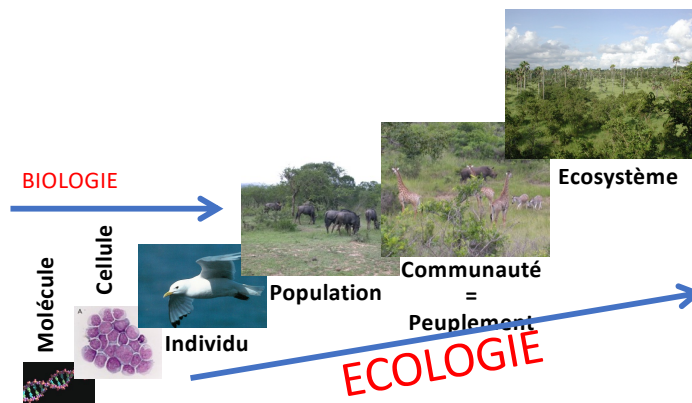


Grand Cours Sator sur la
Biodiversité
Luc Abbadie
Cahier d'illustrations commentées
Episodes 1 à 5

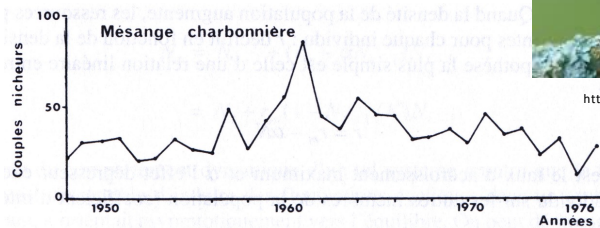
1. Niveaux d'organisation de la biodiversité



La discipline écologie analyse l'organisation du vivant depuis le niveau des individus jusqu'à celui des écosystèmes et des biomes (ensembles d'écosystèmes de même physiologie)

1. Niveaux d'organisation de la biodiversité: la population

Une population peut être décrite par la quantification de son effectif.



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/65/Parus_major_2_Luc_Viatour

Barbault R. 2000. *Ecologie générale. Structure et fonctionnement de la biosphère*. Dunod, Paris

Variation temporelle de l'effectif d'une population de mésange charbonnière.

En abscisse: années

En ordonnée: nombre de couples nicheurs (effectif)

Dans un milieu donné relativement constant, l'effectif d'une population fluctue faiblement autour d'une valeur moyenne

1. Niveaux d'organisation de la biodiversité: la population

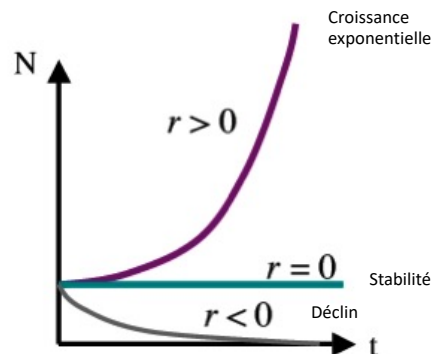
La dynamique d'une population peut être décrite par son taux de croissance « r ».

r : taux de croissance intrinsèque de la population

$$dN / dt = r N$$

$$N_t = N_0 e^{rt}$$

avec N_0 = nombre d'individus au temps 0



Taux de croissance (des effectifs) d'une population

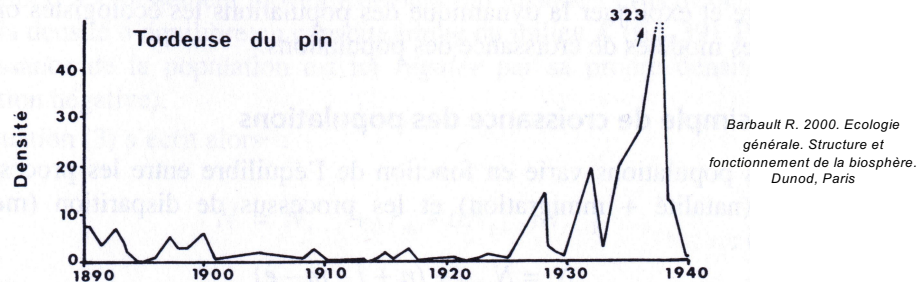
En abscisse: le temps

En ordonnée: l'effectif = nombre N d'individus dans la population

Un taux de croissance positif constant entraîne l'augmentation exponentielle de l'effectif de la population; un taux nul entraîne la stagnation de l'effectif; un taux négatif entraîne la diminution de l'effectif de la population.

1. Niveaux d'organisation de la biodiversité: la population

Les croissances exponentielles ne sont observées dans la nature que sur des périodes de temps limitées. La taille des populations peut-être limitée (régulée) par l'environnement physique et par d'autres organismes.



Variation temporelle de l'effectif d'une population de tordeuse du pin

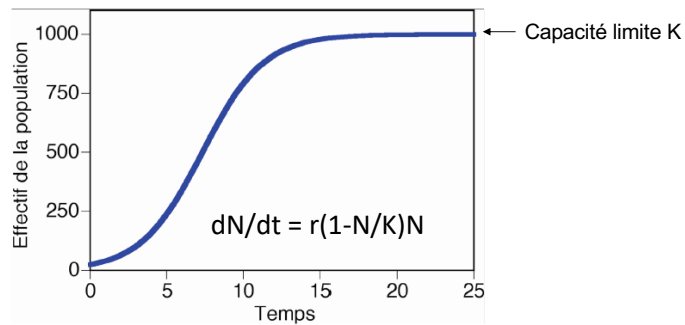
En abscisse: le temps

En ordonnée: la densité = nombre N d'individus par rapport à une unité de surface

Dans la nature, les phases de croissance exponentielle ne sont pas durables: très vite, les ressources disponibles par individu ne sont plus suffisantes, la survie et l'effort de reproduction régressent ce qui entraîne un déclin de la densité de la population

1. Niveaux d'organisation de la biodiversité: la population

Les autres populations limitent la taille d'une population par prédation, herbivorie, parasitisme, compétition pour les ressources. La compétition est d'autant plus forte que l'effectif de la population est élevée.



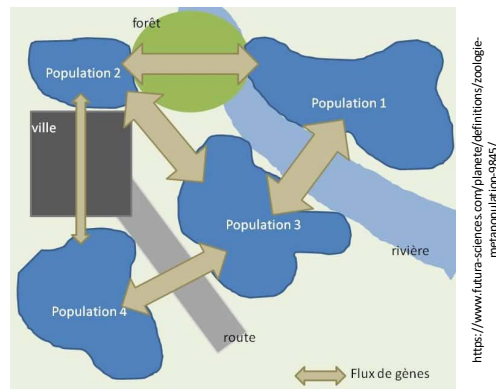
Variation temporelle de l'effectif d'une population selon une loi logistique

En abscisse: le temps

En ordonnée: l'effectif = nombre N d'individus dans la population

Entre potentiel de croissance exponentielle et limitation de plus en plus forte par les ressources, la dynamique de l'effectif d'une population suit en général une courbe en "S": elle se stabilise autour d'un effectif maximal appelé "capacité de charge", en fonction des caractéristiques de l'écosystème dans lequel la population est insérée.

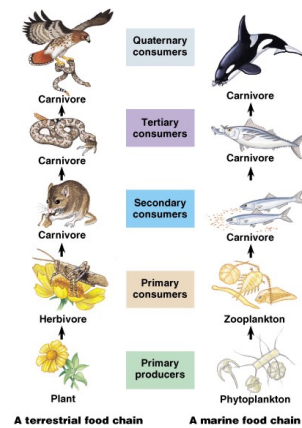
1. Niveaux d'organisation de la biodiversité: la méta-population



Les populations ne sont pas isolées les unes des autres (quand c'est le cas, elles sont menacées de régression, voire d'extinction), elles échangent des individus, donc de l'information génétique. Les populations sont insérées dans un ensemble plus vaste, la métapopulation. Une population donnée peut, selon les conditions locales du moment, recevoir (immigration) ou exporter (émigration) des individus.

1. Niveaux d'organisation de la biodiversité: la communauté

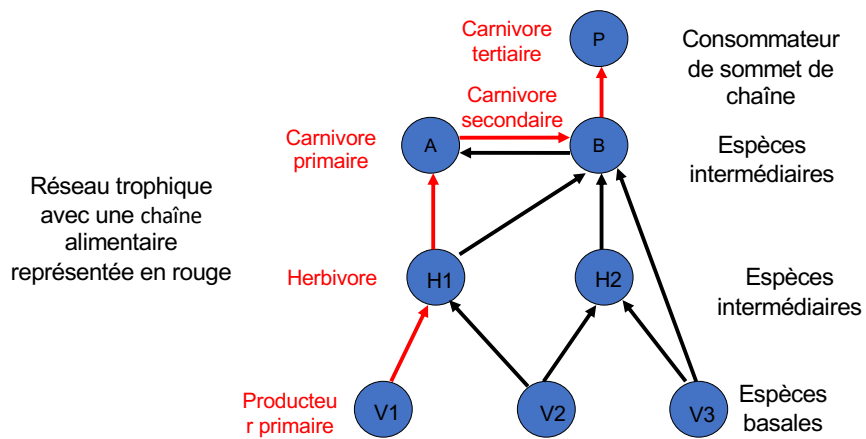
Une manière fréquente de décrire l'ensemble des organismes présents est de les analyser en termes de chaînes alimentaires.



Chaines alimentaires (trophiques) terrestres et marines

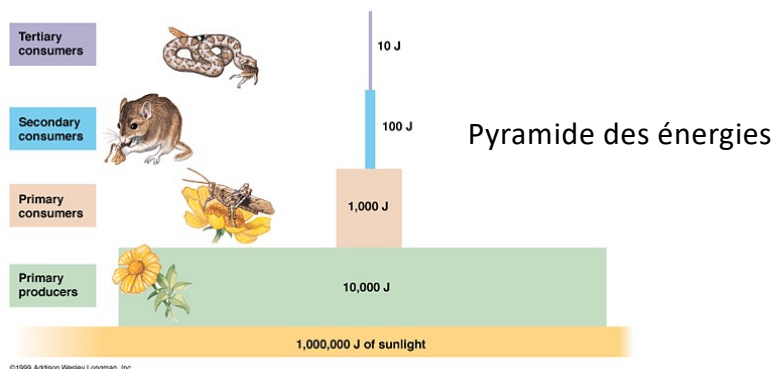
Les flèches représentent le sens des transferts alimentaires, donc de matière et d'énergie entre les divers niveaux trophiques. Toutes les chaînes alimentaires démarrent par des producteurs primaires, c'est à dire des végétaux capables de transformer le CO₂ de l'air en molécules carbonées.

1. Niveaux d'organisation de la biodiversité: la communauté



Les chaînes alimentaires ne sont pas indépendantes les unes des autres, elles s'entrecroisent et forment des réseaux trophiques.

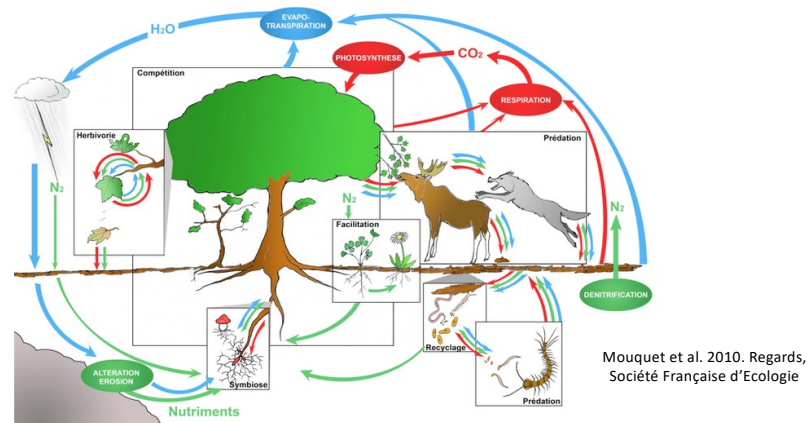
1. Niveaux d'organisation de la biodiversité: la communauté



Efficiéce écologique : % d' énergie passant d'un niveau à un autre. Typiquement entre 5 et 20%

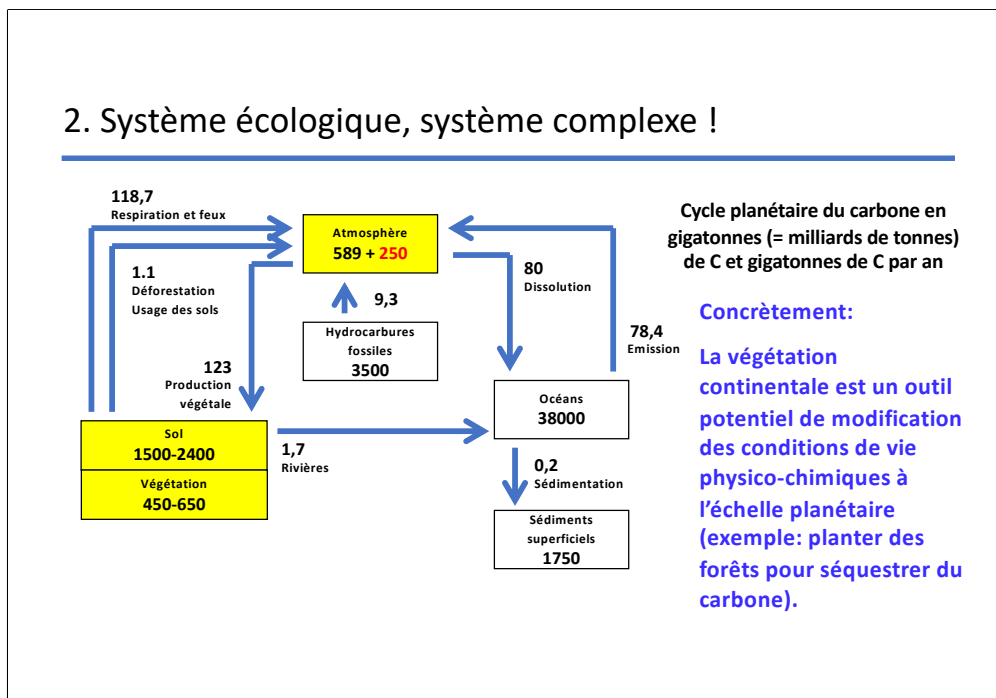
Quand un organisme se nourrit d'un autre organisme, la majeure partie des molécules organiques qu'il a consommées est très rapidement dégradée pour lui fournir de l'énergie (processus de respiration le plus souvent), seule une partie partie lui sert à assurer sa croissance. La masse, ou le contenu énergétique (exprimé en joules dans le schéma) d'un niveau est donc forcément décroissant au fur et à mesure que l'on s'élève dans le réseau trophique et le nombre de niveaux trophiques est forcément faible. Le nombre de niveaux trophiques est moins grand dans les systèmes terrestres, en raison de la présence d'animaux à sang chaud aux dépenses énergétiques élevées, que dans les systèmes aquatiques dominés par les organismes à sang froid.

1. Niveaux d'organisation de la biodiversité: l'écosystème



Le concept d'écosystème désigne l'ensemble des interactions entre les organismes et entre les organismes et les composantes du milieu physique. Il prend en compte la décomposition, c'est à dire la transformation des composés organiques des organismes morts en molécules simples: CO₂, azote minéral, phosphore minéral, etc. qui peuvent être utilisées à nouveau par les organismes pour leurs synthèses organiques. La boucle est ainsi bouclée et le système peut fonctionner perpétuellement: organique > minéral > organique > minéral >...

2. Système écologique, système complexe !

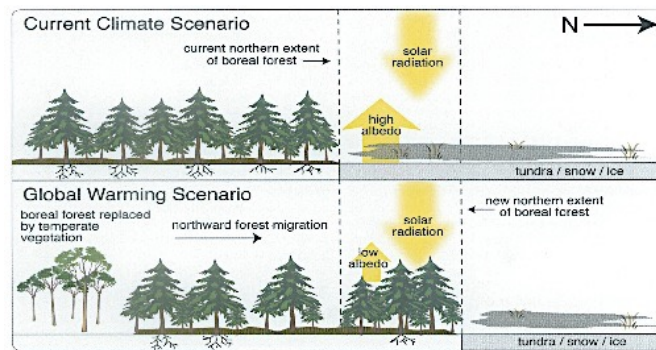


Les valeurs des compartiments sont en gigatonnes (milliards de tonnes de carbone) et les flux en gigatonnes de carbone par an.

Il y a trois fois plus de carbone stocké dans la végétation et les sols que dans l'atmosphère. Dans la végétation, le temps de résidence du carbone dépend de la durée de vie des végétaux, et des éventuelles modalités d'exploitation; en forêt exploitée, il est donc de l'ordre de 30 à 100 ans. Dans les sols, la durée moyenne de séquestration du carbone en climat tempéré varie de 100 à 1000 ans.

Toute modification de la dynamique de la végétation et des sols peut se traduire par une émission ou une captation de CO₂; toute modification du climat peut changer la dynamique de la végétation et des sols: climat et végétation, sans oublier l'océan, forment un système.

2. Système écologique, système complexe

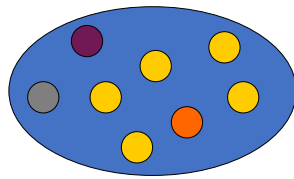


Foley J.A. et al. 2003. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1: 38-44

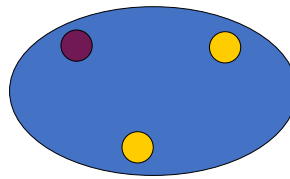
- Le gain de température, dû au changement climatique, le plus élevé est modélisé et observé dans les hautes latitudes. En conséquence, la taïga gagne sur la toundra en Amérique du N et en Eurasie. Du fait du feuillage sombre des conifères de la taïga, cela se traduit par une perte locale d'albédo, non compensée par la fixation du CO₂ par la photosynthèse et la transpiration des arbres. Cette progression de la taïga va donc dans le sens du réchauffement du climat, au moins localement.

2. Système écologique, système complexe

Complexité: un objet complexe est constitué d'un grand nombre de composantes, éventuellement de natures différentes.



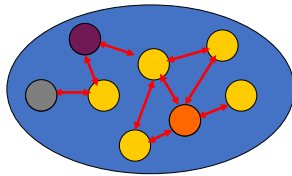
Complexe



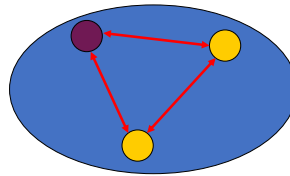
Non complexe

2. Système écologique, système complexe

Un système est un groupe de composantes, toutes ou en partie, en interaction.

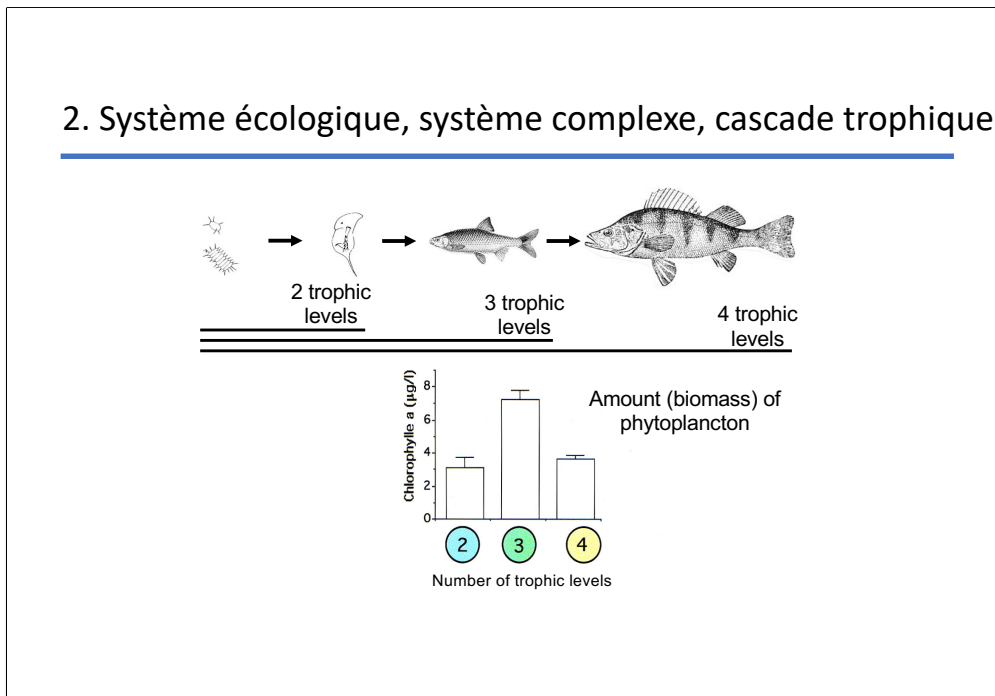


Système complexe



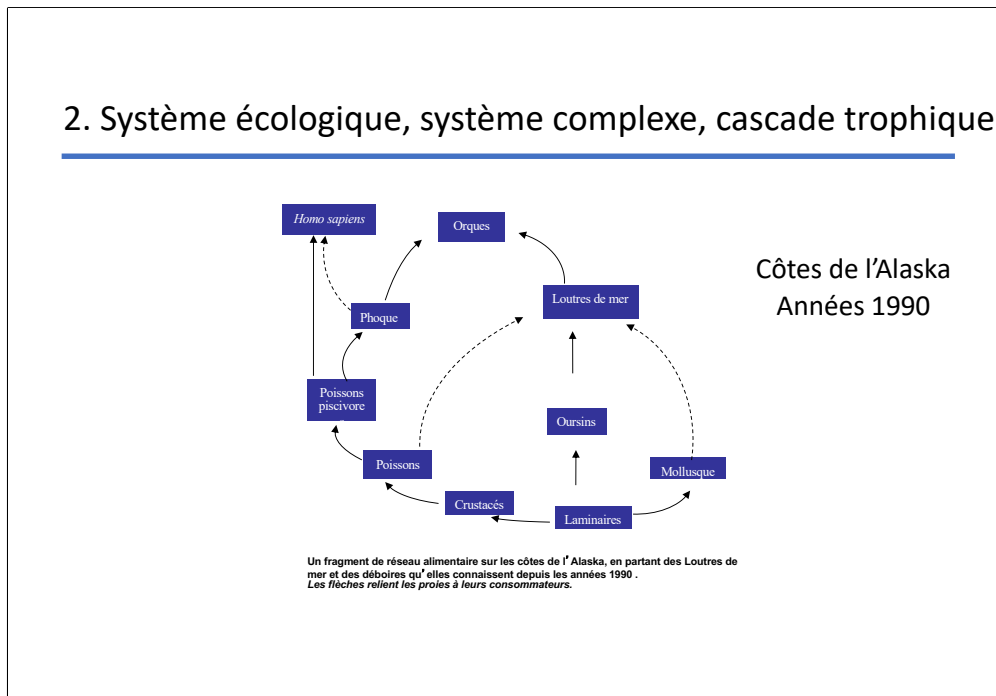
Système simple

2. Système écologique, système complexe, cascade trophique



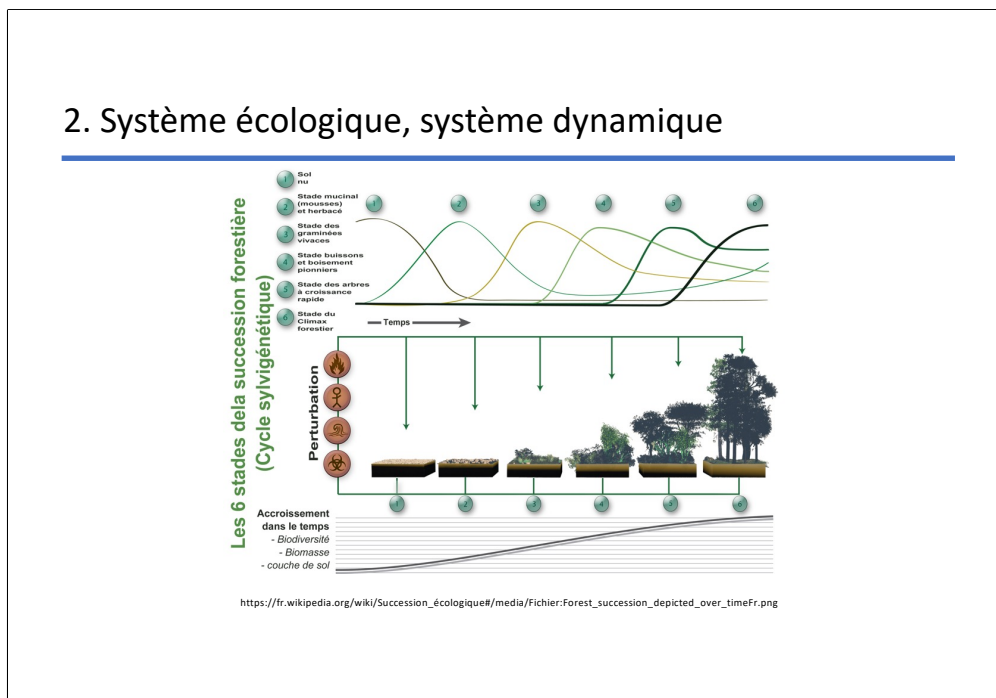
Dans ce lac expérimental, une chaîne alimentaire est composée de 4 niveaux trophiques: plancton végétal, consommé par du plancton animal, consommé par des petits poissons, consommés par des gros poissons. La quantité de plancton végétal (mesurée par la quantité de chlorophylle), bien plus importante que celle des autres organismes, détermine la transparence de l'eau. En présence du seul plancton animal, la quantité de plancton végétal est faible. En présence de petits poissons, il y a peu de plancton animal (consommé par les poissons) et beaucoup de plancton végétal. En présence de gros poissons, il y a peu de petits poissons, beaucoup de plancton animal, peu de plancton végétal. La transparence de l'eau dépend de la composition du peuplement de poissons.

2. Système écologique, système complexe, cascade trophique



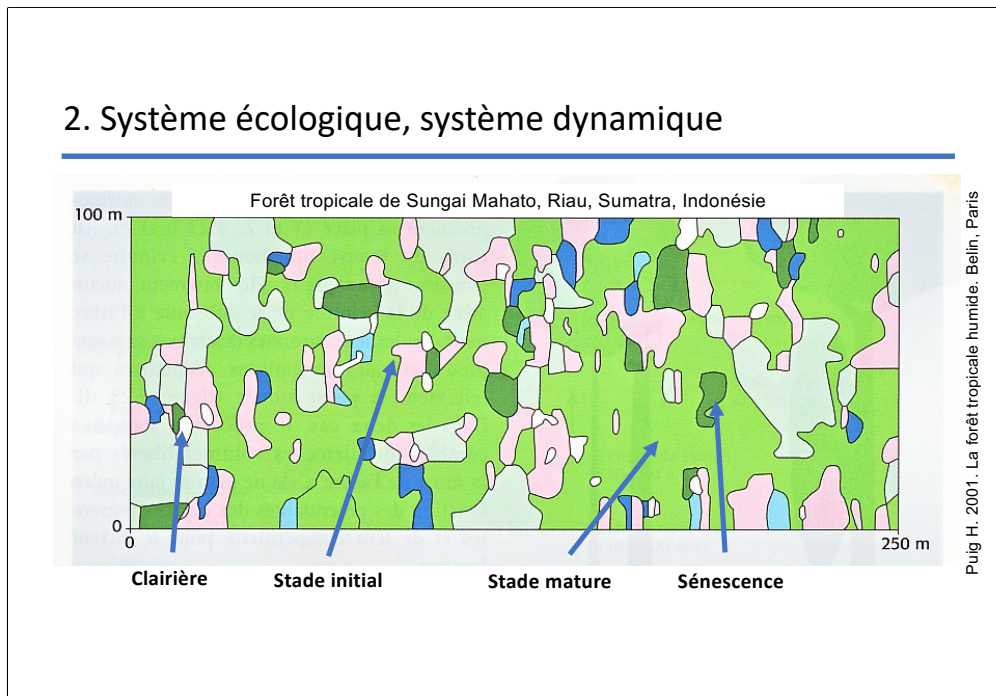
La surpêche a entraîné la diminution des gros poissons et par conséquent celle de leurs consommateurs: les phoques. Les orques, super-prédateurs dans ce système, se sont rabattus sur les loutres; la diminution de la quantité de ces dernières a engendré la prolifération des oursins dont elles se nourrissent. Moins d'oursin signifie moins de laminaires et une moins bonne fixation des sédiments du fond. En d'autres termes, la pression de pêche détermine toute la structure du réseau trophique par des effets en cascade.

2. Système écologique, système dynamique



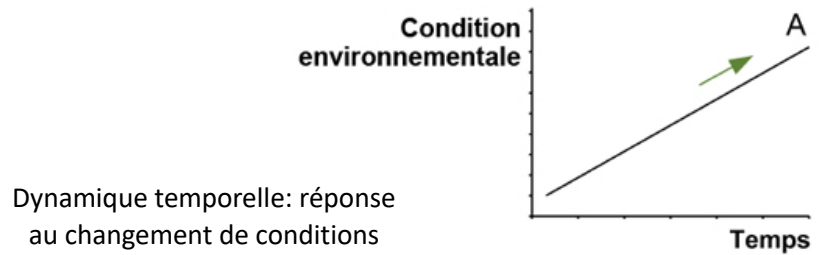
Au cours du temps, différents types de végétation s'installent, ou ne s'installent pas, en fonction des conditions locales. Dès qu'un organisme, notamment végétal, s'installe quelque part, il modifie le milieu en interceptant certaines de ses composantes et en en consommant d'autres et en y rejetant des déchets et des matières organiques mortes. Il rend souvent les conditions locales moins favorables à sa propre installation, permettant ainsi à d'autres espèces compatibles avec les nouvelles conditions créées de s'implanter à leur tour. L'écosystème change donc nécessairement au cours du temps, différents types d'écosystèmes se succèdent jusqu'à un stade à peu près stable (forêt par exemple dans la plupart des zones tempérées).

2. Système écologique, système dynamique



La variabilité du vivant s'exprime également dans l'espace. Au sein d'un même écosystème, comme ici une forêt tropicale, différentes communautés végétales coexistent, depuis des communautés adaptées à la lumière et la sécheresse dans les clairières, à des communautés adaptées à l'humidité et à l'ombre dans les zones matures. En fait, la forêt est une mosaïque de petites forêts à des stades de développement différents. Quand l'environnement change, des espèces en provenance d'un environnement comparable et proche peuvent coloniser ce nouvel environnement. Cette hétérogénéité spatiale est engendrée par des perturbations locales d'intensité modérée: chute d'un arbre, maladie, clairière ouverte pour l'agriculture, etc.

2. Système écologique, système dynamique

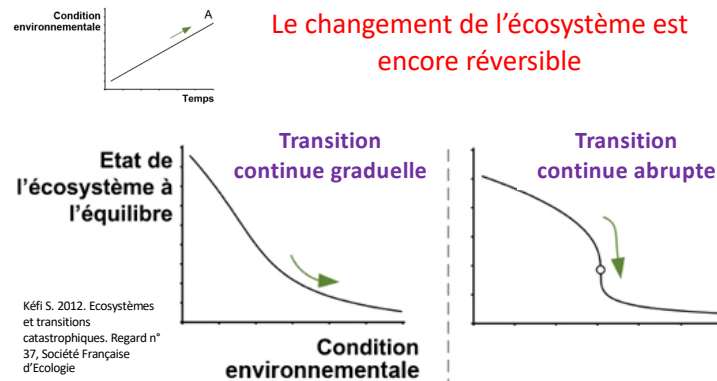


Kéfi S. 2012. Ecosystèmes et transitions catastrophiques.
Regard n° 37, Société Française d'Ecologie

En abscisse: le temps

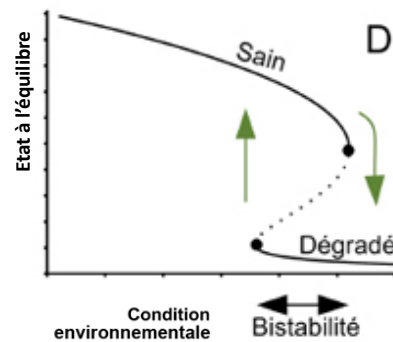
En ordonnée: une condition environnementale: la température moyenne ou la pluviométrie, ou l'intensité du parasitisme ou... ce que vous voulez ! Imaginons que cette condition change progressivement et linéairement au cours du temps.

2. Système écologique, système dynamique



Le changement des conditions environnementales entraîne une modification de l'état de l'écosystème, plus ou moins régulièrement (linéairement), avec parfois des phases d'accélération ou de ralentissement. Toutefois, la modification de l'écosystème demeure réversible: on "remonte la courbe" de l'état de l'écosystème si les conditions environnementales retournent à un stade antérieur.

2. Système écologique, système dynamique



À partir d'un certain seuil de conditions, l'écosystème bascule brutalement vers un autre état

Le retour de l'écosystème à l'état antérieur est difficilement réversible, voire impossible (existence de 2 états de stabilité)

Kéfi S. 2012. Ecosystèmes et transitions catastrophiques. Regard n° 37, Société Française d'Ecologie

Au delà d'un certain degré de modification des conditions environnementales, l'écosystème "s'effondre" et laisse la place à un écosystème de nature différente, par exemple une forme de steppe à la place d'une forêt: la modification de l'écosystème n'est plus réversible, même si les conditions macro de l'environnement, le climat par exemple, le permettraient. On ne peut plus "remonter la courbe" de l'état de l'écosystème si les conditions environnementales retournent à un stade antérieur. S'il revient à état antérieur, l'écosystème empruntera un "chemin" différent. On parle d'hystérésis, c'est à dire de la propriété d'un système dont le changement ne suit pas la même trajectoire selon que la condition responsable de ce changement augmente ou diminue.

3. La biodiversité et le temps géologique

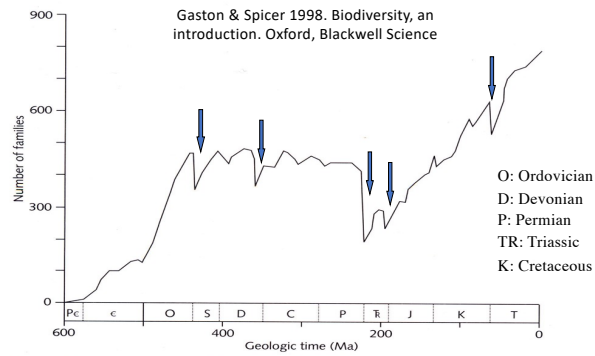


Figure 2.1 Temporal dynamics of the number of marine animal families. (After Sepkoski 1992.)

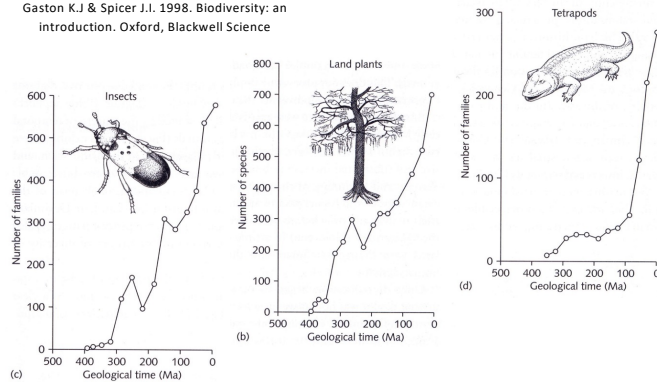
En abscisse: le temps, en millions d'années

En ordonnée: le nombre de familles d'animaux marins

La tendance générale est à la diversification toujours plus grande du monde vivant au cours des temps géologiques. Le nombre d'espèces ou de familles est la résultante des processus antagonistes de spéciation et d'extinction; à une soixantaine de reprises, le bilan a été négatif, en particulier au cours de cinq crises majeures d'extinction. La plus importante, celle du Permien a duré entre 1 et 4 millions d'années; il a fallu une centaine de millions d'années pour revenir au niveau précédent de biodiversité

3. La biodiversité et le temps géologique

Gaston K.J & Spicer J.I. 1998. Biodiversity: an introduction. Oxford, Blackwell Science



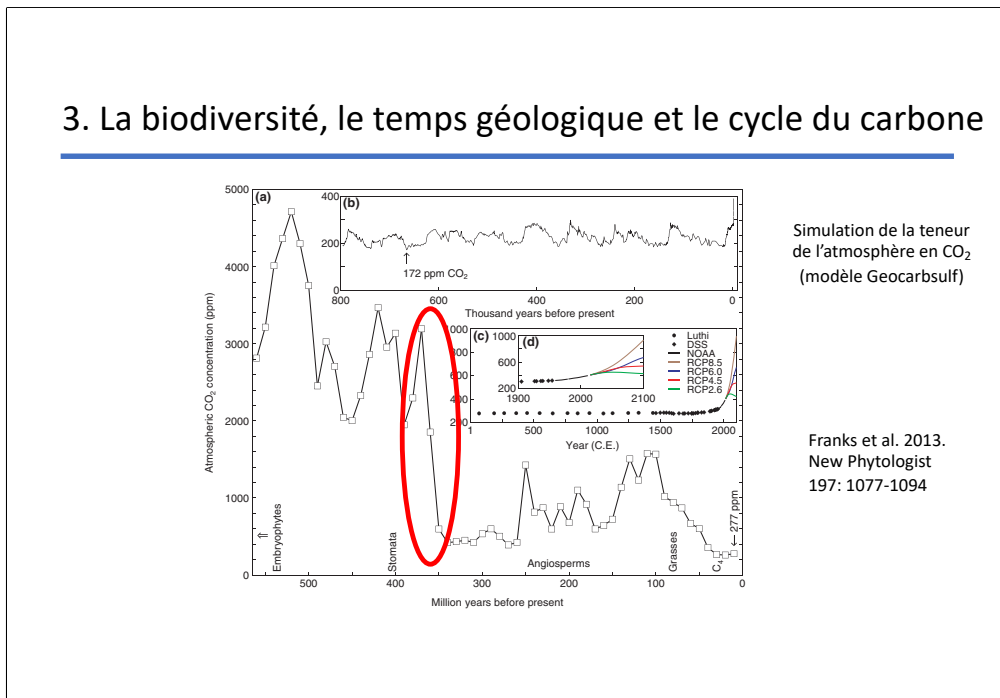
La diversification quasi sans limite est une propriété fondamentale du vivant. Les échelles de temps impliquées dans la spéciation sont de l'ordre du million d'années pour les organismes à longue durée de vie (arbres, vertébrés...).

En abscisse: le temps, en millions d'années

En ordonnée: le nombre de familles d'insectes et de tétrapodes (vertébrés à 4 pattes) ou le nombre d'espèces de plantes terrestres.

La diversification du vivant est un processus qui tend à s'accélérer au cours de l'histoire de la Terre. Après chaque crise d'extinction la diversification reprend et s'accélère à nouveau.

3. La biodiversité, le temps géologique et le cycle du carbone



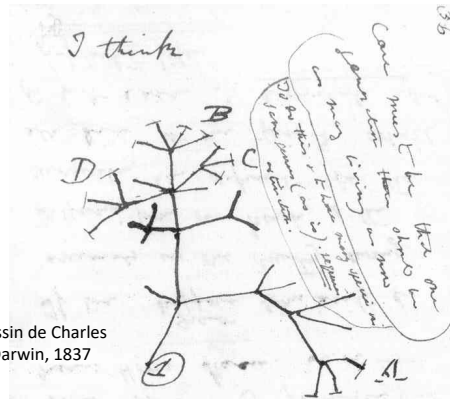
En abscisse (courbe a): le temps, en millions d'années

En ordonnée (courbe a): la concentration de l'atmosphère en CO₂, en ppm (parties pour million)

Une grosse chute de la concentration en CO₂, de plus de 3000 ppm à moins de 1000 ppm, s'est produite au cours de la période du Carbonifère. Ce CO₂ a été assimilé par les plantes via la photosynthèse, puis transformé en hydrocarbures (charbon, pétrole). Fin 2023, la concentration moyenne de l'atmosphère en CO₂ était de 419 ppm, le taux le plus élevé depuis 14 millions d'années.

3. La spéciation, concept

La spéciation est le processus évolutif qui conduit à la formation de nouvelles espèces à partir d'une espèce ancêtre par sélection naturelle ou dérive génétique. Elle résulte de l'isolement reproducteur de deux populations appartenant précédemment à la même espèce.

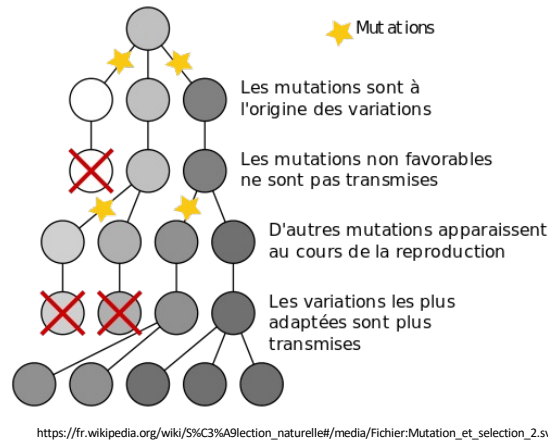


Dessin de Charles Darwin, 1837

Selon la théorie de l'évolution proposé par Charles Darwin, tous les organismes dérivent les uns des autres. À l'origine de tout l'arbre de vie, il y avait très probablement un ancêtre unique.

3. La spéciation, mécanismes

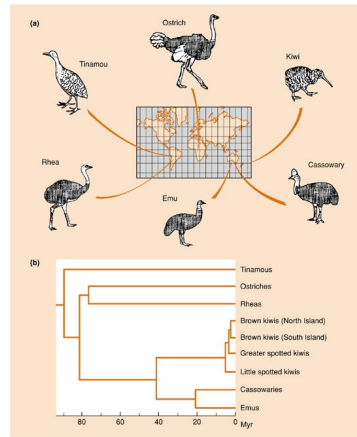
La sélection naturelle



La sélection naturelle s'effectue sur des individus au sein des populations. Au point de départ, les individus portent tous le même caractère. Une mutation se produit (niveau 1) au moment de la réplication de l'ADN lors de la reproduction: deux nouveaux caractères apparaissent portés par deux gènes modifiés (niveau 2). L'un de ces nouveaux caractères (en blanc) apporte un désavantage grave aux individus qui le portent, ceux-ci régressent très rapidement dans la population et finissent par disparaître (niveau 3): il reste deux lignées "en course". D'autres mutations engendrent l'apparition d'autres modifications de caractères (niveau 4): quatre lignées coexistent, mais deux sont moins performantes que les deux autres, elles régressent progressivement et finissent par disparaître. Les deux lignées restantes connaissent aussi des mutations (niveau 5) et on aboutit à cinq lignées aussi viables les unes que les autres et qui se maintiennent.

Attention: un caractère donné peut être sous contrôle d'un ou de plusieurs gènes.

3. La spéciation, mécanismes



Isolement reproducteur par apparition d'une barrière géographique

Distribution spatiale et arbre phylogénétique des grands oiseaux incapables de voler

Tinamous séparés des autres au début de la fragmentation du Gondwana au cours du Crétacé (-145 à -65 M années).

Lors de l'ouverture de l'Atlantique (Crétacé), séparation des autruches et des nandous (rheas).

La séparation Australie-Asie entraîne la différenciation des émeus et casoars.

Séparation des espèces de Nouvelle Zélande (kiwis) à l'Eocène (-40 M années).

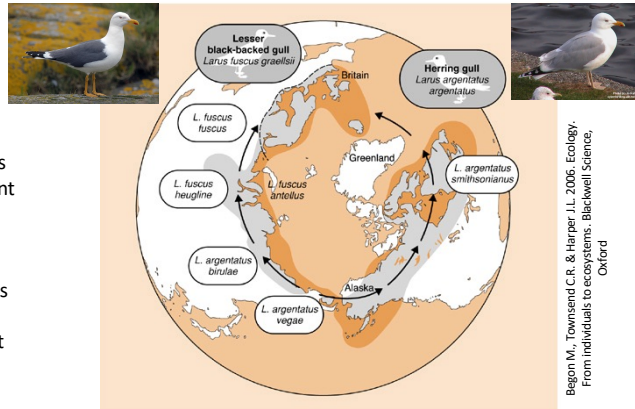
Les tinamous ont été séparés des autres grands oiseaux au début de la fragmentation du Gondwana au cours du Crétacé (-145 à -65 M années). Puis, lors de l'ouverture de l'Atlantique (Crétacé), il y a eu séparation géographique des autruches (qui vivent actuellement en Afrique) et des nandous (rheas) (qui vient actuellement en Amérique du sud). La séparation Australie-Asie entraîne la différenciation des émeus (en Australie actuellement) et des rattites (Indonésie, Nouvelle Guinée, nord-est de l'Australie). Enfin, séparation des espèces de Nouvelle Zélande (kiwis) à l'Eocène (-40 M années).

Attention ! On considère aujourd'hui que des mécanismes autres que l'isolement géographique ont pu contribuer à la différenciation de ces oiseaux et que leur histoire évolutive est sans doute plus compliquée que celle évoquée ici.

3. La spéciation, mécanismes

Isolement reproducteur par isolement géographique partiel

Larus fuscus graellsii et *Larus argentatus argentatus* ne sont pas interféconds. Les deux sous-espèces sont interfécondes avec les sous-espèces qui leur sont les plus proches géographiquement. Toutes les sous-espèces sont interfécondes de proche en proche.



Larus fuscus graellsii et *Larus argentatus argentatus* ne sont pas interféconds. Les deux sous-espèces sont interfécondes avec les sous-espèces qui leur sont les plus proches géographiquement. Toutes les sous-espèces sont interfécondes de proche en proche, mais celles situées au deux bouts du gradient géographique ne le sont plus..

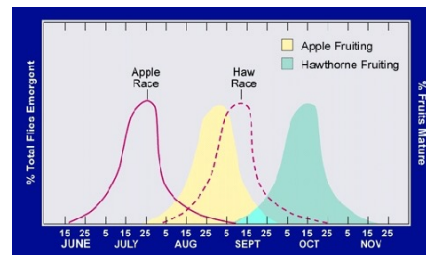
3. La spéciation, mécanismes

Isolement reproducteur par différenciation comportementale

En Amérique du Nord, les larves de la petite mouche *Rhagoletis pomonella* se nourrissaient sur les fruits de l'aubépine. Après l'introduction de pommiers européens, une population s'est différenciée entre 1800 et 1850 en pondant sur des pommes. Les deux populations sont interfécondes en laboratoire mais pas dans la nature: les mouches qui infestent les pommes éclosent avant les mouches qui infestent l'aubépine, qui fructifie plus tard que les pommes, ce qui empêche l'interfécondation entre les deux populations.



https://fr.wikipedia.org/wiki/Rhagoletis_pomonella

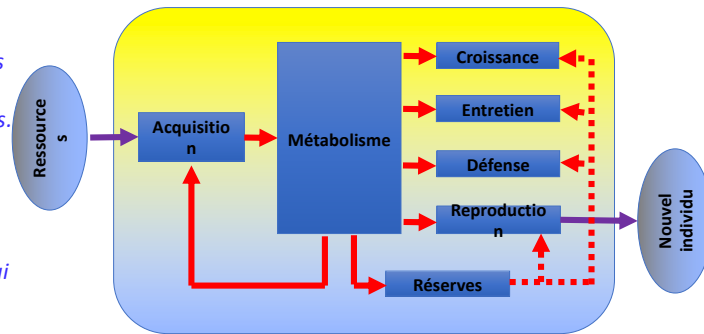


<https://www.pedagogie.ac-nantes.fr/sciences-de-la-vie-et-de-la-terre/enseignement/lycee/specialite-svt/terminale-nouveau-programme/la-diversification-genetique-et-diversification-des-etres-vivants/un-cas-de-speciation-sympatrique-la-mouche-de-la-pomme-rhagoletis-pomonella>

En abscisse: le temps avec indication des dates entre juin et septembre
En ordonnée: part du nombre total de mouches émergeant à une date donnée
En trait plein: dynamique d'émergence de la population spécialisée sur les pommiers;
en trait pointillé: dynamique d'émergence de la population spécialisée sur l'aubépine.
Courbe en cloche jaune: dynamique de fructification du pommier; Courbe en cloche verte: dynamique de fructification de l'aubépine.

3. La spéciation, mécanismes: le principe du compromis

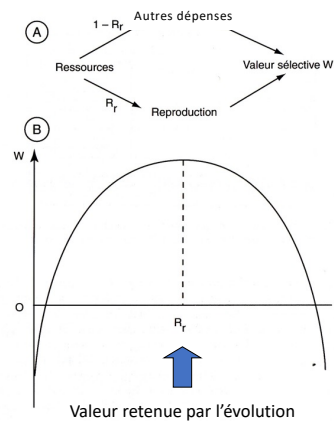
Toute espèce est un compromis pour la satisfaction de besoins « concurrents » pour des ressources limitées. L'investissement fondamental, prioritaire pour le maintien de l'espèce dans le temps, est celui de la production de descendants.



Toute espèce peut être interprétée comme un compromis pour la satisfaction de besoins « concurrents » avec des ressources limitées. L'investissement fondamental, prioritaire pour le maintien de l'espèce dans le temps, est celui de la production de descendants.

3. La spéciation, mécanismes: l'adaptation ou fitness

La valeur sélective W (ou fitness) d'un organisme est sa capacité à produire des descendants fertiles et viables. Elle augmente avec la quantité d'énergie allouée à la reproduction R , jusqu'à un maximum R_r , puis décroît ensuite.

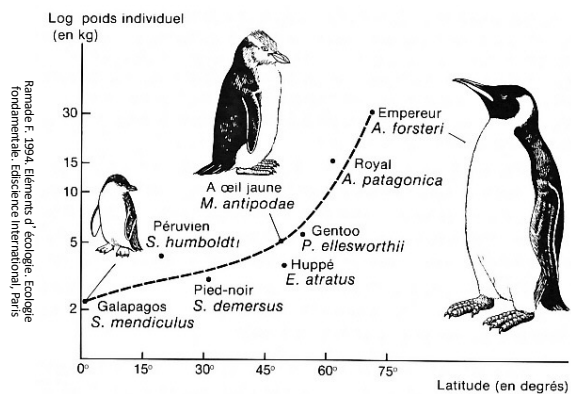


En abscisse: quantité d'énergie allouée à la reproduction variant entre 0 (valeur nulle, l'organisme ne se reproduit pas et va disparaître) et 1 (valeur maximale, toute l'énergie de l'organisme est consacrée à la reproduction).

En ordonnée: valeur sélective (ou degré d'adaptation) de l'organisme.

La meilleure valeur sélective n'est pas obtenue pour l'investissement maximal d'énergie dans la reproduction: si l'organisme met toute son énergie dans la reproduction, il n'en a plus pour le reste et, par exemple, sa longévité diminue drastiquement, ce qui amoindrit la quantité de descendants produite sur toute sa durée de vie. La meilleure valeur sélective est donc le résultat d'un compromis entre l'investissement d'énergie dans la reproduction et l'investissement dans les autres fonctions de l'organisme.

4. Adaptation morphologique à la température



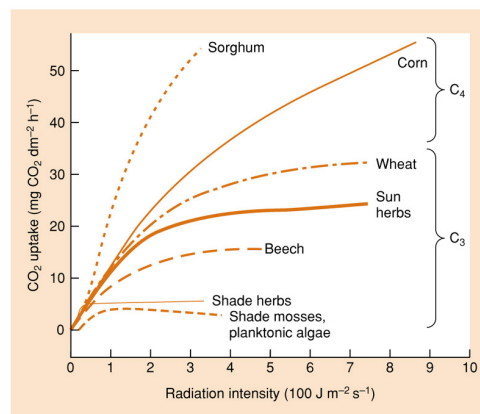
La taille et le poids des manchots croît avec la latitude: plus les manchots sont gros, plus leur rapport masse:surface d'échange est élevé, ce qui limite les pertes de chaleur « par gramme de matière vivante »

En abscisse: la latitude

En ordonnée: logarithme du poids d'un individu, en kg

La taille et le poids des manchots croît avec la latitude: plus les manchots sont gros, plus leur rapport masse:surface d'échange est élevé, ce qui limite les pertes de chaleur « par gramme de matière vivante »

4. Adaptation physiologique à la lumière



Begon M., Townsend C.R. & Harper J.L. 2006. Ecology. From individuals to ecosystems. Blackwell Science, Oxford

En abscisse: l'intensité lumineuse en joules par mètre carré et par seconde
En ordonnée: la vitesse de captation du CO₂ par la photosynthèse, en milligramme de CO₂ par décimètre carré de feuille et par heure
Deux groupes de plantes se distinguent: les plantes de type photosynthétique C₃, inadaptées aux fortes luminosités, et les plantes de types photosynthétique C₄, adaptées aux fortes luminosités. Tous les arbres sont des plantes de types C₃. Beaucoup de graminées tropicales sont de type C₄. Par ailleurs, les C₃ ont des besoins en CO₂ plus élevés que les C₄, elles sont actuellement limitées dans leur croissance par le manque de CO₂ dans l'atmosphère.

4. Adaptation au changement d'environnement

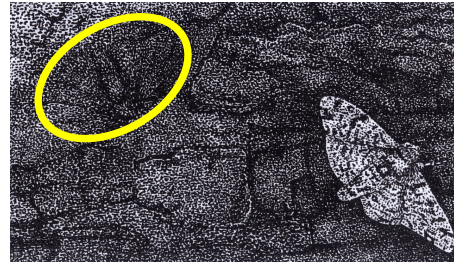
Phalène du Bouleau *Biston betularia* en Angleterre

Deux couleurs de la phalène existent, déterminées par une petite différence d'information génétique. Quand les troncs des bouleaux sont clairs, dépourvus de suie, les formes sombres du papillon sont consommées par les oiseaux prédateurs et sont peu nombreuses; quand les troncs des bouleaux sont sombres, couverts de suie, les formes claires du papillon sont consommées par les oiseaux et sont peu nombreuses.

AVANT



PENDANT



Barbault R. Ecologie générale. Structure et fonctionnement de la biosphère. Dunod, Paris

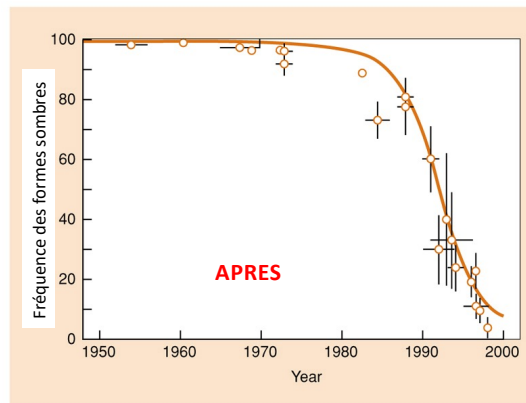
La phalène du bouleau est un papillon nocturne qui est inactif le jour et posé sur les troncs d'arbres, notamment des bouleaux. A la base, deux couleurs de la phalène existent, déterminées par une petite différence d'information génétique. Avant le développement industriel en Angleterre, les troncs des bouleaux étaient clairs, les formes sombres du papillon étaient consommées préférentiellement par les oiseaux car très visibles et étaient peu nombreuses; quand les troncs des bouleaux sont devenus sombres à cause du dépôt de suie, les formes claires du papillon sont devenues très visibles, ont été très consommées par les oiseaux et sont devenues rares alors que les formes sombres sont devenues très abondantes.

4. Adaptation au changement d'environnement

Après la désindustrialisation, la suie a disparu du tronc des bouleaux, les formes sombres du papillon ont régressé car elles sont à nouveau très visibles par les oiseaux prédateurs, les formes claires redeviennent dominantes.

La diversité génétique au sein d'une espèce donnée est une condition du maintien de l'espèce en cas de changement de l'environnement

Begon M., Townsend C.R. & Harper J.L. 2006. Ecology. From individuals to ecosystems. Blackwell Science, Oxford

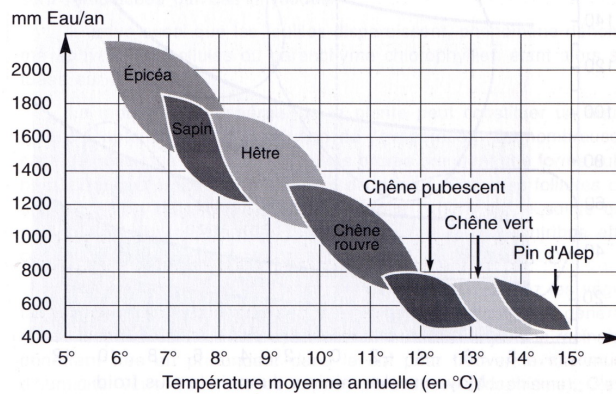


En abscisse: le temps, en années.

En ordonnée: la fréquence des formes sombres de la phalène, de 0 à 100 %.

Après la désindustrialisation, la suie a disparu du tronc des bouleaux, les formes sombres du papillon ont régressé car elles sont à nouveau très visibles par les oiseaux prédateurs, les formes claires sont devenues à nouveau dominantes.

4. Adaptation au climat



Exigences en température et pluviométrie d'arbres d'Europe occidentale

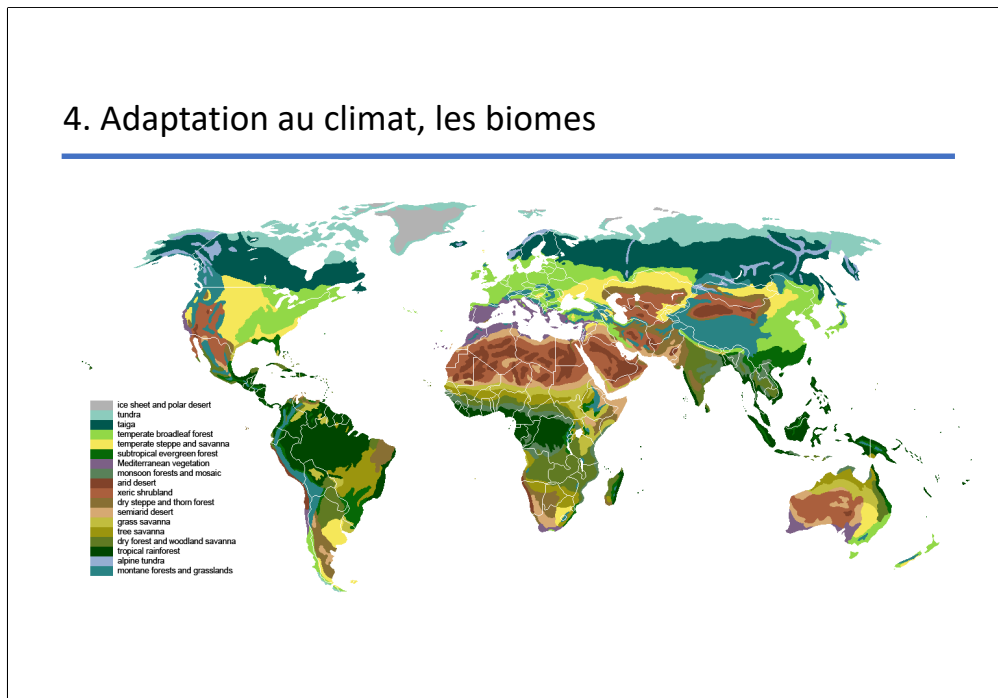
Ramade F. 1994. *Éléments d'écologie. Ecologie fondamentale.* Ediscience International, Paris

En abscisse: la température annuelle moyenne.

En ordonnée: la hauteur annuelle des précipitations, en millimètres d'eau.

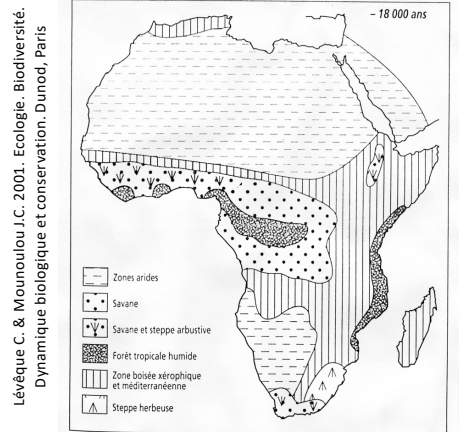
Chaque espèce d'arbre est compatible avec une zone de température et une zone de pluviométrie. Ces niches climatiques expliquent la répartition des arbres dans l'espace, notamment avec l'altitude. Par ailleurs, ces niches sont bien séparées ce qui limite les zones de compétition effective entre les différentes espèces.

4. Adaptation au climat, les biomes



Les grandes zones climatiques déterminent la répartition des biomes à l'échelon planétaire.

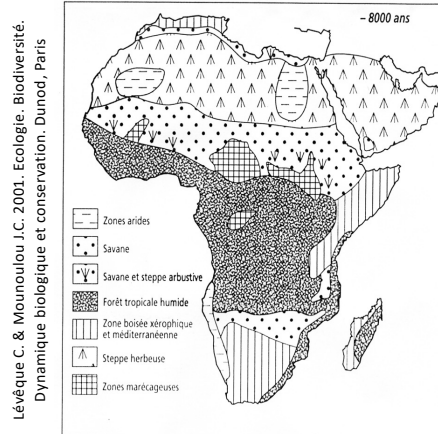
4. Dynamique des biomes et changement climatique



Au cours du dernier maximum glaciaire (-18 000 ans), baisse des température de 2-6 °C et baisse des précipitations: les forêts africaines ont fortement régressé au profit des savanes.

Au cours du dernier maximum glaciaire (-18 000 ans), il y a eu baisse des température de 2-6 °C et baisse des précipitations par rapport à la période précédente: les forêts africaines ont alors fortement régressé au profit des savanes.

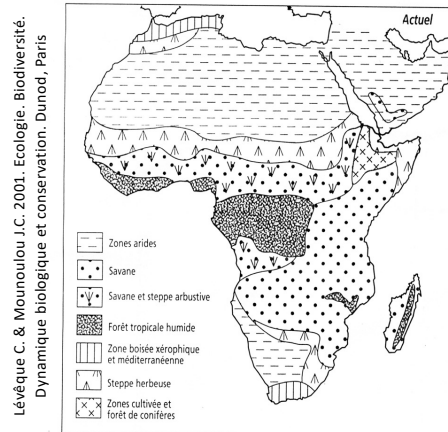
4. Dynamique des biomes et changement climatique



Au cours de la période post-glaciaire, la forêt s'est étendue pour atteindre une surface maximale entre - 10000 et -8000 ans. Les zones arides ont pratiquement totalement disparu au profit des steppes et des couverts de type méditerranéen.

Au cours de la période post-glaciaire, la température et la pluviométrie ont augmenté, la forêt s'est étendue pour atteindre une surface maximale entre -10000 et -8000 ans. Les zones arides ont pratiquement totalement disparu au profit des steppes et de couverts de type méditerranéen qui ont abrité des populations humaines nombreuses.

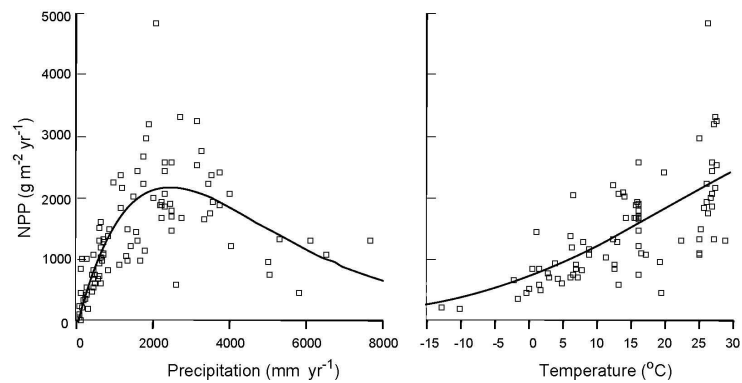
4. Dynamique des biomes et changement climatique



Entre -3000 et -2500 ans, une diminution de la pluviosité entraîne une extension des savanes au détriment des forêts. Avec le retour de conditions plus humides depuis au moins deux millénaires, la forêt progresse à nouveau.

Entre -3000 et -2500 ans, une nouvelle diminution de la pluviosité a entraîné une extension des savanes au détriment des forêts. Au delà, avec le retour de conditions plus humides, la forêt progresse à nouveau, jusqu'à aujourd'hui (dans les zones non déforestées par les humains bien entendu).

4. Production primaire et climat



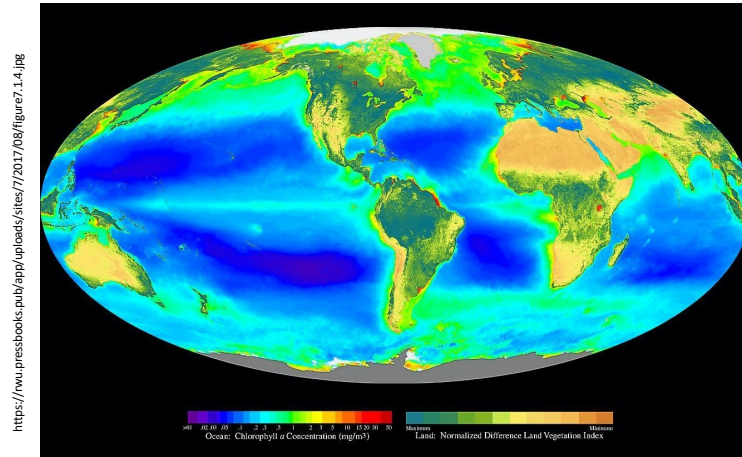
Chapin III F.S., Matson P.A. & Mooney H.A. 2002. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. New York, Springer

En abscisse: la hauteur des précipitations annuelles en millimètres d'eau ou la température annuelle moyenne en degrés Celsius.

En ordonnée: la production primaire nette annuelle en grammes de matière sèche par hectare et par an.

La production primaire augmente avec la température moyenne et avec les précipitations jusqu'à 2,5 m d'eau par an, puis décroît au delà (souvent en raison de l'engorgement des sols).

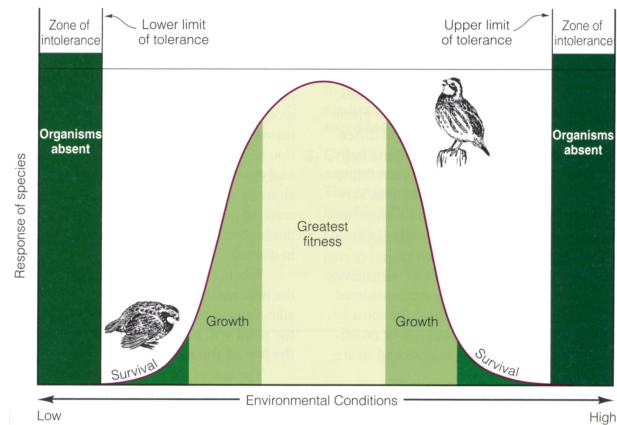
4. Production primaire et climat



La production primaire terrestre est concentrée dans la zone intertropicale et dans la zone tempérée et tempérés froide. Dans les océans, elle également plus forte à l'Equateur mais est d'une manière générale concentrée le long des côtes en raison de l'apports de nutriments en provenance des fonds marins (phénomène d'upwelling) et des continents (phénomène de lessivage des sols et apports des cours d'eau).

4. Niche écologique

La variation des performances d'un organisme en termes de survie, de croissance et de reproduction en fonction de l'intensité d'un facteur de l'environnement suit une courbe en cloche.



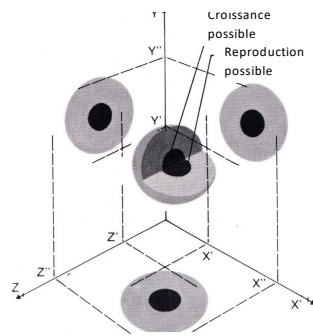
En abscisse: un gradient quelconque d'une condition environnementale variant de 0 à sa valeur maximale.

En ordonnée: une performance quelconque de l'organisme.

La zone de tolérance à une condition est plus ou moins large selon le type de performance considérée: la gamme de condition la plus étroite est celle permettant la production de descendant, celle permettant la survie est la plus large, celle permettant la croissance est entre les deux.

4. Niche écologique

La niche écologique d'un organisme est l'ensemble des conditions, c'est-à-dire des contraintes qu'il peut tolérer et des ressources qui lui sont nécessaires.



Ramade F. 1994. Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale. Ediscience International, Paris

La niche écologique d'un organisme peut se définir par rapport à une multitude de conditions environnementales. C'est pour cela qu'on la représente sous forme d'un hypervolume (à plus de trois dimensions). La niche écologique d'un organisme est la position de l'organisme dans l'environnement.

4. Niche écologique fondamentale, niche réalisée

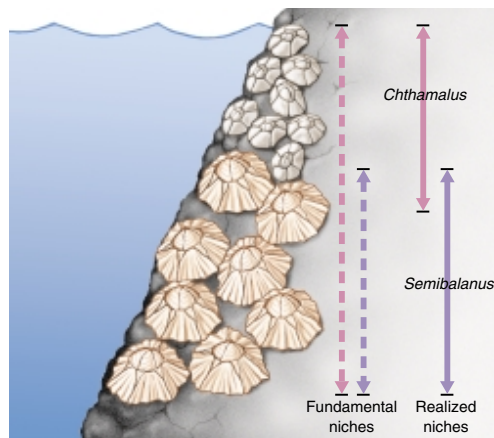


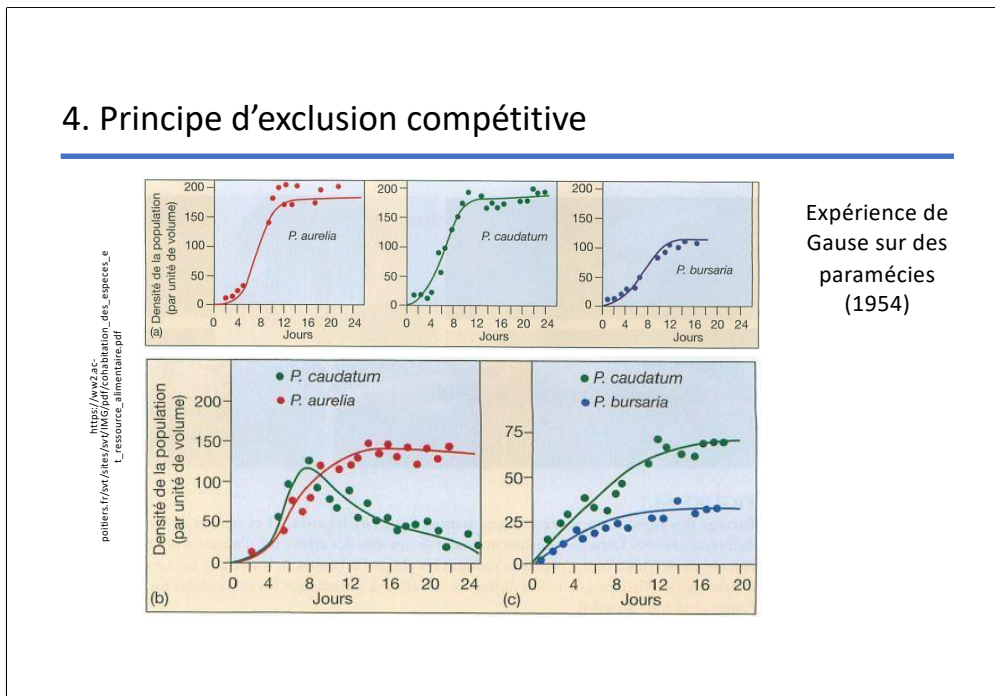
FIGURE 25.2
Competition among two species of barnacles limits niche use. *Chthamalus* can live in both deep and shallow zones (its fundamental niche), but *Semibalanus* forces *Chthamalus* out of the part of its fundamental niche that overlaps the realized niche of *Semibalanus*.

Hutchinson 1957
Connell 1961

Raven P. et al. Biology. Boston,
Mac Gaw Hill Higher
Education

Représentation de la dimension spatiale de la niche écologique de bernacles. L'une des deux espèces est spécialisée sur les profondeurs élevées (*Semibalanus*), l'autre supporte toutes les profondeurs (*Chthamalus*). Quand elle sont ensemble, on constate que l'espèce compatible avec toutes les profondeurs n'est présente qu'à faible profondeur. Dans cette situation de coexistence, la niche réalisée de l'espèce *Chthamalus* est réduite par rapport à sa niche potentielle (en absence de *Semibalanus*). Les niches écologiques réelles des organismes sont toujours dépendantes des conditions locales, notamment vis à vis de la présence d'autres organismes; elles varient donc d'un site à l'autre et d'un moment à l'autre.

4. Principe d'exclusion compétitive



En abscisse: le temps en jours.

En ordonnée: la densité de la population de paramécies.

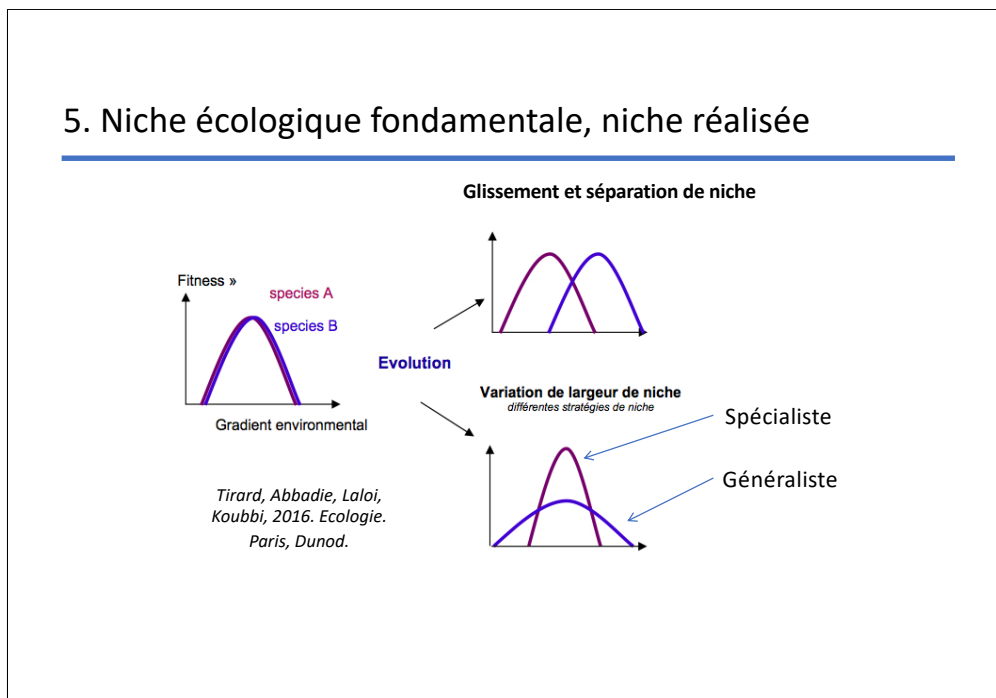
En haut: dans un milieu où les ressources sont maintenues constantes, les trois espèces de paramécies croissent et atteignent une densité stable (capacité de charge du milieu).

En bas: lorsqu'elles sont ensemble, l'une des espèces élimine l'autre (à gauche) ou limite la densité de population de l'autre (à droite).

Principe d'exclusion compétitive: deux espèces présentant la même niche écologique ne peuvent pas coexister (durablement, ou aux niveaux de densité qui seraient les leurs si elles étaient seules).

Une alternative à l'exclusion est la modification de la niche écologique de l'une ou des espèces qui coexistent.

5. Niche écologique fondamentale, niche réalisée



En abscisse: la variation de l'intensité d'une condition de l'environnement.

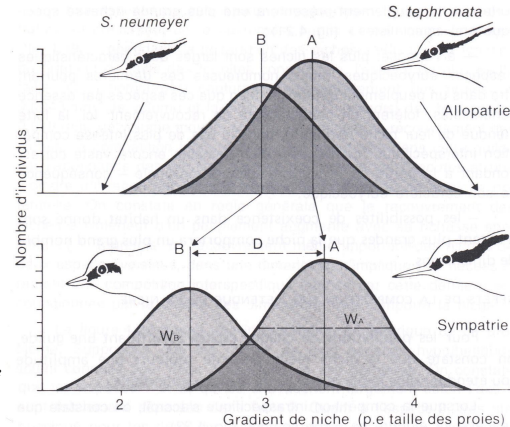
En ordonnée: la fitness ou degré d'adaptation, ou une performance, des espèces en coexistence.

En cas de coexistence de deux espèces ayant la même niche écologique (à gauche), une réponse évolutive possible est la séparation de niche (à droite, en haut): les deux espèces exploitent des parties différentes du gradient de condition; ou, l'un des espèces se spécialise sur une partie étroite du gradient de condition et l'autre élargit la gamme de condition qu'elle exploite (à droite, en bas), ce qui réduit l'intensité de la compétition potentielle entre les deux espèces.

5. Niche écologique fondamentale, niche réalisée

Les régimes alimentaires des sittelles diffèrent selon que les deux espèces vivent ensemble (sympatrie) ou dans des aires géographiques séparées (allopatrie) (Balkans et Moyen-Orient)

Ramade F. 1994. *Éléments d'écologie, écologie fondamentale*. Ediscience International, Paris



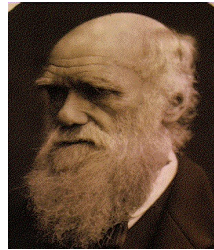
En abscisse: le gradient environnemental exploité, en l'occurrence la taille des proies consommées.

En ordonnée: la taille des populations en nombre d'individus.

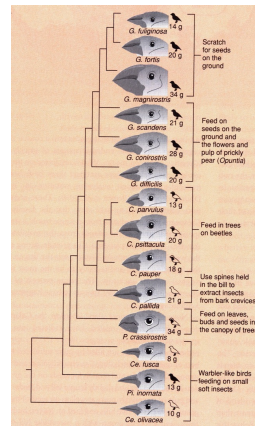
Les régimes alimentaires des sittelles des Balkans et du Moyen-Orient) diffèrent selon que les deux espèces vivent ensemble (sympatrie, en bas) ou dans des aires géographiques séparées (allopatrie, en haut). En cas de coexistence effective dans le même espace, il y a séparation des niches écologiques: l'un des espèces consomme plutôt les proies de petite taille, l'autre les proies de grande taille, ce qui réduit la zone du gradient de proies consommées par les deux, c'est à dire l'intensité de la compétition.

5. Evolution des niches écologiques

La réduction de l'intensité de la compétition qui permet de maintenir un effort reproductif important est l'un des principaux « moteurs » de la diversification du vivant.



Les Galapagos sont à 1000 km de la côte de l'Equateur. Les 14 espèces de pinsons actuelles dérivent d'un ancêtre commun arrivé il y a 3 millions d'années du continent.



Bagon M., Townsend C.R. & Harper J.L. 2006. Ecology: From individuals to ecosystems. Blackwell Science, Oxford

Arbre phylogénétique des 14 espèces de pinsons des Galapagos. La biologie moléculaire a confirmé l'explication proposée par Darwin: les 14 espèces de pinson actuelles dérivent d'un ancêtre commun arrivé il y a 3 millions d'années de la côte de l'Equateur située à 1000 km des Galapagos. La modification des niches écologiques en réponse à la pression de compétition lorsqu'elle est maintenue à long terme engendre l'apparition d'espèces différentes. A long terme, la réponse à la compétition conduit à la diversification du vivant et, par conséquent, à la réduction de l'intensité de la compétition.

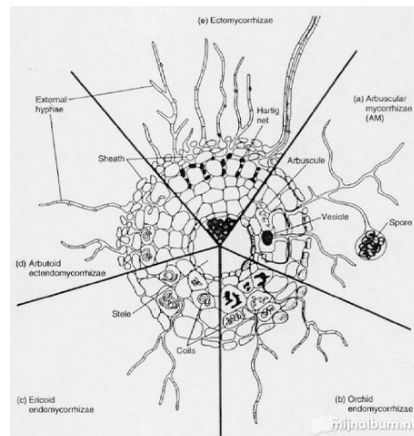
5. Types d'interactions biologiques

Type d'interaction	Esp. 1	Esp 2
Compétition	-	-
Prédation	-	+
Parasitisme	-	+
Commensalisme	+	0
Amensalisme	-	0
Mutualisme, symbiose	+	+

Les interactions entre deux espèces peuvent avoir des effets positifs ou négatifs, ou pas d'effet, sur l'un ou les deux espèces engagées.

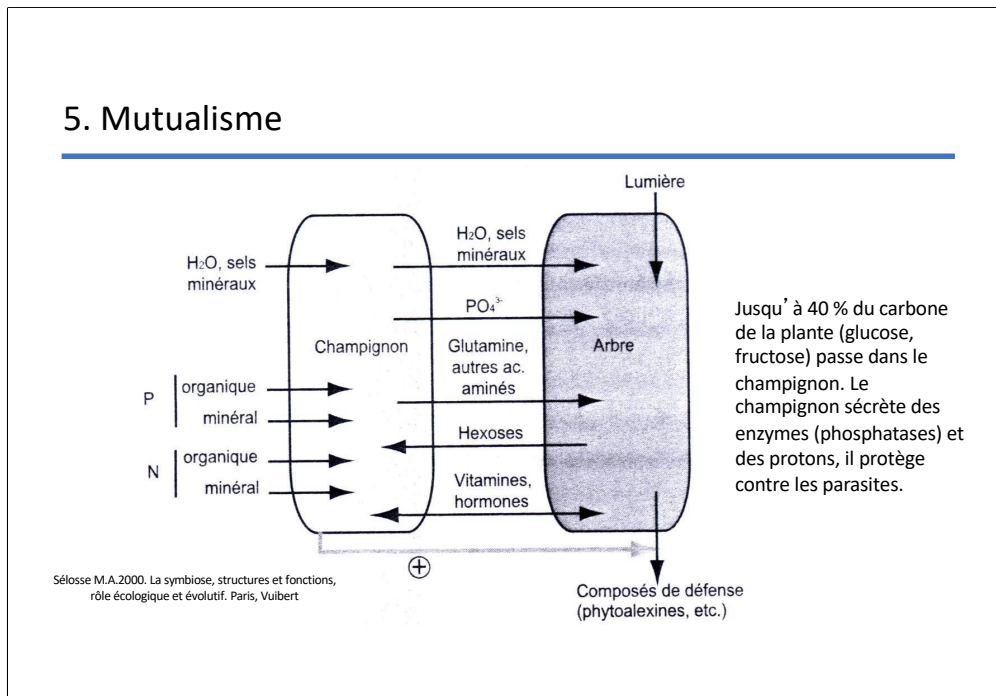
5. Mutualisme

Une grande variété d'associations symbiotiques existent entre les plantes supérieures et les champignons



Les racines des plantes supérieures sont associées aux mycéliums (partie végétative) de champignons: cela forme des symbioses, appelées mycorhizes. Il existe une grande variété de mycorhizes: dans certaines, les mycéliums pénètrent dans les cellules végétales; dans d'autres, les mycéliums circulent entre les cellules végétales.

5. Mutualisme



Dans la symbiose mycorhizienne, la plante, capable de photosynthèse à partir du CO₂ de l'atmosphère, transfère des molécules organiques vers le champignon, incapable de photosynthèse, qui vont lui servir pour ses biosynthèses et sa production d'énergie. Le mycélium du champignon, qui développe une très grande surface de contact avec le sol, puise dans ce dernier l'eau et les sels minéraux qui lui sont nécessaires et en transfère une grande partie vers la plante. Pour sa nutrition minérale, la plante est très dépendante du champignon.

Mutualisme

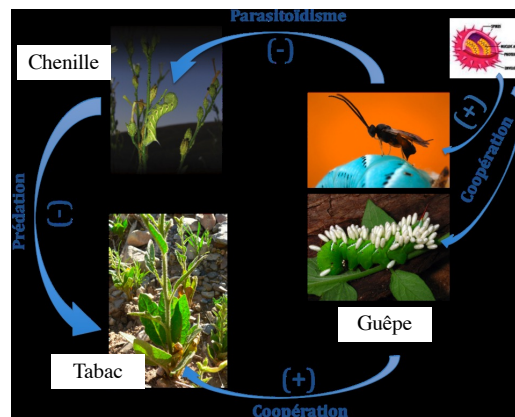
Flux de carbone entre *Betula papyrifera* et *Pseudotsuga menziesii* (âgés de 3 ans) reliés par des ectomycorhizes, en % de la photosynthèse totale de l'ensemble des deux espèces.

Eclairage du Douglas	Flux brut Bouleau vers Douglas	Flux brut Douglas vers Bouleau	Flux net Bouleau vers Douglas
Ombre	10,1 %	0,6 %	9,5 %
Mi-ombre	4,8 %	0,5 %	4,3 %
Lumière	3,3 %	0,5 %	2,7 %

Travaux de Simard S.W. et al.

Dans cette expérience, un bouleau et un douglas ont été interconnectés via une mycorhize. Les deux arbres échangent du carbone issu de la photosynthèse via la mycorhize, mais l'échange est déséquilibré et en faveur du douglas lorsque celui-ci est placé à l'ombre alors que le bouleau est placé à la lumière. Il est probable que des sels minéraux sont également échangés, en faveur du bouleau lorsque celui-ci est à la lumière. Ainsi, les deux arbres équilibrent leurs rapports carbone/azote, carbone/phosphore, etc. ce qui est avantageux pour les deux.

5. Interactions multiples: tabac, chenille, guêpe



Un bel exemple de coévolution, ou de course aux armements!

- Le tabac tente d'empoisonner son prédateur, la chenille, avec un alcaloïde (nicotine).
- Mais, les chenilles ont développé une résistance à la nicotine et se nourrissent de feuilles de tabac.
- Le tabac détecte certaines molécules produites par les chenilles (acides aminés et acides gras).
- Le tabac ralentit alors la synthèse de nicotine et déclenche la synthèse de composés volatils qui attirent une guêpe parasite de la chenille.
- Cette guêpe pond ses œufs dans la chenille.
- La chenille avec son système immunitaire tente de neutraliser les œufs de guêpe.
- Mais la chenille neutralise rarement tous les œufs car la guêpe a développé un

mécanisme de suppression de l'immunité de la chenille : des virus sont introduits par la guêpe dans la chenille.

- Ces virus inactivent les mécanismes de défense de la chenille et suppriment sa métamorphose en adulte.
- Les larves de guêpes peuvent ainsi achever leur propre développement et migrer à la surface de la chenille où elles se transforment en cocons blancs, puis en adultes.

Et l'histoire n'est peut-être pas finie !