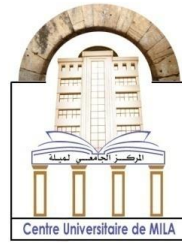


Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf, Mila
Institut des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Ecologie et d'Environnement



Polycopié de cours

Biologie de la conservation

*Destiné aux étudiants de 2^{ème} année Master
Spécialité : Protection des écosystèmes*

Auteur : Dr. LAALA Ahmed

Année Universitaire : 2022/2023

Chapitre 1

Notions sur la diversité biologique

Chapitre 1. Notions sur la diversité biologique

1.1. La diversité biologique :

Le terme « diversité biologique » est inventé par Thomas Lovejoy, biologiste américain, qui l'a utilisé dans deux publications en 1980. Par la suite, l'expression est contractée en « biodiversité » par Walter Rosen en 1986. Le Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992 est une étape majeure dans la prise de conscience internationale de la crise environnementale. La Convention sur la Diversité Biologique (CDB) signée lors de ce Sommet reconnaît pour la première fois l'importance de la conservation de la biodiversité pour l'ensemble de l'humanité.

Le concept de diversité biologique (ou biodiversité) fait référence à l'ensemble des variations qui existent au sein du monde vivant, c'est-à-dire au nombre, à la variabilité des organismes et des éléments qu'ils constituent par association.

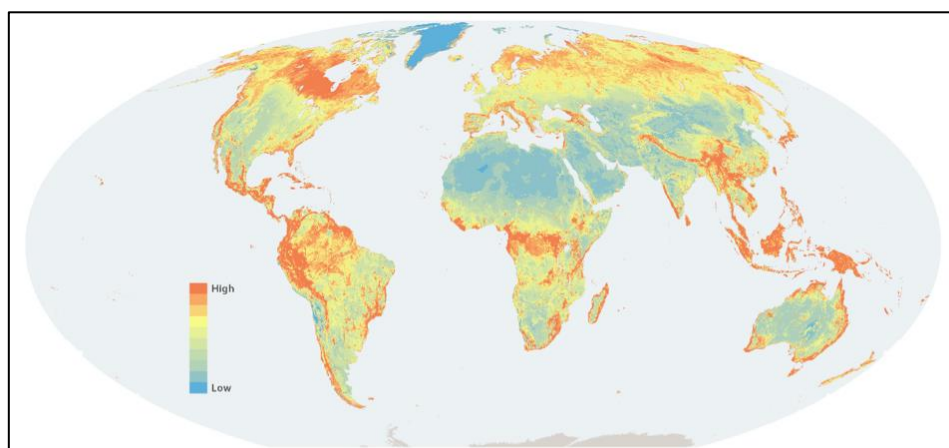


Figure 1. Zones d'importance mondiale pour la conservation de la biodiversité et le stockage du carbone (Source : Nature Map)

La CDB définit la diversité biologique comme « la variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes ». Cette diversité est le résultat de milliards d'années de constante évolution. Elle est donc en même temps fondement et potentiel pour tous les processus de la vie et des écosystèmes de notre planète, présents et à venir.

Il est évident que le terme biodiversité est interprété différemment selon les groupes sociaux en présence. Systématiciens, économistes, agronomes ou sociologues, ont chacun une vision sectorielle de la biodiversité. Les biologistes la définiront comme la diversité de toutes les formes du

vivant. L'agriculteur en exploitera les races et variétés à travers des sols, des terroirs et des régions aux potentialités multiples. L'industriel y verra un réservoir de gènes pour les biotechnologies ou un ensemble de ressources biologiques exploitables (bois, pêche, etc.). Quant au public, il s'intéresse le plus souvent aux paysages et aux espèces charismatiques menacées de disparition.

Soulignons que selon les recensements actuels, les hotspots (cf. figure 1) et megadivers concentrent quasiment 70% de la biodiversité mondiale ; ces zones sont situées pour la plupart dans des régions connaissant un taux de croissance démographique relativement élevé ainsi que des difficultés politiques et socioéconomiques.

Le terme « Hot spot » désigne les régions qui répondent à deux critères stricts : elles contiennent au moins 1500 espèces de plantes vasculaires endémiques (plus de 0,5% du total mondial), et ont perdu au moins 70% de leur habitat naturel. Ces hauts lieux de biodiversité menacés représentent la moitié des espèces recensées à ce jour.

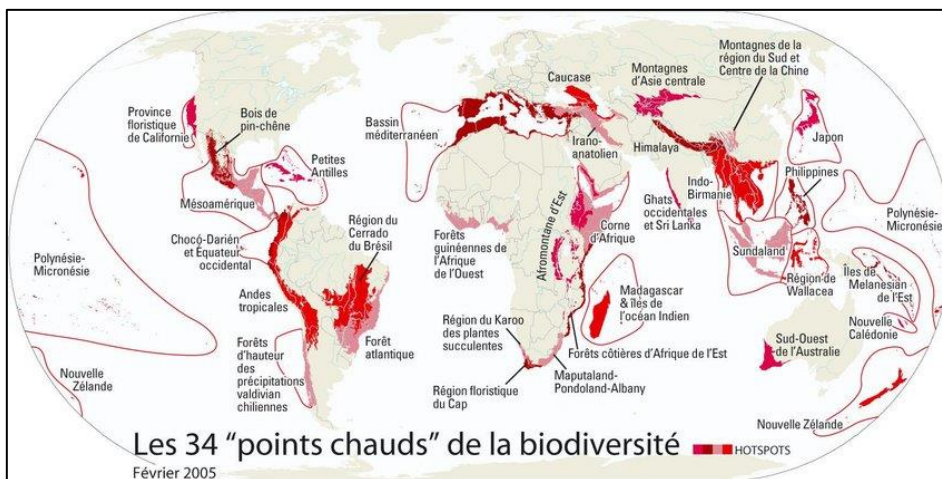


Figure 2. Répartition des hotspots de la biodiversité dans le monde (Myers et al., 2000)

1.2. Les niveaux de biodiversité :

La biodiversité recouvre trois niveaux de variabilité du monde vivant : au sein des espèces vivantes (ou diversité génétique), entre les espèces (diversité interspécifique) et entre les écosystèmes (diversité écosystémique). Ces trois niveaux de diversité biologique sont liés entre eux et les variations au sein de l'un de ces niveaux se répercutent directement sur les autres.

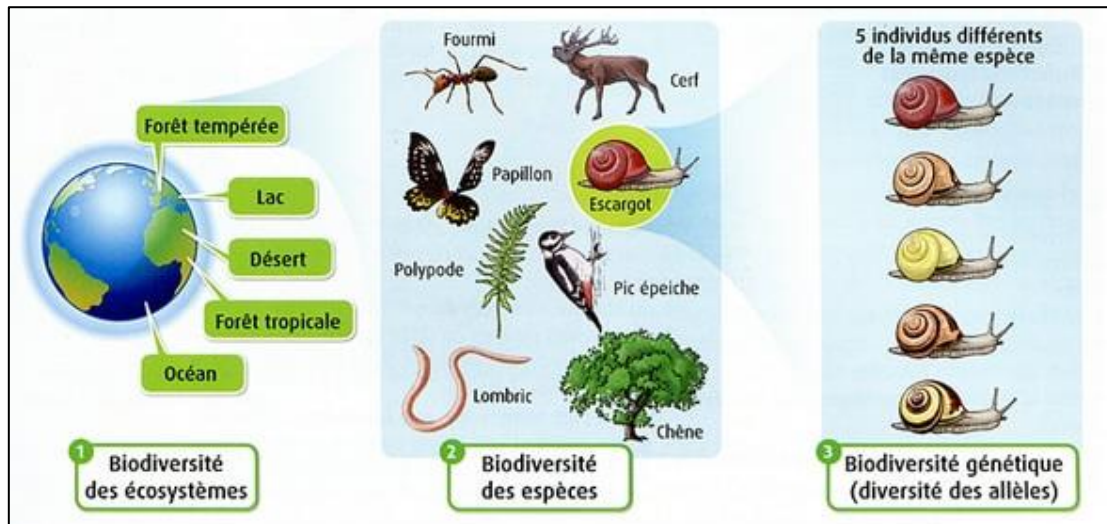


Figure 3. Les trois niveaux de la biodiversité

1.2.1. Diversité génétique :

Correspond à la variation des gènes au sein d'une même espèce. Les sous-espèces et les variétés sont des exemples d'expression de la diversité génétique. Ce sont les gènes qui déterminent la manière dont un organisme va grandir et développer des capacités qui lui seront propres. Autrement dit la diversité génétique est la variété qui existe au niveau des allèles, celui des gènes entiers ou celui de la structure chromosomique.

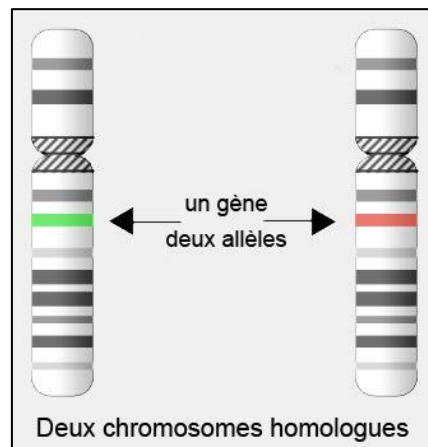


Figure 4. Diversité des allèles

La diversité génétique permet aux espèces de s'adapter face aux modifications de l'environnement. Une variabilité génétique élevée est considérée comme étant saine, car elle permet d'assurer que certains individus seront en mesure de répondre à des menaces comme les maladies, parasites, prédateurs ou changements environnementaux. À l'inverse, une faible variabilité génétique réduit la capacité d'une espèce à répondre à ces pressions, sur le moyen et long terme.

1.2.2. Diversité des espèces (spécifique) :

La diversité des espèces, aussi appelée « spécifique » ou « interspécifique » par opposition à la diversité génétique « intraspécifique », est la diversité entre les espèces et les populations. La diversité des espèces est la plus simple à observer et la plus fréquemment étudiée.

Les espèces ont un rôle spécifique à jouer dans leurs écosystèmes respectifs. L'augmentation ou la diminution d'une population sont des indicateurs facilement perceptibles de la santé d'un milieu naturel. La manière la plus simple pour mesurer la diversité des espèces consiste à déterminer la richesse en espèces (le nombre total d'espèces présentes à un endroit donné). Ainsi, il existe 108 espèces de mammifères et plus de 1900 espèces d'insectes en Algérie.

1.2.3. Diversité écosystémique :

La diversité écosystémique caractérise la variabilité des écosystèmes, leur dispersion sur la planète et reflète la richesse des relations structurelles et fonctionnelles entre les espèces, les populations et avec les écosystèmes. La diversité écosystémique est la diversité de tous les écosystèmes qui existent sur la planète comme les forêts tropicales et tempérées, les déserts, les marais, les rivières, les montagnes, les récifs coralliens, etc., mais également l'environnement rural et urbain.

Les relations entre êtres vivants sont très complexes, elles peuvent être d'ordre trophique (chaînes alimentaires, symbioses, parasitismes...), génétique (flux de gènes) etc. Les relations milieu-êtres vivants ont également une importance capitale dans l'expression de la biodiversité.

1.3. Fonctions des espèces dans les écosystèmes

Les espèces diffèrent les unes des autres dans la manière dont elles utilisent et transforment les ressources, dans leur impact sur l'environnement physico-chimique, et dans leurs interactions avec les autres espèces. On les caractérise par leur niche écologique.

1.3.1. Les espèces clés

Le concept d'espèce clé postule que certaines espèces sont plus importantes que d'autres dans le réseau des interactions d'un écosystème. L'espèce clé serait, par exemple, celle dont la perte provoquerait des changements importants dans la structure et le fonctionnement général.

On distingue ainsi les prédateurs clés qui sont des espèces dont la présence limite fortement celle des autres. À cette catégorie appartiennent par exemple les poissons planctivores (ils limitent l'abondance, voire la présence de zooplancton de grande taille dans les lacs) ou les grands prédateurs terrestres (leur disparition en Europe a eu pour conséquence la prolifération de ravageurs des

cultures). À l’opposé, les mutualistes clés sont des organismes directement ou indirectement nécessaires au maintien d’autres populations. Par exemple, l’abondance des fécondations chez les plantes dépend souvent de la présence d’une faune variée de pollinisateurs (essentiellement des insectes).

1.3.2. Les organismes ingénieurs

Ce sont des organismes qui contrôlent directement ou indirectement la disponibilité des ressources pour les autres espèces en provoquant des changements dans l’état physique de leur environnement. Les ingénieurs autogènes modifient l’environnement du fait de leur propre structure physique. C’est le cas des arbres et des coraux qui, du fait de leurs structures physiques, créent des habitats pour d’autres espèces.

Les ingénieurs allogènes modifient l’environnement en transformant sa structure. Ainsi, le castor, en coupant des arbres pour construire des barrages, modifie l’hydrologie et l’écologie des rivières. D’autres exemples d’ingénieurs allogènes sont les termites, les fourmis et les vers de terre qui creusent et mélangent les sols, modifient leur composition organique et minérale, ainsi que le cycle des éléments nutritifs et le drainage.

Tableau 1. Exemples d’organismes ingénieurs

Organismes	Activité d’ingénieur
Bactéries	<ul style="list-style-type: none"> • Décomposition de la matière organique. • Enrichissement de l’atmosphère et des milieux aquatiques en oxygène. • Construction d’habitat en milieux marin.
Protistes, Algues, lichens	<ul style="list-style-type: none"> • Enrichissement de l’atmosphère en oxygène (algues). • Construction ou participation à la construction des récifs calcaires (algues et protistes). • Capture du carbone atmosphérique.
Champignon	<ul style="list-style-type: none"> • Décomposition de la matière organique. • Extraction des minéraux du sol (mycorhize).
Plante	<ul style="list-style-type: none"> • Enrichissement de l’atmosphère en oxygène et fixation de dioxyde de carbone. • Modification de l’hygrométrie par l’évapotranspiration • Modification du climat (microclimat forestier) • Formation d’habitas en modifiant l’ombre, le relief et l’humidité.
Animaux	<ul style="list-style-type: none"> • Construction des récifs coralliens et calcaires. • Construction d’abris tel les terriers, les galeries, les nids, termitières géantes. • construction des plans d’eau. • Participation à la formation des sols par le lessivage des roches

1.3.3. Groupes fonctionnels

Il n'est pas toujours possible de déterminer précisément la contribution relative de chacune des espèces aux processus écologiques. On appelle « groupes fonctionnels » des ensembles d'espèces exerçant une action comparable sur un processus déterminé ou répondant de manière similaire à des changements des contraintes externes. C'est par exemple l'ensemble des espèces qui exploitent la même catégorie de ressources alimentaires, ou l'ensemble des espèces intervenant sur certains grands cycles biogéochimiques (azote, carbone, etc.).

Une fonction peut être assurée par une seule espèce ou un nombre limité d'espèces dans un écosystème. Elle l'est parfois par un grand nombre d'espèces dans un autre écosystème. On parle de redondance fonctionnelle, lorsque plusieurs espèces occupent la même niche spatiale où elles assurent des fonctions similaires, même si leur importance relative peut varier.

Les organismes situés à la base des chaînes trophiques ont un rôle primordial dans la formation de la matière organique par la photosynthèse, tandis que les espèces dans le sommet des chaînes alimentaires ont un rôle de contrôle de populations inférieures par consommation ou prédation. Par exemple un groupement fonctionnel constitué d'insecte, oiseaux, rongeurs ont un rôle de pollinisation des plantes. Un autre groupement fonctionnel constitué de plante vasculaire contrôle le climat.

1.3.4. Le cas des espèces rares

Il existe dans tout écosystème des espèces rares que l'on observe occasionnellement. Certaines sont des espèces de grande taille qui ont besoin d'un espace vital plus grand. D'autres sont des espèces dont les populations sont en voie d'extinction dans le biotope échantillonné, ou qui n'y trouvent plus les conditions écologiques favorables à leur pérennisation. D'autres encore, dans des milieux qui présentent une grande variabilité interannuelle, peuvent être considérées comme des espèces « en réserve », qui se mettront à proliférer dans certaines conditions écologiques. Ainsi, les peuplements de poissons des fleuves sahéliens contiennent des espèces qui se développent habituellement dans les eaux courantes lorsque la pluviométrie est favorable, et d'autres qui se mettent à proliférer dans les conditions palustres que l'on observe lors des périodes de sécheresse.

1.4. Les services rendus par la biodiversité

Les services rendus par la biodiversité (appelés services « écosystémiques » ou « écologiques ») sont innombrables et souvent vitaux pour les hommes qui n'en ont pas toujours conscience. La notion de « service écosystémique » vise à décrire ces biens et services que la biodiversité fournit à la société, et qui sont nécessaires à son fonctionnement.

1.4.1. Les services de support ou d'auto-entretien

Ce sont les services qui permettent la mise en place des autres services et sont liés à l'existence de la vie sur terre : il s'agit de la formation des sols, de la production primaire (qui associe photosynthèse et formation du vivant) ou encore, et non des moindres, de la production d'oxygène.

Ils sont différents des trois autres catégories de services, par le fait que leurs effets sur les hommes sont soit indirects soit apparaissent sur des longues périodes de temps. Ainsi, certains services, tel que le contrôle de l'érosion, peuvent être caractérisés aussi bien comme « support » ou « de régulation » en fonction de l'échelle de temps des effets de ses changements sur les êtres humains.

Par exemple, les êtres humains n'utilisent pas directement les services de formation de sol de l'écosystème (services « support »), même si des changements dans ce service affecteraient indirectement les êtres humains par l'effet sur la production alimentaire.

1.4.2. Services d'approvisionnement en biens et ressources :

Les services de production ou d'approvisionnement directement utiles à l'homme. Il s'agit en effet de la fourniture de nourriture (plantes et animales), de bois, de fibre (coton, laine), ou encore de médicaments sans oublier l'eau, élément vital par excellence. Par l'exploitation des écosystèmes, les hommes obtiennent des produits commercialisables.

Exemples :

- la nourriture, les fibres. Cette catégorie inclut une large catégorie de produits alimentaires dérivés de plantes, animaux, bactéries, ainsi que des matériaux tels que le bois, le jute, le chanvre, la soie... ;

- le combustible : bois énergie, tourbe, le fumier et autres matériaux qui servent de sources d'énergie ; - les ressources génétiques qui incluent les gènes et l'information génétique utilisée pour l'élevage des animaux, la culture des plantes et la biotechnologie ;

- les substances chimiques : beaucoup de médicaments, biocides, additifs alimentaires tels que les alginates, et matériaux biologiques sont dérivés des écosystèmes ;

- les plantes médicinales, les ressources ornementales sont les produits tels que les peaux et les coquillages, les fleurs utilisées comme ornements, même si la valeur de ces ressources est souvent déterminée par le contexte culturel de leur usage ;

- les matériaux de construction : bois, sablons, etc. ;

- la faune chassable.

1.4.3. Services de régulation :

Généralement non appropriables, ces services traduisent la capacité des écosystèmes à modérer ou réguler, des phénomènes comme le climat, différents aspects du cycle de l'eau, l'occurrence et l'ampleur des maladies, ou à protéger d'événements catastrophiques. Les écosystèmes dans leur fonctionnement, sont directement impliqués dans les échanges avec l'atmosphère et donc sur la qualité de l'air et du climat, dans la purification de l'eau et des déchets, dans la régulation des risques naturels et de l'érosion, etc. Il est bien évident pour chacun que la gestion des éco- ou des agrosystèmes influencent directement ces services de régulation et que l'homme dans sa gestion de la nature peut influencer ces services.

Exemples :

- le maintien de la qualité de l'air : les écosystèmes apportent des produits chimiques et extraient des produits chimiques de l'atmosphère, influençant ainsi la qualité de l'air ;

- la régulation du climat : les écosystèmes influencent le climat aussi bien à échelle locale qu'à échelle globale. Par exemple, à échelle locale, des changements dans l'occupation du sol peuvent influencer aussi bien les températures et le régime des précipitations. A échelle globale, les écosystèmes peuvent jouer un rôle important dans le climat, soit en séquestrant soit en émettant des gaz à effet de serre.

- le cycle de l'eau : la récurrence et l'importance du ruissellement, des inondations, et la recharge des aquifères peuvent être fortement influencés par les changements dans l'occupation des sols, par des altérations qui peuvent changer le potentiel de stockage de l'eau au niveau de l'écosystème. De telles altérations peuvent être déterminées par la conversion des zones humides ou des forêts en zones agricoles, ou des zones agricoles en zones urbaines ;

- le contrôle de l'érosion ;

- la couverture végétale joue un rôle important dans la rétention du sol et dans la prévention des glissements de terrain ;

- la purification de l'eau et le traitement des déchets. Les écosystèmes peuvent apporter des impuretés dans l'eau, mais peut aussi aider à filtrer et décomposer les déchets organiques introduits dans les zones humides, les eaux intérieures et les écosystèmes marins ;

- la régulation des maladies humaines : les changements dans les écosystèmes peuvent changer directement l'abondance des pathogènes humains ; tels que le cholera, et peut altérer l'abondance des vecteurs de maladies, tels que les moustiques ;

- le contrôle biologique : les changements des écosystèmes peuvent affecter la prévalence des maladies et des prédateurs des cultures et du cheptel ;
- la pollinisation : les changements des écosystèmes peuvent affecter la distribution, l'abondance et l'efficacité de la pollinisation ;
- la protection contre les tempêtes et contre les inondations comme par exemple, la présence des écosystèmes forestiers peut diminuer l'intensité des vents et/ou des eaux.

1.4.4. Services culturels :

Ils désignent toutes les utilisations de services écosystémiques à des fins récréatives, esthétiques, spirituelles ou éducatives. Les écosystèmes et leurs espèces contribuent à la diversité des paysages et permettent aux êtres humains d'y puiser une satisfaction d'ordre esthétique. De plus, la biodiversité est source de détente. Le développement de la culture et des sociétés humaines est intimement lié à la biodiversité (notamment les connaissances traditionnelles en matière de plantes médicinales).

Services de Support/Soutien	Services de Approvisionnement	Services de Régulation	Services Culturels
<ul style="list-style-type: none"> • Cycle de la matière • Cycle de l'eau • Formation des sols • Conservation de la biodiversité 	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentation • Eau • Fibres • Combustible • Ressources génétiques • Produits biochimiques et pharmaceutiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Du climat • De la qualité de l'air • Des flux hydriques • De l'érosion • Des maladies • Des parasites • De la pollinisation • Des risques naturels 	<ul style="list-style-type: none"> • Valeurs spirituelles et religieuses • Valeurs esthétiques • Récréation et écotourisme

Figure 5. Typologie des services écosystémiques

1.5. Mesure de la biodiversité

L'écologie utilise différents descripteurs statistiques pour caractériser la diversité des peuplements. Lorsqu'il étudie les peuplements d'un écosystème, il va plutôt se référer à différents indices plus précis. Les premiers d'entre-eux concernent la richesse spécifique, la biomasse ou encore l'abondance d'une espèce. Les seconds concernent la diversité spécifique à un habitat, voire un écosystème particulier.

Plusieurs types d'indicateurs peuvent être théorisés et mis en pratique afin de décrire au mieux les enjeux relatifs à la biodiversité. Ils s'appuient sur des conceptions différentes et complémentaires de la diversité biologique.

1.5.1. La variabilité génétique :

C'est l'une des plus immédiate à obtenir, car elle est très liée au nombre d'individus dans une population : plus il y a d'individus, plus le patrimoine génétique de l'espèce sera varié et mieux elle pourra faire face aux changements et se maintenir.

1.5.2. La diversité spécifique

Elle prend en compte deux choses : la richesse spécifique et l'abondance des populations (cette diversité peut être définie à d'autres niveaux de taxons. Un taxon est un groupe conceptuel qui réunit des espèces qui partagent des caractéristiques semblables).

1.5.3. La diversité fonctionnelle d'un écosystème

On peut également considérer non seulement la diversité des espèces mais aussi la diversité de leurs compétences et caractéristiques dans le maintien et l'auto entretien de l'écosystème. Cela nécessite de prendre en compte la diversité des groupes taxonomiques qui composent l'écosystème, la façon dont se déploient les interactions, leur intensité (Levrel, 2007).

Il existe différentes expressions de la diversité :

- La diversité alpha (α) ou diversité locale, entre les différents relevés à l'intérieur d'une zone (diversité intrazone) ;
- La diversité bêta (β) : diversité de relevé entre des zones différentes (diversité interzone) ;
- La diversité gamma (γ) qui représente la richesse spécifique globale.

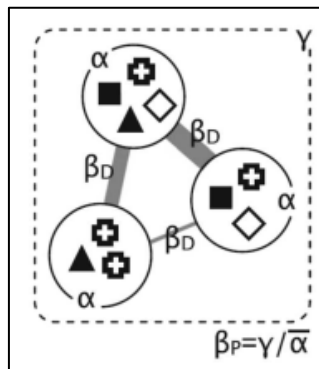


Figure 6. Illustration des trois échelles spatiales de la diversité, alpha, beta et gamma (Jurasinski et al., 2008)

1.5.3.1. La diversité des taxons (diversité alpha) :

C'est l'une des plus théorisées. S'appuyant sur les travaux des mathématiciens Claude Shannon et Norbert Wiener, cette approche considère la diversité taxonomique des espèces au sein d'une aire donnée. Les indices de **Shannon** et de **Simpsons** sont les plus utilisés et permettent d'avoir un indicateur composite prenant en compte les différentes espèces, leur abondance et leur proportion dans l'écosystème.

Indice de Shannon-Weaver

L'indice de diversité le plus couramment employé est l'indice de Shannon. Il est aussi appelé indice de Shannon-Wiener, bien que ces deux mathématiciens n'aient pas travaillé conjointement dessus. H' correspond à l'indice de Shannon, selon la formulation suivante :

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

p_i = l'abondance proportionnelle ou pourcentage d'abondance d'une espèce présente ($p_i = n_i/N$) ;

n_i = le nombre d'individus dénombrés pour une espèce présente ;

N = le nombre total d'individus dénombrés, toute espèce confondue ;

S = le nombre total ou cardinal de la liste d'espèces présentes.

L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité spécifique d'un peuplement étudié. Pour rappel, la diversité spécifique caractérise le nombre plus ou moins grand d'espèces présentes dans un peuplement. S'il est homogène (constitué d'une seule et même espèce), alors l'indice $H' = 0$.

Plus nous sommes en présence d'espèces différentes, plus sa valeur augmente de façon logarithmique. Il est ainsi fréquent de voir des valeurs H' comprises entre 1 et 5 pour tenir compte de la diversité spécifique. Ceci est lié au fait que l'indice de Shannon est forcément lié à la taille de l'échantillon. Enfin, la valeur $H_{max} = \log_2(S)$ correspond à un peuplement hétérogène pour lequel tous les individus de toutes les espèces sont répartis d'une façon égale. L'indice H' varie donc entre ces deux limites.

Pour mieux discuter cet indice de Shannon, il s'accompagne souvent de l'indice **d'équitabilité de Pielou (J)**, ou **indice d'équirépartition (E)**. Sa formule correspond au rapport entre H' et H_{max} :

$$E = H'/H_{max}.$$

Cet indice varie donc entre 0 et 1. S’il tend vers $E = 1$, alors les espèces présentes dans le peuplement ont des abondances identiques. S’il tend vers $E = 0$, alors nous sommes en présence d’un déséquilibre où une seule espèce domine tout le peuplement.

Une communauté comprenant beaucoup d’espèces mais avec une espèce dominante n’est pas perçue intuitivement comme plus diverse qu’une communauté avec moins d’espèces, mais dont les effectifs sont proches (Figure 1.1, colonne de gauche). La prise en compte de deux composantes de la diversité, appelées richesse et équitabilité, est nécessaire. Une communauté de 7 espèces semble plus diverse qu’une communauté de 2 espèces. A richesse égale, une communauté moins équitable (à gauche) semble moins diverse. Une communauté moins riche (en haut) peut sembler plus diverse si elle est plus équitable.

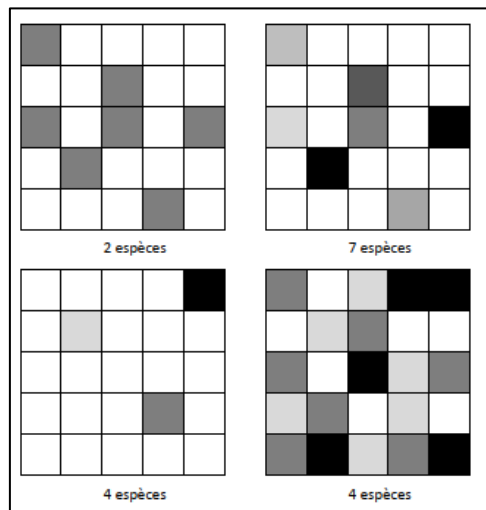


Figure 7. Importance de la richesse (en haut) et de l’équitabilité (en bas) pour la définition de la diversité (Marcon, 2015)

Les deux indices (indice de Shannon et l’indice d’équitabilité de Piélou) permettent notamment de suivre les changements temporels d’un peuplement (c’est-à-dire l’ensemble des espèces d’un territoire donné partageant une écologie semblable). L’apparition d’une espèce invasive ou les pics d’opportunistes entraînent une baisse significative conjointe de H' et E . A l’inverse, un écotone (zone de transition écologique entre deux écosystèmes) ou un peuplement à l’équilibre présente des indices élevés. C’est pourquoi il faut prendre en compte ces deux indices de manière concomitante afin d’apprécier l’état d’un écosystème.

L’indice de Shannon tend à augmenter lorsque sont présentes des espèces rares. Par exemple, le calcul de l’indice de Shannon sur un hotspot d’oiseaux migrateur réputé pour ses coches insolites en automne peut gonfler artificiellement avec le passage de raretés. De même, l’indice de Shannon est fortement dépendant du type d’habitat.

Les valeurs obtenues par l'indice de Shannon restent donc relatives, seulement comparables entre-elles pour des stations de mêmes peuplements ou selon une échelle temporelle. Employer cet indice comme valeur comparative absolue pour évaluer la qualité d'écosystèmes entre-eux présente donc un risque de confusion.

Indice de Simpson

Cet indice mesure la probabilité que deux individus pris au hasard appartiennent au même groupe. Plusieurs formes de l'indice existent dans la littérature scientifique, ce qui peut compliquer l'interprétation des valeurs. Nous nous appuyerons sur la probabilité que deux individus appartiennent à la même espèce selon la formule originelle de Simpson :

$$P(\omega) = \sum (p_i^2).$$

Il en découle deux formules, suivant que l'échantillon est infini (tirage avec remise, indice λ) ou fini (tirage sans remise, indice L). Par exemple, dans le cas d'un peuplement de phytoplancton par m³ d'eau de mer, on préférera l'indice λ . Pour suivre une population d'oiseaux forestiers par hectare, nous utiliserons l'indice L.

$$\lambda = \sum_{i=1}^s (p_i)^2$$

$$L = \frac{\sum_{i=1}^s n_i \cdot (n_i - 1)}{N \cdot (N - 1)}$$

p_i = proportion d'individus de l'espèce i ($p_i = n_i/N$) ;

n_i = nombre d'individus de l'espèce i ;

N = nombre total d'individus ;

S = le nombre total ou cardinal de la liste d'espèces présentes.

Plus cet indice est proche de 1, plus le peuplement est homogène.

Indice de Hill

Cet indice propose une mesure de l'abondance proportionnelle, en comparant entre-eux les indices de Shannon et de Simpson. L'indice de diversité de Hill ainsi obtenu a pour objectif d'apprécier le rapport entre d'un côté la prise en compte des espèces abondantes (Simpson) et de

l'autre l'influence des espèces rares (Shannon). L'indice de Hill apparaît donc comme un indice synthétique.

$$Hill = \frac{\lambda^{-1}}{e^{H'}}$$

Lorsque Hill tend vers 0, alors la biodiversité est plus importante. Cet indice peut sembler plus pertinent dans une synthèse de résultats terrain, cependant il peut être intéressant de comparer les trois indices simultanément pour mieux apprécier la structure des communautés.

1.5.3.2. La diversité beta

Elle consiste à comparer la diversité des espèces entre écosystèmes similaires ou selon des gradients environnementaux (altitude, richesse en eau, variations de températures...). Cela suppose de comparer le nombre de taxons qui sont unique à chacun des écosystèmes. La diversité bêta mesure le changement de la diversité des espèces d'un environnement à l'autre. En termes plus simples, il calcule le nombre d'espèces qui ne sont pas les mêmes dans deux environnements différents. Un indice de diversité bêta élevé indique un faible niveau de similarité, tandis qu'un indice de diversité bêta faible montre un niveau élevé de similarité.

Cette diversité se traduit par l'indice de similitude de **Sorensen** (1948) notamment, ou encore par la mesure **Whittaker** (1960).

Indice de similitude de Sørensen

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

Où, S_1 = le nombre total d'espèces enregistrées dans la première communauté, S_2 = le nombre total d'espèces enregistrées dans la seconde communauté, et c = le nombre d'espèces communes aux deux communautés. L'indice de Sørensen est une très simple mesure de la biodiversité bêta, variant de 0 lorsqu'il n'y a pas d'espèces communes entre les deux communautés, à la valeur 1 quand les mêmes espèces existe dans les deux communautés.

Mesure Whittaker

$$\beta = \frac{S}{\bar{\alpha}} \quad \text{or} \quad \beta = \frac{S}{\bar{\alpha}} - 1$$

Où, S = le nombre total d'espèces enregistrées dans les deux communautés, $\bar{\alpha}$ =moyenne du nombre d'espèces trouvées au sein des communautés.

1.5.3.3. La diversité gamma

Elle évalue la diversité des espèces sur une aire donnée, comparativement à la diversité des espèces dans d'autres endroits, pour un milieu donné (zones humides, littoral...). Il représente la richesse spécifique globale. La diversité γ est le taux d'addition de nouvelles espèces quand on échantillonne le même habitat en différents endroits. Elle correspond donc à la diversité à l'échelle régionale. Elle est très élevée dans les forêts tropicales humides, et moins élevées dans les milieux extrêmes (très froids, très chauds, très acides...).

- Autre approche :

Une approche complémentaire consiste à considérer **la diversité phylogénétique** des écosystèmes. C'est une mesure de la biodiversité considérant les relations de parenté entre les espèces. Cette mesure permet d'incorporer l'histoire évolutive dans les indices de biodiversité d'une communauté. Pour ce faire, il faut utiliser les longueurs de branches d'un arbre phylogénétique séparant les différentes unités taxonomiques (p.ex. les espèces) d'un ensemble.

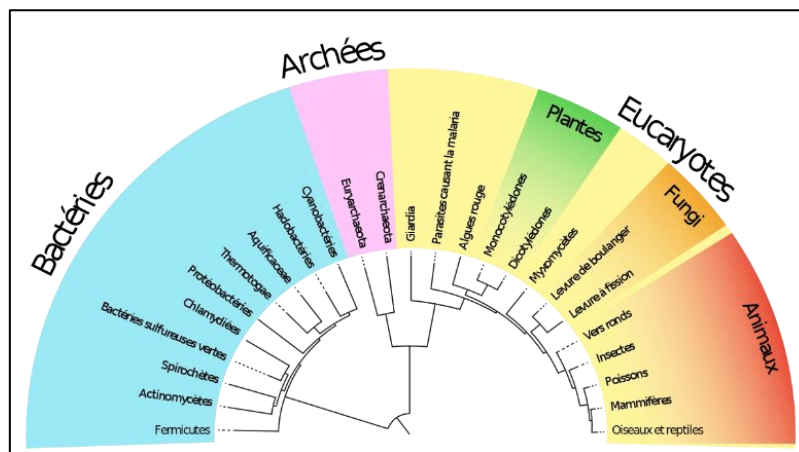


Figure 8. Arbre phylogénétique

Ainsi, contrairement à la richesse spécifique, qui ne s'intéresse qu'au nombre d'espèces présentes à un site, chaque taxon n'a pas le même poids dans la mesure de la diversité phylogénétique. Une espèce ayant divergé plus tôt que les autres aura un poids plus élevé, puisqu'elle a une plus longue histoire évolutive indépendante aux autres espèces. La diversité phylogénétique est associée à la diversité phénotypique et fonctionnelle, et donc, à la stabilité d'un écosystème et sa productivité. Cette mesure a été développée dans le but d'aider à identifier les priorités de conservation.

Parmi les mesures les plus communes on trouve l'approche des distances par paires (pairwise). Celle-ci mesure la distinction taxinomique d'une espèce à son plus proche voisin taxinomique. On peut aussi la mesurer par le minimum spanning path, c'est-à-dire la somme des branches de l'arbre

phylogénétique qui contient toutes les espèces dans une aire donnée ou le nombre de nœuds séparant les espèces.

1.5.4. Limites des indicateurs :

A. Les indicateurs de richesse spécifiques :

Ils sont les plus courants, mais comportent de nombreuses limites :

- ils sont peu informatifs quant aux dynamiques des écosystèmes, leurs aspects fonctionnels et génétiques ;
- on ne connaît qu'une petite partie des espèces et ces indicateurs rendent donc nécessairement très partiellement de la réalité de la biodiversité ;
- ils ne permettent pas de mesurer les réponses des différents taxons aux différentes pressions donc il est difficile de déduire de ces indicateurs un état de la biodiversité ;
- ce sont des indicateurs peu sensibles aux variations dans le temps court : les extinctions d'espèces spécialistes sont longues.

B. Les indicateurs d'abondance

Ils s'avèrent plus informatifs à court terme, notamment s'ils s'appuient sur des espèces dites « indicatrices ». Ces espèces, par leurs caractéristiques, servent de miroir à des phénomènes inobservables ou difficilement observables. Il existe plusieurs types d'espèces indicatrices :

- les espèces « ingénieur » qui ont un rôle structurant dans l'écosystème, à l'instar des vers de terre ;
- les espèces « parapluie », dont les conditions d'existence et de développement sont parmi les plus exigeantes en termes d'environnement. Leur présence et leur abondance peuvent ainsi attester d'un écosystème suffisamment équilibré pour garantir un bon habitat à toutes les autres espèces ;
- les espèces « clefs de voûte » qui sont au cœur des « relations interspécifiques », par exemple au sommet ou tout en bas de la chaîne trophique ;
- les espèces sensibles aux interactions avec leur écosystème (saumon, alouette...).

Ces indicateurs demandent une connaissance fine des espèces considérées et de leurs interactions au sein de l'écosystème. Toutefois, leurs usages sont limités : une hausse ou une baisse radicale du nombre d'individus peut agir comme « sonnette d'alarme », signalant un déséquilibre mais sans renseigner sur les causes, endogènes ou exogènes, de ces évolutions.

1.6. Les indicateurs de la biodiversité les plus utilisés :

Les indicateurs qui servent en pratique à informer les politiques publiques sont généralement assez directs :

- Living Planet Index
- Liste rouge de l'UICN ;
- Taux d'extinction des espèces pendant un intervalle de temps donné etc.

1.6.1. Indice Planète Vivante WWF :

Cet indicateur a été adopté par la Convention sur la diversité biologique, traité international adopté lors de la conférence des Nations Unies sur l’environnement et le développement à Rio en 1992. Le Living Planet Index ou l’Indice Planète Vivante est un indicateur d’état de la diversité biologique mondiale, prenant en compte les tendances observées chez un grand nombre d’espèces vertébrées terrestres, marines et d’eau douce. Cet indicateur mesure l’état de 1686 espèces de vertébrés à travers 5000 populations dans le monde. S’appuyant sur cet indicateur, le rapport d’évaluation mondiale sur la biodiversité et les services écosystémiques produit en 2019 par la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) montre à quel point la biodiversité s’effondre et que le taux de disparition s'est accéléré au cours de la période récente.

L’indicateur Living Planet Index, qui recense les vertébrés principalement, met en évidence une baisse de 68 % de leur population entre 1970 et 2016.

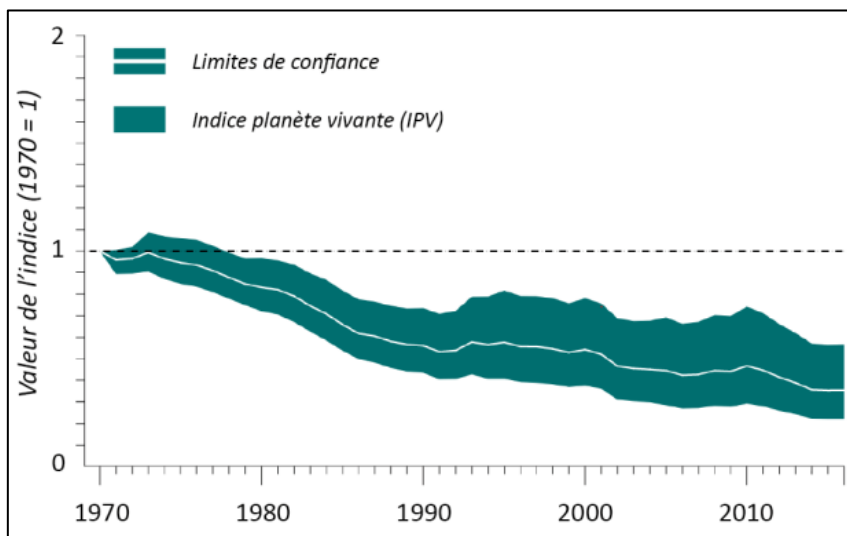


Figure 9. Indice planète vivante (IPV) (Living Planet Index) (WWF, 2020)

1.6.2. Liste rouge de l'UICN ;

L'un des indicateurs les plus utilisés à l'échelle mondiale est la liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) qui recense des dizaines de milliers d'espèces et suit leur évolution en termes de populations, souvent à partir d'échantillons observés partout dans le monde. Cette liste des espèces en danger d'extinction est remise à jour régulièrement, elle existe au niveau international, national voire régional.

Aussi, sur un total de 96 500 espèces inscrites sur la Liste rouge de l'UICN, 27 % sont menacées d'extinction, représentant 40 % des amphibiens et 14 % des oiseaux. Les espèces d'eau douce, avec un déclin de 83 % entre 1970 et 2014, sont particulièrement touchées. Plus de 40 % des espèces d'insectes sont menacées d'extinction au niveau mondial, lépidoptères, hyménoptères et coléoptères étant les taxons les plus touchés. Plus de 30 % des coraux sont menacés de blanchissement à court terme. On peut également aborder la question de la biodiversité par les habitats qui la favorisent. Ainsi, les forêts naturelles ont diminué de 6,5 millions d'hectares par an entre 2010 et 2015 ; au cours de la période, elles ont perdu une superficie plus grande que le Royaume-Uni. Les zones humides naturelles ont diminué de 35 % entre 1970 et 2015.

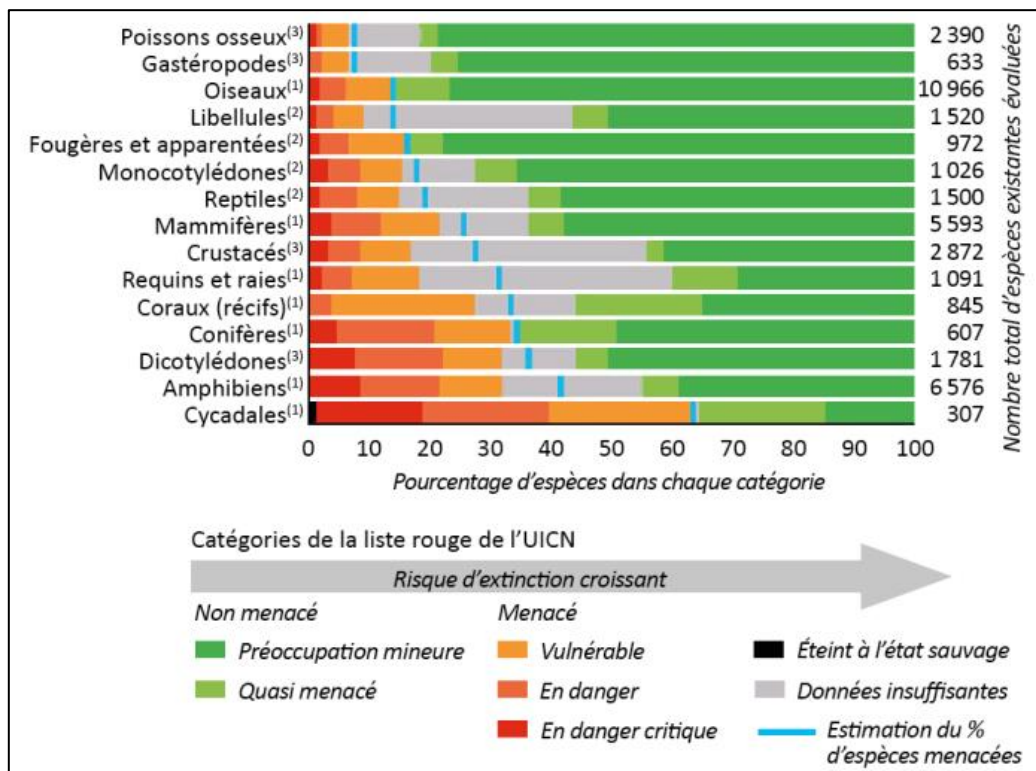


Figure 10. Risque d'extinction actuel au niveau mondial dans différents groupes d'espèces (IPBES, 2017)