

# 1 Écosystèmes et biodiversité

## 1.1 Écologie

L'**écologie** est une **science qui étudie les interactions des êtres vivants entre eux et avec leur milieu**. L'ensemble des êtres vivants, de leur milieu de vie et des relations qu'ils entretiennent forme un **écosystème**.

Le terme écologie est construit sur le grec οἶκος / oïkos (« maison, habitat ») et λόγος / lógos (« discours, raison ») : c'est la science de l'habitat. Il fut inventé en 1866 par Ernst Haeckel, biologiste allemand.

Une définition généralement admise, particulièrement utilisée en écologie humaine, admet l'écologie comme étant **le rapport triangulaire entre les individus d'une espèce, l'activité organisée de cette espèce et l'environnement de cette activité** ; l'environnement est à la fois le produit et la condition de cette activité, et donc de la survie de l'espèce.

Le terme écologiste peut désigner un scientifique spécialisé dans l'étude de l'écologie ou un adepte de l'écologisme, partisan de l'écologie politique. Le terme **écologue** désigne plus spécifiquement un spécialiste de l'écologie, qu'il soit chercheur, biologiste ou ingénieur, et aurait été inventé, dans les années 1980, pour distinguer les scientifiques des militants.

## 1.2 Écosystèmes

Un **écosystème** est un **ensemble formé par une communauté d'êtres vivants (biocénose) en interaction avec son environnement (biotope, les facteurs physiques)**. Les composants de l'écosystème développent un dense réseau de dépendances, d'échanges d'énergie, d'informations et de matière permettant le maintien et le développement de la vie.

Le biotope influence les espèces présentes (la biocénose). En retour, la biocénose va modifier le biotope (formation d'un sol, stockage d'humidité, stabilisation de la températures, ...).

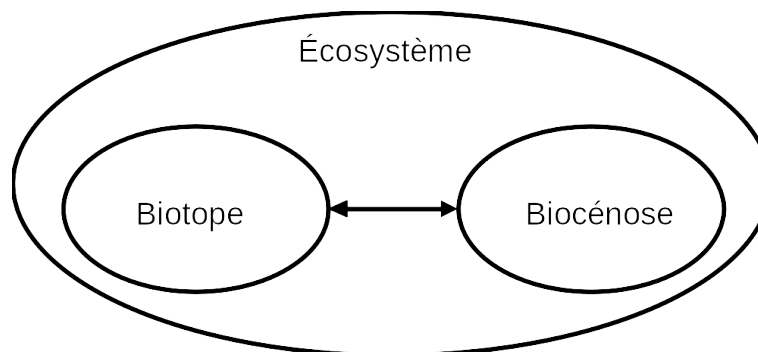


FIGURE 1 – L'écosystème.

Les écosystèmes contiennent des combinaisons d'espèces plus ou moins complexes que l'on peut organiser de manière simplifiée en producteurs primaires (les plantes autotrophes<sup>1</sup>), consommateurs (les animaux hétérotrophes<sup>2</sup>) et bio-réducteurs (micro-organismes -bactéries- responsables de la minéralisation de la matière organique). Ces différents groupes assurent tous ensemble les cycles de la matière, alimentés par l'énergie du soleil au sein d'un environnement d'éléments physiques, géologiques, pédologiques<sup>3</sup>, hydrologiques, climatiques, etc. Dans un écosystème équilibré, à chaque niveau, en interactions avec les autres niveaux, la quantité de biomasse est stable.

1. auto = soi-même, trophe = nourriture

2. hétéro = autre que soi-même, trophe = nourriture

3. relatif au sol.

La délimitation d'un écosystème est arbitraire : il n'y a pas de limites objectives, de frontières physiques. Il existe donc une quantité infinie d'écosystèmes. À l'échelle terrestre, il est possible de caractériser les différents types de milieux existants et d'établir une typologie, nécessairement incomplète et imprécise. Ces zones de vie, aussi appelées biomes ou écorégions, ont été classifiées par différents organismes dont le Fonds mondial pour la nature, qui en recense 14 pour le milieu terrestre.

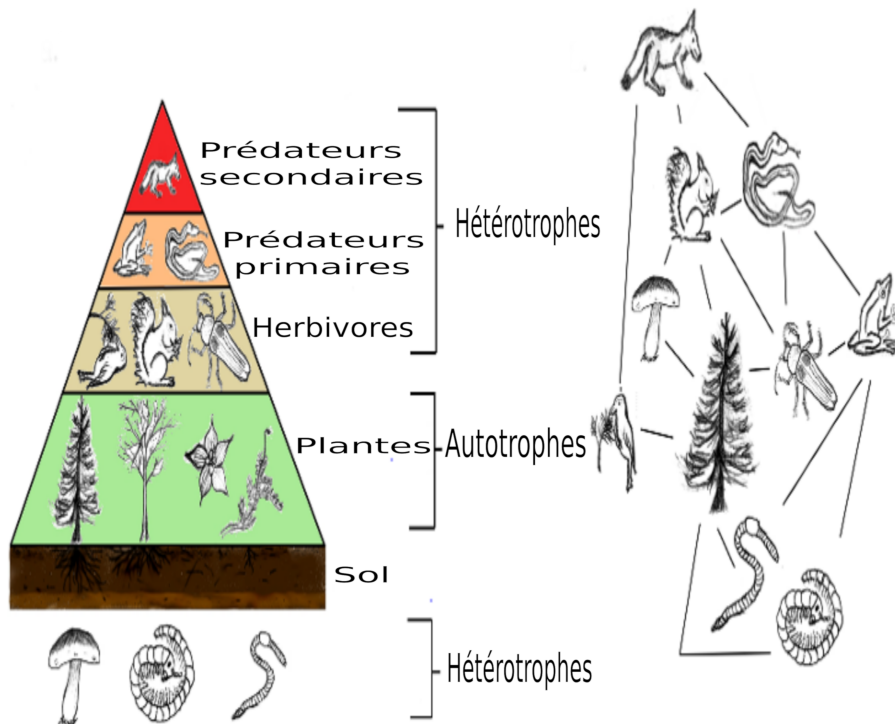
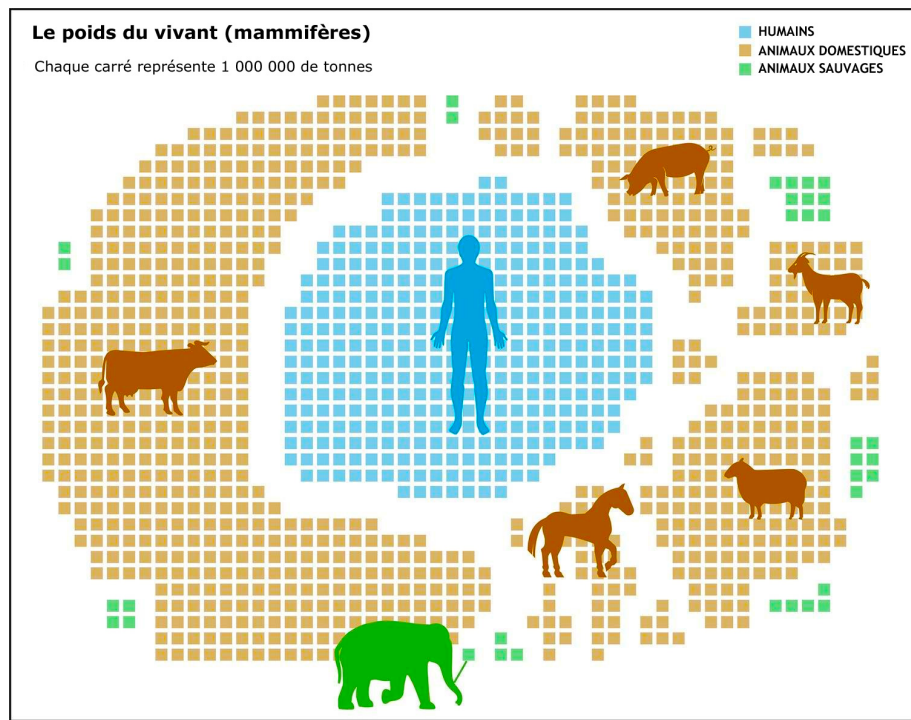


FIGURE 2 – Les chaînes trophiques.



Source: Vaclav Smil (2003) and Bar-On *et al.* (2018)

FIGURE 3 – Comparaison de la masse humaine, de la masse des mammifères domestiqués et des mammifères sauvages.

### 1.3 Biodiversité

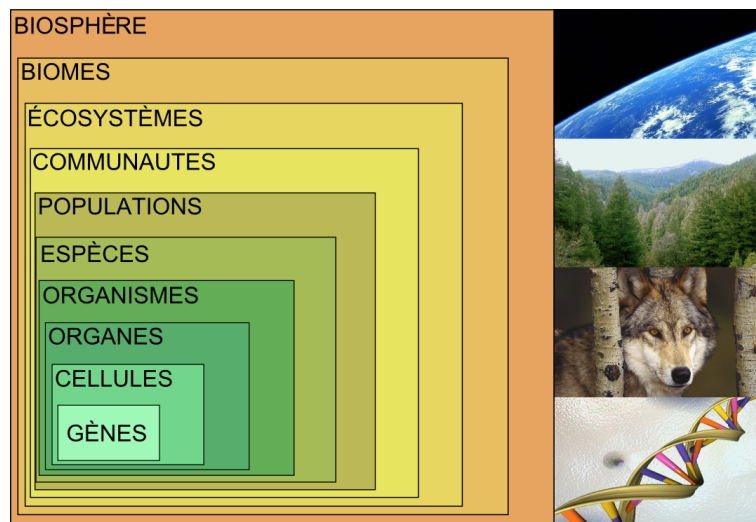


FIGURE 4 – Les différents niveaux d'organisation du vivant.

**La biodiversité désigne la variété des formes de vie sur la Terre.** Ce terme est composé du préfixe bio (du grec βίος « vie ») et du mot « diversité ». Elle s'apprécie en considérant la diversité des écosystèmes, des espèces et des gènes dans l'espace et dans le temps, ainsi que les interactions au sein de ces niveaux d'organisation et entre eux. Lorsque la science cherche à évaluer la biodiversité d'un lieu particulier, les différents éléments des listes d'espèces, écosystèmes ou gènes sont pondérés en fonction de leur rareté.

Le terme de « biodiversité » est donc très ambigu puisque interpénètre les différents niveaux d'organisation du vivant et peut donc désigner des concepts très différents :

- une diversité génétique ;
- une diversité d'individus (et donc une taille de la population d'une espèce) ;
- une diversité d'espèces ;
- une diversité d'écosystèmes.

## 1.4 Services écosystémiques

Les écosystèmes sont sources de très nombreux « bienfaits » pour l'espèce humaine, gratuits tant que les écosystèmes sont préservés. On les classe généralement en :

- **services d'approvisionnement** : nourriture, eau, oxygène, bois, fibres, matières et molécules organiques, molécule d'intérêt pharmaceutique, ressources génétiques auto-entretenues, etc.
- **services de régulation** : ils sont la condition du maintien des conditions favorables à la vie sur Terre, avec notamment les cycles bio-géo-écologiques des éléments (nutritifs ou non). Ce sont les systèmes bouclés de rétroactions qui sont nécessaires à la production de tous les autres services fournis par les écosystèmes. Ils contribuent notamment à l'entretien des équilibres écologiques locaux et globaux, la stabilité de la production d'oxygène atmosphérique et du climat global, la formation et la stabilité des sols, le cycle entretenu des éléments et l'offre d'habitat pour toutes les espèces (régulation macro- et micro-climatiques, régulation des inondations et des maladies, résilience des écosystèmes face aux catastrophes, etc.).
- **services culturels** : bénéfiques non matériels, enrichissement spirituel, plaisirs récréatifs et culturels, expérience et valeurs esthétiques, intérêt pédagogique offert par la nature utile aux relations sociales et à la formation humaine.

**Tous ces services dépendent de la biodiversité.**

## 1.5 Perte de biodiversité

Depuis le Sommet de la Terre de 1992, il est établi que la biodiversité est gravement menacée par les activités humaines et s'appauvrit d'année en année à un rythme sans précédent. Depuis sa dispersion il y a 100 000 ans, l'humain a eu un impact croissant sur l'environnement, jusqu'à en devenir le principal facteur de changement. Avec la révolution industrielle, le rapport de domination de l'humain sur son environnement est devenu si considérable que certains scientifiques soutiennent que ce fait marque l'entrée dans une nouvelle époque géologique, l'**Anthropocène**. La disparition des espèces est bien souvent le signe le plus visible de cette érosion de la biodiversité. À tel point que l'on parle parfois de « Sixième Extinction » pour désigner cette extinction massive et contemporaine des espèces, l'extinction de l'Holocène, en référence aux cinq grandes vagues d'extinctions massives survenues sur Terre au cours des temps géologiques.

Cinq menaces majeures pesant sur la biodiversité ont été identifiées : la destruction des habitats, la surexploitation, les espèces envahissantes, le changement climatique et la pollution.

### 1.5.1 Destruction et fragmentation des habitats

La détérioration des habitats a été la principale cause de l'érosion de la biodiversité ces cinquante dernières années, principalement en raison de la conversion de milieux naturels et semi-naturels en terres agricoles. Ainsi, 50 % de la superficie d'au moins la moitié des 14 biomes de la planète ont déjà été convertis en terres de culture. La déforestation a détruit 16 millions d'hectares de forêts par an dans les années 1990, et 13 millions d'hectares ont également disparu au cours des années 2000. L'une des principales conséquences de cette utilisation du sol est la fragmentation des habitats, qui a des répercussions graves sur de nombreuses espèces en empêchant les espèces de migrer vers des zones plus favorables.

### 1.5.2 Surexploitation des ressources naturelles

La croissance démographique exponentielle de la population mondiale a intensifié la pression liée à l'exploitation des ressources naturelles. Les espèces ou groupes d'espèces les plus surexploités sont les poissons et invertébrés marins, les arbres, les animaux chassés pour la « viande de brousse », et les plantes et les animaux recherchés pour le commerce d'espèces sauvages. En 2012, la FAO constate que 57 % des stocks de pêche en mer sont exploités au maximum de leur capacité et qu'environ 30 % sont en situation de surpêche. Près de 1 700 espèces animales sont victimes de braconnage ou de trafic (pour la viande, la peau, l'ivoire, les cornes ou le commerce d'animaux sauvages), à l'exemple de l'éléphant d'Afrique, du rhinocéros de Sumatra, du gorille de l'Ouest ou du pangolin de Chine.

### 1.5.3 Espèces envahissantes

Une espèce envahissante, espèce envahissante exogène ou espèce exotique envahissante (l'anglicisme espèce invasive est également utilisé en dehors des documents officiels) est une espèce vivante exotique (ou allochtone, non indigène, exogène ou étrangère) qui devient un agent de perturbation nuisible à la biodiversité autochtone des écosystèmes naturels ou semi-naturels parmi lesquels elle s'est établie. Son explosion démographique peut se traduire par une invasion biologique.

Il faut noter que la prolifération de ces espèces dénotent surtout d'un affaiblissement des écosystèmes autochtones et n'est possible que parce que l'être humain les a transportées de façon volontaire (plantes ou animaux d'ornements « échappées », introduction volontaire, ...) ou non (ballast des bateaux, transport d'insectes par les avions, ...).

En Belgique, on peut citer principalement diverses espèces comme :

- la renouée du Japon qui prolifère sur les berges des rivières et canaux. La difficulté de maîtrise de cette plante vient du fait qu'elle produit une toxine au niveau des racines (repoussant les autres espèces). On ne connaît de prédateurs ou de parasites de cette plante en Belgique (à l'inverse du Japon) ;
- la berce du Caucase qui pose un problème de santé publique. La sève organique produite par cette plante, après activation par les rayons solaires, produits de graves brûlure ;
- le frelon asiatique qui s'attaque aux ruches d'abeilles ;
- ...

De nombreuses autres exemples peuvent être trouvés.

### 1.5.4 Changement climatique

Le changement climatique a de nombreuses répercussions sur les écosystèmes. On peut citer :

- la remontée d'espèces méridionales (du sud) vers des contrées plus septentrionales (du nord) ;
- la disparition d'espèces méridionales qui n'ont pas la possibilité de migrer ;
- le blanchissement du corail tropical (en conjonction avec l'acidification des océans) ;
- une modification de la migration des oiseaux ;
- ...

De nombreuses espèces sont impactées par ce réchauffement global.

### 1.5.5 Pollutions

On définit généralement un polluant comme une nuisance de l'environnement. Ce terme est donc relativement peu précis et subjectif. Dans le cadre de ce cours, nous n'envisagerons que les polluants chimiques, c-à-d les substances ayant un impact négatif sur la santé humaine ou sur la biodiversité.

**Différents types de polluants** Vous trouverez ci-dessous une liste des polluants les plus courants.

- le  $CO_2$  émis par la combustion des énergies fossiles, principal responsable du réchauffement climatique global ;
- les particules fines, émises par les moteurs diesels ou le chauffage au mazout/charbon et produisant des problèmes respiratoires ;
- les pesticides (herbicides, insecticides, fongicides) rejetés par l'agriculture et les particuliers ;
- les oxydes d'azote ( $NO_x$ ) et de soufre ( $SO_x$ ) rejetés par la combustion du charbon, du mazout ou de l'essence, produisant les pluies acides ;
- les perturbateurs endocriniens ;
- les plastiques non-biodégradables produisent la mort par asphyxie ou par ingestion de nombreux vertébrés (poissons, cétacés, oiseaux, ...)
- les nitrates ( $NO_3^-$ ) et phosphates ( $PO_4^{3-}$ ) rejetés par l'agriculture ou le rejet domestique, produisant l'enrichissement excessif des cours d'eaux et des mers (eutrophisation) ;
- les métaux lourds produisant une intoxication des sols en empêchant leur culture, actuellement, il s'agit essentiellement des piles rechargeables ou non ;
- les chlorofluorocarbones (CFC) sont des produits utilisés pour la production de frigos, de panneaux d'isolation. Ils sont actuellement interdits dans de nombreux pays (protocole de Montréal), du fait, que diminuant la couche d'ozone (« trou » d'ozone), ils augmentent de façon importante les risques de cancers de la peau dans les pays polaires et sub-polaires.

**Propagation des polluants** Si le polluant est gazeux ou transportés par l'air, il aura tendance à être transportés par les grands courants atmosphériques. Ces courants vont de l'équateur aux pôles qui sont donc des zones d'accumulation de polluants. Comme l'hémisphère nord est un gros producteur de polluants, c'est essentiellement le pôle nord qui en est affecté.

Si le polluant se dissout dans l'eau ( $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ , pesticides, ...) ou est transporté par l'eau (plastique), s'il n'est intercepté par l'être humain auparavant, il se retrouvera finalement dans les mers et les océans où il s'accumulera suivant sa flottabilité, soit en surface, soit au fond des mers et des océans.

Les polluants solides sont souvent le plus visible par le commun des mortels. Cependant, même s'ils peuvent provoquer, des dégâts importants au niveau local (métaux lourds), ils se propagent difficilement.

**Impact des polluants** Les conséquences des polluants dépend de trois facteurs :

- **des quantités rejetées,**
- **de la toxicité des polluants,**
- **de la rémanence des polluants.**

Les quantités rejetées influencent évidemment leur impact. Plus les quantités sont importantes, plus leur impact est important. Par exemple, le  $CO_2$  est très peu nocif. Cependant, les quantités évaluées à près de 40 milliard de tonnes par année, ont pour conséquence une augmentation sensible de la température mondiale de la Terre.

La toxicité joue aussi un rôle. Il ne suffit que d'une petite pile bouton au mercure pour contaminer un plan d'eau de plusieurs dizaines de mètre-cube.

La rémanence d'un polluant est la capacité du polluant à ne pas être bio-dégradé. A l'inverse, un polluant peu rémanent sera très rapidement dégradé en condition naturelle.

Les plastiques sont très rémanents car il leur faut plusieurs centaines d'années pour être dégradés.

Par contre, les nitrates et les phosphates rejetés (si leur production s'arrête) peuvent être facilement absorbés par l'environnement.

## 2 Empreinte écologique

### 2.1 Concept

A l'exception de l'énergie nucléaire, toute l'énergie utilisée par l'homme actuellement vient du soleil soit de façon directe (panneaux photovoltaïque ou thermique, une part minime), soit de façon indirecte (énergies fossiles : gaz, pétrole, charbon, la part majoritaire). L'idée de base de l'**empreinte écologique** est de comparer l'énergie reçue par le soleil et convertie par la photosynthèse (bio-capacité) à l'**énergie consommée par les êtres humains**. Fondamentalement, il s'agit donc d'une puissance (énergie/temps) sur une surface donnée.

#### 2.1.1 Bio-capacité

La **bio-capacité est la capacité d'un territoire à fixer le carbone atmosphérique**, et donc à fixer de l'énergie. Elle dépend donc de la latitude et des écosystèmes présents sur le territoire (forêt, prairies, océans, ...) qui auront plus ou moins de capacité à effectuer la photosynthèse. Au niveau terrestre, la bio-capacité est donc variable. Elle est très importante dans les zones équatoriales et tropicales humides. Elle est, par contre, très faible dans les déserts et dans les latitudes proches des pôles. Au niveau maritime, la bio-capacité est très élevée dans les zones de remontée des nutriments (appelées zones d' « upwelling »). Elle est très faible dans les zones non-soumis aux grands courants océaniques (gyres).

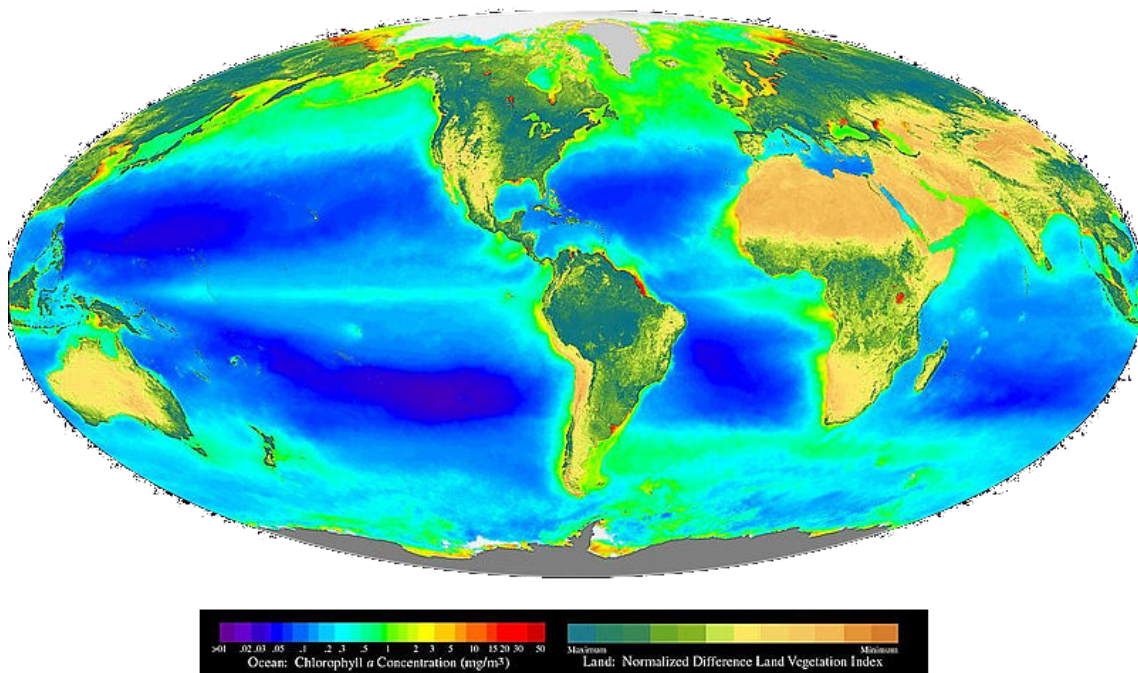


FIGURE 5 – La productivité biologique de la Terre

#### 2.1.2 Empreinte écologique

L'empreinte écologique correspond à l'ensemble de l'énergie consommée par l'être humain pour ses besoins. Au niveau mondial, sachant que les superficies utilisables par l'homme sont une constante, on a l'habitude d'exprimer l'empreinte écologique en hectares globaux, c-à-d en hectares sur base

d'une bio-capacité moyenne de la Terre. De façon, encore plus simple, on peut l'exprimer en nombre de Terre qui est directement le rapport entre l'empreinte sur la bio-capacité.

### 2.1.3 Le crédit écologique

On peut comparer ce concept à un compte en banque où la bio-capacité correspond aux entrées d'argent sur le compte, l'empreinte écologique correspond à tous les retraits qu'il y a sur le compte. Si les entrées sont inférieures aux dépenses, alors le compte devient négatif. Un crédit doit lui être octroyé.

SURFACE X PRODUCTIVITÉ BIOLOGIQUE = BIO-CAPACITÉ 1,8 HECTARES GLOBAUX	ENERGIES FOSSILES = CREDIT 0,9 HECTARES GLOBAUX
POPULATION X CONSOMMATION = EMPREINTE ECOLOGIQUE 2,7 HECTARES GLOBAUX	

FIGURE 6 – La différence entre l'empreinte écologique et la bio-capacité (2007).

Dans ce cadre, on peut observer que, depuis les années 1970, l'ensemble de la population mondiale utilise plus d'une Terre pour subvenir à ces besoins. En 2007, la consommation mondiale représentait une Terre et demi (1,5 Terre). En 2014, la consommation mondiale représentait 1,69 Terre. Ce crédit vient de l'utilisation des énergies fossiles (gaz, pétrole, charbon) qui ont été stockées entre 400 et 100 millions d'années et qui sont exploitées actuellement par l'homme. On considère que les réserves que le pétrole conventionnel sera complètement épuisé entre 2030 et 2040. Les réserves de charbons sont plus importantes, mais leur exploitation posera un gros problème de réchauffement climatique.

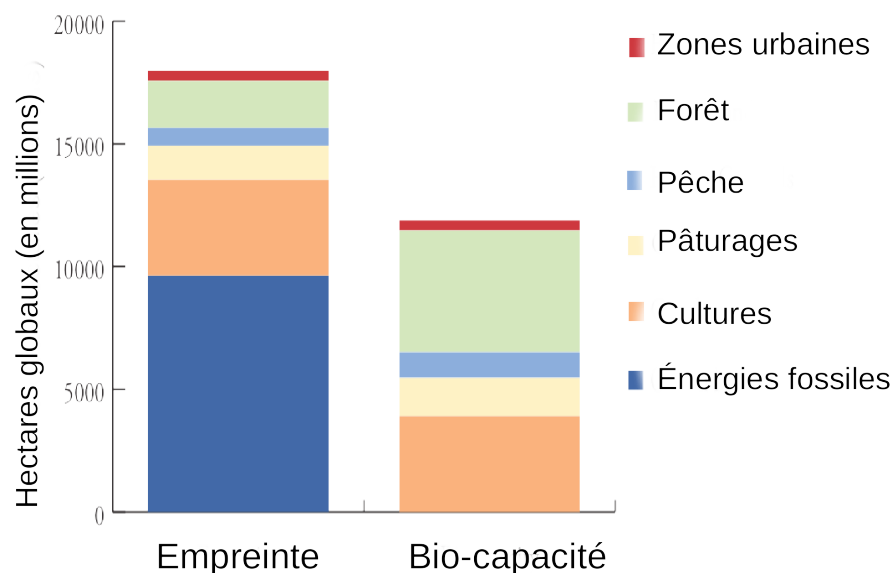


FIGURE 7 – Comparaison de l'empreinte écologique et la bio-capacité (2007).

L'utilisation des énergies fossiles entraînent une mauvaise gestion des ressources naturelles. L'Homme profite de ses énergies fossiles pour sur-exploiter les ressources naturelles.

Quelques exemples :

- pêche : la surpêche est généralisée dans les océans grâce à de puissants bateaux propulsés par le pétrole. Pourtant, différentes expériences ont montrés que mettre des zones marines en réserve et instaurer des quotas de pêche permettaient d'augmenter sur le long terme les quantités pêchées.
- agriculture : les énergies fossiles permettent de produire engrais et pesticides pour des champs homogènes d'une seule espèce végétale. Pourtant, l'agroécologie permet de produire sans engrais de synthèse en mélangeant les espèces végétales et ayant des rendements supérieurs aux cultures conventionnelles.
- forêt : de nombreuses exploitations forestières sont « minières », c-à-d que l'on coupe sans replanter. Au mieux, on replante une seul espèce d'arbre que l'on juge intéressante. Pourtant, à nouveau, les pratiques de forêt jardinée où l'on mélange différentes espèces d'arbres de différents ages montrent une productivité en bois au moins égale avec un surplus de biodiversité.

## 2.2 Évolution du bilan terrestre

Compte-tenu de la population mondiale, chaque être humain « consomme » en moyenne **2,7 hectares globaux**, alors que la bio-capacité de la Terre est de **1,8 hectares globaux**.

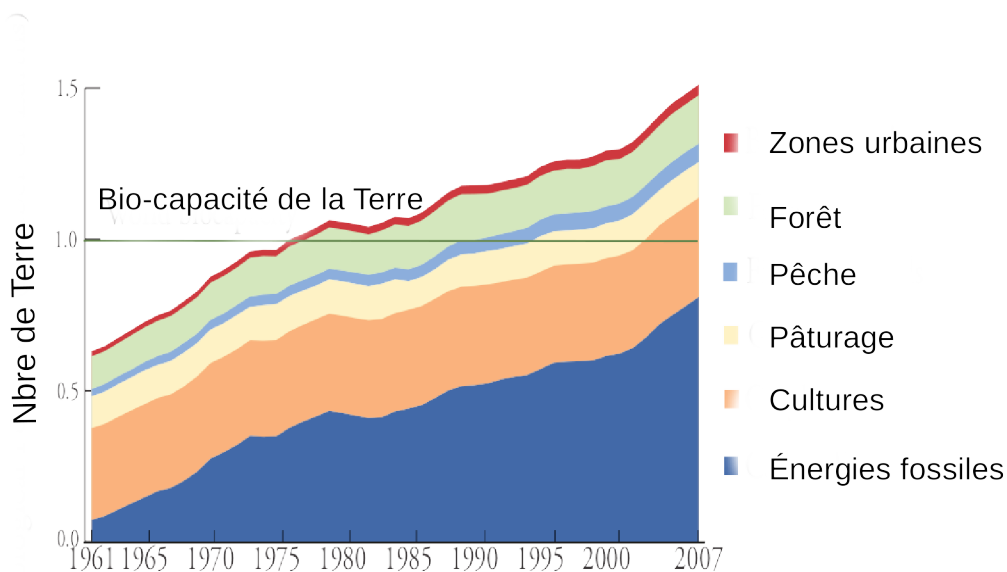


FIGURE 8 – L'évolution de l'empreinte écologique mondiale depuis 1961.

## 2.3 Comparaison de différents pays

Suivant sa situation géographique et/ou géo-politique, chaque pays n'a pas les mêmes difficultés face à ce problème. En effet, suivant sa population et les ressources disponibles sur son territoire.

<b>Pays</b>	<b>Population</b> <i>en millions d'habitants</i>	<b>Empreinte</b> <i>gha/personne</i>	<b>Bio-capacité</b> <i>en gha/personne</i>	<b>Nbre de Terres</b>
Bolivie	9,52	2,57	18,84	0,14
Europe continentale	730,90	4,68	2,89	1,62
États-Unis	308,95	8,00	3,87	2,07
Chine	1336,55	2,21	0,98	2,26
Belgique	10,53	8,00	1,34	5,97
Arabie Saoudite	24,68	5,13	0,84	6,11

FIGURE 9 – Empreinte écologique et bio-capacité de différents pays et régions (gha=hectares globaux) (2007).

Selon les données du tableau ci-dessus, la Bolivie est la championne de l'empreinte écologique. En effet, alors que sa population est proche de celle de la Belgique, elle profite d'un territoire plus de 30 fois plus grand, dont deux tiers est constitué de forêt tropicale.

Si l'Europe continentale est si bien classée, c'est dû aux grandes forêts de l'Europe de l'est (Russie, Ukraine, ...). Cependant, on peut remarquer qu'elle est toujours supérieure en terme d'empreinte à la moyenne mondiale.

Les États-Unis ont une consommation semblable à la Belgique, mais leurs grands territoires permettent de limiter leur crédit écologique. La Chine a déjà une empreinte supérieure à la moyenne mondiale. Que se passerait-il si elle atteignait la consommation de la Belgique ou des États-Unis ?

L'Arabie Saoudite est pénalisée par la très faible bio-capacité dont elle dispose. Elle compense évidemment par ses ressources en pétrole.

## 2.4 Calcul individuel

Dans le cadre de ce cours, vous remplirez un questionnaire pour situer vos modes de consommation par rapport à cette problématique. Ce type de questionnaire ne peut qu'être réducteur. Il se base sur des données moyennes ne tenant pas compte de contexte particulier. Il néglige la bio-capacité produite sur les terres gérées par la personne. S'il permet de « donner une idée », de sensibiliser les consommateurs, ils ne sont pas assez rigoureux pour cerner des situations particulières.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Écosystèmes et biodiversité</b>	<b>1</b>
1.1	Écologie . . . . .	1
1.2	Écosystèmes . . . . .	1
1.3	Biodiversité . . . . .	3
1.4	Services écosystémiques . . . . .	4
1.5	Perte de biodiversité . . . . .	4
1.5.1	Destruction et fragmentation des habitats . . . . .	4
1.5.2	Surexploitation des ressources naturelles . . . . .	5
1.5.3	Espèces envahissantes . . . . .	5
1.5.4	Changement climatique . . . . .	5
1.5.5	Pollutions . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Empreinte écologique</b>	<b>8</b>
2.1	Concept . . . . .	8
2.1.1	Bio-capacité . . . . .	8
2.1.2	Empreinte écologique . . . . .	8
2.1.3	Le crédit écologique . . . . .	9
2.2	Évolution du bilan terrestre . . . . .	10
2.3	Comparaison de différents pays . . . . .	11
2.4	Calcul individuel . . . . .	11