ceinture boréale.

➤ **Hypothèse énergétique**

- La forte quantité d'énergie reçue satisfait les exigences métaboliques de nombreuses espèces.

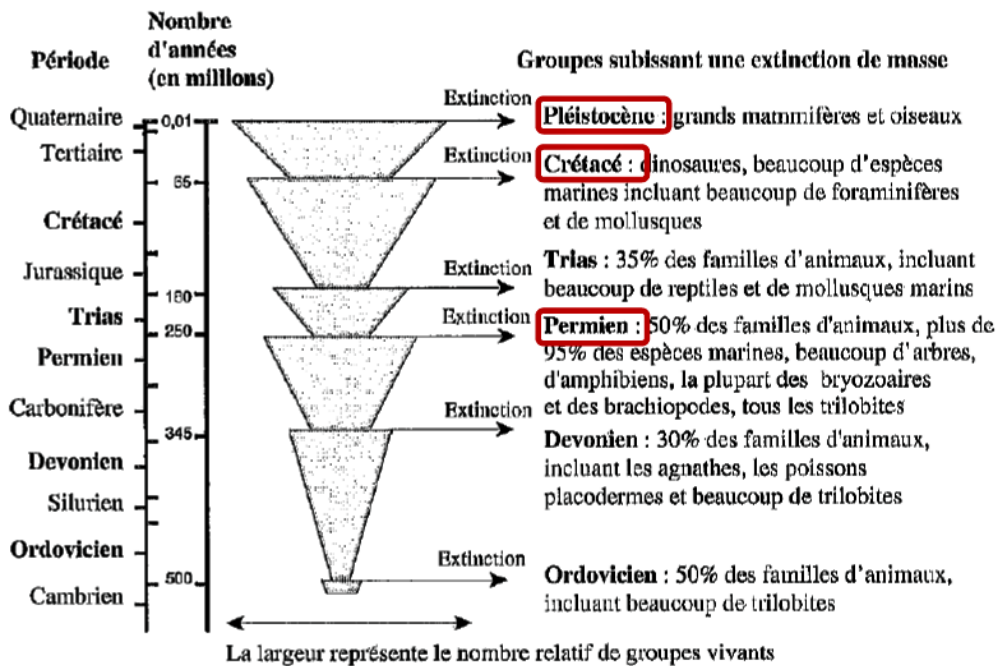
D) Variations de la biodiversité dans le temps

Analyse des couches sédimentaires (qui correspondent à des « archives géologiques »)
=> Les espèces actuelles ne représentent que 2 % de toutes les espèces ayant existées.

La variation de la biodiversité au cours du temps implique 2 processus :

- Diversification
- Extinction

Crises d'extinction



(Source : Barbault p. 53)

III. Biodiversité à l'échelle des communautés

A) Source de diversité

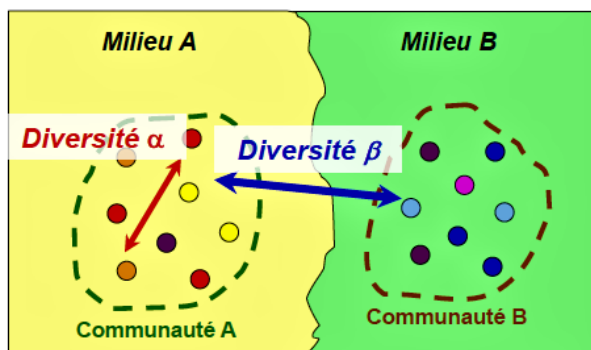
La biodiversité peut être analysée à une échelle (+) « locale », c'est à dire à l'échelle des communautés.

Rappel :

=> Une **communauté** désigne un **ensemble d'organismes vivants (de différentes espèces) qui partagent un même milieu et qui interagissent entre eux.**

Comment quantifier cette biodiversité ?

=> Notion de diversité intra-communauté et de diversité inter-communauté

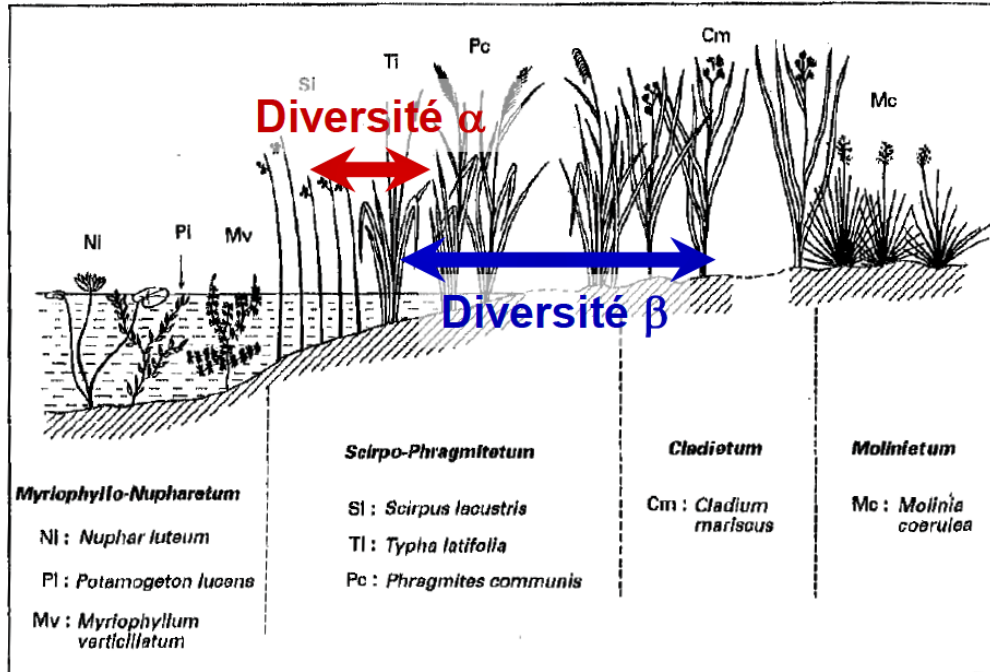


=> Il existe donc **2 niveaux d'analyse de la biodiversité à l'échelle des communautés** :

- La **diversité α** , qui correspond à la **diversité intra-communauté**.
- La **diversité β** , qui correspond à la **différence de diversité entre 2 communautés**.

Exemple : Cas d'un étang

=> Présence d'une succession de communautés sous forme de ceintures



(Source: Lacoste p.104)

B) Évaluation de la diversité α

Richesse spécifique

La **richesse spécifique** correspond au **nombre d'espèces présentes au sein de la communauté**.



- Limite : Pour 2 milieux de même richesse spécifique, il peut exister des différences dans la **distribution des espèces dans la communauté**.
(espèces dominantes + espèces peu représentées VS équitabilité dans la répartition des espèces)

Diversité Spécifique

La **diversité spécifique** exprime la **richesse spécifique** et l'**équitabilité** des **abondances** entre les espèces.

➤ Indice de Shannon H'

- $H' = -\sum(p_i \times \log(p_i))$.

=> avec p_i = Proportion relative de l'espèce i par rapport au nombre total d'espèces tel que $p_i = n_i/N$

n_i = Nombre d'individus de l'espèce i et N = Nombre d'individus total de toutes les espèces

- Exemple :



$$H' = -\sum (p_i \times \log(p_i))$$

i	n_i	$p_i = n_i / N$	$\log(p_i)$	$p_i \times \log(p_i)$
sp. A ●	7	0.29	-0.54	-0.16
sp. B ●	6	0.25	-0.60	-0.15
sp. C ●	4	0.17	-0.78	-0.13
sp. D ●	4	0.17	-0.78	-0.13
sp. E ●	2	0.08	-1.08	-0.09
sp. F ●	1	0.04	-1.38	-0.06

$\Sigma:$ **-0.71** → **$H' = 0.71$**

=> Utilisation soit en \log_{10} (formule de base) soit en \log_2

➤ Indice de Simpson D

- $D = \sum p_i^2$

=> Formule théorique pour un échantillon infini

- $D = (\sum n_i(n_i-1)) / N(N-1)$

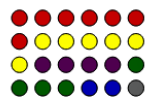
=> Formule pour un échantillon fini

avec n_i = Nombre d'individus de l'espèce i et N = Nombre d'individus total de toutes les espèces

- L'**indice de Simpson D** donne la **probabilité** que **2 individus** tirés au **hasard** appartiennent à la **même espèce**.

- Pour la **diversité spécifique de Simpson**, il faut calculer **1-D**.

- Exemple :



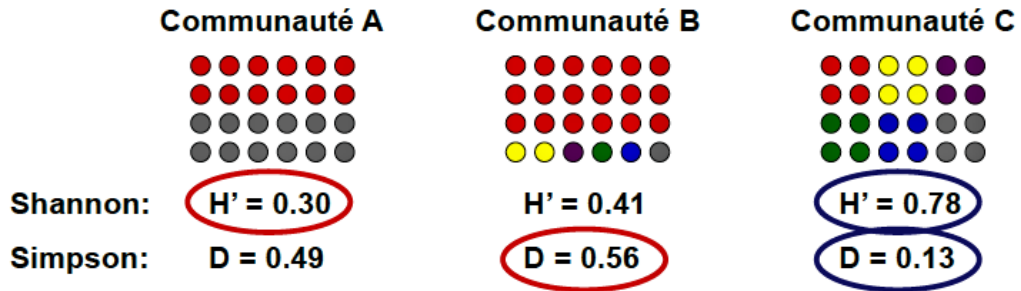
$$D = \frac{\sum n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \rightarrow = 24 \times 23 = 552$$

i	n_i	$n_i(n_i-1)$
sp. A ●	7	42
sp. B ●	6	30
sp. C ●	4	12
sp. D ●	4	12
sp. E ●	2	2
sp. F ●	1	0

$\Sigma:$ **98** → **$D = 98/552 = 0.18$**

$1-D = 0.82$

Soit 3 communautés données ABC : quelle communauté montre la plus forte diversité spécifique ? Et la plus faible ?



➤ Quelle communauté montre la (+) forte diversité spécifique ?

- Shannon : C
- Simpson : C

➤ Quelle communauté montre la (+) faible diversité spécifique ?

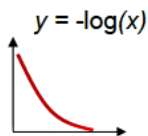
- Shannon : A
- Simpson : B

=> **Les valeurs obtenues et donc les conclusions résultant de leur interprétation sont variables en fonction de l'indice utilisé**

Shannon VS Simpson : Quel indice utiliser ?

➤ Shannon :

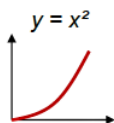
$$H' = -\sum (p_i \times \log(p_i))$$



=> La présence d'un log dans la formule donne (+) de « poids » aux espèces rares

➤ Simpson :

$$D = \sum p_i^2$$



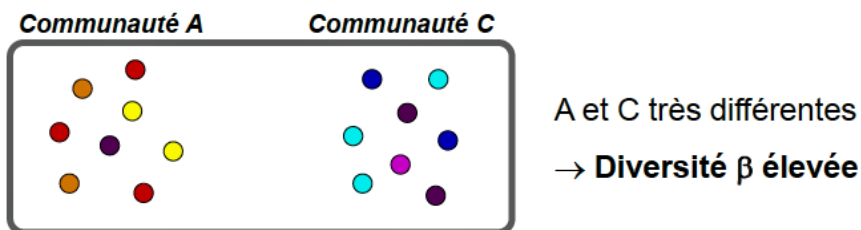
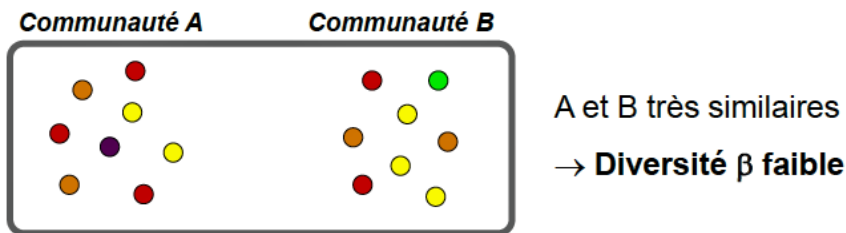
=> La présence d'un ² dans la formule donne (+) de « poids » aux espèces abondantes

- Si les variations concernent des espèces rares, l'indice de Shannon est (+) approprié.
- Si les variations concernent les espèces dominantes, l'indice de Simpson est (+) approprié.

C) Évaluation de la diversité β

La diversité β permet une évaluation de la similarité (ou de la dissimilarité) entre communautés.

Si 2 communautés sont semblables, alors on observe une diversité β faible.

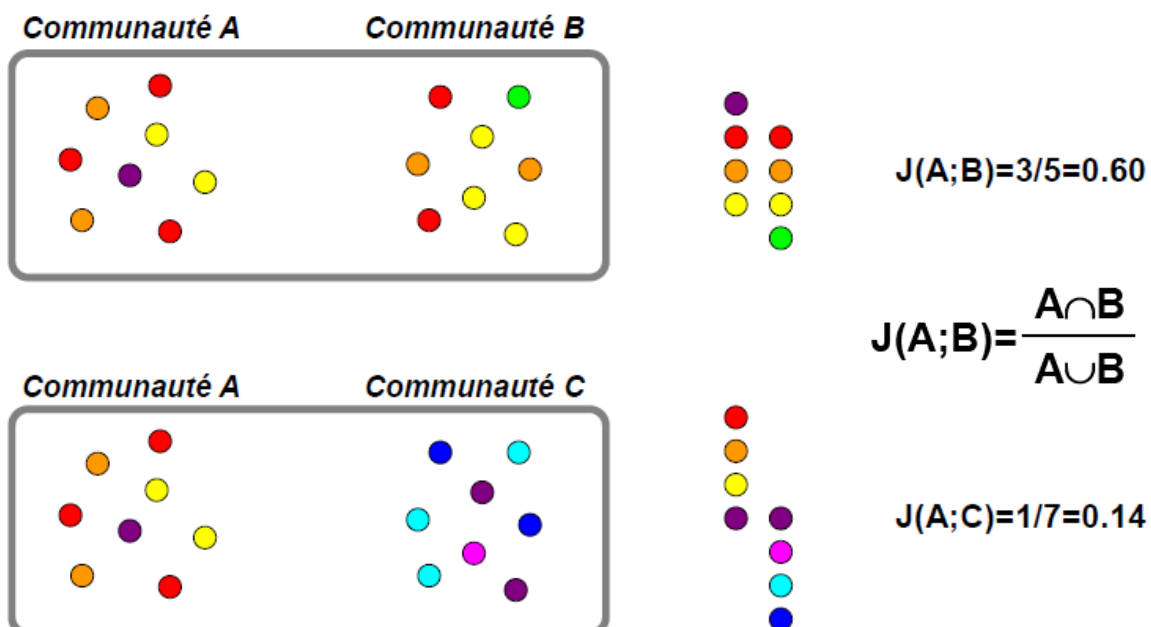


Indice de similarité de Jaccard

$$J(A; B) = \frac{(A \cap B)}{(A \cup B)} \quad \text{avec} \quad A \cap B = \text{Nombre d'espèces présentes dans A ET dans B}$$

$$A \cup B = \text{Nombre d'espèces présentes dans A ET/OU dans B}$$

Exemple :



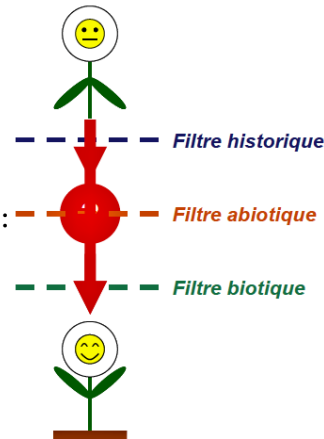
IV. Principaux déterminants de la diversité spécifique des communautés

A) Notion de « filtres d'espèces »

Quelles sont les conditions pour qu'une espèce donnée soit présente en un lieu donné ?

=> Pour qu'une espèce soit présente dans un lieu donné, elle doit passer 3 types de filtres :

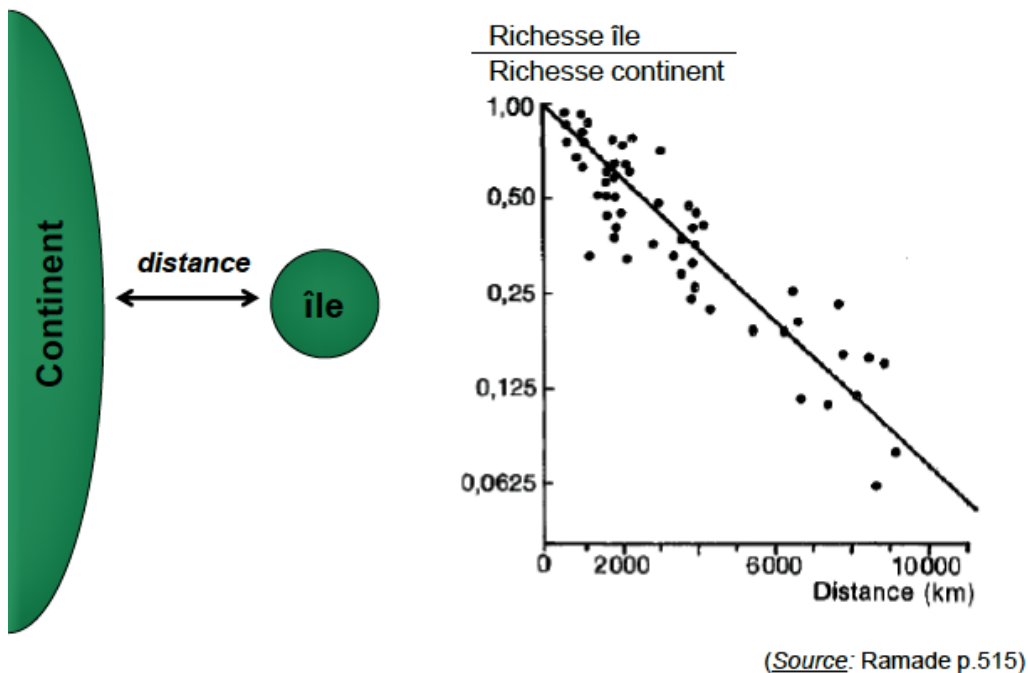
- **Filtre historique**
=> Réussir à venir jusqu'au milieu
(capacité de dissémination)
- **Filtre abiotique**
=> Tolérer les conditions abiotiques du milieu :
nutriments, eau, température, lumière ...
- **Filtre biotique**
=> Survivre aux autres : prédation, compétition



B) Le filtre historique

Le **filtre historique** correspond aux **barrières géographiques**.

Exemple : La théorie des îles

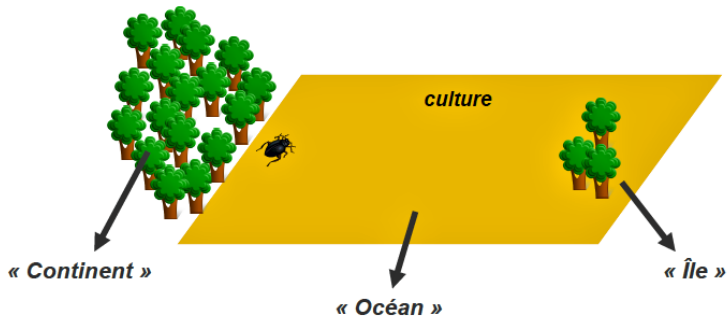


=> (+) une île est éloignée du continent, (+) la barrière géographique est importante et donc (+) le nombre d'espèces est faible

=> Exemple de la Corse :

- Continent : ~ 4000 espèces de coléoptères
- Corse : ~ 2700 espèces de coléoptères

La théorie des îles peut être transposée à des contextes non insulaires, et à des échelles (+) locales.



=> C'est une théorie très utilisée en écologie du paysage

C) Le filtre abiotique

Le **filtre abiotique** englobe l'ensemble des stress abiotiques caractérisant le milieu (sécheresse, froid, acidité ...).

=> La sélection des espèces dépend de leur tolérance physiologique vis à vis de ces stress abiotiques

Exemple :

➤ Prés salés (baie du mont Saint-Michel) VS Prairie mésophile oligotrophe

- Prés salés : ~ 10 espèces en prés salés

VS

- Prairie mésophile oligotrophe : ~ 30 espèces de plantes

=> **Filtre abiotique majoritairement lié à la salinité en prés salés**

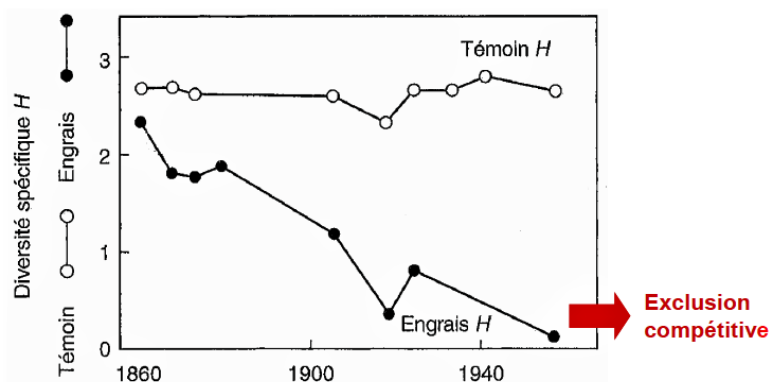
D) Le filtre biotique

Le **filtre biotique** englobe l'ensemble des interactions biotiques néfastes (compétition, prédation ...)

=> La sélection des espèces dépend de leurs capacités compétitrices, de leurs capacités à s'enfuir, à se cacher et à se défendre ...

Exemples :

➤ Diversité spécifique en présence (ronds noirs) ou en absence (ronds blancs) d'engrais



(Source: Ramade p.316)

En présence d'engrais la diversité spécifique diminue.

=> **La présence d'engrais entraîne une exclusion compétitive car cela profite aux espèces avec un taux de croissance (+) important (qui excluent donc les autres)**

➤ Prairie mésophile oligotrophe VS Prairie mésophile fertilisée :

- Prairie mésophile oligotrophe : ~ 30 espèces

VS

- Prairie mésophile fertilisée : ~ 15 espèces

=> Il y a dominance de graminées, qui sont très compétitives (Ray-gras, Dactyle, Fléole ...)