

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES  
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
Département des Sciences de l'Environnement

# Cours de biodiversité végétale

Polycopié destiné aux étudiants de 3<sup>ème</sup> Année Licence  
Spécialité : Biologie & Physiologie Végétale

Rédigé par Monsieur :

**BOUTERFAS Karim**

Maitre de conférences B

**Année universitaire 2020-2021**

## Avant-propos

Le présent polycopié intitulé « Biodiversité Végétale » est dédié et destiné aux étudiants de 3<sup>ème</sup> Année Licence « Biologie & Physiologie Végétale », faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, UDL de Sidi Bel-Abbés. Il peut aussi constituer un support pédagogique très utile pour tous les étudiants des autres spécialités issues de la filière des Sciences de l'Environnement.

Ce document sera proposé sous formes de cours magistral dont les idées de bases sont généralement expliquées par de nombreux et pertinents exemples d'application, et illustrées par des figures, des graphes et des photos. IL nécessite donc une connaissance préalable de certaines disciplines telles que l'écologie, la systématique, la biogéographie, la bioclimatologie et les statistiques.

Les principaux objectifs de ce manuel pédagogique sont de : mettre à la disposition des étudiants les mots clés du concept de biodiversité, connaître la biodiversité à ses différentes échelles, déduire les services écosystémiques qu'offre notre environnement, savoir comment mesurer la biodiversité végétale à l'aide d'outils et d'indices, connaître les causes de l'érosion de la diversité végétale et mettre en évidence les moyens de lutte et de conservation.

Ce polycopié étant le fruit d'un travail de recherche bibliographique, il fournit à la fin des références succinctes d'ordre général et technique (livres, articles scientifiques et rapports publiés par des organisations internationales), qui serviront comme base aux étudiants pour approfondir leurs recherches scientifiques.

*Karim Bouterfas*

# Table des matières

	Page
<b>Introduction</b> .....	1
<b>Chapitre Un. Biodiversité : Historique, Définitions et Services Ecosystémiques</b> .....	2
1. Historique du concept biodiversité .....	2
2. Définition de la biodiversité .....	2
3. Les trois niveaux de la biodiversité.....	4
3.1 La diversité génétique (des gènes = intra-spécifique).....	4
3.2 La diversité spécifique (des espèces = interspécifique).....	6
3.3 La diversité écosystémique (des écosystèmes) .....	8
4. La biodiversité et les services écosystémiques .....	10
4.1 Les services « approvisionnement » .....	10
4.2 Les services « support ou de soutien » .....	12
4.3 Les services « régulation » .....	14
4.4 Les services « culturels et sociaux » .....	15
4.5 Les valeurs économiques (monétaires) de la biodiversité .....	16
<b>Chapitre deux. Dimensions, Mesures et Bioindicateurs de Biodiversité</b> .....	17
1. Dimensions de la biodiversité .....	17
2. Mesures de la biodiversité .....	17
2.1. Richesse spécifique (nombre d'espèces) .....	17
2.2. Diversité spécifique .....	18
2.3. Diversité dans l'espace .....	19
2.4. Diversité taxonomique .....	20
2.5. Diversité fonctionnelle .....	20
3. Difficultés de mesure de la biodiversité .....	21
4. Les bioindicateurs de biodiversité .....	21
4.1. Les bioindicateurs d'accumulation .....	22
4.2. Les bioindicateurs d'effet ou d'impact .....	22
5. Inventaire floristique « exemple de la méthode phytosociologique » .....	23
5.1. Equipements de terrain .....	23
5.2. Emplacement des relevés .....	23
5.3. Période optimale et nombre des relevés .....	24

5.4. Surface du relevé « Aire minimale phytosociologique » .....	25
5.5. Dresser une liste exhaustive des espèces strate par strate .....	26
5.6. Identifications des espèces inventoriées .....	27
5.6.1. Prélèvement et collecte des espèces .....	27
5.6.2. Stockage et séchage .....	27
5.6.3. Identification des espèces .....	28
5.6.4. Mise en herbier et archivage .....	28
5.7. Indiquer les différents coefficients pour les taxons .....	28
5.7.1. Abondance-dominance .....	28
5.7.2. La sociabilité .....	29
5.8. Eléments accompagnant le relevé floristique .....	30
5.9. Analyse phytoécologique et floristique .....	31
<b>Chapitre Trois. Distribution Géographique et Hotspots de Biodiversité.....</b>	<b>33</b>
1. La distribution géographique de la biodiversité .....	33
1.1. Les gradients dans la répartition spatiale .....	33
1.1.1. Gradients latitudinaux .....	33
1.1.2. Gradients altitudinaux .....	34
1.1.3. Gradients longitudinaux et profondeur .....	35
1.2. Une organisation écologique : les biomes .....	36
1.3. La relation surface/ nombre d'espèces .....	38
1.4. Une organisation taxinomique : les régions biogéographiques (écozones) .....	39
2. Les zones de grande diversité ou « hotspots » .....	41
2.1. Définition .....	41
2.2. Critères .....	41
2.3. Répartition des hotspots .....	41
3. Les pays de mégadiversité .....	45
<b>Chapitre Quatre. Menaces sur la Diversité Végétale : Faits et Chiffres .....</b>	<b>47</b>
1. La destruction et la fragmentation des habitats (des milieux naturels) .....	47
1.1. La déforestation .....	47
1.2. L'expansion des terres agricoles .....	48
1.3. L'urbanisation .....	49
1.4. Feux de forêt .....	50
2. Les introductions des espèces (les invasions biologiques) .....	51

3. Les changements climatiques globaux .....	52
3.1. Changements d'aires de répartition des espèces .....	53
3.2. Changement phénologique des espèces .....	53
3.3. Changements dans le fonctionnement des écosystèmes .....	53
3.4. Extinction des espèces .....	53
4. Les pollutions .....	54
4.1. Les dépôts d'azote .....	54
4.2. L'acidification des sols .....	54
4.3. L'ozone atmosphérique (O <sub>3</sub> ) .....	54
4.4. Pollution chimique par les produits phytosanitaires .....	55
4.5. Pollution lumineuse et sonore .....	55
5. La surexploitation des espèces .....	55
5.1. La surexploitation des matières premières d'origine végétale .....	56
5.2. La recherche de plantes ornementales .....	56
<b>Chapitre Cinq. La Conservation de la Biodiversité .....</b>	<b>60</b>
1. Définition et objectifs de la conservation de la biodiversité .....	60
2. Les modes de conservation de la biodiversité .....	60
2.1. La conservation <i>in situ</i> .....	61
2.1.1. Les réserves naturelles .....	62
2.2.2. Les parcs naturels .....	63
2.2. La conservation <i>ex situ</i> .....	67
2.2.1. Les jardins botaniques .....	67
2.2.2. Les arboretums .....	69
2.2.3. Les banques de semences (graines) .....	70
2.2.4. Les banques génétiques (gènes et pollens) .....	71
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>75</b>

## Introduction

La diversité biologique, ou biodiversité, est le terme qui désigne toutes les formes de la vie sur terre. Elle englobe la diversité au sein de chaque espèce, entre les espèces et entre les écosystèmes. Cela recouvre l'ensemble des milieux naturels et des formes de vie (plantes, animaux, champignons, bactéries) ainsi que toutes les relations et interactions qui existent, d'une part, entre les organismes vivants eux-mêmes, d'autre part, entre ces organismes et leurs milieux de vie (Lévêque, 2008).

La biodiversité nous offre quotidiennement des biens irremplaçables et indispensables à travers une multitude de services écosystémiques. En effet, les écosystèmes, par la biodiversité qu'ils renferment et qu'ils constituent, purifient l'air que nous respirons, l'eau que nous buvons et la terre d'où nous tirons notre alimentation. Ils sont responsables de la teneur en oxygène dans l'atmosphère, de la tenue et la fertilité des sols. Ils maintiennent les cycles de régulation du climat, réduisent la sévérité des sécheresses et des inondations. Parfois, ils sont aussi à l'origine de nos inspirations artistiques et de nos innovations technologiques (Brahic & Terreux, 2009).

La diversité biologique est en recul sur l'ensemble de la planète. Ces dernières décennies, le rythme des extinctions s'est fortement accéléré à cause des activités humaines qui perturbent fortement les écosystèmes et les espèces qui les composent et qui y vivent. Tous les biologistes qui travaillent sur la biodiversité sont d'accord pour dire que, si nous continuons à détruire certains environnements naturels, à la fin du 21<sup>ème</sup> siècle nous aurons éliminé la moitié des plantes et animaux de la planète. Les principales causes sous-jacentes de cette perte de biodiversité sont : les changements d'utilisation des terres, l'utilisation et l'exploitation non durables des ressources naturelles, les espèces exotiques envahissantes, le changement climatique mondial et la pollution (Lévêque & Mounolou, 2008).

La biodiversité nous fournit les conditions favorables à la vie sur la Terre, alors préservons-la. L'humain a donc la responsabilité morale à inverser la tendance car il est en très grande partie la cause directe de ces extinctions. Il est capable de freiner cette érosion s'il change son mode de vie, sa relation avec la nature et veille à la préservation de la biodiversité. Aujourd'hui, de nombreuses actions sont mises en place dans le domaine de la conservation et de la restauration de la biodiversité. Même s'il reste encore beaucoup à faire, ces actions sont de plus en plus nombreuses et de plus en plus efficaces. Pour y arriver, le développement de nos connaissances sur la biodiversité et l'éducation ont un rôle central à jouer (Lévêque, 2008).

## Chapitre Un : Biodiversité : Historique, Définitions et Services Ecosystémiques

Jusqu'à présent, aucune trace ou forme de vie n'a été détectée ailleurs que sur la planète terre. L'avenir nous dira peut-être si la vie existe ailleurs. Mais sur terre, elle est bien là ! On parle de diversité biologique pour rendre compte de la richesse et de la diversité des formes de vie qui peuplent notre planète.

Qu'est-ce que la biodiversité ? Quels sont ces différents niveaux ? Quel(s) rôle(s) joue-t-elle dans le fonctionnement des écosystèmes et pour le bien-être des humains ? Ce premier chapitre tente de répondre à ces différentes questions.

### 1. Historique du concept biodiversité

Le concept de *diversité biologique* (biological diversity) est apparu dans les écrits de *Thomas Lovejoy*, un biologiste Américain, en 1980. Le terme *biodiversité* (biodiversity) lui-même a été inventé en 1985 par *Walter G. Rosen*, lors de la préparation du *Forum Américain sur la diversité biologique* organisé, et a été utilisé dans le titre du compte rendu de ce forum, en 1988 (Gaston & Spicer, 1998).

Le mot « biodiversité » apparaît pour la première fois en 1988 dans une publication de l'entomologiste américain *Edward O. Wilson* à l'occasion du *Forum national Américain sur la diversité biologique*. Le mot *biodiversité* avait été jugé plus efficace en termes de communication que *diversité biologique* (Chevassus-au-Louis, 2007).

Depuis 1986, le terme et le concept sont très utilisés parmi *les biologistes, les écologues, les écologistes, les dirigeants et les citoyens*. L'utilisation du terme coïncide avec la prise de conscience de l'extinction d'espèces au cours des dernières décennies du XX<sup>e</sup> siècle.

En juin 1992, dans le sommet planétaire de Rio de Janeiro organisé par les Nations Unis, le mot biodiversité a marqué son entrée en force sur la scène internationale. Un sommet dans lequel tous les pays ont décidé au travers d'une convention mondiale sur la biodiversité de faire une priorité de la protection et la restauration de la diversité du vivant, considérée comme une des principales ressources vitales de la planète.

### 2. Définition de la biodiversité

La biodiversité, contraction de « diversité biologique », fait référence à la variété du monde vivant. C'est la diversité de toutes les formes de vie animale, végétale, microscopique sur terre, et de toutes les relations que ces espèces tissent entre elles et avec leurs milieux.

Étymologiquement, la biodiversité est un néologisme qui désigne la diversité du vivant que l'on peut analyser à de nombreuses échelles de résolution biologique : gènes, individus, populations, espèces, peuplements, paysages etc. (Chevassus-au-Louis, 2008).

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 les variétés à travers des sols, des territoires et des régions aux potentialités multiples. *L'industriel* y verra un réservoir des 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.

Parmi un grand nombre des définitions qui ont été proposées, nous citerons les suivantes :

- **Définition 1** : la Convention de Rio de Janeiro sur l'environnement et le développement en 1992 a permis d'en donner une définition commune : « la biodiversité est définie comme étant la diversité des gènes, des espèces, des écosystèmes et des processus écologiques » (Lévêque & Mounolou, 2008).
- **Définition 2** : dans sa forme la plus simple la biodiversité représente la vie sur terre. On peut définir donc la biodiversité comme étant la variété des espèces vivantes que renferme l'ensemble des écosystèmes terrestres et aquatiques, se rencontrant actuellement sur la planète (Blondel, 2006).
- **Définition 3** : le terme biodiversité est défini par la variabilité des organismes vivants de toutes origines y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie (Gaston & Spicer, 2006).
- **Définition 4** : la biodiversité est définie comme étant la nature utile, c'est-à-dire l'ensemble des espèces ou des gènes que l'homme utilise à son profit, qu'ils proviennent du milieu naturel ou de la domestication. Ce concept désigne la variété des formes de vie comprenant les plantes, les animaux et les micro-organismes, les gènes qu'ils contiennent et les écosystèmes qu'ils forment (Ramade, 2009).
- **Définition 5** : « la caractéristique la plus frappante de la terre, c'est la vie et la caractéristique la plus frappante de la vie, c'est sa diversité » (Tilman *et al.*, 2006).

### 3. Les trois niveaux de la biodiversité

La diversité du monde vivant est en effet organisée selon trois niveaux emboîtés et hiérarchisés :

#### 3.1. La diversité génétique (des gènes = intra-spécifique)

« C'est la variété qui existe entre les gènes (allèles) ou de la structure chromosomique à l'intérieur de l'espèce ».

La diversité génétique correspond à la diversité qui existe au sein d'une espèce, entre les individus d'une même espèce. Elle peut être apparente ou non. Elle se rapporte à la variété des gènes ou de la structure chromosomique à l'intérieur des espèces et se rencontre aussi bien chez une espèce qu'entre les espèces (Brahic & Terreaux, 2009).

Plus une population ou une espèce est diversifiée sur le plan des gènes, plus elle a de chance que certains de ses membres arrivent à s'adapter aux modifications survenant dans l'environnement. Au contraire, moins la diversité est grande, plus les individus deviennent semblables les uns aux autres et il devient peu probable que l'un d'entre eux ait les capacités de s'ajuster à des conditions de vie différentes (Lévêque, 2008).

Face à une sécheresse par exemple, tous les individus d'une même espèce ne seront pas affectés de la même manière. Grâce à leur diversité génétique, certains résisteront mieux que d'autres, s'adapteront et transmettront cette capacité de résistance à leur descendance.

La variabilité génétique d'une espèce permet à celle-ci de s'adapter au sol et au climat et de résister aux différentes maladies. Elle est la base de l'amélioration des plantes (rendements, qualité organoleptique, qualité de cuisson...).

La diversité génétique a 03 origines : croisements interspécifiques, mutation spontanée et mutations induites.

*Exemples :*

- OVATE est un gène contrôlant la forme du fruit chez la tomate,
- SH4 est un gène contrôlant l'adhérence de la graine à l'épi,
- Le gène *Or* contrôle l'accumulation du beta-carotène,
- Le gène *VvmybA1* contrôle la couleur des grappes.



**A-B** : Diversité génétique chez la tomate : le gène *fas* et le gène *FS8.1* responsables respectivement du nombre des loges et de la forme carré du fruit, **C-D** : Diversité génétique des carottes et du chou fleurs : couleur des racines conditionnée par la présence des pigments (caroténoïdes et anthocyanes), **E** : Diversité génétique du raisin : le gène *VvmybA1* contrôle la couleur des grappes.

**Figure.** Exemples de diversité génétique chez quelques fruits et légumes.

### 3.2. La diversité spécifique (des espèces = interspécifique)

« C'est la variété qui existe au niveau des différentes espèces trouvées dans une aire donnée ». C'est celle qui distingue les espèces les unes des autres (différences morphologiques, anatomiques, génétiques, moléculaires, etc....).

La diversité spécifique correspond à la diversité des espèces dans une région, s'exprimant par le nombre d'espèces rencontrées, mais aussi par leur appartenance à des genres, familles ou classes différentes. La diversité spécifique est la mesure de la diversité biologique au sein d'un habitat ou d'une zone géographique, et donc de la diversité de la faune et de la flore (Brahic & Terreaux, 2009).

Il est donc facile de suivre le nombre d'espèces dans un milieu et d'établir une "richesse" de ce milieu. Cette richesse dépendra du nombre d'espèces identifiées et de la surface sur laquelle l'étude se portera.

Il est alors aussi possible de faire des comparaisons entre les richesses spécifiques de deux différents milieux ou d'un même milieu mais à deux moments différents. Ces études permettent d'avoir une idée de l'état de santé d'un écosystème (Lévêque, 2008).

En effet chaque espèce peut être considérée comme jouant un rôle, et l'apparition ou la disparation de l'une d'entre elles a un impact sur le système dans son ensemble.

Ainsi l'étude de la diversité spécifique peut porter sur : le rythme d'extinction ou d'apparition des espèces, l'influence des activités humaines sur la diversité spécifique, la distribution géographique des espèces.

**Exemple** : diversité spécifique au sein d'une garrigue : l'arbousier, asphodèle, genévrier, chêne kermès, ciste cotonneux...etc.



**A** : le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.), **B** : l'Asphodèle (*Asphodelus microcarpus* Sal & Viv.), **C** : le Marrube blanc (*Marrubium vulgare* L.), **D** : le Ciste épineux (*Calycotome spinosa* Link.), **E** : la Bryone dioïque (*Bryonia dioica* Jacq.).

**Figure.** Exemples de diversité spécifique au sein d'un écosystème montagnard.

### 3.3. La diversité écosystémique (des écosystèmes)

« C'est la variété qui existe au niveau des environnements physiques et des communautés biotiques dans un paysage ».

La diversité écosystémique correspond à la diversité des écosystèmes présents sur la planète, des interactions des populations naturelles et leurs environnements physiques. Elle prend compte à la fois des composantes biotiques (espèces animales et végétales) et abiotiques (types de sol, topographie, ...etc.) (Brahic & Terreaux, 2009).

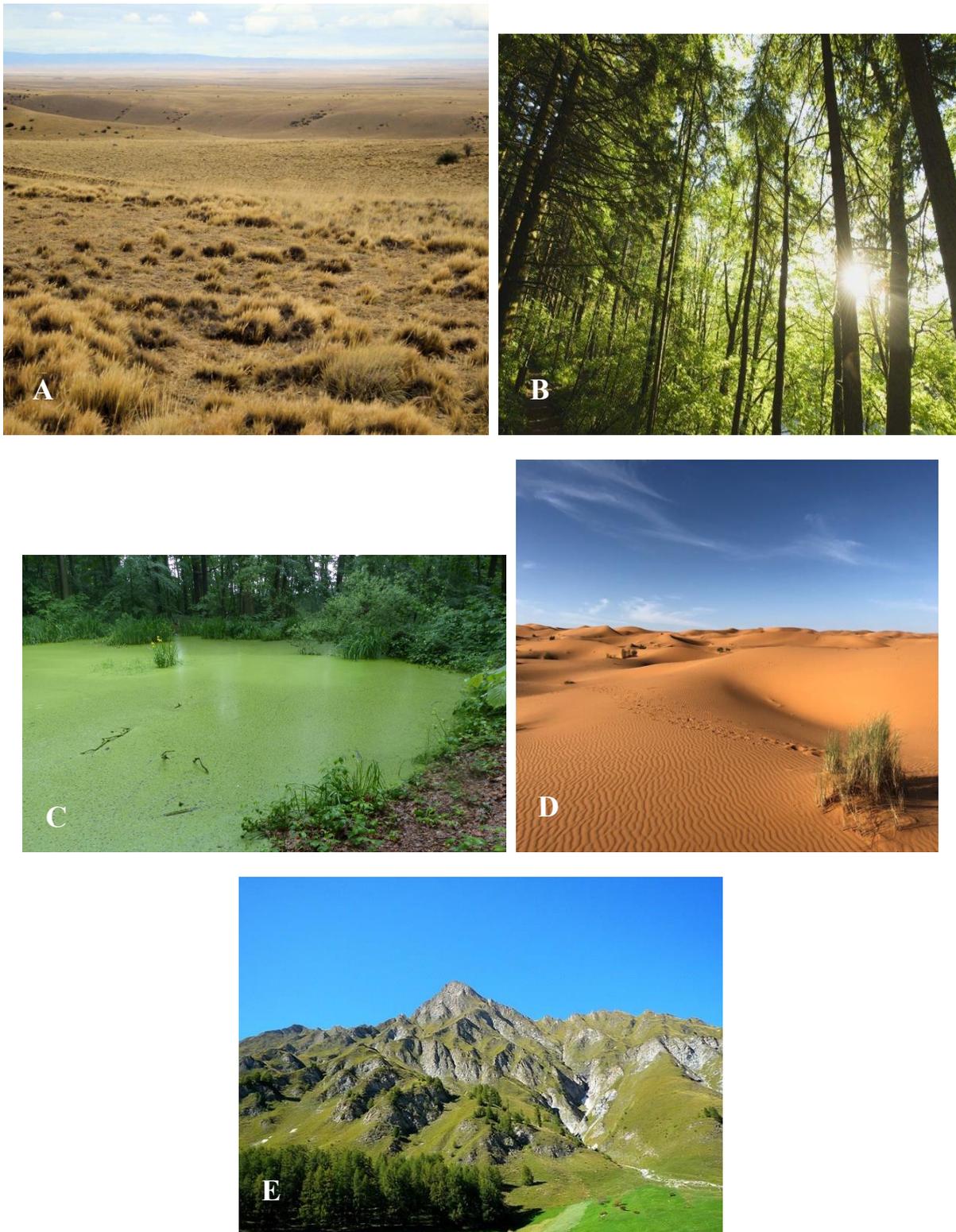
Elle fait référence à tous les différents habitats – ou endroits - qui existent sur la terre, comme les forêts tropicales ou tempérées, les déserts chauds ou froids, les zones humides, les rivières, les montagnes, ...etc.

Chaque écosystème correspond à une série de relations complexes entre les éléments biotiques (vivants) tels que les animaux, les végétaux et les microorganismes, et les éléments abiotiques (non vivants) tels que la lumière du soleil, l'air, l'eau et les éléments nutritifs.

La diversité des écosystèmes est le résultat des interactions que les espèces qu'ils abritent ont développées entre elles et avec leur milieu. Relations qui assurent à chaque espèce les conditions et les ressources nécessaires à sa survie (Lévêque, 2008).

#### ***Exemples :***

- Forêt tropicale : faible luminosité, faible écart de température jour/nuit, forte humidité, végétation luxuriante, forte densité animale.
- Savane africaine : forte luminosité, faible écart de température jour/nuit, faible humidité, niveau de végétation moyen, densité animale moyenne.
- Désert africain : forte luminosité, fort écart de température jour/nuit, faible humidité, faible niveau de végétation, faible densité animale.



**A :** écosystème steppique, **B :** écosystème forestier, **C :** écosystème aquatique, **D :** écosystème saharien, **E :** écosystème montagnard.

**Figure.** Exemples de diversité écosystémique en Algérie.

## 4. La biodiversité et les services écosystémiques

Le sort de l'humanité est étroitement lié à la diversité biologique sur terre. Elle est essentielle pour le développement durable et le bien-être de l'humanité.

La biodiversité a un rôle en tant que fournisseur de services écosystémiques. Le *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA), programme de travail international qui évalue les conséquences des changements que subissent les écosystèmes pour le bien-être humain, identifie quatre catégories de services écosystémiques (Lévêque & Mounolou, 2008).

### 4.1. Les services « approvisionnement »

Il s'agit des produits obtenus à partir des écosystèmes, la plupart étant plus ou moins directement consommés et généralement présents sur le marché (Brahic & Terreaux, 2009). Ces services permettent donc aux hommes d'obtenir des biens commercialisables, par l'exploitation des écosystèmes tels que :

- ***La nourriture domestiquée ou collectée dans la nature*** : il s'agit des produits alimentaires dérivés des plantes (fruits, céréales, légumes, ...etc.), des animaux (viande, lait, poisson, œuf...etc.), et des produits transformés par les micro-organismes (fromage, pain, ...etc.).
- ***Les matières premières*** : le bois (constructions), les textiles (fibres, coton, laine), les combustibles (bois énergie, tourbe, fumier et d'autres matériaux qui servent de source d'énergie), l'eau douce.
- ***Les ressources génétiques*** : incluent les gènes et l'information génétique utilisée pour l'élevage des animaux, la culture des plantes et la biotechnologie.
- ***Les médicaments*** : les écosystèmes contribuent à la santé humaine notamment en fournissant des produits qui peuvent être utilisés directement comme médicaments ou comme modèle pour les synthétiser. A titre d'exemple, 70 % des principes actifs des médicaments viennent de plantes non cultivées, que nous trouvons à l'état sauvage.
- ***Ressources ornementales*** : sont les produits tels que les peaux et les coquillages, les fleurs utilisées comme ornements.
- ***Les valeurs d'options*** : les substances inconnues, que nous pourrions exploiter dans le futur et qui nous seront utiles pour la médecine, la cosmétique...etc.



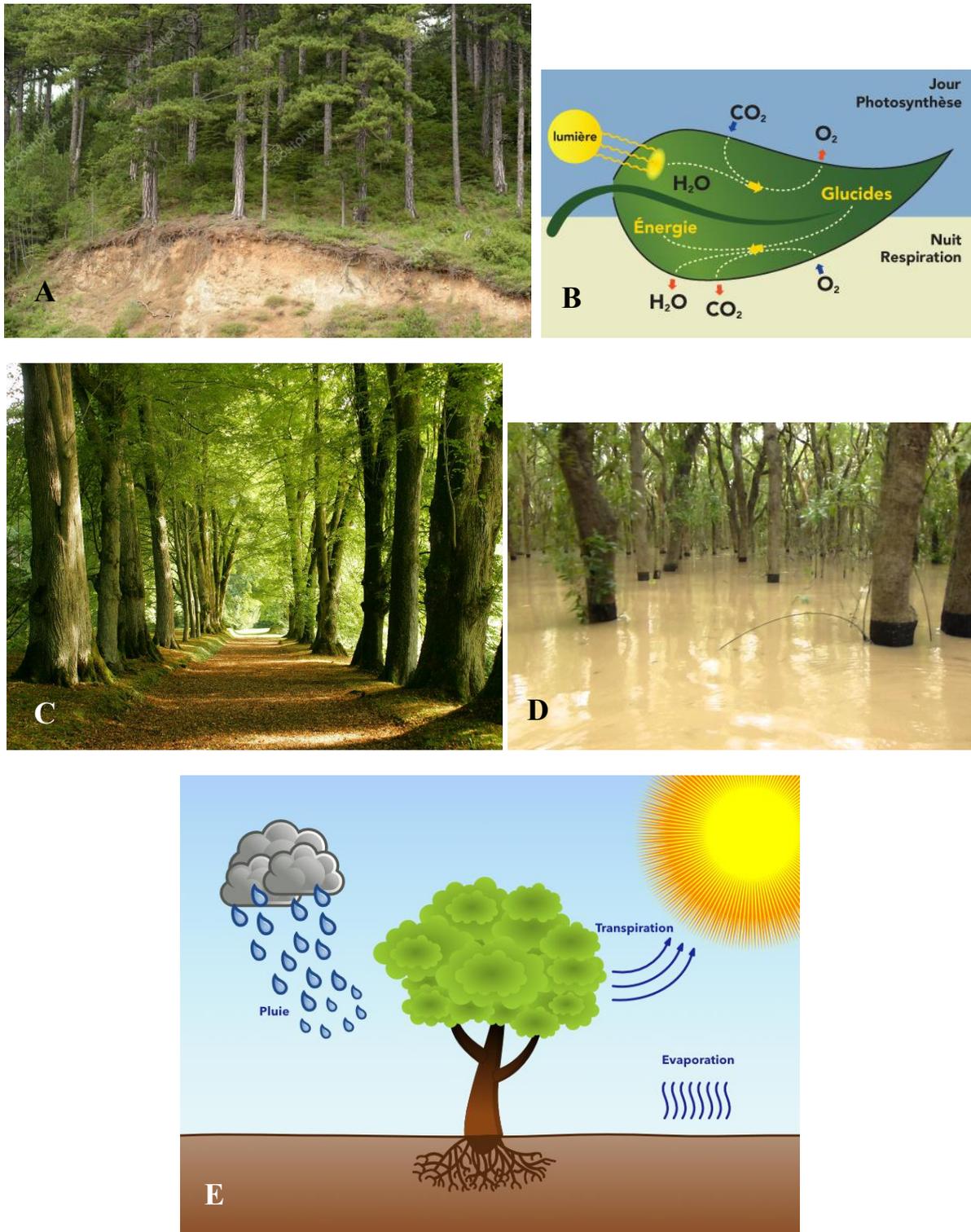
**A :** Bois (matière première), **B :** Coton (matière première), **C :** Céréales (nourriture), **D :** Fruits et légumes (nourriture), **D :** Médicaments, **E :** Fleurs (ressources ornementales).

**Figure.** Quelques services d’approvisionnement de la diversité végétale.

#### 4.2. Les services « support ou soutien »

Ces services sont ceux qui sont nécessaires pour à la réalisation de tous les autres services écosystémiques. Contrairement aux autres catégories de services, leurs impacts sur les individus sont soit indirectes, soit interviennent sur le long terme (Lévêque & Mounolou, 2008). Parmi ces services, nous pouvons citer :

- **La teneur en O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère** : production et consommation d'O<sub>2</sub> et de CO<sub>2</sub> par les végétaux. Les forêts non perturbées du bassin amazonien absorberaient près du 1/3 des émissions mondiales de carbone d'origine anthropique.
- **La formation et préservation de sols fertiles** : grâce aux organismes vivants du sol, qui nous permettent de cultiver nos aliments. La microfaune des sols (essentiellement les collemboles et les vers de terre) rend le sol poreux ce qui facilite la circulation de l'eau et de l'air, et la pénétration des racines. Les vers de terre vont aussi enrichissent le sol en *turricules* (amas d'excréments) et les rejettent à la surface du sol. Les filaments mycéliens explorent le sol et apportent de la solution minérale aux végétaux.
- **La tenue des sols** : rôle joué par le couvert végétal, les forêts et les racines des plantes, qui permettent de maintenir le sol, de lutter contre l'érosion et la prévention des glissements du terrain. La végétation herbage ou arbres empêchent les pertes de sol sous l'action du vent ou de la pluie. Les forêts sur les pentes maintiennent les sols en place, évitant ainsi les glissements de terrain.
- **Le recyclage des éléments nutritifs** : azote, carbone et de l'eau, via la décomposition des déchets par certains micro et macro-organismes, via le rôle des végétaux. C'est le cas par exemple de la fixation biologique d'azote, un mécanisme permettant d'introduire l'azote dans la biosphère. Environ 175 millions de tonnes d'azote atmosphérique sont fixés annuellement par les microorganismes (*Rhizobium*, *Nitrobacter*, ...etc.). L'évapotranspiration a une influence sur le cycle de l'eau. Les racines pompent l'eau du sol et en relâchent une partie dans l'atmosphère (transpiration).
- **La diversité des habitats et la production de biomasse** : les forêts sont régénérées et progressent dans l'espace grâce à la dispersion des graines. Par exemple, les oiseaux, les chauves-souris et les renards mangent les fruits et dispersent leurs graines un peu plus loin.



**A** : Tenue des sols par les racines des arbres, **B** : Production de O<sub>2</sub> et consommation de CO<sub>2</sub>, **C** : Régulation du climat à une échelle locale (cas de l'ombre), **D** : Régulation des catastrophes naturelles (cas des inondations), **E** : Recyclage des éléments nutritifs (cas du cycle de l'eau).

**Figure.** Quelques services de support et de régulation de la diversité végétale.

### 4.3. Les services « régulation »

Sont des bénéfices obtenus de la régulation des processus écosystémiques (Brahic & Terreaux, 2009). Ces services sont souvent les plus difficiles à mesurer tels que la régulation :

- ***Du climat local et global*** : les écosystèmes influencent le climat aussi bien à l'échelle locale qu'à l'échelle globale. Par exemple, à l'échelle locale, les arbres fournissent de l'ombre et les forêts influencent les *températures* et les *précipitations*. Les écosystèmes ont effet régulateur sur le climat global, en stockant les gaz à effet de serre. Par exemple, pendant leur croissance, les arbres et les végétaux prélèvent le CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et le piègent efficacement dans leurs tissus.
- ***De la pollution (épuration de l'eau, de l'air, du sol)*** : les macro et micro-organismes décomposent divers polluants organiques et minéraux et participent à leurs éliminations, filtrent l'air, l'eau, le sol, détoxiquent les déchets et nous donnent des conditions de vie compatibles avec nos besoins. Par exemple lorsqu'il pleut, l'eau capte une série de polluants présents dans l'air. La végétation et la vie du sol absorbent cette eau polluée et la purifient naturellement. Une bonne moitié du CO<sub>2</sub> produit par les services humains est absorbée par les plantes terrestres (prairies et forêts) et marines (plancton végétal). Ce phénomène nous protège ainsi du réchauffement climatique.
- ***De la pollinisation*** : ce service est assuré par les animaux pollinisateurs (les insectes, les oiseaux, ou même les chauves-souris) qui transportent les pollens d'une plante à une autre et complètent les cycles de vie des plantes à fleurs. Cette fécondation permet la formation des fruits (arbres fruitiers) et assurent ainsi l'alimentation des humains et non humains. En France, la production de 80 % des espèces végétales cultivées dépend directement de la pollinisation par les insectes.
- ***Des catastrophes naturelles*** : les écosystèmes et les organismes vivants contribuent à amortir les catastrophes naturelles. Ils limitent les dégâts provoqués par les *inondations, les tempêtes, les tsunamis, les glissements de terrains et les sécheresses*. Par exemple, les écosystèmes forestiers jouent un rôle de tampon et peuvent diminuer l'intensité des vents (tempêtes) et/ou des eaux (inondations).
- ***Des maladies humaines et d'animaux nuisibles*** : il s'agit de la lutte biologique, l'activité des prédateurs et des parasites dans l'écosystème qui contribuent à la lutte

contre les vecteurs potentiels de maladies s'attaquant aux cultures, aux cheptels et provoquant les maladies humaines. Les écosystèmes peuvent par exemple changer directement l'abondance des pathogènes humains (par exemple le cholera), en altérant l'abondance des vecteurs de maladies (les moustiques). Les prédateurs de forêts avoisinantes (chauve-souris, serpent, etc.) se nourrissent des ravageurs qui attaquent les récoltes.

#### 4.4. Les services « culturels et sociaux »

Les écosystèmes offrent des bénéfices non-matériels, relatifs aux loisirs, au bien être, au tourisme, à la détente, de randonnées pédestres, à l'inspiration artistique et culturelle, à l'enrichissement intellectuel (Brahic & Terreaux, 2009) :

- **Source d'inspiration** : les écosystèmes offrent une source d'inspiration riche pour l'industrie, l'art, le folklore, les symboles nationaux, l'architecture et la publicité. Les chercheurs s'inspirent des comportements intelligents d'insectes sociaux (guêpes, fourmis, araignées) pour concevoir et tester des applications dans des domaines très pointus de l'informatique, la robotique et des mathématiques. Les chauves-souris et oiseaux ont servi de modèle pour les premiers avions et les formes des poissons ont inspiré les sous-marins et les torpilles. Le Velcro fut inventé grâce à la fleur de bardane.
- **Les valeurs esthétiques** : beaucoup de personnes trouvent de la beauté ou des valeurs esthétiques dans des aspects variés des écosystèmes ; ceci se reflète par exemple dans les visites des parcs, des paysages et dans le choix des localisations pour construire des maisons.
- **Les valeurs patrimoniales** : beaucoup de sociétés apprécient le maintien de paysages historiquement importants (paysages culturels) ou d'espèces ayant une signification culturelle.
- **La récréation et l'écotourisme** : la plupart du temps, les individus choisissent leur lieu de loisir en fonction des caractéristiques des paysages dans une zone particulière. La biodiversité, notamment des écosystèmes, joue ainsi un rôle important dans la part croissante du secteur de l'écotourisme.

#### 4.5. Les valeurs économiques (monétaires) de la biodiversité

La biodiversité est un atout vital des économies mondiales et locales. Elle soutient directement les grandes activités économiques et les emplois dans de divers secteurs tels que : l'agriculture, la pêche, la sylviculture, les produits pharmaceutiques, la pâte à papier et le papier, les produits de beauté, l'horticulture, le bâtiment et les biotechnologies.

Des chercheurs ont récemment tenté de quantifier, en monnaie, la valeur économique de la biodiversité et des services écologiques rendus à l'humanité. Le montant varie de 203 milliards de \$/an pour son rôle de refuge et de ressources génétiques à 19 000 milliards de \$/an pour son rôle dans les cycles des nutriments, l'épuration et la dépollution naturelle. La valeur économique de l'activité pollinisatrice des insectes, essentiellement les abeilles, est estimée à 534 milliards de \$/an (Brahic & Terreaux, 2009).

Ce sont 33 266 milliards de \$/an qui nous sont gracieusement fournis par la biodiversité, qui est, en terme monétaire, quasi deux fois plus important que le Produit National Brut (PNB) mondial, de 18 000 milliards de \$/an (Rivière, 2013).

**Tableau.** Valeurs des services écosystémiques dans les forêts tropicales

(US Dollars/ha/année, valeurs de 2017) (SCDB, 2010).

Services écosystémiques	Valeurs des services écosystémiques	
	Moyenne	Maximum
<b>Services d'approvisionnement</b>		
<i>Nourriture</i>	75	552
<i>Eau</i>	143	411
<i>Matières premières</i>	431	1 418
<i>Ressources génétiques</i>	483	1 756
<i>Ressources médicinales</i>	181	562
<b>Services de régulation</b>		
<i>Qualité de l'air</i>	230	449
<i>Régulation du climat</i>	1 965	3 218
<i>Régulation du débit de l'eau</i>	1 360	5 235
<i>Traitement / Purification de l'eau</i>	177	506
<i>Prévision de l'érosion</i>	694	1 084
<b>Services culturels</b>		
<i>Opportunités pour les loisirs et le Tourisme</i>	381	1 171
<b>Total</b>	<b>6 120</b>	<b>16 362</b>

## Chapitre Deux : Dimensions, Mesures et Bioindicateurs de Biodiversité

Afin d'être gérée, la diversité biologique doit être mesurée. D'où l'importance des chiffres qui sont indispensables pour donner plus de poids à la biodiversité au niveau de la politique et du grand public.

Grâce aux données des mesures sur la biodiversité, nous pourrions mieux orienter à l'avenir la protection des espèces. Ces mesures doivent donc représenter une langue commune compréhensible qui permet de faciliter la communication entre scientifiques, les gestionnaires de l'environnement et le public.

### 1. Dimensions de la biodiversité

La biodiversité se caractérise par deux dimensions (Brahic & Terreaux, 2009) :

- **La dimension temporelle** : la biodiversité est un système en évolution constante. Elle n'est pas statique et doit être vue comme un processus. Elle résulte de la création et de l'extinction des éléments qui la composent (gènes, espèces et écosystème) à un instant donné. A titre d'exemple, 99 % des espèces qui ont vécu sur terre sont aujourd'hui éteintes.
- **La dimension spatiale** : la biodiversité est distribuée de façon irrégulière sur terre. Elle résulte de très nombreux critères comme *le climat, le sol, l'altitude* et bien sûr *l'activité humaine*. Par exemple, la biodiversité est bien plus grande dans les régions tropicales que dans les régions tempérées.

### 2. Mesures de la biodiversité

Il existe de nombreuses façons de mesurer la biodiversité sur un site :

#### 2.1. Richesse spécifique (nombre d'espèces)

En écologie, on mesure la diversité d'un échantillon par le nombre d'espèces présentes (richesse en espèces). Plus le nombre des espèces est élevé, plus on a de chance d'inclure une plus grande diversité génétique, phylogénétique, morphologique, biologique et écologique.

La richesse en espèces est l'unité de mesure la plus courante, à tel point qu'on a parfois tendance à assimiler abusivement la biodiversité et richesse en espèces. L'approche classique lorsque l'on étudie la biodiversité est de la quantifier en termes de nombre d'espèces (Lévêque & Mounolou, 2008). Par exemple, on estime la biodiversité de la forêt amazonienne

à plusieurs milliers d'espèces dont 40 000 espèces de plantes, 2 200 poissons, 1 294 oiseaux, 427 mammifères, 428 amphibiens et 378 reptiles.

La biodiversité d'une région ne se traduit pas seulement par un simple nombre d'espèces présentes. Au sein d'un écosystème, ces espèces ne sont pas équivalentes en termes de fonction, de fréquence et distribution.

## 2.2. Diversité spécifique

La diversité spécifique comprend à la fois la richesse spécifique et l'abondance relative des espèces dans un assemblage donné (groupement végétal, communauté végétale (Marcon, 2015). Il existe plusieurs indices qui mesurent la diversité spécifique : indice de Shannon-Weaver, indice de Simpson, indice de Mill...etc.

### Exemple de l'indice de Shannon-Weaver

C'est l'indice le plus simple de sa catégorie et donc le plus utilisé. Il permet de mesurer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces (richesse spécifique) dans un milieu et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces (équitabilité spécifique). (Marcon, 2015).

Il est représenté par un chiffre réel positif compris entre 0 (une seule espèce, ou bien une espèce qui domine très largement toutes les autres espèces) à 5 (lorsque toutes les espèces ont la même abondance, elles sont dites codominantes). Plus la valeur de H' est élevée, plus la diversité est grande. Une valeur voisine de  $H'=0,5$  est déjà très faible. Cet indice est calculé de par la formule suivante :

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

Où :

- ✓ **H'** = indice de Shannon-Weaver
- ✓ **S** = nombre total d'espèces (richesse spécifique)
- ✓ **i** = une espèce du milieu d'étude
- ✓ **p<sub>i</sub>** = proportion d'une espèce **i** par rapport au nombre total d'espèces **S**, calculée par la formule  $p_i = n_i/N$  avec : **n<sub>i</sub>** = nombre d'individus de l'espèce **i** ; **N** = nombre total d'individus de toutes les espèces (effectif total).
- ✓ **Log<sub>2</sub> p<sub>i</sub>** = ln (p<sub>i</sub>)/ln (2).

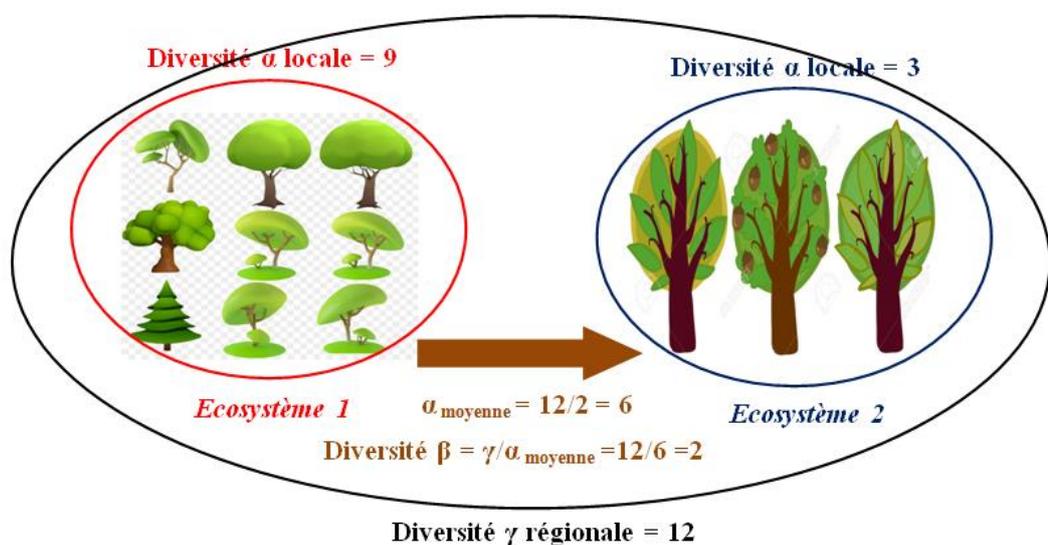
**Tableau.** Exemple de calcul de l'indice de *Shannon-Weaver*.

Espèces de la station	Fréquence spécifique ( $n_i$ )	$p_i = n_i/N$	$\log_2 p_i$	$-p_i \log_2 p_i$
<i>Marrubium vulgare</i> L.	4	$4/23 = 0.1739$	-2.5236	0.4389
<i>Olea europea</i> L.	2	$2/23 = 0.0870$	-3.5236	0.3064
<i>Pistacia atlantica</i> Desf.	1	$1/23 = 0.0435$	-4.5236	0.1967
<i>Ruta chalepensis</i> L.	1	$1/23 = 0.0435$	-4.5236	0.1967
<i>Asphodelus microcarpus</i> Sal. & Viv.	4	$4/23 = 0.1739$	-2.5236	0.4389
<i>Thymus ciliatus</i> Desf.	1	$1/23 = 0.0435$	-4.5236	0.1967
<i>Silybum marianum</i> L.	10	$1/10 = 0.4348$	-1.2016	0.5224
N (effectif total)	23			
S (richesse spécifique)	7			
<b>Indice de Shanon (<math>\sum -p_i \log_2 p_i</math>)</b>		<b>2.2966</b>		

### 2.3. Diversité dans l'espace

La diversité est classiquement estimée à plusieurs niveaux emboîtés (Lévêque & Mounolou, 2008) :

- **Diversité « alpha  $\alpha$  »** : diversité locale, mesurée à l'intérieur d'un écosystème délimité. Il s'agit de la richesse spécifique (nombre d'espèces) au sein d'un habitat uniforme, de taille fixe et à un temps donné. La diversité  $\alpha$  se mesure.
- **Diversité « béta  $\beta$  »** : diversité entre sites, consiste à comparer la diversité des espèces entre écosystèmes ou le long de gradients environnementaux (topographique ou climatique). La diversité est calculée par :  $\text{diversité } \beta = \text{diversité } \gamma / \text{diversité } \alpha_{\text{moyenne}}$ .
- **Diversité « gamma  $\gamma$  »** : diversité régionale, correspond à la richesse en espèces au niveau régional ou géographique. La diversité  $\gamma$  se mesure.

**Figure.** Exemple de calcul de la diversité  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ .

## 2.4. Diversité taxonomique

La diversité taxonomique prend en compte les informations phylogénétiques (espèces, genres, familles). La diversité d'une communauté sera plus grande si les espèces appartiennent à de nombreux genres différents que si elles sont toutes du même genre (Marcon, 2015).

Par exemple, la diversité taxonomique de la flore en Algérie est estimée à 3232 espèces végétales réparties sur 917 genres et 131 familles. La diversité taxonomique au Brésil est estimée à 50 000 espèces végétales réparties sur des centaines de familles et de genres.

## 2.5. Diversité fonctionnelle

La diversité fonctionnelle est définie comme étant la diversité des *traits fonctionnels* qui déterminent les interactions des espèces avec les conditions abiotiques d'une part, et avec les autres espèces d'autre part (Garnier & Navas, 2013).

Il existe différentes façons pour mesurer la diversité fonctionnelle, la plus simple est de rassembler les espèces en groupes fonctionnels et de compter le nombre de ces groupes fonctionnels dans une communauté donnée.

On appelle « groupes fonctionnels » des ensembles d'espèces exerçant une action comparable (ayant *le même rôle*) sur un processus déterminé ou répondant de manière similaire aux changements des contraintes externes. C'est le cas par exemple des espèces qui exploitent la même catégorie de ressources alimentaires (par exemple les herbivores), ou l'ensemble des espèces intervenant sur certains grands cycles biogéochimiques (par exemple les fixateurs de l'azote) (Marcon, 2015).

En ce qui concerne les plantes, nous pouvons les classer par exemple selon leurs stratégies d'adaptation aux conditions de l'environnement : *espèces compétitrices* (maximisent la capture des ressources), *espèces tolérantes* (peuvent vivre dans des conditions de faible disponibilité en eau et matières minérales) et *espèces rudérales* (supportent une destruction partielle ou totale).

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.

### 3. Difficultés de mesure de la biodiversité

Les principales difficultés rencontrées lors de mesure de la biodiversité se résument en (Figuière *et al.*, 2006) :

- **Importance du nombre de taxons sur terre** : les chercheurs estiment que le nombre d'espèces existantes sur la planète vari entre 5 et 100 millions (la majorité des scientifiques s'accordent sur un chiffre de 10 millions). Les scientifiques découvrent chaque année entre 10 000 et 16 000 espèces. Comme il reste encore plusieurs millions d'espèces inconnues, il faudrait près de 1 000 ans pour nommer toutes les espèces de la planète.
- **Manque de moyens humains** : l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire, un rapport de synthèse remis aux Nations unis en 2005, considéré comme la première estimation de l'état de la biodiversité dans le monde. Ce rapport a mobilisé plus de 1 300 experts du monde entier issus de toutes disciplines scientifiques. En plus, on forme moins de naturalistes et de spécialistes en taxonomie.
- **Manque de moyens matériels et financiers** : notamment dans les pays du sud qui sont les plus pauvres alors qu'ils ont la plus grande diversité. Par exemple, dans un projet de conservation ,750 millions de \$ investis en 15 ans par diverses fondations associées à Convention International.
- **Difficultés de suivre les espèces** : essentiellement les espèces très mobiles, les espèces des grands fonds, les espèces du sol, les virus, les bactéries, et les espèces des zones tropicales éloignées et isolées. Par exemple, pour les *insectes*, on ne connaît que 10 % des espèces estimées. Quant aux *bactéries*, c'est 99 % des espèces qu'on ne connaît pas.

### 4. Les bioindicateurs de biodiversité

Théoriquement pour quantifier la diversité biologique de manière optimale, il faudrait pouvoir évaluer tous les aspects dans un contexte spatio-temporel défini. Cela étant pratiquement irréalisable, l'observateur se contente habituellement d'estimer la diversité biologique en se référant à des indicateurs.

Les indicateurs ne permettent pas réellement d'évaluer la biodiversité mais plutôt d'évaluer quantitativement et qualitativement l'état de santé du milieu dont dépend la biodiversité naturelle. Un indicateur est le résultat résumé de l'information complexe qui offre la

possibilité aux scientifiques de mieux connaître et suivre l'état de la biodiversité afin de pouvoir la préserver et la conserver. Il doit être donc *fiable, précis, compréhensible* (un protocole simple) et pas *trop cher* (à un coût faible) (Markert *et al.*, 2003).

Les bioindicateurs sont des éléments appartenant au monde vivant (*animal, végétal, fongique, molécules*) qui donnent des informations sur son milieu et son environnement. Ils sont des indices de modifications biologiques ou abiotiques dues à l'action humaine (ADEM, 2017).

#### **4.1. Les bioindicateurs d'accumulation**

Organisme, partie d'organisme ou communauté d'organisme qui accumule certaines substances présentes dans l'environnement. Il est généralement caractérisé par un effet invisible. Exemple : les mousses, les plantes à bulbes (*carotte, arachide...etc.*), les végétaux supérieurs (les *Typha* par exemple) sont généralement d'excellentes espèces bio-accumulatrices des métaux lourds des sols contaminés (Pankhurst *et al.*, 2003).

Parmi les indices utilisés, nous pouvons citer : l'indice CMT-végétaux (CMT : charge métallique totale) est un bioindicateur d'accumulation des éléments traces métalliques chez les végétaux (aucune préconisation : 0 à 5 ; mise en place d'une surveillance : 5 à 10 ; zone à risque : > 10) (ADEM, 2017).

#### **4.2. Les bioindicateurs d'effet ou d'impact**

Organisme, partie d'organisme ou communauté d'organisme qui présente des modifications ou non en fonction de son exposition à diverses substances présentes dans son environnement. Ces modifications sont d'ordre *morphologique, cellulaire* ou *comportemental*. Il est donc caractérisé par un effet visible. Par exemple la visualisation des nécroses chez les végétaux suite à la pollution de l'air. En forêt, la disparition des lichens (symbiose entre algues et champignon) peut indiquer des taux élevés en dioxyde de soufre ou la présence des polluants à base d'azote (Bispo *et al.*, 2009).

Parmi les indices utilisés, nous pouvons citer : l'indice Oméga-3-végétaux est un bioindicateur d'exposition et d'effet précoce des métaux et des herbicides, il renseigne sur l'état de santé des végétaux (bon : 1 à 0,93 ; moyen : 0,93 à 0,85 ; mauvais : < 0,85) (ADEM, 2017).

## 5. Inventaire floristique « exemple de la méthode phytosociologique »

La méthode phytosociologique recommandée par Braun-Blanquet (1932) dite aussi sigmatiste ou la méthode de l'aire minimale, est couramment utilisée en écologie et permet l'élaboration du tableau floristique.

Elle consiste à choisir les emplacements aussi typiques que possibles pour les inventaires floristiques, noter les conditions du milieu et dresser une liste complète des espèces présentes par strate.

### 5.1. Equipements de terrain

Pour mener cette étude à bon port, divers matériels sont utilisés (Bouterfas, 2015) :

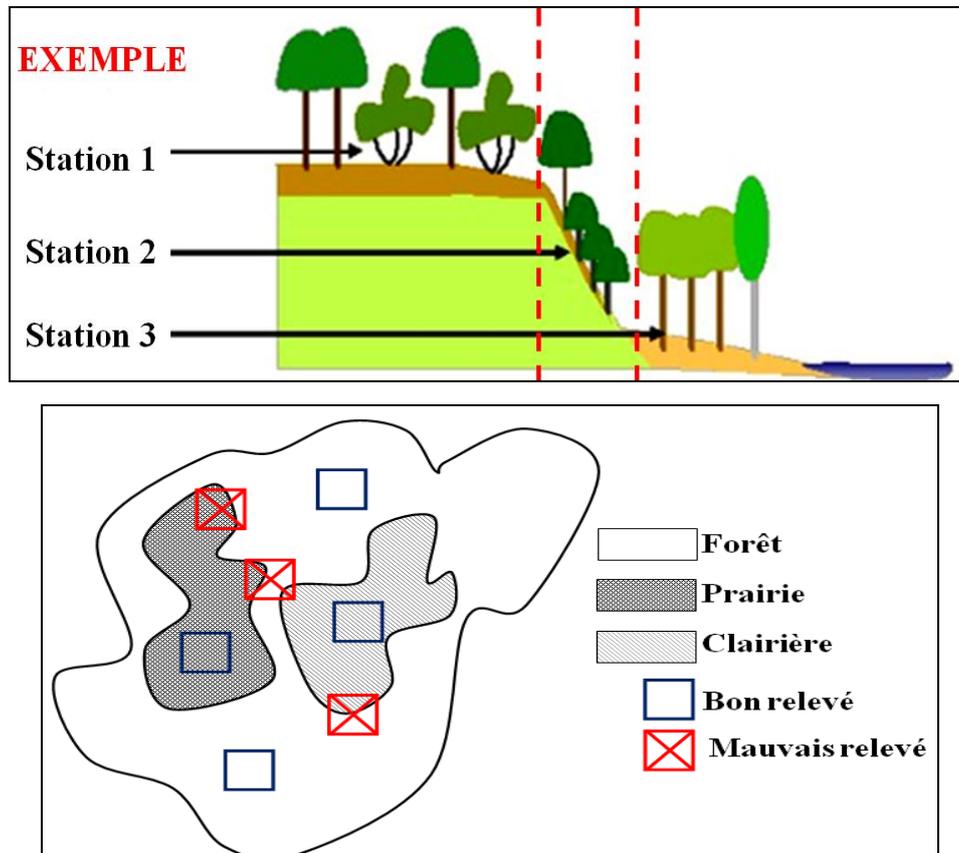
- *Une carte topographique* : (1/25 000 par exemple), pour faire le zonage de la zone d'étude.
- *Un GPS* : pour noter les coordonnées géographiques (altitude, longitude et latitude) relatives à l'emplacement.
- *Un carnet de terrain* : pour noter les informations relatives aux espèces végétales et au milieu d'étude.
- *Quatre piquets et une corde* : pour la délimitation de la surface du relevé étudié.
- *Un sécateur et sacs en plastique* : pour prélever et conserver les plantes en vue de leurs déterminations.

### 5.2. Emplacement des relevés

A l'intérieur de la surface choisie du relevé, il ne doit pas y avoir de variations significatives de composition floristique ni de milieu. Les critères fondamentaux de ce choix d'emplacement et de limites du relevé sont (Rameau, 1985) :

- *L'homogénéité floristique* : doit être répétitive et il faut avoir constaté la répétitivité de la combinaison floristique. On se limitera à des secteurs homogènes (combinaison floristique, *physionomie*, *structure*), en évitant les zones de transition entre deux groupements végétaux.

- **L'homogénéité écologique** : la station doit être homogène vis-à-vis des contrastes du milieu, tels que *l'exposition, la lumière, l'humidité du sol...etc.* Le relevé ne débordera pas sur deux habitats différents.



**Figure.** Positions des relevés floristiques (Delassus, 2015).

### 5.3. Période optimale et nombre des relevés

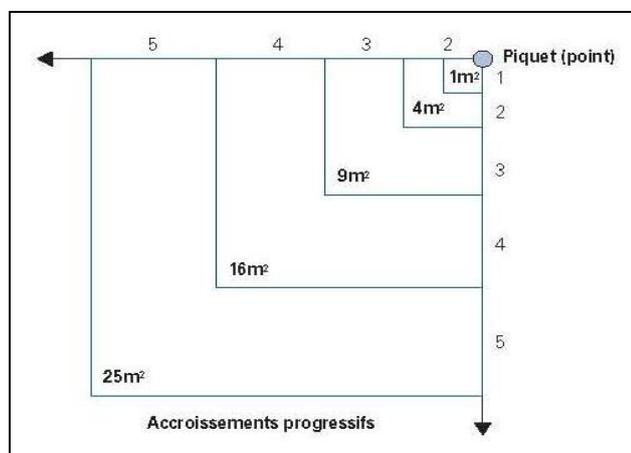
La période de réalisation du relevé doit être choisie avec soin afin que toutes les espèces soient toutes visibles et identifiables. Cette période varie en fonction des types de végétation. Par exemple, cette période va de mai à juin pour *les prairies*, de mars à mai pour *les pelouses sèches* et *dunaires*, d'avril à mai-juin pour *les forêts*, de juillet à septembre pour *les prés salés*. Un relevé dans lequel une partie des espèces sera manquante ou indéterminée sera difficilement exploitable. Il est toujours possible de repasser ultérieurement pour valider la détermination d'une espèce. Cependant, le relevé phytosociologique est une photographie à l'instant  $t$  de la végétation (Laurent *et al.*, 2017).

Le nombre de relevé à effectuer par groupement dépend de l'objectif. Pour un travail de classement et de détermination précise de l'association, il est recommandé un minimum de *10 relevés*. Pour un travail de confirmation du groupement ou de l'habitat, *2 à 3 relevés* suffisent.

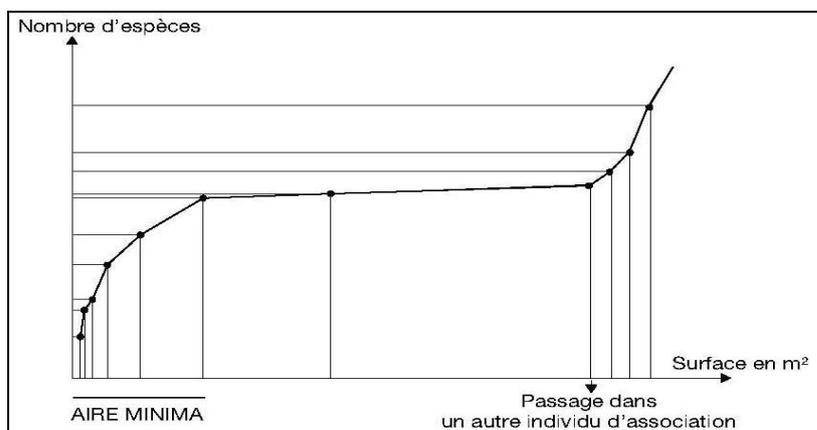
#### 5.4. Surface du relevé « Aire minimale phytosociologique »

Malheureusement dans la pratique, l'observateur ne sait toujours pas, exactement, jusqu'où s'étend la station ; c'est la raison pour laquelle on utilisera la notion d'aire minimale. L'aire minimale est conçue comme l'aire sur laquelle la quasi-totalité des espèces de la communauté végétale est représentée. C'est la surface minimale au delà de laquelle le nombre d'espèce du relevé n'augmente plus (ou très peu). Une approche classique repose sur *la méthode des surfaces emboîtées* (Delpech *et al.*, 1985).

Cette surface varie suivant les types de milieux, les valeurs habituellement retenues sont : quelques  $\text{cm}^2$  pour les végétations annuelles de *dalles rocheuses* et des *fissures de rochers*,  $10 \text{ cm}^2$  pour les *végétations flottantes* de lentilles d'eau,  $10$  à  $25 \text{ m}^2$  pour *les prairies*, *les pelouses maigres* ou de montagne, *les végétations aquatiques*,  $25$  à  $100 \text{ m}^2$  pour les communautés d'*adventices* et *les végétations rudérales*,  $100$  à  $200 \text{ m}^2$  pour *les landes*,  $300$  à  $800 \text{ m}^2$  pour *les forêts* (Delpech, 2006).



**Figure.** Technique de calcul de l'aire minimale (méthode des surfaces emboîtées).



**Figure.** Variation du nombre d'espèces par rapport à la surface du relevé.

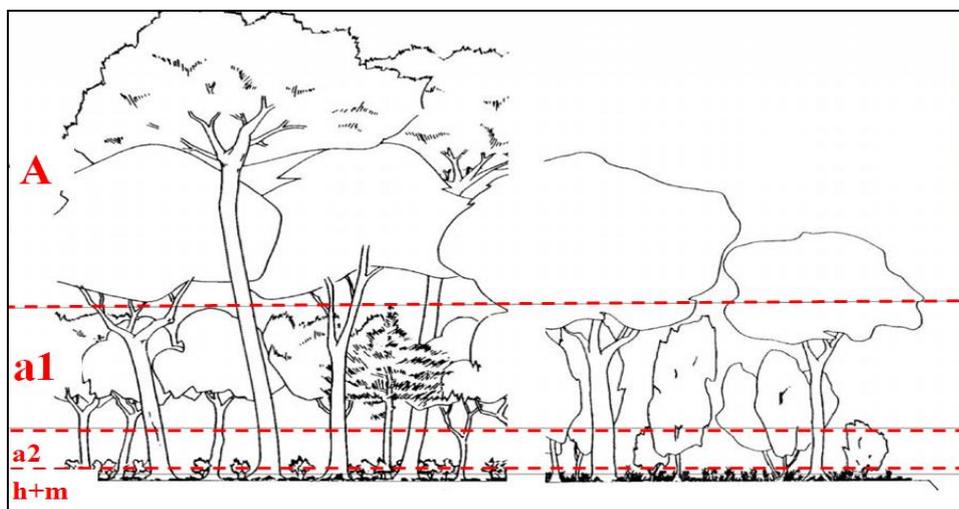
(Alexandre & Genin, 2011)

### 5.5. Dresser une liste exhaustive des espèces strate par strate

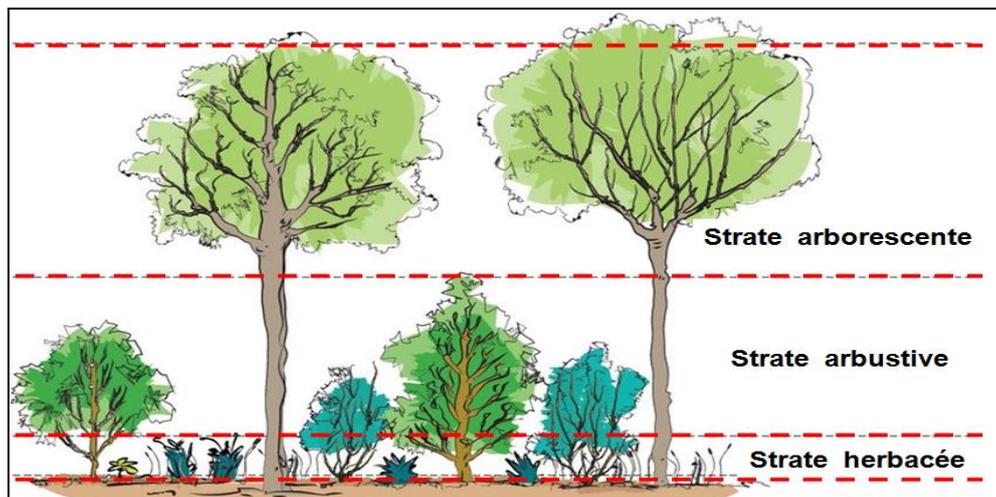
Lorsque la végétation est stratifiée, il est important de réaliser l'inventaire floristique en tenant compte de ces strates. Une strate est un « ensemble de végétaux, d'une hauteur déterminée, participant à l'organisation verticale des communautés végétales, notamment forestières ». En forêt, les différentes strates retenues sont (Géhu, 2006) :

- **Strate arborescente (A)** : arbres de première et seconde grandeurs (hauteur supérieure à 7 m).
- **Strate arbustive supérieure (a1)** : arbustes hauts ou de jeunes arbres (hauteur entre 3 et 7 m).
- **Strate arbustive basse (a2)** : arbustes bas ou de jeunes arbres (hauteur entre 1 et 7 m).
- **Strate herbacée (h)** : des espèces herbacées et des chaméphytes ; jeunes plantules des espèces ligneuses (hauteur inférieur à 1 m).
- **Strate muscinale (m)** : les individus se développant sur le sol (lichens, champignons, mousses, etc.).

Ces hauteurs sont données à titre d'indications destinées à guider le phytosociologue. Elles doivent être individualisées en fonction de la réalité de terrain. Il peut arriver par exemple qu'il ne soit pas possible de distinguer les strates a1 et a2 ou que la hauteur de la strate a1 atteigne 9 mètres. Par exemple, pour la végétation ligneuse de l'Oranie, trois strates sont généralement retenues : la strate arborescente (hauteur de 4 m et plus), la strate arbustive (hauteur entre 1,50 m et 4 m) et la strate herbacée (hauteur moins de 0,50 m) (Benabdelli, 1996).



**Figure.** Stratification de la végétation dans la forêt (Delassus, 2015).



**Figure.** Stratification de la végétation ligneuse de l'Oranie (Benabdelli, 1996).

## 5.6. Identifications des espèces inventoriées

### 5.6.1. Prélèvement et collecte des espèces

Pour le prélèvement de spécimens de plantes, il est préférable de le faire par temps sec et ensoleillé car les plantes collectées lorsqu'il n'y a pas d'eau en surface, sécheront plus rapidement et conserveront mieux leurs couleurs, les risques d'apparition de moisissure seront réduits (Bouterfas, 2015).

Il est essentiel de prélever les plantes entières, c'est-à-dire possédant toutes leurs parties végétatives : racine, tige, feuille, mais il est indispensable de prélever aussi les fleurs et si possible les fruits qui sont deux organes très essentiels pour la détermination. Les plantes sont faciles à presser, et produisent de meilleurs spécimens lorsqu'elles sont encore fraîches. Le moyen le plus simple et le plus efficace pour transporter des plantes récoltées consiste à les placer dans des sacs de plastique.

### 5.6.2. Stockage et séchage

Pour obtenir des échantillons de qualité, le séchage doit commencer le plus rapidement possible après la récolte. Il se fait en posant délicatement chaque plante entre deux feuilles de papier journal sous un poids quelconque. Il est souvent constaté que les plantes perdent leur couleur après le séchage. Pour plus de sécurité, il est conseillé de changer régulièrement le papier journal pour éviter les moisissures (Bouterfas, 2015).

Un numéro d'identification qui servira comme code devra apparaître à l'extérieur de chaque chemise de papier journal et ce même numéro, ainsi que les données sur la couleur de la fleur ou l'habitat, devront être consignées dans le registre de collection ou le carnet du terrain.

### 5.6.3. Identification des espèces

Sur une petite fiche, indiquer le code de la plante, la date et le lieu de récolte. Par exemple, pour l'identification et la nomenclature des espèces en Algérie, nous utiliserons *la nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales* de Quezel & Santa (1962 ; 1963).

### 5.6.4. Mise en herbier et archivage

Après leur détermination et leur identification, les plantes sont séchées sous presse avant d'être fixées par la colle sur du papier. Pour obtenir des résultats plus professionnels, nous monterons les spécimens séchés sur une feuille de papier rigide à herbier mesurant environ 30 sur 42 cm. Nous les fixerons en appliquant de petites gouttes allongées de colle blanche (polypropylène) sur les tiges et les pétioles. Les structures délicates, particulièrement celles nécessaires à l'identification, ne devraient pas être couvertes de colle (Bouterfas, 2015).

L'ajout au coin inférieur de la feuille d'une étiquette donnera les informations comme *le nom de la plante, le lieu de collecte* et son *habitat*, complète la préparation du spécimen. Mises dans des pochettes plastiques perforées, les planches seront placées dans des classeurs, et gardées dans un endroit aéré, à l'abri de l'humidité et de la lumière.

## 5.7. Indiquer les différents coefficients pour les taxons

Accorder pour chaque espèce un coefficient d'abondance-dominance, de sociabilité :

### 5.7.1. Abondance-dominance

Braun-Blanquet (1952) a créé le coefficient qui associe les concepts *d'abondance* et de *dominance*. L'abondance exprime le nombre d'individus qui forment la population de l'espèce présente dans le relevé. La dominance représente le recouvrement de l'ensemble des individus d'une espèce donnée, ce coefficient est estimé visuellement selon une échelle variant de 5 à i :

- **Coefficient 5** : individus recouvrant plus de  $\frac{3}{4}$  de la surface ( $> 75\%$ ).
- **Coefficient 4** : individus recouvrant de  $\frac{1}{2}$  à  $\frac{3}{4}$  de la surface (50 -75 %).
- **Coefficient 3** : individus recouvrant de  $\frac{1}{4}$  à  $\frac{1}{2}$  de la surface (25-50 %).
- **Coefficient 2** : individus recouvrant de  $\frac{1}{20}$  à  $\frac{1}{4}$  de la surface (5-25 %).
- **Coefficient 1** : individus recouvrant moins de  $\frac{1}{20}$  de la surface ( $< 5\%$ ).
- **Coefficient +** : peu d'individus avec faible recouvrement.

- *Coefficient r* : espèce rare.
- *Coefficient i* : un seul individu.

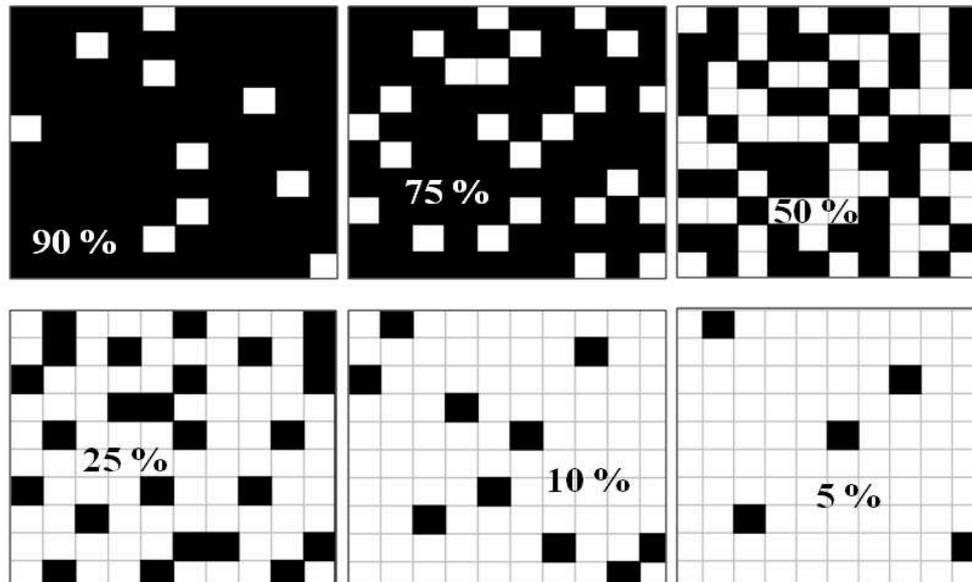
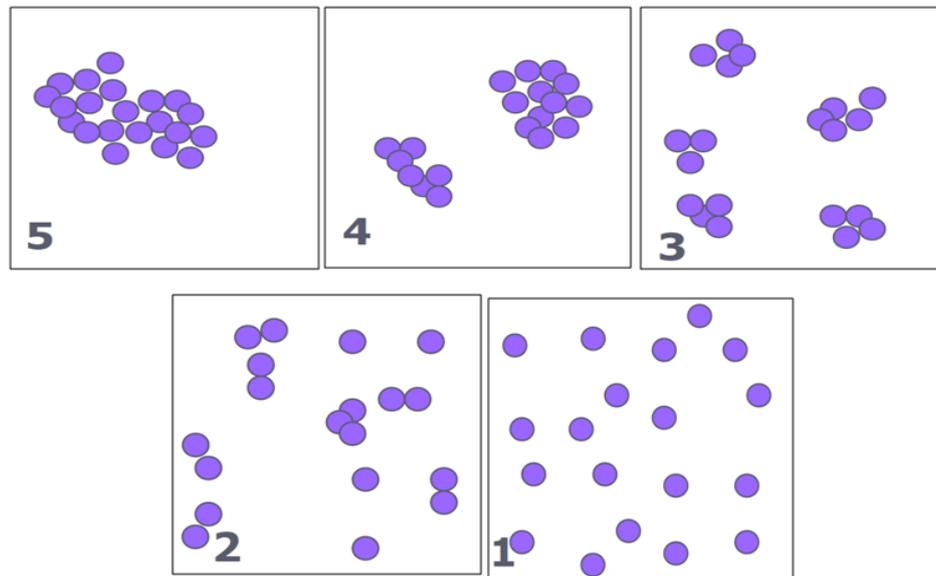


Figure. Indice d'abondance-dominance (Gillet, 2000).

### 5.7.2. La sociabilité

Elle traduit le mode de distribution des individus de la même espèce les uns par rapport aux autres. On appelle une espèce sociable, espèce dont les individus sont groupés. Ce caractère est également évalué grâce une échelle de 5 à 1, établie par Braun-Blanquet (1952) :

- *Coefficient 5* : individus recouvrant la plus grande surface.
- *Coefficient 4* : individus formant de grands groupes.
- *Coefficient 3* : individus groupés en tache.
- *Coefficient 2* : individus répartis en petits groupes isolés.
- *Coefficient 1* : croissance solitaire, individus isolés.



**Figure.** Indice de sociabilité (Gillet, 2000).

### 5.8. Éléments accompagnant le relevé floristique

Un certain nombre d'autres éléments doivent (ou peuvent) accompagner le relevé floristique (Delassus, 2015) :

- **Caractères généraux** : le nom de l'auteur du relevé, le numéro du relevé, la date où a été réalisé le relevé.
- **Facteurs topographiques** : la localité géographique (lieu dit, commune, wilaya), l'altitude, la longitude, la latitude, l'exposition.
- **Facteurs édaphiques** : les caractères essentiels du sol : texture, structure, pH, ...etc.
- **Facteurs climatiques et environnementaux** : les conditions hydriques, toute information concernant les précipitations et les températures, l'humidité, la luminosité, la lithologie, le drainage.
- **Facteurs biologiques, spécifiques ou floristiques** : l'aspect physiologique (forêt, fourré, végétation herbacée, ...etc.), le recouvrement (en %), l'influence animale et humaine. La liste des espèces végétales en fonction de leurs stratifications, avec des indications d'abondance, de dominance de sociabilité.

**Tableau.** Exemple de tableau floristique (Bouterfas *et al.*, 2013).

Lieu Mont de Tessala – Commune de Tessala – Wilaya de Sidi Bel Abbas - Algérie							
Date	13-05-18	15-04-18	11-05-18	13-05-18	15-05-18	03-05-18	
Station	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	
Type	Maquis	Forêt	Forêt	Garrigue	Garrigue	Maquis	
Recouvrement de la végétation en %	80 %	80 %	75 %	50 %	50 %	25 %	
Altitude (m)	792	990	728	814	850	881	
Longitude Ouest	0°46'25"	0°46'27"	0°46'45"	0°46'32"	0°46'13"	0°46'16"	
Latitude Nord	35°16'34"	35°16'33"	35°16'00"	35°16'13"	35°16'10"	35°17'23"	
Exposition	S-E	S-E	N-E	N-E	N-O	S-O	
Pente en %	12-25	> 25	12-25	12-25	> 25	3-12	
Texture du sol	G	P	G	G	P	G	
Structure du sol	LS	SL	LS	LS	SL	LS	
Strate arborescente							
1	<i>Ceratonia siliqua</i> L.	-	2.2	-	-	-	-
2	<i>Ficus carica</i> L.	-	-	1.1	-	-	-
3	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill	-	2.2	-	-	-	-
4	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	-	2.3	-	-	-	-
5	<i>Olea europea</i> L.	-	1.1	2.1	2.1	1.1	-
Strate arbustive							
6	<i>Bryonia dioica</i> Jacq.	-	-	-	-	1.1	-
7	<i>Crateagus oxyacantha</i> L.	-	1.1	-	-	-	-
8	<i>Nerium oleander</i> L.	-	-	-	-	-	-
9	<i>Olea europea</i> L.	2.3	-	-	-	-	-
10	<i>Olea europea</i> Var. <i>Oleaster</i> Dc.	1.1	-	1.1	-	-	-
Strate herbacée							
11	<i>Ampelodesma mauritanicum</i> Bir.	1.1	-	-	2.1	-	-
12	<i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Pers.	2.2	-	-	-	-	-
13	<i>Anagallis arvensis</i> L.	-	2.1	1.1	1.1	2.1	-
14	<i>Anagallis monelli</i> L.	2.2	1.1	-	-	1.1	-
15	<i>Asparagus acutifolius</i> L.	2.2	2.2	1.1	-	1.1	1.1
16	<i>Asphodelus microcarpus</i> Sal & Viv.	2.2	1.1	2.2	2.2	-	1.1
	<b>Nombre d'espèces</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>2</b>

St : station, S : Sud, E : Est, O : Ouest, N : Nord, G : Grumeleuse, P : Polyédrique, LS : lumino-sableuse, SL : sablo-lumoneuse.

### 5.9. Analyse phytocéologique et floristique

L'exploitation des relevés floristiques est très utile pour avoir un aperçu sur la diversité et l'hétérogénéité des formations végétales présentes dans le site d'étude. La présence des espèces renseigne sur le domaine climatique, la nature de la composition du sol, l'humidité stationnelle, mais aussi leur sensibilité aux pâtures (Bouterfas, 2015).

Les espèces inventoriées doivent être réparties selon :

- **Les familles correspondantes** : Lamiaceae, Rutaceae, Apiaceae, ...etc.
- **Les types biologiques (T.P)** : phanérophytes, chaméphytes, géophytes, thérophytes, hémicryptophytes.
- **Les types morphologiques (T.M)** : ligneuses vivaces, herbacées vivaces, herbacées annuelles.
- **Les types phytogéographiques (T.B.G)** : cosmopolites, méditerranéennes, eurasiatiques, ...etc.

**Tableau.** Exemple de tableau d'analyse floristique (Bouterfas *et al.*, 2013).

	<i>Espèces</i>	<i>Familles</i>	<i>T.B</i>	<i>T.M</i>	<i>T.B.G</i>
1	<i>Ampelodesma mauritanicum</i> Bir.	Poaceae	He	H.V	W-Méd.
2	<i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Pers.	Asteraceae	Th	H.A	Euro-Méd.
3	<i>Anagallis arvensis</i> L.	Primulaceae	Th	H.A	Sub-Cosmop.
4	<i>Anagallis monelli</i> L.	Primulaceae	He	H.V	W-Méd.
5	<i>Asparagus acutifolius</i> L.	Asparagaceae	Ge	H.V	Méd.
6	<i>Asphodelus microcarpus</i> Sal & Viv.	Liliaceae	Ge	H.V	Canar-Méd.
7	<i>Asteriscus maritimus</i> L.	Asteraceae	He	H.V	Canar-Euro-Méd.
8	<i>Avena sterilis</i> L.	Poaceae	Th	H.A	Irano-Tour.
9	<i>Ballota hirsuta</i> L.	Lamiaceae	He	H.A	Ibéro-Maur.
10	<i>Brisa maxima</i> L.	Poaceae	Th	H.A	Paléo-Sub-Trop.
11	<i>Bromus rubens</i> L.	Poaceae	Th	H.A	Paléo-Sub-Trop.
12	<i>Bryonia dioica</i> Jacq.	Cucurbitaceae	He	H.V	Méd.
13	<i>Calendula arvensis</i> L.	Asteraceae	Th	H.A	Sub-Méd.
14	<i>Capsella bursa-pastoris</i> L.	Brassicaceae	Th	H.V	Méd.
15	<i>Carduus pycnocephalus</i> L.	Asteraceae	He	H.A	Méd.
16	<i>Centaurea pullata</i> L.	Asteraceae	He	H.A	Méd.
17	<i>Ceratonia siliqua</i> L.	Caesalpiniaceae	Ph	L.V	Méd.
18	<i>Chamaerops humilis</i> L.	Asteraceae	Ph	L.V	W-Méd.

*Ph* : phanérophyte ; *Ge* : géophyte ; *Th* : thérophyte ; *Ch* : chaméphyte ; *He* : hémicryptophyte ; *L.V* : ligneuse vivace ; *H.A* : herbacée annuelle ; *H.V* : herbacée vivace.

## Chapitre Trois : Distribution Géographique et Hotspots de Biodiversité

La diversité biologique n'est pas distribuée de manière homogène à la surface de la planète. Les naturalistes ont essayé de mettre en évidence les grandes tendances ou « patterns » (mot qui est parfois traduit par patron) dans la distribution spatiale de la biodiversité.

Si l'on recherche des unités écologiques, on peut mettre en relation les caractéristiques du climat et celles de la végétation, ce qui conduit à reconnaître les grands biomes. Si l'on évalue le degré de ressemblance entre les flores et les faunes, on peut diviser la planète en régions biogéographiques.

### 1. La distribution géographique de la biodiversité

#### 1.1. Les gradients dans la répartition spatiale

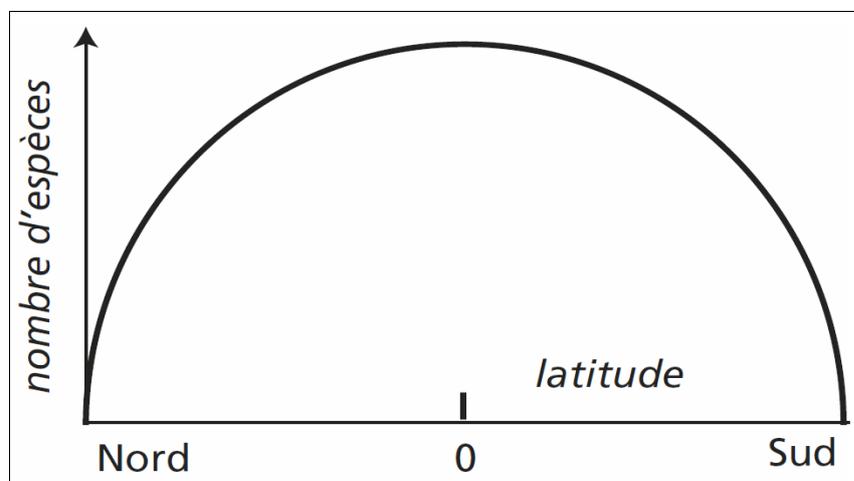
Les scientifiques ont essayé d'identifier des facteurs qui expliqueraient la répartition spatiale actuellement observée. La recherche de gradients est une manière de mieux comprendre cette organisation de la diversité biologique.

##### 1.1.1. Gradients latitudinaux

Un phénomène assez général en milieu terrestre et aquatique continental, est l'existence d'un gradient latitudinal : *la richesse en espèces augmente en allant des pôles vers l'équateur* pour la plupart des groupes taxinomiques. Autrement dit, la biodiversité est bien plus grande sous les tropiques que dans les régions tempérées. La richesse spécifique augmente des latitudes élevées vers les latitudes basses. Il suffit de penser que près des 90 % des espèces animales et végétales du monde vivent entre les tropiques du Cancer et du Capricorne. Ce phénomène est particulièrement marqué pour les plantes (Lévêque & Mounolou, 2008).

On a cherché bien entendu à expliquer les gradients latitudinaux en milieu terrestre en évoquant le fait que les régions tropicales occupent une surface plus importante que les régions tempérées ou froides. L'existence d'une proportion d'espèces endémiques beaucoup plus grande en zone tropicale qu'en zone tempérée est probablement aussi la conséquence de la variabilité du climat. Les conditions climatiques défavorables (gel par exemple) ont beaucoup perturbé les zones froides et tempérées où elles ont eu un « effet d'essuie-glace » sur la diversité biologique, alors que les climats plus stables des zones tropicales ont permis la pérennisation d'écosystèmes à long terme (Stevens, 1989).

Toutefois, ce gradient latitudinal n'est pas régulier. Ainsi, le bassin méditerranéen, situé entre 30° et 40° de latitude nord, est plus riche que le désert saharien situé plus au sud. Dans le milieu marin, ce phénomène est controversé et même parfois inverse. Ainsi, les macro-algues sont plus diversifiées en milieu tempéré qu'en milieu tropical.



**Figure.** Courbe schématique de la distribution de la richesse en espèces au différentes latitudes (Lévêque & Mounolou, 2008).

### 1.1.2. Gradients altitudinaux

La zonation altitudinale est une forme d'organisation de la diversité biologique qui nous est familière dans les zones de montagne où l'on peut observer, sur des surfaces limitées, un changement rapide de la structure des peuplements végétaux avec l'altitude.

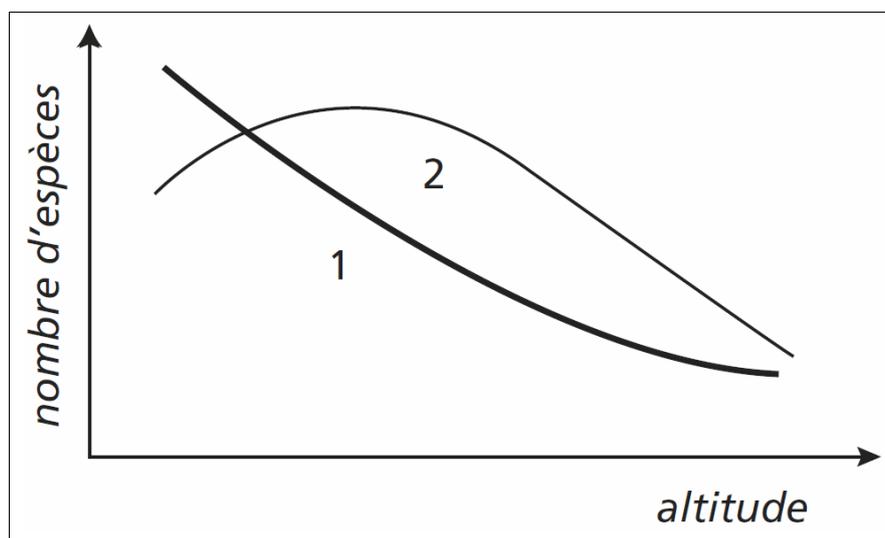
Le gradient altitudinal est complexe car il est le résultat de la combinaison de plusieurs facteurs écologiques regroupés en trois catégories : *climatiques* (diminution de la température et de l'évapotranspiration, augmentation de la pluviométrie et de l'intensité des vents), *édaphiques* (augmentation de la qualité de l'eau et de la matière organique, diminution du pH), *biotiques* (modification de la densité, de la physionomie et de la composition floristique) (Stevens, 1992).

La température et la pluviométrie sont les principaux facteurs physiques structurants le gradient altitudinal. Généralement, pour une différence de 100 m d'élévation, les températures annuelles maximales et minimales diminuent de 0,6 °C et 0,4 °C respectivement, tandis que les précipitations annuelles augmentent de 50 mm. Ce gradient altitudinal est fortement lié à la notion de température, ce qui est à la base de différences importantes dans la composition floristique, structurale des peuplements forestiers (Lévêque & Mounolou, 2008).

Les études relatives à la variation altitudinale de la diversité végétale portent le plus souvent sur l'analyse de la richesse spécifique. Plusieurs auteurs ont fait l'étagement de la végétation selon le gradient altitudinal. Il existe deux modèles généraux pour expliquer la relation entre la richesse spécifique et l'altitude (Grytnes & Vetaas, 2002).

Pour certains taxons la richesse spécifique diminue simplement avec l'augmentation de l'altitude (*diminution monotonique*). C'est le cas par exemple de la forêt amazonienne, des Andes et du Mexique, où la diversité biologique décroît avec l'altitude. Cela est dû probablement par le fait que la végétation de montagne est plus vulnérable aux changements climatiques que la végétation de basse altitude.

D'autres confirment que la richesse spécifique est sous forme d'une courbe en cloche (*courbe unimodale avec un maximum de richesse aux altitudes intermédiaires*). A titre d'exemple, dans l'Himalaya, la richesse spécifique présente une réponse unimodale à l'altitude avec un maximum de diversité biologique enregistrée aux altitudes moyennes (de 1500 à 2500 m). En effet, les espèces végétales et animales commencent à remonter vers les altitudes supérieures suite aux effets de réchauffement conduisant ainsi à une forte diversité à ces altitudes.



**Figure.** Changements de la richesse en espèces en fonction de l'altitude (Lévêque & Mounolou, 2008). 1 : *diminution monotonique* ; 2 : *courbe unimodale*

### 1.1.3. Gradients longitudinaux et profondeur

Dans le domaine marin, un gradient longitudinal bien établi est celui de la diversité des coraux dont la plus grande richesse spécifique est observée dans l'archipel indonésien. Elle diminue vers l'ouest de manière irrégulière dans l'océan Indien et elle est plus faible dans les Caraïbes (Lévêque & Mounolou, 2008).

Dans les océans, la biodiversité augmente généralement avec la profondeur. En mer, on distingue *le domaine pélagique* qui correspond aux espèces et communautés qui vivent dans la masse d'eau, et *le domaine benthique* pour les organismes qui vivent sur et dans le sédiment ou sur les substrats durs. De manière générale, la diversité biologique est plus élevée dans les milieux benthiques que dans les milieux pélagiques.

## 1.2. Une organisation écologique : les biomes

La distribution des espèces végétales à la surface du globe n'est pas aléatoire mais dépend essentiellement des facteurs écologiques. La combinaison des précipitations et de la température permet de diviser le globe en domaines morphoclimatiques. Ce sont les biomes appelés encore *macroécosystèmes* ou *aires biotiques de dimension régionale*.

Le biome est un écosystème de grande échelle (ensemble d'écosystèmes homogènes) qui correspond à l'ensemble des animaux et des plantes qui cohabitent dans une zone géographique donnée et sous un certain type de climat (homogène du point de vue température et précipitations). Un biome est donc une région dans laquelle les composantes biotiques et abiotiques sont semblables. Il est nommé à partir de la végétation et des espèces animales qui y prédominent et y sont adaptées (Lévêque & Mounolou, 2008).

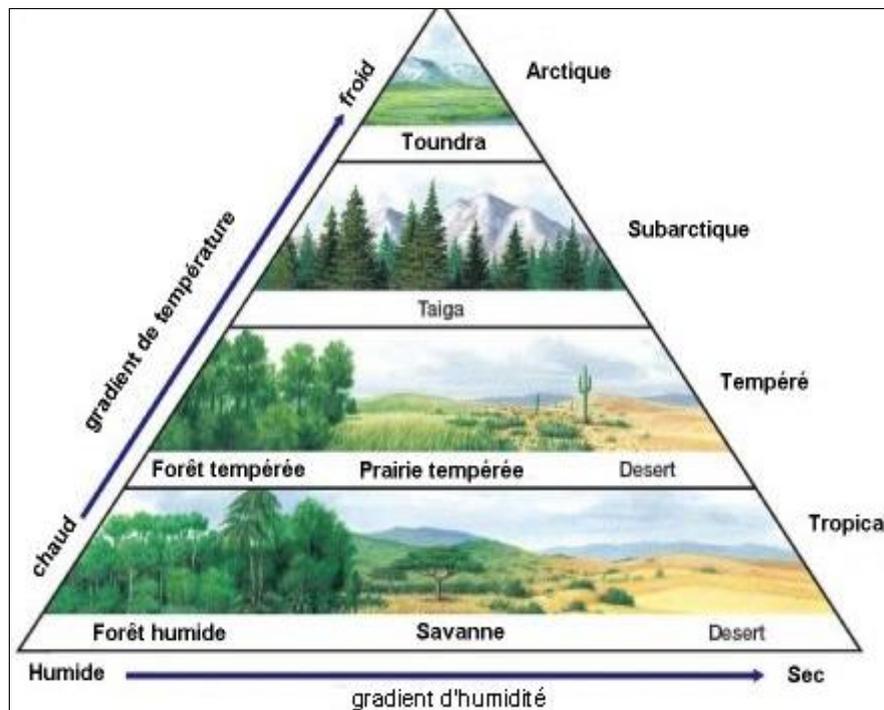
Bien que les biomes soient souvent nommés en fonction de leur végétation prédominante, plusieurs facteurs les déterminent : le climat (température, précipitations, heures d'ensoleillement, saisons), les espèces animales, le type du sol, les cours d'eau, le relief et les formes du terrain.

Les biomes sont répartis géographiquement en différents points de la planète. Ainsi, on peut rencontrer *la toundra* à la fois au Canada et en Alaska, au nord de la Sibérie, en Islande et au Groenland. De même pour la *forêt tropicale humide*, on la retrouve en Amazonie, dans le bassin du Congo ou en Indonésie.

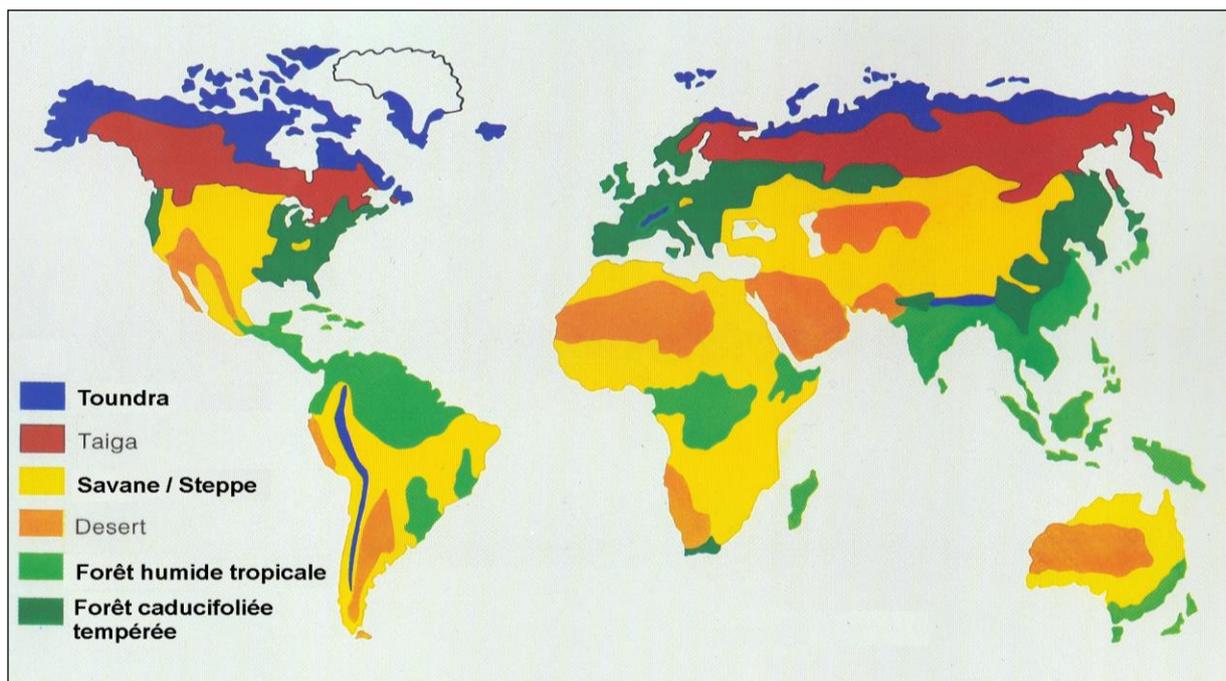
Les biomes terrestres sont tout d'abord caractérisés par leur climat. Ce climat – conditionné à son tour par les températures et les quantités de précipitations – détermine ensuite les espèces végétales pouvant coloniser un milieu, influençant du même coup les espèces animales pouvant habiter ce même milieu (Godron, 1986).

Le nombre de biomes identifiés à l'échelle du globe terrestre dépend de la résolution souhaitée. On distingue de 10 à 100 biomes selon les auteurs. Dans la majorité des cas, la physionomie de la végétation sert de base à la délimitation de ces biomes. Les plus grands biomes terrestres caractérisant la biosphère sont : *les toundras, les taïgas, les forêts tempérées*

et humides, les savanes, la steppe. Il faut y ajouter les aires cultivées ainsi les déserts et les étendues glacées.



**Figure.** Répartition des principaux biomes en fonction des climats (Whitaker, 1975)



**Figure.** Répartition des principaux biomes terrestres (Webmaster 1).

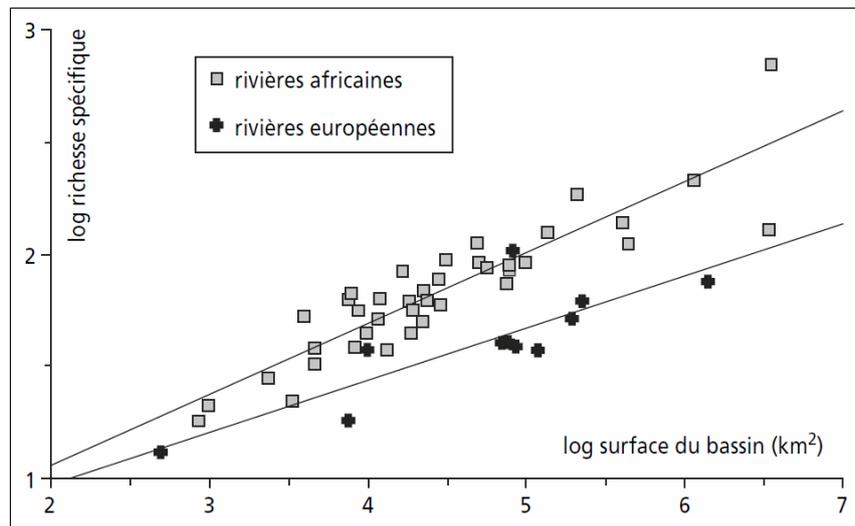
**Tableau.** Localisation et quelques caractéristiques climatiques et floristiques des principaux biomes terrestres.

<b>Biome</b>	<b>Localisation</b>	<b>Climat</b>	<b>Végétation</b>
<b>Forêt tropical humide</b>	Amérique du sud et centrale	+++ de précipitations /an	forêts épaisses
	Afrique centrale / Asie sud-est	T °C élevée /an	à trois couches
<b>Savane (prairie tropicale)</b>	nord Australie / sud Amérique	pluie en été / sec en hiver	herbes hautes
	Caraïbes	très chaud en été/ frais en hiver	peu d'arbre
<b>Steppe (prairie tempérée)</b>	Russie / Canada / Etas Unis	neige en hiver / orages en été	herbes moyennes et courtes
	Australie / Chine	hiver froid / été chaud	graminées / sans arbres
<b>Désert chaud</b>	Afrique du nord / Moyen-Orient	--- de précipitations	cactus
	sud-ouest Etats Unis	frais en hiver / été très chaud	autres broussailles
<b>Taïga</b>	nord Américain	neige en hiver / pluie en été	arbres conifères
	Eurasien	hiver très froid / été frais	
<b>Toundra</b>	Pôle nord	---- de précipitation	sans arbres / arbustes
	Les montagnes alpines	hiver très long et rigoureux	lichens - mousses
<b>Forêt décidue tempérée</b>	Eurasie / Est canada	+++ de précipitations	arbres mixtes
	nord Etats Unis	gel en hiver	(chêne / bouleau)
<b>Désert froid</b>	Mongolie / Chine	climat très rigoureux	aucune végétation
	Etats Unis / Kazakhstan	--- de précipitation	
	Ouzbékistan / Argentine	T °C très froide / an	

### 1.3. La relation surface/nombre d'espèces

Il existe une relation empirique bien connue des écologistes entre la surface d'une île et le nombre des espèces observées sur cette île. Elle s'exprime le plus souvent par l'équation d'Arrhenius :  $S = cA^z$ , où S le nombre des espèces, A la surface, c et z sont des constantes. La notion d'île s'applique aussi bien aux îles océaniques qu'aux îles continentales à savoir les sommets des montagnes, les lacs (Lévêque & Mounolou, 2008).

On donne une explication à la relation surface-richeesse en espèces : lorsque la surface augmente on peut s'attendre à ce que la diversité des habitats augmente également, et les peuplements sont d'autant plus riches en espèces que les habitats sont diversifiés.

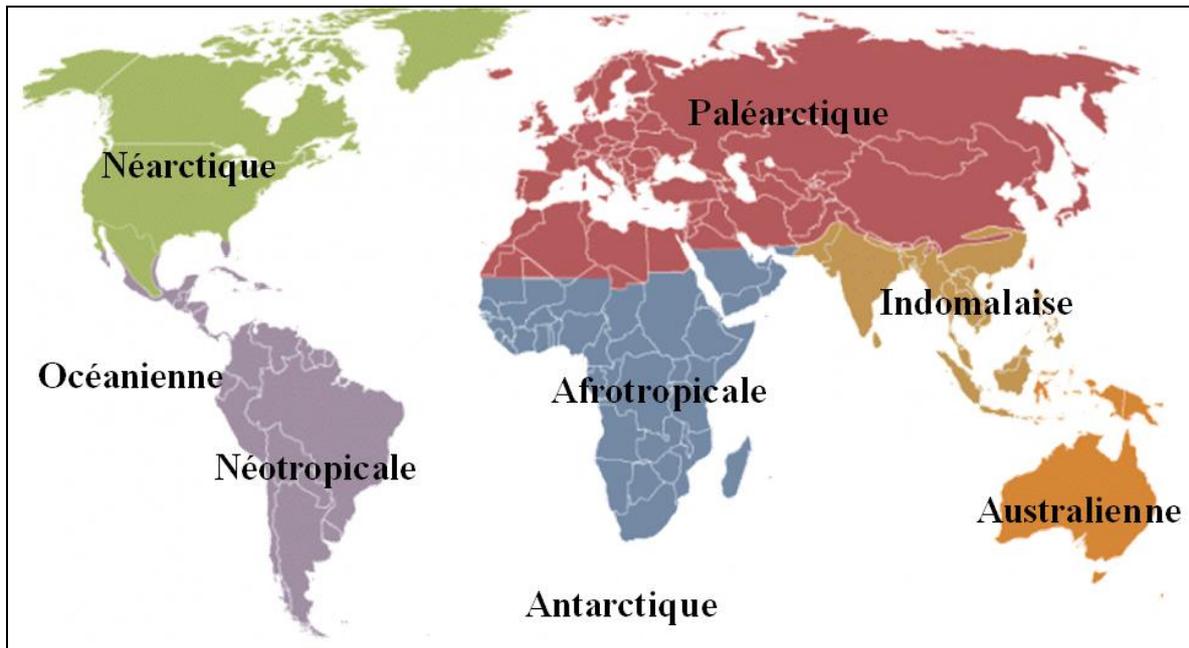


**Figure.** Richesse spécifique et surface du bassin hydrographique : *compraraision entre rivières européennes et africaines* (Lévêque & Mounolou, 2008).

#### 1.4. Une organisation taxinomique : les régions biogéographiques (écozones)

Une région biogéographique ou *écozone* est une unité écologique de taille continentale ou subcontinentale caractérisée par une certaine similitude dans la répartition de la faune et de la flore. Ces similitudes s'expliquent en premier lieu par l'histoire géologique (évolution de la configuration des continents sur le globe) des zones puis par l'influence du milieu sur la faune et la flore. Les régions biogéographiques sont « d'un seul tenant » (Lévêque & Mounolou, 2008).

De manière très schématique, en milieu terrestre, on distingue six grandes régions biogéographiques qui correspondent globalement aux principales plaques continentales, et dans lesquelles flore et faune ont une histoire commune. Il y a trois grandes régions tropicales : l'*Afrotropicale* (Afrique), *Néotropicale* (Amérique du sud) et l'*Indo-malaise ou Orientale* qui hébergent plus des deux tiers des espèces terrestres connues. Les zones tempérées à froides : *Néarctique* (Amérique du nord), *Paléarctique* (Eurasie) et *Australienne* (Australie). On distingue en outre la région des *îles du Pacifique* et l'*Antarctique* (Schultz, 2005).



**Figure.** Répartition des principales régions biogéographiques sur le globe terrestre.  
(Webmaster 2)

**Tableau.** Subrégions et végétation des principales régions biogéographiques.

Régions	Subrégions	Végétation
<b>Afrotropicale</b>	Madagascar / Est Afrique	Savanes
	Ouest Afrique	Végétation dense
	Sud Afrique	Buissons épineux
<b>Antarctique</b>	Iles d'océan atlantique	Végétation basse peu diversifiée
	Iles d'océan Indien	Mousses / Lichens
<b>Australienne</b>	Austro-Malaise / Australie	Forêt tropicale
	Polynésie / New Zélande	Grandes étendues désertiques
<b>Indomalaise (Orientale)</b>	Inde Centrale / Sri Lanka	Forêts tropicales et subtropicales humides et sèches
	Himalaya / Indo-Malais	
<b>Paléarctique</b>	Nord européenne	Forêts boréales
	Méditerranéenne	Forêts de conifères
	Sibérie / Japon	Maquis / Garigues
<b>Néarctique</b>	Californie / Montagne de Rocky	Déserts / Broussailles
	Canada / Alléghéniens	Forêt boréale / Toundra
<b>Néotropicale</b>	Chili / Brésil	Forêts tropicales humides
	Mexique / Antilles	Prairies / Savanes
<b>Océanienne</b>	Micronésie / les îles Fidji	Forêts tropicales et subtropicales humides
	Polynésie (Majeur partie)	Savanes / Prairies

## 2. Les zones de grande diversité ou « hotspots »

### 2.1. Définition

Les hotspots « *points chauds* ou *hauts lieux* » de la diversité biologique, sont des zones qui bénéficient d'une concentration extraordinaire d'espèces, tout en étant soumises à une perte accélérée d'habitats (menacées de disparition). Ce sont donc des zones critiques en matière de conservation (Myers *et al.*, 2000).

### 2.2. Critères

Pour être qualifiée de hotspot, une région doit répondre à deux critères (Milan & Rodary, 2010) :

- **Critère d'endémisme** : hotspot est une zone qui renferme au moins 1 500 plantes vasculaires endémiques (hors mousses, algues et lichens). Cela représente plus de 0,5 % de la biodiversité mondiale. Une espèce est dite endémique lorsqu'elle est caractérisée par une présence naturelle exclusivement dans une région géographique délimitée (on ne la trouve nulle part ailleurs). Ce phénomène est alors lié à l'isolement géographique des taxons. Exemple : l'arganier est un arbre endémique du Maroc.
- **Critère de menace** : hotspot est une zone géographique où la biodiversité est menacée et dans laquelle au moins 70 % de l'habitat d'origine a été perdu. Ces menaces sont essentiellement du fait de l'homme : l'urbanisation entraîne la destruction des habitats, la chasse entraîne la diminution des populations animales et le réchauffement climatique bouleverse profondément le mode de vie des animaux et des végétaux.

Les deux types d'organismes choisis, plantes vasculaires et vertébrés, sont les seuls suffisamment étudiés pour être pertinents dans le choix des hotspots. Aucun critère anthropique n'a été pris en compte dans la détermination des hotspots. En effet, les hotspots ne sont pas synonymes d'absence humaine. Dans ces zones, les densités varient de 4 à 332 habitants au km<sup>2</sup> dans lesquelles on recense de nombreuses activités humaines comme l'agriculture.

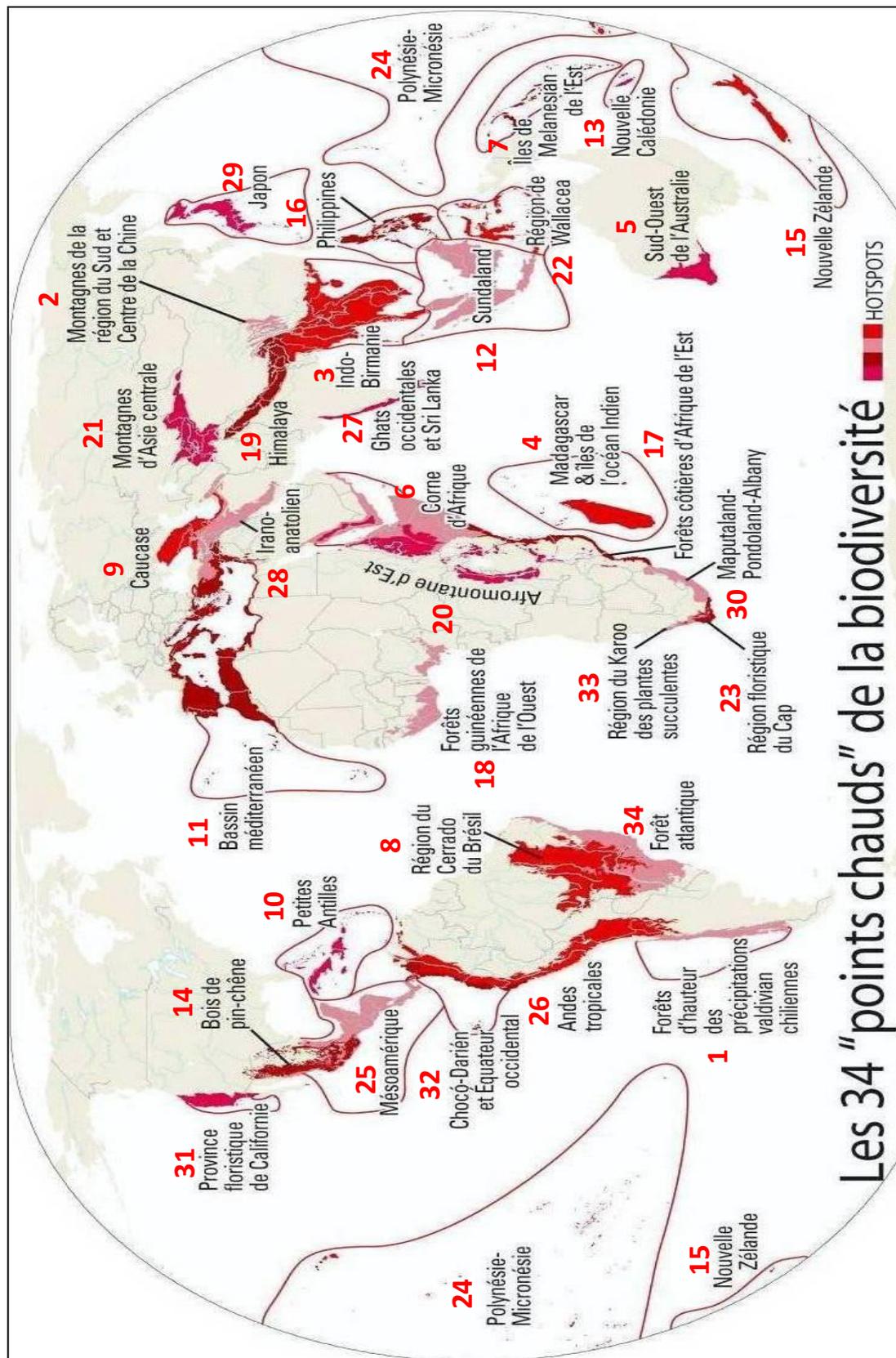
### 2.3. Répartition des hotspots

La répartition des hotspots est inégale sur les différents continents. Une étude menée en 1988 par Norman Myers a montré que 44 % de toutes les plantes vasculaires (soit plus de 130 000 plantes) et 35 % des vertébrés à l'exception des poissons (soit 10 000 espèces environ) sont confinés dans 25 « zones de grande diversité » couvrant seulement 1,4 % de la surface des

terres. La plupart de ces sites se situent en zone tropicale, mais aussi dans le bassin méditerranéen et dans les îles (île de Madagascar, île des Caraïbes...etc.) (Lévêque & Mounolou, 2008).

En 2004, l'ONG « Conservation Internationale » a identifié quant à elle 34 hotspots qui représentent seulement 2,3 % de la surface de la terre. Ils contiennent des matières endémiques : 50 % des plantes vasculaires et 42 % des espèces de vertébrés.

Contrairement aux idées reçues les zones désertiques et montagneuses accueillent certains hotspots : la corne de l'Afrique, la région irano-anatolienne et l'Himalaya (le plus vaste domaine montagneux au monde).



**Figure.** Répartition des « 34 hotspots » de la biodiversité sur le globe terrestre.

(Webmaster 3 : Conservation International, 2004)

***Les 34 zones biogéographiques actuellement considérées comme hotspots pour la biodiversité dans le monde***

1. Les forêts australes du Chili (Chili)
2. Les montagnes de la région Sud et Centre de la Chine
3. L'Indo-Birmanie (Bangladesh, Inde, Chine, Cambodge, Vietnam, Thaïlande et Malaisie)
4. Madagascar et les îles de l'Océan Indien (Madagascar, les Comores, les Seychelles)
5. L'Australie du Sud-ouest (Australie)
6. La Corne Africaine (Ethiopie, Somalie, Kenya, Erythrée, Djibouti)
7. Les îles de la Mélanésie de l'Est
8. Le Cerrado du Brésil
9. Le Caucase (Géorgie, Arménie, Azerbaïdjan, Russie, Turquie et Iran)
10. Les Caraïbes ou petites Antilles (Jamaïque, Cuba, République Dominicaine et Haïti)
11. Le Bassin méditerranéen (France, Espagne, Grèce, Turquie, Syrie, Liban, Tunisie, Algérie, Libye, Portugal et le Cap Vert)
12. Le Sundaland (Thaïlande, Malaisie, Singapour, Indonésie et Inde)
13. La Nouvelle-Calédonie (France)
14. Le Bois de pins et de chênes (Mexique, et USA)
15. La Nouvelle-Zélande (Nouvelle-Zélande)
16. Les Philippines
17. Les Forêts côtières d'Afrique de l'Est (Somalie, Kenya, Tanzanie, Mozambique)
18. Les Forêts Guinéennes d'Afrique de l'Ouest
19. L'Himalaya (Chine, Inde, Bhoutan, Pakistan)
20. L'Afromontane de l'Est (la montagne d'Afrique orientale : Ethiopie, Tanzanie, RDC Congo)
21. Les Montagnes d'Asie Centrale (Kazakhstan, Kirghizstan, Tadjikistan, Ouzbékistan, Chine, Afghanistan et Turkménistan)
22. La Wallacea (Toutes les îles de l'Asie du Sud-est)
23. Région floristique du Cap (Afrique du Sud)
24. La Polynésie et la Micronésie (4500 îles faisant partie de la France et aux Etats-Unis)
25. La Mésoamérique (les Forêts d'Amérique centrale : Mexique, Guatemala, Costa Rica, Salvador, Honduras, Nicaragua et Panama)
26. Les Andes tropicales (Venezuela, Colombie, Equateur, Pérou, Bolivie, Chili et Argentine)
27. Les Ghâts occidentaux et Sri-Lanka (Inde et Sri-Lanka)
28. Le Désert Irano-Anatolien (Arménie, Azerbaïdjan, Turquie, Géorgie, Turkménistan, Iran et Irak)
29. Le Japon
30. Maputaland-Pondoland-Albany (Côte est de l'Afrique du Sud)
31. La Province floristique de Californie (Etats-Unis)
32. La Région de Chocó-Darién (Panama, Colombie, Equateur, Pérou)
33. La région du Karoo des plantes succulentes (entre Namibie et Afrique du Sud)
34. La Forêt atlantique tropicale d'Amérique du Sud (Brésil, Paraguay, Argentine)

### 3. Les pays de mégadiversité

Le concept de « pays de mégadiversité » a été proposé pour la première fois en 1988 à la Conférence sur la biodiversité, tenue à la *Smithsonian Institution* à Washington.

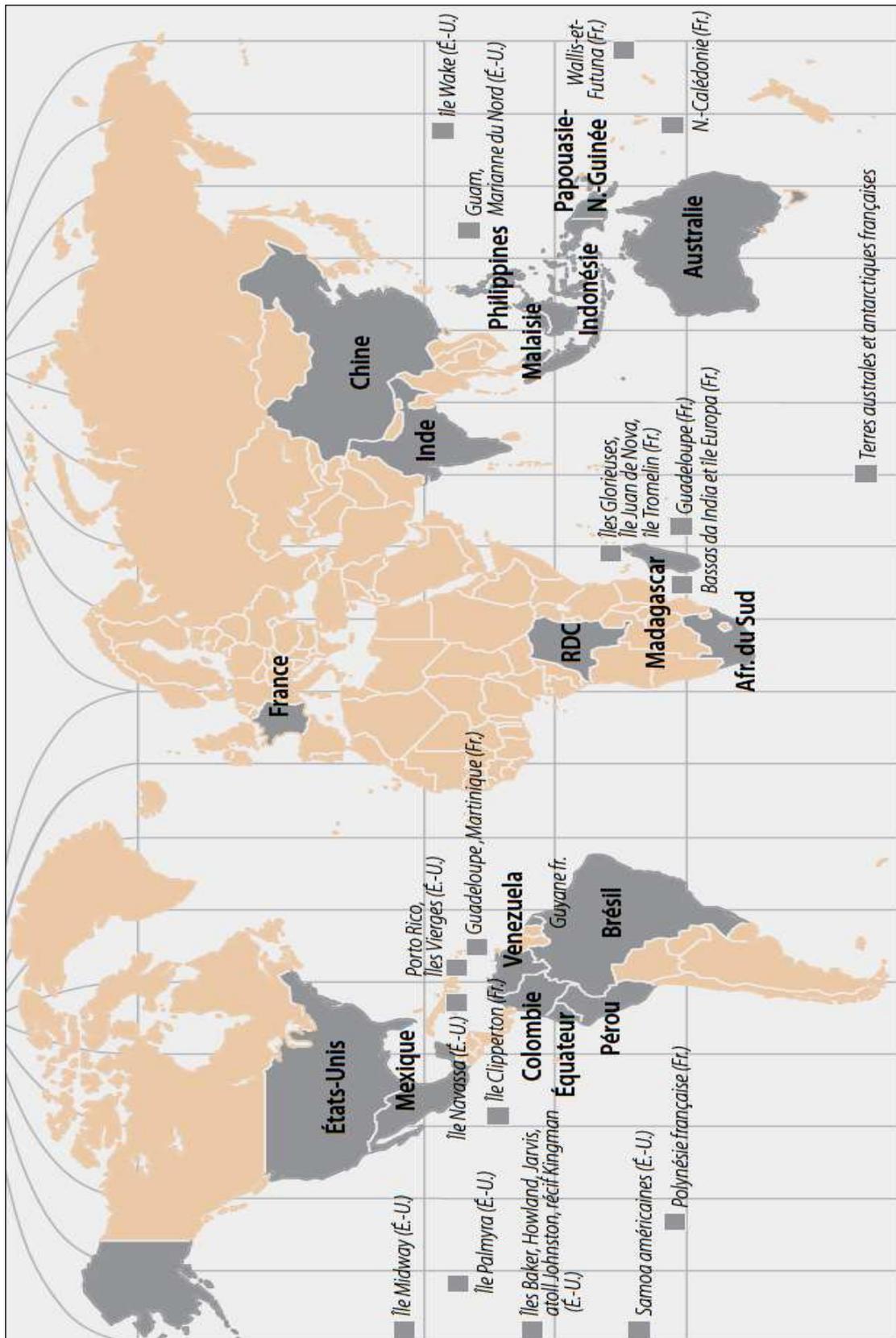
L'idée a tout d'abord été développée par le primatologue Américain Russell Alan Mittermeier en 1988, il a découvert que seuls quatre pays (le Brésil, l'île de Madagascar, l'Indonésie et la République démocratique du Congo, anciennement Zaïre) comptaient les 2/3 des espèces de primates (Mittermeier *et al.*, 1999).

Avec ces collègues de la Conservation Internationale, Mittermeier a élargi ces études sur *les mammifères, les oiseaux, les reptiles, les amphibiens, les plantes et groupes d'insectes* choisis, renforçant l'intérêt original porté aux primates. Ses travaux ont été publiés en 1997 dans un livre intitulé « *Megadiversity : Earth's Biologically Wealthiest Nations* ».

Pour être qualifié de mégadivers, un pays doit abriter au moins 3 000 espèces de plantes vasculaires endémiques du monde (soit 1 % de la biodiversité mondiale). Avec ce critère, l'organisation américaine de protection de la nature reconnaissait en 1997, 17 pays de mégadiversité. Depuis le nombre des pays a été porté 18 avec l'ajout de la France. Ensemble, les pays mégadivers détiennent au moins les 2/3, et probablement environ les 3/4 de toute la biodiversité (Russel *et al.*, 2008).

#### ***La liste des 18 pays de « mégadiversité »***

1. Afrique du Sud
2. Australie
3. Brésil
4. Chine (Taïwan inclus)
5. Colombie
6. Equateur
7. États-Unis
8. France
9. Inde
10. Indonésie
11. Madagascar
12. Malaisie
13. Mexique
14. Pérou
15. Papouasie-Nouvelle-Guinée
16. Philippines
17. RDC Congo
18. Venezuela



**Figure.** Répartition des 18 pays de mégadiversité sur le globe terrestre.

(Webmaster 3 : Conservation International, 2004)

## Chapitre Quatre : Menace Sur la Diversité Végétale : Faits et Chiffres

Depuis quelques décennies, on constate une dégradation de la biodiversité à tous les niveaux. Nous sommes au sein de la sixième grande vague de destruction de l'histoire de la vie sur terre. Cette fois la menace qui plane sur notre planète, ne vient pas d'un volcan ou de la chute d'une météorite. Pour la première fois, un être humain détruit massivement la vie qui l'entoure, des fois délibérément mais le plus souvent inconsciemment. Et cet être vivant, c'est l'homme. Aujourd'hui les espèces meurent 100 à 1 000 fois plus vite qu'avant l'entrée en scène de l'homme.

Au niveau international, cinq causes majeures d'atteinte à la biodiversité sont aujourd'hui identifiées : *la fragmentation et la destruction des habitats, les invasions biologiques, les changements climatiques, la pollution et la surexploitation des ressources.*

### 1. La destruction et la fragmentation des habitats (des milieux naturels)

La destruction et la fragmentation des habitats sont liées en particulier, à *la déforestation*, à *l'expansion des terres agricoles*, à *l'urbanisation croissante* et aux *feux de forêt* : ceci affecte tout particulièrement les forêts tropicales, les prairies, les zones humides et les tourbières.

#### 1.1. La déforestation

Les forêts sont les écosystèmes les plus riches en biodiversité. Elles offrent à l'homme toute une gamme de valeurs, qui vont du bois, de la pulpe, du caoutchouc, aux services environnementaux.

Il y a un peu moins de 10 000 ans, environ 4 milliards d'hectares, soit la quasi-moitié de la surface de la terre était recouverte de forêts. Pendant l'ère industrielle, environ 40 % des surfaces boisées ont disparu. Au cours des cinquante dernières années, l'homme a rasé 20 % des forêts vierges originelles. Toute les deux secondes, la forêt recule la taille d'un terrain de football. Chaque année, entre 13 et 15 millions d'hectares de forêts (l'équivalent de trois fois la surface de la Suisse, soit 1/4 de la superficie de la France) sont détruites dans le monde. Si la déforestation continue de la sorte, la forêt aura complètement disparue d'ici 50 ans (OCDE, 2008).

La déforestation est un phénomène qui touche les forêts tropicales particulièrement en Asie du Sud-est, en Afrique et en Amérique. Parmi les forêts vierges les plus touchées par cette

destruction : *les forêts équatoriales d'Amazonie, de Papouasie nouvelle Guinée, d'Indonésie, de Malaisie, d'Afrique centrale, Russie, Canada et Etats Unis.*

Une des premières causes de la déforestation est l'exploitation du bois qui abat de grandes parcelles de forêts pour les marchés américains et européens. En effet, la production mondiale du bois ayant augmenté de 60 % au cours des quatre dernières décennies, et elle devrait continuer à progresser au cours des prochaines années, surtout dans les économies émergentes, comme la Chine et l'Inde. Cette industrie concerne *le bois-matériau* qui est utilisé dans l'industrie des pâtes et papiers, *les meubles* et le *contreplaqué*, et le *bois-énergie* ou *bois de feu* est converti en charbon fournissant ainsi 10 % de l'énergie mondiale. Il est aussi utilisé comme *biocombustible* moderne pour produire de l'électricité, du gaz et des carburants (SCDB, 2010).

L'exploitation du bois entraîne non seulement la disparition d'un nombre élevé d'essences d'arbres, mais également d'espèces végétales, de millions d'insectes et de multitudes d'animaux. La déforestation peut causer un déséquilibre au niveau animal et végétal. En effet, les animaux sont chassés de leur habitat naturel et disparaissent petit à petit. Il faut également savoir que si une espèce végétale disparaît, cela entraîne une disparition des espèces animales qui se nourrissent de celles-ci. Le déboisement de la forêt tropicale (essentiellement la forêt amazonienne) est une des causes principales des changements climatiques observés actuellement (fonte des glaciers, tendances météorologiques extrêmes, les records de température). Elle peut causer aussi *l'érosion du sol, perturbation dans le cycle de l'eau* et la *diminution du renouvellement de l'oxygène* dans l'atmosphère (Rautner *et al.*, 2013).

Parmi les autres causes de la déforestation, nous pouvons citer *le défrichement* des forêts pour gagner des terres agricoles, *les incendies* des forêts, *les pluies acides* dues à la pollution de l'air et *les agressions biologiques* (insectes, etc.).

## **1.2. L'expansion des terres agricoles**

Depuis que l'homme maîtrise l'agriculture (environ 10 000 ans), et surtout depuis le dernier siècle, 10 millions d'hectares/an de forêts ont disparu. A titre d'exemple, du fait de la déforestation causée par les plantations de palmiers à huile et d'agrocarburants, la Thaïlande n'aura plus de forêts dans 25 ans, et les Philippines dans 20 ans.

L'augmentation de la superficie des terres agricoles est l'une des principales causes de la perte continue de la biodiversité. En effet, Lors de la transformation d'une forêt en champs cultivés, les espèces forestières sauvages disparaissent, remplacées par de nouvelles espèces

propres aux milieux agricoles, mais en général moins nombreuses que celles présentes au départ ; tandis que les écosystèmes sont réduits et fragmentés (Lévêque & Mounolou, 2008).

Un rapport du PNUE (*Programme des Nations Unis pour l'Environnement*), intitulé « *l'expansion des cultures et la conservation des priorités dans les pays tropicaux* », et publié en janvier 2013, dénonce que la perte de biodiversité liée à l'expansion de la superficie des terres cultivées serait une sérieuse menace pour 128 pays tropicaux. Dans ces pays, la terre riche en diversité biologique était souvent remplacée par les cultures de riz et de maïs. Selon ce rapport, les terres agricoles ont progressé de près de 48 000 km<sup>2</sup>/an de 1999 à 2008. D'autre part, la FAO (*Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation*), dans son rapport quinquennal sur l'état des forêts, note que 80 % de la déforestation est due à l'expansion des terres agricoles (SCDB, 2008).

Parmi les grands pays dans lesquels il a été observé une grande expansion de terres cultivables, on trouve : *le Nigéria, l'Indonésie, l'Ethiopie, le Soudan et le Brésil*. Les zones ayant une importante biodiversité peuvent également être vulnérables à l'avenir, comme celle de *l'Amazonie et les savanes boisées du Sahel et de l'Afrique de l'Est*. *Le soja et le maïs* sont les cultures qui ont progressé le plus, mais les cultures de *riz, sorgho, palmier à l'huile, haricots, canne à sucre, blé et manioc* connaissent aussi une progression importante.

### 1.3. L'urbanisation

Depuis le début du siècle, l'urbanisation des milieux naturels est toujours en constante progression. Cela implique non seulement une perte du sol mais aussi de milieux écologiquement intéressants, tels que *les terres arables, les terres agricoles, les surfaces pionnières*, mais aussi *les milieux semi-naturels*.

L'explosion démographique mondiale s'accompagne d'une urbanisation galopante. Dans le monde, la croissance des villes grignote plus de 13 m<sup>2</sup> de compagnie chaque seconde. Cette croissance représente une surface de 110 km<sup>2</sup>/jour, soit à peu près la surface de Paris. Si le développement intensif des villes continue ainsi, il n'y aura bientôt plus de villes reliées entre elles, où la biodiversité aura disparu (Boucher & Fontaine, 2010).

L'extension urbaine implique forcément *l'extension des réseaux routiers, ferrés et électriques* qui fractionne de plus en plus les habitats. Elle est considérée comme un facteur important de la pollution par *la production des déchets solides ou liquides* rejetés dans la nature. Cette urbanisation intensive provoque un problème au niveau de la faune et de la flore. Par exemple

un arbre vivant dans milieu urbain européen a une espérance de vie de moyenne de 30 ans alors qu'il pourrait vivre une centaine d'années dans un environnement naturel (Fahrig, 2003).

#### 1.4. Feux de forêt

*Aucun système naturel n'est dépourvu du feu.* Ce sont généralement des feux naturels aléatoires caractérisés par de faibles intensités et de dégâts limités. Ce n'est qu'avec l'arrivée de l'homme que ces feux sont devenus profondément destructeurs par ce que volontaires et répétitifs. Ils sont utilisés essentiellement pour des *besoins de culture, d'élevage* ou de *chasse*. Les feux de végétation brûlent chaque année une surface égale à la moitié de celle de l'Australie et dégagent quasiment 40 % du CO<sub>2</sub> d'origine anthropique. Historiquement, à l'échelle mondiale, l'année 2003 a été l'une des pires et restera une *année record pour les feux de végétation*. Durant cette année, 380 millions d'hectares brûlèrent, une surface égale à celle de l'Inde et l'Afghanistan réunis. Les pays les plus touchés sont : la Russie (22,6 millions ha), la Chine (1,3 millions ha), le Portugal (400 000 ha), les Etats unis (300 000 ha), l'Australie (260 000 ha) et la France (60 000 ha) (Kluser *et al.*, 2004).

Les incendies de forêts influencent de nombreuses façons la diversité biologique. A l'échelle mondiale, ils sont une importante source d'émission de carbone et contribuent au réchauffement de la planète, ce qui pourrait entraîner des changements dans la biodiversité. Au niveau régional et local, ils altèrent *le cycle hydrologique*, réduisent *la matière organique*, influencent *le cycle de vie des végétaux*, réduisent de façon notable la *photosynthèse* et compromettent souvent la *santé des animaux et des humains* humaines (Lévêque & Mounolou, 2008).

Les feux de forêt sont rares dans la plupart des forêts tropicales non perturbées en raison de *l'humidité du microclimat*, de *la faible vitesse des vents* et de *la fréquence des précipitations*. Dans ces forêts qui ne sont pas adaptées aux incendies, de vastes *espaces forestiers* (denses forêts sempervirentes) sont remplacés par des tapis de *graminées pyrophytes* (forêt appauvrie). Ces processus ont déjà été observés dans certaines parties de *l'Indonésie* et de *l'Amazonie*. D'autre part, les incendies sont souvent suivis par la colonisation d'insectes qui perturbent l'équilibre écologique. Suite à un incendie, la forêt tropicale met environ une quinzaine d'années pour se régénérer (SCDB, 2001).

En forêts méditerranéennes, l'inflammabilité des forêts est très élevée et la plupart des communautés végétales sont sensibles au feu. Dans cette zone, les incendies ont par endroit supprimé la forêt, remplacée par des arbustes (maquis) et certaines essences (le pin d'Alep, le

chêne liège et le chêne vert) résistantes au feu et qui repoussent après incendies. Suite à un feu, il faudrait des siècles pour que la forêt méditerranéenne et sa diversité se reconstituent naturellement (Vélez, 1999).

## 2. Les introductions des espèces (les invasions biologiques)

L'homme de part ces multiples voyages à travers le monde, liés ou non à la colonisation des milieux, a introduit volontairement (*pour des raisons économiques ou commerciales*) ou accidentellement (*les graines d'espèces végétales accrochées aux vêtements*) un grand nombre d'espèces végétales dans les différents écosystèmes du globe.

Une espèce introduite (*exotique, exogène ou allochtone*) est une espèce qui a été intentionnellement ou accidentellement introduite par l'homme dans un milieu d'où elle était absente (*originale d'une autre aire de répartition*). Contrairement aux espèces dites *indigènes, natives, autochtones* qui sont originaires de l'aire considérée.

Une espèce peut être envahissante sans représenter une menace écologique. En effet, plusieurs espèces végétales sont à la base de la plus grande révolution alimentaire de l'histoire. C'est le cas des plantes venues d'Amérique du Sud (maïs, pomme de terre, manioc, tomate, tabac, fraises, haricots, ...etc.) et d'Amérique du Nord (topinambour et le tournesol) qui ont développé l'agriculture européenne. Aussi, certaines de ces plantes végétales envahissantes jouent un rôle dans l'évolution industrielle (caoutchouc, coton) et enrichiront le stock de produits médicinaux (quinine) (UICN, 2015).

En revanche, on trouve des espèces envahissantes avec un fort impact écologique et économique, qu'on appelle les invasives. Une espèce invasive est une espèce exotique importée généralement pour sa valeur ornementale ou pour son intérêt économique. Elle s'adapte, se développe et prolifère et devient envahissante car elle entre en concurrence avec les espèces existantes (nourriture, habitat) et devient donc un véritable fléau pour la biodiversité locale en causant : *la disparition des espèces locales, la diminution de la biodiversité générale et la transformation des habitats naturels*. Les répercussions ne sont pas qu'écologiques, elles sont aussi économiques. Au niveau Européen, les espèces envahissantes représentent une perte économique estimée à 12 milliards d'euros. Parfois, l'introduction dans la nature de ces espèces exotiques occasionne aussi les problèmes pour la santé publique (irritation de la peau, allergies) (SCDB, 2009).

C'est le cas par exemple de la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*), une herbe aquatique flottante originaire d'Amazonie et introduite au Mali vers 1990. Cette plante constitue une

véritable menace et a mis en péril les espèces locales en les asphyxiant. L'espèce *Carpobrotus* est une plante envahissante d'origine sud-africaine, introduite dans plusieurs régions du monde pour stabiliser les dunes et en guise de plantes ornementales. Cette espèce représente une sévère menace pour les espèces indigènes, pouvant entraîner une baisse de la diversité floristique et des modifications des régimes alimentaires de la faune. La salicaire (*Lythrum salicaria*), plante indigène d'Europe présente naturellement dans les zones humides, est introduite en Amérique du nord causant une très forte perte de biodiversité dans les zones humides qu'elle colonise.

### 3. Les changements climatiques globaux

Les différents types de végétation terrestres et leurs physiologies sont en grande partie reliés aux conditions climatiques du milieu, et essentiellement à la température. Selon les estimations du GIEC (*Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat*), la température moyenne à la surface du globe pourrait augmenter de 2 à 4 °C d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Ces changements climatiques s'accompagnent également par des *modifications dans la répartition des pluies* (intensité et fréquence) ainsi par une *augmentation des phénomènes extrêmes* (sécheresses, tornades, etc.). On parle alors de réchauffement climatique (réchauffement planétaire ou réchauffement global), dû aux rejets des gaz à effet de serre, principalement les émissions du CO<sub>2</sub> causées par des activités humaines (Lévêque & Mounolou, 2008).

Les changements climatiques représentent la menace la plus répandue sur la planète pour la biodiversité. Les spécialistes estiment que d'ici 2050, 15 % à 37 % des espèces vivantes auront probablement disparu suite au réchauffement climatique. En Europe, ces changements climatiques menacent 14 % des habitats et 13 % des espèces d'intérêt.

Les changements climatiques modifient les conditions de vie des espèces animales et végétales. En effet, en réponses à ces changements, 1- certaines espèces vont migrer pour rejoindre des zones plus adaptées, à l'exception des plantes qui ne peuvent pas changer rapidement d'aire de répartition. 2- D'autres espèces vont manifester une adaptation rapide. Or, l'évolution est lente et une espèce ne peut pas toujours s'adapter en quelques décennies. 3- Les espèces qui ne peuvent ni migrer ni s'adapter vont disparaître (SCDB, 2007).

### 3.1. Changements d'aires de répartition des espèces

Face aux changements climatiques, de nombreuses espèces végétales ont modifié leurs aires de répartition *vers le nord et/ou vers de plus hautes altitudes*. Une présence plus marquée des plantes thermophiles dans certains nombres de pays d'Europe (Pays Bas, Norvège et Grande Bretagne) et un léger recul des plantes plus inféodées aux climats plus froids. En effet, certaines essences forestières se raréfient (Hêtre, Frêne commun), et pourraient même disparaître au profit d'autres espèces appréciant des températures plus élevées (Frêne oxyphylle, Chêne pubescent). D'autre part, quelques espèces vivant en milieu montagnard remontent en altitude provoquant ainsi *un glissement vers le haut*. Il est à noter qu'il a fallu environ 2 000 ans aux chênes pour *traverser la France du sud vers le nord*. Ceci pouvant se traduire par une diminution de la richesse spécifique dans certains territoires, voire même l'extinction des espèces endémiques (Parmesan, 1996 ; Parmesan, 2005).

### 3.2. Changement phénologique des espèces

Le réchauffement climatique engendre des modifications dans la phénologie chez les végétaux. Parmi les plus visibles et les plus préoccupants : des *événements printaniers plus précoces* (l'éclosion des bourgeons), des *événements automnaux plus tardifs* (le jaunissement des feuilles), une *augmentation des la saison des pollens* (10 jours plus tôt qu'il y a 50 ans) et un *avancement des événements phénologiques* du printemps et d'été (de 2,5 à 4 jours par décennie). En plus, l'avancement de la date des pics de la végétation devrait inciter les animaux qui en dépendent à *avancer également leurs périodes d'activités* (Sauvion & Baaren, 2013).

### 3.3. Changements dans le fonctionnement des écosystèmes

Les changements climatiques globaux peuvent apporter des modifications au niveau des écosystèmes et des communautés végétales. En effet, les modifications des régimes de précipitations dans *les régions arides du Sud-ouest des Etats Unis* ont abouti à un remplacement des prairies arides en désert, accompagné par l'extinction de plusieurs espèces autrefois abondantes. Dans *la steppe du nord de Colorado*, les températures moyennes ont augmenté de 1,3 °C depuis 1970, ce qui a causé une baisse importante de la productivité primaire nette de la strate herbacée (SCDB, 2007).

### 3.4. Extinction des espèces

Les études sur l'impact des changements climatiques sur la biodiversité révèlent que si on double le taux du CO<sub>2</sub>, les extinctions pourraient se chiffrer à 56 000 plantes endémiques. A titre individuel, certains hotspots tels que *la région floristique du Cap*, le *bassin Méditerranéen* et les *Andes tropicales* verraient plus de 3 000 espèces végétales disparaître (SCDB, 2007).

## 4. Les pollutions

La pollution des eaux, du sol et de l'atmosphère, d'origine *domestique*, *industrielle* ou *agricole*, constitue un phénomène important d'érosion de la biodiversité. Cette pollution peut prendre plusieurs états : *solide* (les déchets du quotidien), *liquide* (pesticide, pétrole, engrais) ou *gazeux* (les pots d'échappement, les fumées d'usine).

De nombreux exemples montrent les effets négatifs de la pollution sur le *fonctionnement des écosystèmes* et *la vie des espèces* qui les composent. En effet, ces pollutions vont modifier le fonctionnement des écosystèmes en dégradant *la qualité des milieux de vie des espèces*, et par conséquent entraîner *le déclin de la flore présente* (Grub *et al.*, 1999).

### 4.1. Les dépôts d'azote

Les principales sources de l'azote sont l'agriculture, le trafic routier et l'industrie. L'excès d'azote conduit à *un déséquilibre nutritionnel* (eutrophisation), *l'acidification des sols* et *l'augmentation de la sensibilité des végétaux aux maladies* et aux *ravageurs*. En plus, l'apport de l'azote dans un écosystème peut graduellement modifier la composition de la végétation pour faire place uniquement à *des plantes nitrophiles* au détriment d'autres espèces. Des études faites sur les écosystèmes sensibles, comme *les prairies maigres*, *les forêts* et *les marais* ont montré qu'un amendement excessif d'azote conduit à une diminution de la richesse floristique (Grub *et al.*, 1999).

### 4.2. L'acidification des sols

L'acidification des sols est due essentiellement aux retombées de la pollution atmosphérique, et notamment du dioxyde de soufre. En plus, l'utilisation accrue d'engrais en agriculture peut aggraver l'acidification des sols, en raison notamment de l'application directe de *l'ammoniaque liquide*. Les dommages sont principalement causés sur le sol (réduction de la fertilité, perte de substances nutritifs), à la végétation (perte ou décoloration de feuilles,

mortalité) et aux eaux (affecte les eaux souterraines et l'approvisionnement en eau potable) (DeHayes, 1999).

#### **4.3. L'ozone atmosphérique (O<sub>3</sub>)**

L'ozone présente un risque pour la biodiversité en raison de sa phytotoxicité et de sa répartition spatiale. Chez les végétaux, il est souvent à l'origine de l'apparition de dégâts visibles sur les feuilles, de réduction de la croissance, des effets sur la formation des inflorescences et la production des graines. Il perturbe les grands processus physiologiques comme la photosynthèse et la respiration, accélère le vieillissement, pénètre dans les stomates et enrayer les fonctions membranaires ce qui peut conduire à la mort du végétal. L'ozone est un puissant oxydant, qui affecte les écosystèmes forestiers en les rendant plus *vulnérables à d'autres facteurs de stress*. Il peut aussi affecter les prairies en diminuant la productivité végétale (Zaninotto & Faure, 2015).

#### **4.4. Pollution chimique par les produits phytosanitaires**

L'usage des produits phytosanitaires serait du déclin de la biodiversité, notamment en grandes cultures. *Les herbicides* sont utilisés par les agriculteurs pour lutter contre les mauvaises herbes. Ils vont induire une importante réduction de la diversité floristique au sein des surfaces cultivées mais également en bordures. Les pratiques d'épandage aérien *des pesticides* pour lutter contre les ravageurs occasionnent un impact non seulement à l'échelle de la surface cultivée mais également sur les habitats voisins non visés par le traitement entraînant ainsi une perte de la diversité (Aubertot *et al.*, 2005).

#### **4.5. Pollution lumineuse et sonore**

*Pollution lumineuse* ou *photopollution*, est l'ensemble des lumières ayant des impacts négatifs sur la faune et la flore sauvage. Cette lumière influence les végétaux en *ralentissant la germination*, en *retardant la croissance* et en *interrompant la floraison* (Siblet, 2008). D'autre part, *La pollution sonore* constitue une nouvelle menace pour les aires protégées et les espèces qu'elles abritent. *Les bruits industriels et routiers* repoussent les espèces animales des zones environnantes. Et lorsque les pollinisateurs fuient la pollution sonore, c'est toute une biodiversité qui est perturbée (Mason *et al.*, 2016).

## 5. La surexploitation des espèces

La surexploitation des ressources est l'une des principales menaces directes de l'espèce humaine sur la biodiversité et les écosystèmes. Nous pouvons citer la surexploitation du bois dans les pays en développement à des *fins commerciales* (bois exotique) ou *sanitaires* (énergie de base), le pillage des plantes et animaux rares (et leurs dérivés) à *des fins industrielles* (pharmaceutiques, cosmétiques) ou *commerciales* (collections) (Lévêque & Mounolou, 2008).

### 5.1. La surexploitation des matières premières d'origine végétale

La découverte du monde tropical par les Européens a entraîné une recherche effrénée de nouvelles matières premières et par conséquent la raréfaction de nombreuses plantes *tinctoriales*, *plantes à parfums* et *plantes médicinales* (Guillaumet & Morat, 1990).

*Taxus contorta*, une espèce présente à l'Himalaya, est surexploitée à des fins médicinales (la production de Taxol, un médicament utilisé en chimiothérapie), ou pour le bois de chauffage et le fourrage. Aujourd'hui, cette espèce a changé de statut puisqu'elle est passée de « espèce vulnérable » à « espèce en danger ».

Au Cameroun, la surexploitation du yohimbé (*Pausinystalia johimbe*) dont l'écorce possède des propriétés thérapeutiques recherchées, conduit progressivement à la disparition de cette espèce dans certaines régions (OCDE, 2008).

Au Brésil, le petit arbre *Caesalpinia echinata* dont le bois rouge est utilisé en teinturerie, fut tellement exploité qu'il est devenu très rare. De même pour *Aniba rosaedora* dont le bois de rose est utilisé en parfumerie, et l'espèce *Castilloa elastica*, exploitée pour la production du caoutchouc.

Il est vraisemblablement que l'exploitation forestière sélective menace directement certaines essences. On sait que *le palissandre* de Cuba est devenu introuvable de même que l'ébène, *Diospyros tessellaria*, de Maurice, réputé le plus beau au monde, ou *Khaya comorensis* aux îles Seychelles.

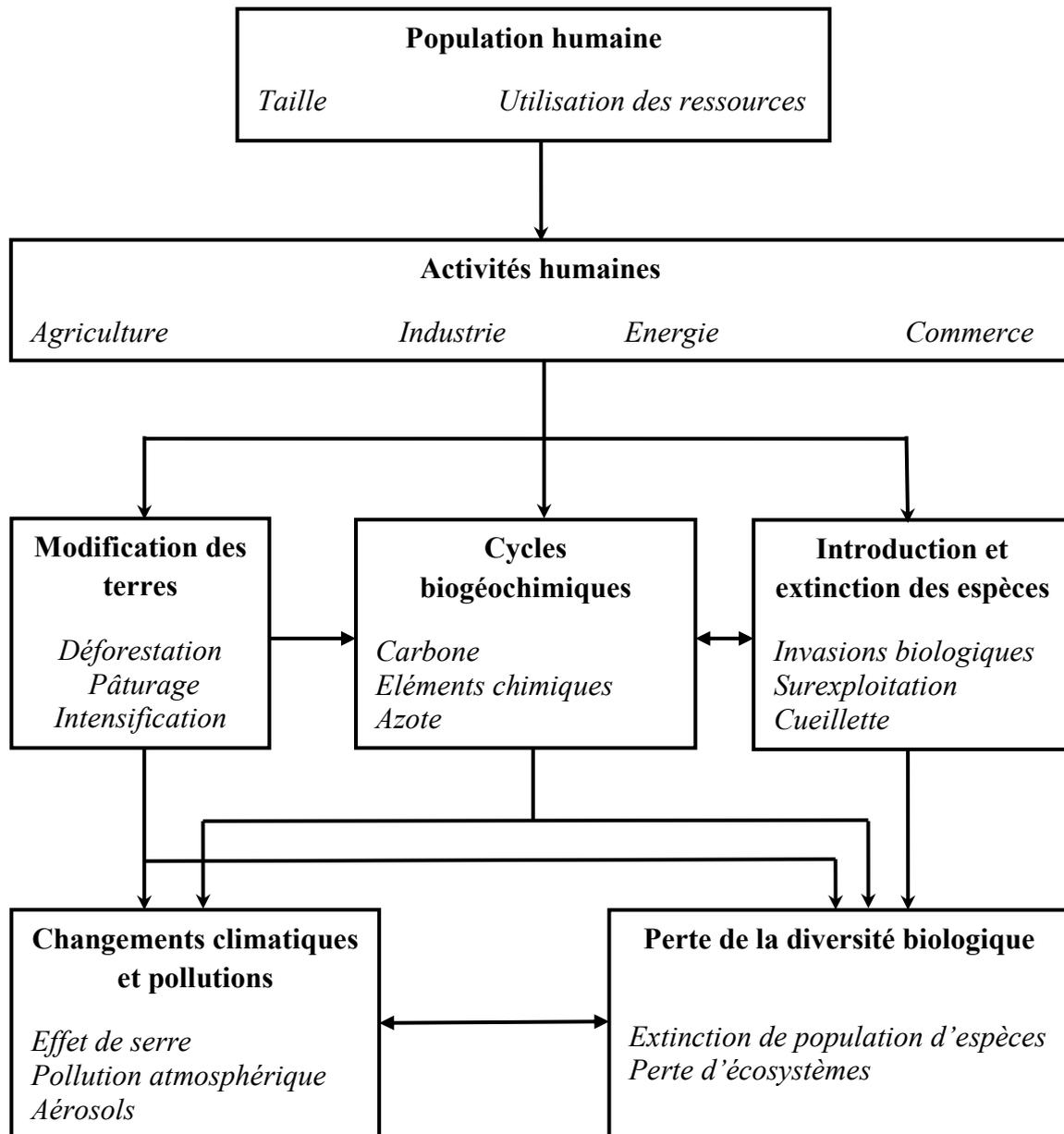
### 5.2. La recherche de plantes ornementales

Dès la découverte de la région tropicale, les européens ont été attirés par les nombreuses plantes qui s'offraient à leur regard et les ramenèrent en Europe pour les cultiver. Ce sont surtout *les Orchidées*, *les plantes crassuléscentes* et certaines *plantes carnivores* qui sont les plus recherchées et donc certaines sont menacées.

*Les orchidées*, particulièrement les espèces spectaculaires, firent l'objet de cueillette massive entraînant le pillage de localités accessibles. Actuellement, certaines espèces ont pratiquement disparu de la proximité des villes, telles *Manaus* et *Belem* au Brésil, toute comme les *Paphiopedilum* de Nouvelle-Guinée.

Beaucoup d'espèces de *Cactacées* sont menacées, et d'autant plus qu'elles sont rares. C'est le cas aussi de quelques plantes grasses, *Aloe* de Madagascar et d'Afrique du Sud, *Mésembryanthémacées* d'Afrique du Sud, certaines formes basses de *Pachypodium*, etc.

Une conséquence de l'horticulture est la collecte massive de tronc de fougères arborescentes du genre *Cyathea*, à Madagascar, en Nouvelle-Calédonie et au Brésil. Des troncs coupés en morceaux, servent de support à des plantes plus au moins ornementales et fragiles, auxquelles elles servent trop souvent d'éléments de décor (Guillaumet & Morat, 1990).



**Figure.** Modèle illustrant les effets anthropiques sur la biosphère  
(Lévêque & Mounolou, 2008).



**A** : Feux de végétation, **B** : Déforestation, **C** : Urbanisation, **D** : Pollution, **E** : Surexploitation des espèces végétales, **F** : Changements climatiques globaux.

**Figure.** Quelques causes d'extinction de la diversité végétale.

## Chapitre Cinq : La Conservation de la Biodiversité

Face aux ampleurs de l'érosion de la biodiversité et à toutes les menaces pesant sur elle, il est important de prendre des mesures de protection et de conservation.

Cependant, suite à une prise de conscience générale, les hommes ont mis en œuvre divers moyens pour protéger et conserver ce patrimoine naturel et génétique. En effet, préserver la biodiversité c'est aussi préserver ce qui apporte nourriture, santé, sources d'énergie, vêtements, etc.

### 1. Définition et objectifs de la conservation de la biodiversité

La biologie de la conservation (ou *écologie de la conservation*) est une discipline née à la fin des années 1970. Elle a pour objectifs d'évaluer l'impact de l'homme sur les espèces et les écosystèmes, d'identifier les populations en déclin et les espèces en danger. Elle vise à faire des propositions concrètes pour lutter contre la dégradation des écosystèmes. En effet, la biologie de conservation traite les questions de perte, de maintien et de restauration de la biodiversité.

La conservation est donc l'ensemble de pratiques comprenant la protection, la restauration et l'utilisation durable et visant la préservation de la biodiversité, le rétablissement des espèces ou le maintien des services écologiques pour les générations actuelles et futures. Contrairement à la préservation, la conservation assure le maintien à long terme des communautés naturelles. Elle a trois principaux objectifs (Primack *et al.*, 2012) :

- Promouvoir une exploitation rationnelle des richesses de la nature et une utilisation durable des ressources biologiques (*sans réduire les espèces ni les habitats*).
- Protéger la valeur économique de la diversité biologique : la biodiversité est un réservoir de molécules d'intérêt (*pharmaceutiques, biotechnologiques, etc.*).
- Maintenir les grands équilibres de la biosphère : la biodiversité est la base du fonctionnement des écosystèmes (*cycle de l'eau, cycles biogéochimiques, etc.*)

### 2. Les modes de conservation de la biodiversité

Il existe deux modes de conservation de la diversité biologique : la conservation *in situ* et la conservation *ex situ*.

## 2.1. La conservation *in situ*

La conservation des végétaux doit se baser en premier lieu sur la conservation *in situ* (« *conservation dans le site* »). Elle permet *la protection, le maintien et la reconstitution de populations d'espèces* sur le terrain dans leur milieu naturel et, dans le cas d'espèces domestiques et cultivées, dans le milieu où elles se sont développées. Cette stratégie est la seule qui permette un succès à long terme pour la sauvegarde des communautés végétale et le maintien de leur diversité (Primack *et al.*, 2012).

Axée généralement sur les écosystèmes, la conservation *in situ* est la seule méthode rationnelle actuellement disponible pour conserver une grande variété *d'écosystèmes, d'espèces et de gènes*, aujourd'hui vulnérables, menacées ou en dangers par la mise en œuvre de *plans de gestion et des réserves naturelles*.

### *Cas des aires protégées*

L'UICN (*l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature*) définit une aire protégée comme : « une portion de terre, de milieu aquatique ou de milieu marin, géographiquement délimitée, vouée spécialement à la protection et au maintien de la diversité biologique, afin d'assurer à long terme la conservation de la nature ainsi que les services écosystémiques et les valeurs culturelles qui lui sont associés. Pour ces fins, cet espace géographique doit être légalement désigné, réglementé et administré par des moyens efficaces, juridiques et autres ».

Une aire protégée a comme fonction première la protection de la biodiversité d'un territoire et des processus écologiques. Elle comporte donc plusieurs bénéfices (Stolton *et al.*, 2000) :

- ***Bénéfices environnementaux*** : maintien de la biodiversité, conservation des ressources génétiques, protection des paysages naturels, protection des espèces en situation précaire, protection des habitats floristiques et faunistiques.
- ***Bénéfices sociaux et économiques*** : diversification de l'économie locale et régionale, maintien des qualités des paysages, éducation et sensibilisation du public.

D'après le PNUE (*Programme des Nations Unies pour l'Environnement*), le nombre des aires protégées a atteint 100 000 en 2003, avec une surface d'environ 12 % des terres émergées et 0,5 % des océans. Les pays avec les pourcentages les plus élevés sont le *Venezuela*, *l'Équateur* (la réserve marine des Galápagos) et le *Danemark* (le parc National du Groenland). Deux vastes réserves marines sont consacrées aux récifs coralliens (Australie et Hawaï).

L'UINC (*L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature*) distingue plusieurs catégories d'aires protégées par ordre décroissant d'importance des mesures de protection (Hunter & Heywood, 2011) :

- **Les réserves naturelles intégrales ou réserves scientifiques** : c'est la forme de protection la plus stricte qui soit. Zone gérée principalement pour des fins scientifiques ou pour la protection des ressources sauvages (espèces et habitats).
- **Zone de nature sauvage** : aire protégée gérée principalement à des fins de protection des ressources sauvages.
- **Les parcs nationaux** : zone protégée gérée principalement dans le but de protéger les écosystèmes et à des fins récréatives, éducatives et culturelles.
- **Les monuments naturels ou éléments naturels marquants** : zone gérée afin de préserver les éléments naturels particuliers présentant une importance nationale.
- **Aire de gestion des habitats ou des espèces** : aire protégée gérée principalement pour à des fins de conservation, avec intervention au niveau de la gestion.
- **Paysage terrestre ou marin protégé** : aire protégée gérée principalement dans le but d'assurer la conservation de paysages (terrestres ou marins) et à des fins récréatives.
- **Aire protégée de ressources naturelles gérée** : aire protégée gérée spécialement à des fins d'utilisation durable des écosystèmes naturels.

### 2.1.1. Les réserves naturelles

Une réserve naturelle (*réserve écologique, réserve biologique*) est une partie de territoire, plus au moins grand (quelques dizaines à quelques centaines d'hectares) dont le milieu présente un intérêt biologique ou géologique.

Le rôle essentiel d'une réserve naturelle consiste à conserver et à préserver la diversité biologique et géologique, *terrestre ou marine* visant à une protection durable des milieux et des espèces. Elle peut avoir aussi une fonction pédagogique car elle est souvent un lieu de recherche voir d'expérimentation.

La gestion d'une réserve naturelle peut être confiée à des associations de protection de la nature, à des établissements publics (*Parcs nationaux, Office Nationale des Forêts, etc.*) ou à des collectivités locales (*Communes, etc.*). L'essentiel des moyens financiers provient de l'Etat (Hunter & Heywood, 2011).

La présence humaine sur la réserve n'est pas admise hormis pour les activités d'entretien ou pour les recherches scientifiques qui y sont menées. C'est véritablement cet aspect qui distingue la réserve naturelle du parc naturel.

La plus grande réserve naturelle au monde est celle de l'Afrique australe. Dénommée *Kaza ou Kavango Zambezi*, créée en 2012 par cinq pays africains : *l'Angola, le Botswana, la Namibie, La Zambie et le Zimbabwe*. Cette zone de conservation de la nature fait 400 000 km<sup>2</sup>, soit un territoire aussi grand que la superficie de la Suède. Son objectif est de préserver la faune et la flore à travers *la brousse, la savane et la forêt tropicale*. Elle abrite 3 000 *espèces de plantes*, 45 % *des éléphants d'Afrique*, plus de 600 *espèces d'oiseaux*, des *buffles*, des *zèbres*, etc. Elle englobe aussi des sites très appréciés par les touristes comme *les chutes Victoria* ou *le Delta de l'Okavongo*.

Un exemple d'une réserve naturelle Algérienne est celle *des Babors* qui s'étend sur une superficie de 2 367 ha, dans la région de la petite Kabylie (Wilaya de Sétif). Elle comprend l'unique station du Sapin en Algérie. Plusieurs peuplements caractérisent la forêt des Babors : *le Cèdre, le Zeen, le Sapin de Numidie, le Chêne vert*, etc. Parmi les mammifères identifiés : *la Chacal, le Renard, le Sanglier, le Singe Magot, la Belette, la Mangouste*, etc. Nous pouvons citer autres réserves naturelles : *de Mergueb* (Wilaya de M'sila), *de Béni-Salah* (Wilaya de Guelma), *Marine des Îles Habibas* (Wilaya d'Oran), *de la Macta* (Wilayas d'Oran, Mostaganem et Mascara).

### 2.1.2. Les parcs naturels

Un parc naturel est un territoire d'une superficie énorme (plusieurs milliers d'hectares) qui présente un intérêt biologique ou géographique indéniable. A la différence d'une réserve naturelle, le parc naturel a pour vocation *d'être un lieu de vie, d'activités* et même de *développement économique*. Le parc naturel comprend des gens de différents milieux, aussi bien *des fermiers, des chasseurs* que *des chefs d'entreprises*.

Il a pour rôle de conserver et de valoriser un patrimoine (*naturel, culturel ou bâti*) mais aussi de promouvoir un développement économique dans le respect de l'environnement et de permettre une série d'activités qu'elles soient culturelles ou éducatives. Il n'est pas rare qu'un parc naturel dispose d'une réserve naturelle mais cela n'est pas obligatoire.

Sur les 3 881 parcs nationaux existants dans le monde, *le parc national du Nord-est de Groenland* (île Danoise) est sans doute le plus grand. Créé en 1974, ce parc s'étend sur une superficie de 972 000 km<sup>2</sup> (*deux fois la superficie de la France*), ce qui représente 44,85 % du

territoire de l'île de Groenland. Il est reconnu depuis 1977 par l'UNESCO (*Organisation des Nations Unis pour l'Education, la Science et la Culture*) en tant que réserve de la biosphère. En dehors de quelques résidents permanents (militaires danois et météorologues essentiellement), le parc est inhabité en terme d'humains, car la faune est y dense (*Bœufs musqués, Ours polaires, Renards, Lièvres arctiques, etc.*).

*Le parc national de Yellowstone* (Etats Unis), crée en 1872 sur une superficie de 8 983 km<sup>2</sup>, est le plus ancien parc national au monde. Ce parc comporte 1 700 espèces endémiques d'arbres, de plantes et de lichens. On trouve des conifères (*Pin tordu, Sapin de Douglas, Pin à écorces blanches*), des feuillus (*Peuplier et Saule*), des plantes à fleurs (*Abronia ammophila*, plante très rare qui pousse dans le sable). Beaucoup d'herbivores (*Bison, Wapiti, etc.*), de carnivores (*Coyote, Puma, Glouton, etc.*) et de oiseaux (*Pygargues à tête blanche, cygne trompette, etc.*). Depuis 1978, ce parc est inscrit sur la liste des réserves pour la biosphère et au Patrimoine mondiale.

L'Algérie a crée 11 parc nationaux classés à partir de 1983 : Huit (08) au nord du pays d'une superficie totale 165 362 ha : *Djurdjura* (Wilayas de Bouira et Tizi Ouzou), *Chrèa* (Wilaya de Blida), *El Kala* (Wilaya d'Annaba), *Gouraya* (Wilaya de Bejaia), *Taza* (Wilaya de Jijel), *Belezma* (Wilaya de Batna), *Theniet el Had* (Wilaya de Tissemsilt) et *Tlemcen*. Un (01) en zone steppique d'une superficie de 24 500 ha : *Djebel Aissa* (Wilaya de Naâma). Deux (02) dans le grand sud avec une superficie totale de 480 000 ha : *Tassili* (Wilaya d'Illizi) et *l'Ahaggar* (Wilaya de Tamanrasset) (Bessah, 2005).

### ***Exemple du parc national de Tlemcen***

Le parc National de Tlemcen est situé au nord-ouest de l'Algérie et a été classé parc national en 1993. Le parc qui s'étend sur une superficie de 8 225 ha est riche en biodiversité avec une variété de faune et de flore. La majorité du parc comprend des djebels de moyenne altitude (1 100 m) ce qui donne au parc un caractère assez montagneux.

La flore est représentée par 904 espèces, classées en : cosmopolites (732 espèces), protégées (22 espèces), endémiques (31 espèces), rares (38 espèces), menacées (44 espèces), champignons (44 espèces). Cette flore est composée essentiellement de *Chêne vert*, de *Chêne liège*, de *Chêne zéen*, on rencontre également le *Palmier nain*, *l'Arbousier*, le *Pistachier*, *l'Aubépine*, etc. (Sekkoum & Maachou, 2018).

La faune est caractérisée par 174 espèces : *les oiseaux* (100 espèces dont 38 sont protégées), *les mammifères* (16 espèces dont 8 sont protégées), *les reptiles* (18 espèces dont 1 est

protégée), *les insectes* (33 espèces dont 2 sont protégées) et *les batraciens* (07 espèces). En raison de la présence d'habitats naturels en nombre, la faune est très diversifiée formée par : *le Renard, le Sanglier, le Chacal, le Lapin de garenne et le Pigeon*. Néanmoins certaines espèces sont en voie de disparition comme : *l'Epervier, l'Aigle royal, la Mangouste, le Chat sauvage, le Porc-épic et la Belette*.

Le parc national de Tlemcen comprend plusieurs sites archéologiques historiques et naturels comme : *les ruines de la Mansourah, la mosquée de Sidi Boumediene, la mosquée Sidi Bou Ishaq El Tayar, le tombeau de la Sultane, les grottes d'El Ourit* avec ses falaises et cascades naturelles, *les grottes de Safsaf, les grottes de Boumaaza*.



**A** : Réserve naturelle de Penalara (Espagne), **B** : Réserve naturelle de Kaza, **C** : Réserve naturelle des Babors (Algérie), **D** : Aire protégée Tour de diable (Etats Unis), **E** : Aire protégée de Tsamaie (Australie), **F** : Aire protégée de Nahanni (Canada).

**Figure.** Exemples de conservation *in situ*.

## 2.2. La conservation *ex situ*

Lorsque la conservation *in situ* s'avère insuffisante, notamment dans le cas d'une espèce au bord de l'extinction, on recourt à la conservation *ex situ* (« conservation hors du site naturel »). Il s'agit donc du dernier recours pour éviter la disparition de l'espèce. Son emploi est moins désirable comparé à la conservation *in situ*.

Axée généralement sur les espèces, la conservation *ex situ* consiste au déplacement d'une partie d'un taxon de son habitat où il est menacé et le placer dans un nouvel habitat. Des exemplaires sont alors prélevés, sous forme de graines ou de plantes, pour être conservés, cultivés, multipliés et maintenus au plus pré possible de leur état naturel (Primack *et al.*, 2012).

La conservation *ex situ* permet la conservation des espèces en voie de disparition, la reconstitution et la régénération des espèces menacées, la gestion des ressources génétiques des plantes utiles et la réintroduction des espèces dans leur habitat naturel. Ce sont les rôles des *jardins botaniques*, *des arboretums*, *des banques de graines et de gènes*.

### 2.2.1. Les jardins botaniques

Quelques 1 600 jardins botaniques existent à travers le monde. Les plus anciens ont servi de rassembler les plantes de la pharmacopée traditionnelle. Ils ont ensuite évolué en jardins d'acclimatation pour accueillir et essayer de domestiquer les espèces tropicales ramenées par les voyageurs et pour développer de nouvelles cultures d'intérêts économiques et décoratifs. Récemment, leurs missions ont encore changé. Les nouveaux établissements se spécialisent dans la faune et la flore d'un milieu en vue de développer l'ingénierie de la conservation et d'informer le public.

Un jardin botanique est, selon le BGCI (*Botanic Garden Conservation International*), la fédération des jardins botaniques au plan international : « une institution qui rassemble des collections documentées de végétaux à des fins de recherche scientifique, de conservation, d'exposition et d'enseignement ».

Les jardins botaniques contiennent : des collections vivantes et en banques de graines (*espèces protégées*, *espèces remarquables*, *serres*, etc.) et des collections inertes (*bibliothèque*, *herbier*, *carpothèque*, *séminothèque*, etc.) (Jackson & Sutherland, 2000).

Il est considéré comme étant un territoire aménagé par une institution publique, privée ou associative qui a pour but la présentation d'espèces et variétés végétales sauvages et/ou horticoles.

Les missions traditionnelles des jardins botaniques sont d'ordres (Barabé *et al.*, 2012) :

- **Scientifique** : les jardins botaniques sont des organes de recherche et de diffusion des connaissances botaniques, ils participent à la connaissance de la flore sauvage, indigène et exogène. Ils sont constitués de collections végétales vivantes, d'herbiers, de fonds documentaires, de banques de graines, etc.
- **Conservation** : de très nombreuses espèces sont aujourd'hui menacées de disparition dans leurs milieux naturels. Les jardins botaniques participent à la conservation des espèces végétales les plus menacées des flores régionales et exogènes.
- **Enseignement de la botanique et du jardinage** : les jardins botaniques communiquent la connaissance sur le monde végétal par des activités de médiatisation (*visites guidées, conférences, expositions, excursions botaniques, etc.*) à différents publics (*scolaires, touristes, amateurs, professionnels, etc.*).
- **Education liée à la nature** : la protection de la biodiversité passe obligatoirement par l'éducation grâce à une sensibilisation adaptée à tous le public. En effet, certains jardins botaniques élaborent des programmes pédagogiques aux différents établissements scolaires.
- **Touristique** : les jardins botaniques doivent être ouvert au public de tous horizons (*local, régional, national, voire même international*).

Les jardins botaniques de Kew « *The Kiew Gardens* », fondées en 1759, sont un ensemble de jardins situés dans le quartier de Kew à l'ouest de Londres (Angleterre). Sur une superficie de 121 hectares, ils sont l'un des plus grands jardins botaniques au monde. Ils abritent la plus importante collection de plantes au monde avec plus de 30 000 espèces de végétaux : le *Cyprès chauve*, la *Gunnère du Brésil*, le fameux *Aloès spiral*, de *grandes orchidées terrestres*, des *plantes-cailloux*, etc. Leur herbier est aussi l'un des plus grands du monde, avec plus de sept millions de spécimens. On trouve également une bibliothèque comprenant plus de 750 000 volumes (*livres, photos, périodiques, cartes, etc.*) (Jackson & Sutherland, 2000).

Le jardin d'essai d'El Hamma (Wilaya d'Alger), crée en 1832 par l'Etat colonial, s'étendant sur une superficie de 32 ha, est considéré comme l'un des jardins d'essai et d'acclimatation

les plus importants au monde. C'est un joyau botanique de plus de 3 000 espèces de plantes d'intérêt alimentaire et ornemental : *Platanes, Ficus, Bambous, Palmiers, Cocos*, et beaucoup d'autres *plantes tropicales et aquatiques*. On y trouve aussi un jardin zoologique qui rassemble des spécimens de la faune d'Afrique du nord et quelques animaux sauvages. Parallèlement au travail scientifique et technique, le jardin botanique d'El Hamma a toujours sensibilisé et éduqué un large public sur tout ce qui est en relation avec la nature en générale et l'horticulture en particulier.

### 2.2.2. Les arboretums

Arboretum du latin *arbor*, qui signifie « arbre », est un jardin spécialement consacré à la culture de certains arbres dans un but expérimental. Il constitue un véritable patrimoine naturel d'essences ligneuses, forestières ou non.

Un jardin botanique peut avoir une partie de sa surface complantée d'essences arborescentes et posséder ainsi un arboretum. D'ailleurs, les missions d'un arboretum obéissent aux règles générales d'un jardin botanique (Fady & Thevenet, 2006).

Certains arboretums ont un but de conservation et de sauvegarde d'essences menacées de disparition, plus souvent d'origine étrangère du pays. En plus, ce sont des lieux d'inspiration pour *les paysagistes, les pépiniéristes, les responsables de jardin et les étudiants*. Ils sont ouverts au public et constituent une sorte de « musée à arbres ».

Nous pouvons définir deux types d'arboretum, qui diffèrent par la présentation et les objectifs (Kroenlein, 1993) :

- ***Les arboretums forestiers (Sylvetums)*** : contiendra essentiellement des espèces forestières exotiques souvent répétées en grand nombre, installées dans un milieu qui n'est pas le leur. Le nombre d'espèces est ici plus réduit mais les individus sont plus nombreux (25 à 100, voire plus). Ces essences sont généralement destinées au reboisement.
- ***Les arboretums de collection*** : réunissent le maximum d'espèces ligneuses du monde entier, généralement exotiques, représentées par un nombre limité d'individus (2, 3 voire un unique individu) faisant l'objet d'un suivi particulier concernant leur adaptation et leur valorisation.

L'arboretum national des Barres (en France), créé en 1873, est le premier arboretum forestier européen et l'un des plus important sur le plan mondial. C'est une collection botanique très

riche, constituée d'arbres et d'arbustes originaires de différentes contrées du monde. Comptant près de 2 600 espèces végétales, représentées essentiellement par des espèces de chênes (*Quercus*), d'érables (*Acer*), d'aubépines (*Crataegus*), de sapins (*Abies*) et d'épicéas (*Picea*). Cet arboretum est divisé en deux grandes parties : la première regroupant des espèces américaines, européennes et circumméditerranéennes ; la seconde composée d'espèces asiatiques.

En Algérie, le réseau de conservation *ex situ* est constitué d'une vingtaine d'arboretums mis en place à partir des années trente. On y retrouve essentiellement des essences endémiques, menacées de disparition et diverses espèces exotiques. A titre d'exemple, l'arboretum du lac Tonga, partie intégrante du parc national d'El Kala, regroupe un ensemble d'arbres à la fois nobles et rares comme : *l'Acacia, l'Aulne, l'Orme blanc et le Saule*. Il renferme aussi des Cyprès chauves ramenés des Etats-Unis d'Amérique au XVIII<sup>e</sup> siècle, des Polypodes et la Fougère royale et tant d'autres espèces arbustives et florales (Bouazza, 2017).

### **2.2.3. Les banques de semences (graines)**

Les banques de semences sont des méthodes d'urgence pour la conservation des plantes. Ils ont pour but majeur la préservation et la conservation à long terme de semences viables d'espèces végétales rares ou endémiques, vulnérables ou en danger, et ainsi éviter leurs éventuelles extinctions.

La technique de conservation des graines est plus facile et relativement peu coûteuse par rapport à la conservation des plantes. Pour certaines espèces, dont la majorité des céréales, les graines peuvent être séchées et maintenues à faible température (environ - 20 °C) sans perdre leur vitalité. Ces banques ont donc l'avantage de conserver beaucoup de représentants d'une même espèce dans très peu d'espace. Ainsi, on peut garder toute une population dans une petite bouteille alors qu'il faudrait tout un jardin pour la garder en culture (Zabinski *et al.*, 2000).

D'autre part, ces banques servent à l'étude et/ou à l'amélioration d'espèces cultivées dans de nombreuses recherches appliquées en agriculture, en industrie agroalimentaire ou pharmaceutique.

La réserve mondiale de semence du Spitzberg (Norvège), inaugurée en 2008 par le gouvernement Norvégien et le *Global Crop Diversity Trust (GCDDT)*, est située à 1 000 du pôle nord à une température de -18 °C. Ce sont de conditions climatiques (permafrost), géographiques (archipel isolé et isolé), voire politiques (pays politiquement stable), qui en

font un lieu idéal pour la conservation des semences à long terme. C'est un réfrigérateur géant, formé par un long couloir de 100 m, creusé dans les glaciers à environ 130 m au-dessus du niveau de la mer, et se terminant par une rangée de trois chambres (25 m sur 10 m, pour une hauteur de 6 m) dans lesquelles plus d'un million d'échantillons de toutes les espèces de graines identifiées et produites autour du globe y ont déjà déposées. C'est un lieu où est gardé un double de toute la diversité végétale de la planète. Considérée comme étant la plus variée du monde, cette réserve a pour but majeur de protéger la biodiversité végétale face aux risques liés aux catastrophes naturelles, aux guerres, aux changements climatiques, aux maladies ou aux impérities des hommes. Elle permet donc de conserver durablement (jusqu'à 200 ans et même en cas de coupure d'électricité) des graines de plantes d'intérêt essentiellement alimentaire (Mombrial *et al.*, 2016).

Le centre de recherche et de développement de Saskatoon, a mis sur pied en 1989, une banque de graines nommée *Ressources phytogénétiques du Canada (Plant Gene Resources of Canada)*. Ce projet est surtout axé sur la conservation de graines d'espèces ayant une importance économique, et la collection de plantes indigènes du Canada afin de préserver la diversité génétique canadienne. Cette banque contient 115 000 obtentions (terme technique qui désigne enveloppe) de matériel génétique. Par exemple pour l'avoine (25 000 obtentions).

Autre projet de conservation internationale des graines, le *Millennium Seed Bank Project (Banque de Semences pour le Millénaire)*, a été initié en 1995 et inauguré officiellement en 2000. Hébergé dans des bâtiments des *Jardins Botaniques Royaux de Kew* (en Angleterre) à une température de -20 °C, cette banque a comme objectifs premiers de récolter et de conserver des graines de toutes les espèces indigènes de Grande-Bretagne, puis de conserver les espèces de partout dans le monde, spécialement celles venant des milieux secs. Elle préserve 3,5 milliards de graines (25 000 espèces de plantes), dont 1 milliard de semences provenant des collections de plus de 50 pays partenaires. Dès 2009, cette banque contenait 10 % de l'ensemble des variétés des plantes sauvages identifiées dans le monde. Elle espère atteindre 20 % d'ici 2020 (FAO, 2014).

#### **2.2.4. Les banques génétiques (gènes et pollens)**

Les espèces végétales qui ne produisent pas facilement de graines, ou dont les graines ne supportent pas la congélation, sont habituellement conservées dans des banques de gènes. L'objectif global de ces banques est de conserver le matériel phylogénétique sur le long terme et de le rendre accessible aux scientifiques chercheurs. Ces ressources génétiques sont

généralement utilisées pour l'amélioration des cultures, participant ainsi à la sécurité alimentaire et nutritionnelle mondiale. Ce type de stockage peut être considéré non pas comme une véritable méthode de conservation des ressources génétiques mais plus comme un outil pour l'étude du génome.

La conservation de l'ADN est pratiquée par les quelques 1 750 banques de gènes existant dans tous les continents (en Afrique leur nombre est relativement inférieur). Ces banques stockent près de 6 millions d'espèces et de variétés ayant un intérêt économique, commercial ou esthétique. Ce sont essentiellement des plantes utiles dans des pépinières (des collections vivantes). On y trouve ainsi surtout un vaste éventail de variétés de blé, de maïs et de riz.

Il existe trois types de collections dans les banques de gènes : *collection de base* (germoplasme conservée à long terme à des températures inférieures à 0 et à faible taux d'humidité), *collection active* (germoplasme conservé à moyen terme, utilisé pour la régénération, la multiplication et la distribution) et *collection de travail* (germoplasme dont la conservation n'est pas une priorité, provenant d'une collection active, utilisée par les chercheurs) (Hunter & Heywood, 2011).

Les *Centres Internationaux de Recherche Agricole* (CIRA) représentent la plus importante banque de gènes pour l'agriculture, constituée de plus de 600 000 échantillons récoltés dans le monde entier, ce qui représente à peu près 40 % du germoplasme entreposé dans le monde. Ces collections concernent surtout les espèces cultivées particulières (dites espèces cultivées sur mandat) mais elles conservent aussi d'autres plantes : *blé, maïs, orge, banane, soja, pomme de terre, sorgho, manioc*, différentes *légumineuses comestibles, fourrages, espèces agrosylvicoles*, etc.

Les grains de pollen constituent une véritable carte d'identité de la plante. Ils comportent la moitié du patrimoine génétique d'une plante à fleur. Ainsi, aucune plante ne se ressemble à l'autre.

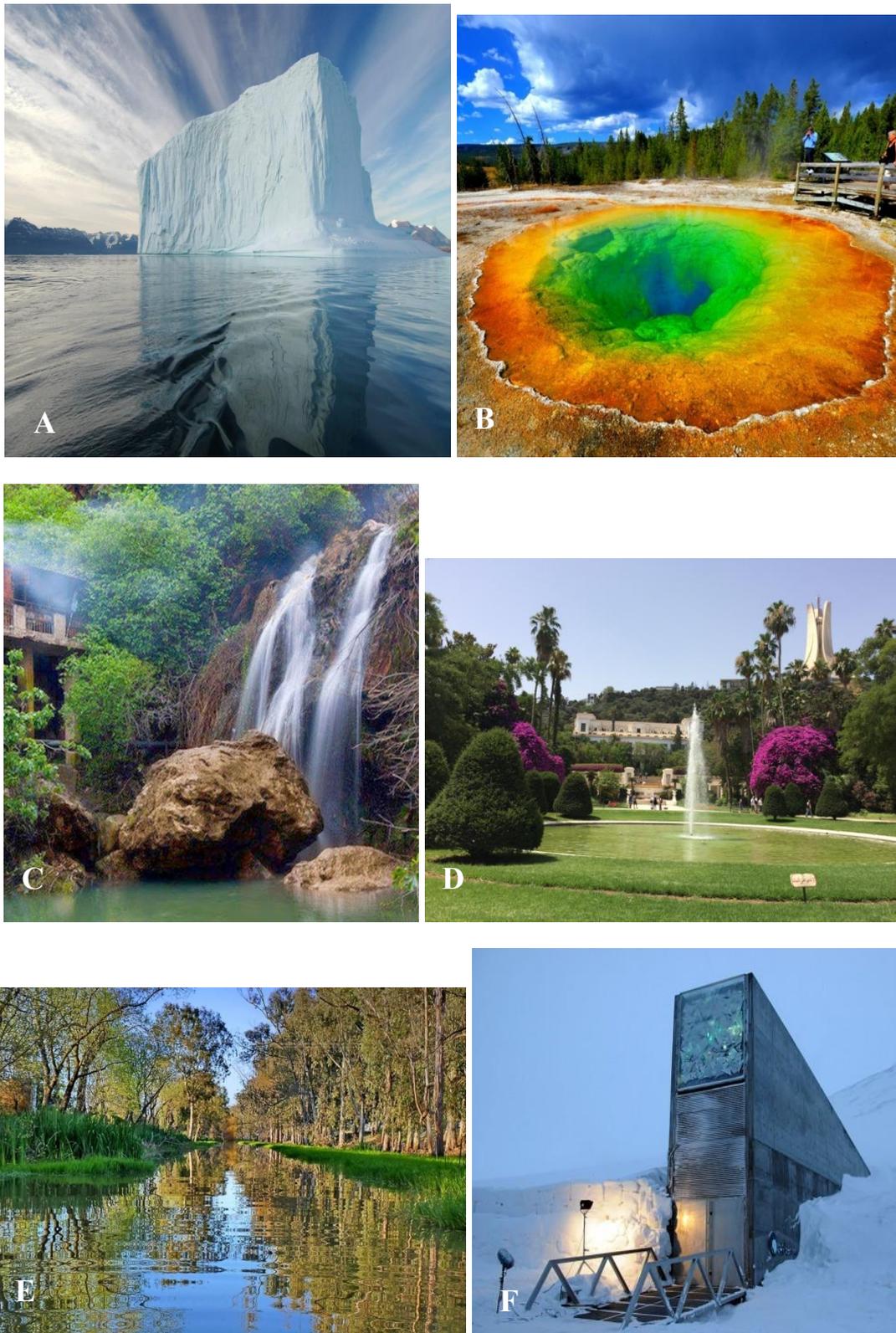
Les banques de pollens sont créées principalement pour la conservation et l'amélioration des plantes ligneuses forestières et fruitières. Elles ont comme objectifs de : conserver du bagage génétique, réaliser des croisements, faciliter les travaux de pollinisation artificielle, améliorer la production fruitière ou grainetière ; que de réellement participer à la conservation de la biodiversité (Colas & Mercier, 2000).

La conservation des plantes sous forme de pollen présente de multiples avantages. En effet, grâce au stockage dans des ampoules sous un faible volume en laboratoire, l'accès au matériel

et sa manipulation sont aisés et rapides, les échanges et le transport sont faciles. De plus, il semble que le procédé soit peu onéreux.

Parmi les nouvelles méthodes de conservation de pollen, nous pouvons citer : *la réfrigération* (la poudre de pollen est conservée dans des bocaux en verre), *la congélation* (dans de l'azote liquide à -196 °C), *la dessiccation* (dans un dessiccateur placé dans une chambre froide contenant du chlorure de calcium anhydre) et *la lyophilisation* (par élimination de l'eau et obtention d'un échantillon sec).

La banque pollinique de l'Asie du Sud-est du laboratoire du CEPAM « *Centre d'Etude Préhistoire, Antiquité, Moyen-âge* » comprend déjà plus de 2 000 espèces concernant surtout la flore sud Viêt Nam. Cette collection est destinée aux palynologues travaillant en Asie du Sud-est ou dans les pays tropicaux voisins, constitue un outil scientifique qui s'applique à de nombreuses disciplines telles que la paléobotanique (caractérisation des espèces disparues), la médecine (allergologie) et l'alimentation (contrôle de produits à base de fleurs comme le miel) (Girad *et al.*, 2005).



**A** : Parc national de Groenland (Danemark), **B** : Parc national de Yellowstone (Etats Unis), **C** : Parc naturel de Tlemcen (Algérie), **D** : Jardin botanique d'essai d'El Hamma (Alger), **E** : Arboretum du lac du Tonga (Algérie), **F** : Réserve mondiale de semence de Spitzberg (Autriche).

**Figure.** Exemples de conservation *ex situ*.

## Références bibliographiques

- ✚ ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie, (2017). *Les bioindicateurs de l'état des sols : principes et exemples d'utilisation*, 187 p.
- ✚ Alexandre F. & Genin A. (2011). *Géographie de la végétation terrestre : modèles hérités, perspectives, concepts et méthodes*. (Collection U). Paris : Armand Colin, 302 p.
- ✚ Aubertot J.N., J.M. Barbier, A. Carpentier *et al.* (éditeurs) (2005). *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux*. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref (France), 64 p.
- ✚ Barabé D., Cuerrier A., Quilichini A. (2012). Les jardins botaniques : entre science et commercialisation. *Natures Sciences Sociétés* 20, 334-342 p.
- ✚ Bessah G. (2005). Les parcs nationaux d'Algérie. Direction générale des forêts. Première réunion du Comité de pilotage du « Réseau des parcs -INTERREG IIIC Sud » Naples-Italie, 6 p.
- ✚ Bispo A., Grand C. & Galsomies L. (2009). Bioindicateurs de qualité des sols" : Vers le développement et la validation d'indicateurs biologiques pour la protection des sols. *Étude et Gestion des Sols*, 16, 3/4, 145-158 p.
- ✚ Blondel, J. (2006). Man as "Designer" of Mediterranean Landscapes : A Millennial Story of Humans and Ecological Systems during the Historic Period. *Human Ecology*, 34(5), 713-729 p.
- ✚ Bouazza N. (2017). *L'arboretum de Hafir : comportement des essences, recommandations d'entretien et gestion sylvicole (Parc National de Tlemcen)*. Mémoire de Master. Option : Ecologie, gestion et conservation de la biodiversité. Université de Tlemcen. Algérie, 107 p.
- ✚ Boucher I. & Fontaine N. (2010). *La biodiversité et l'urbanisation, Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable*, Ministère des Affaires Municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire, coll. « Planification territoriale et développement durable », 178 p.
- ✚ Bouterfas K. (2015). Étude de *Marrubium vulgare* L. du mont de Tessala (Algérie occidentale) : *autoécologie, histologie, quantification de quelques polyphénols et évaluation du pouvoir antimicrobien des flavonoïdes*. Mémoire de Magister, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès. 244 p.
- ✚ Bouterfas K., Mehdadi Z., Latreche A., Cherifi K. (2013). Autoécologie du Marrube blanc (*Marrubium vulgare* L.) et caractérisation de la biodiversité végétale dans le Djebel de Tessala (Algérie nord-occidentale). *Ecologia mediterranea*, 39 (2), 15 p.
- ✚ Brahic E., Terreaux J.P. (2009). *Evaluation économique de la biodiversité : méthodes et exemples des forêts tempérées*. Edition Quae, 200 p.
- ✚ Braun-Blanquet (1952). *Phytosociologie appliquée*. Comm. S.I.G.M.A. 116 :156 161 p.

- ✚ Chevassus-au-Louis B. (2008). La biodiversité : un nouveau regard sur la diversité du vivant. II. Stabilité et utilité », *Cahiers Agricultures* 17, 51-57 p.
- ✚ Colas F & Mercier S. (2000). *Evaluation et maintien de la viabilité des pollens utilisées dans le programme d'amélioration des plantes*. Mémoire de recherche forestière n° 135. Direction de la recherche forestière. Québec. 98 p.
- ✚ DeHayes, D.H., Schaberg P.G., Hawley G.J. & Strimbeck G.R. (1999). Acid rain impacts on calcium nutrition and forest health. *Bioscience* 49 : 789-800 p.
- ✚ Delpéch R., Dumé G., Galmiche P. (1985). *Typologie des stations forestières*. Vocabulaire. Paris : IDF, 243 p.
- ✚ Delpéch R. (2006). La phytosociologie. [http://www.tela-botanica.org/page:menu\\_407](http://www.tela-botanica.org/page:menu_407).
- ✚ Delassus, L. (2015). *Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques*. Conservatoire botanique national de Brest. Document Technique. 52 p.
- ✚ Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire (2005). Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC, 137 p.
- ✚ Fady B. & Thevenet J. (2006). Les arboretums : un outil de recherche et d'éducation sur la biodiversité forestière : Le cas de l'arboretum du Ruscas (Var). *Rev. Forêt méditerranéenne*. XXVII, n° 3 :235- 246 p.
- ✚ Fahrig, L. (2003). Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. Annual Review of Ecology. *Evolution and Systematics*, vol. 34, 487-515 p.
- ✚ FAO. (2014). *Normes applicables aux banques de gènes pour les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture*. Ed. Rev. Rome. 182 p.
- ✚ Figuières C, Erdlenbruch K., Aulong S. (2008). Les critères d'évaluation de la biodiversité : propriétés et difficultés d'usage. *INRA Sciences Sociales*, 4-5, 8 p.
- ✚ Garnier E. & Navas M.L (2013). *Diversité fonctionnelle des plantes. Traits des organismes, structure des communautés, propriétés des écosystèmes*. Cours Master et Doctorat en Sciences de la Vie et de la Terre. Edition De Boeck. 64 p.
- ✚ Gaston K.J. & Spicer J.I. (1998). Biodiversity. An introduction. Black-well Science Ltd. GASTON K. J., 2000. «Global patterns in biodiversity». *Nature*, 405 :220-227 p.
- ✚ Gaston K.J. & Spicer J.I (2004). *Biodiversité et une introduction*. Blakwell Publishing, 191 p.
- ✚ Géhu J.M. (2006). *Dictionnaire de sociologie et synécologie végétales*, Berlin - Stuttgart : J. Cramer, Amicale francophone de Phytosociologie-Fédération internationale de Phytosociologie. 899 p.
- ✚ Gillet, F. (2000). *La phytosociologie synusiale intégrée. Guide méthodologique*. Documents du Laboratoire d'Ecologie végétale, Institut de Botanique, Université de Neuchâtel, 68 p.

- ✚ Girard M., Bui T.M., Hoang V., Trinh T.L. (2005). Banque de données de pollens de référence de la péninsule indochinoise. *2ème congrès du Réseau Asie : Savoirs, milieux et sociétés*, Paris, France. 10 p.
- ✚ Godron M. (1984). *Ecologie de la végétation terrestre*. Paris : Masson (coll. Abrégés), 196 p.
- ✚ Grub, P. Bungener, F. Contat S. *et al.* (1999). Pollution atmosphérique et biodiversité floristique. N° 4, vol. 29, *Pollution atmosphérique*. N°162, 42-48 p.
- ✚ Grytnes, J.A. & Vetaas O.R. (2002). Species richness and altitude : A comparison between null models and interpolated plant species richness along the Himalayan altitudinal gradient, Nepal. *American Naturalist* 159(3) : 294-304 p.
- ✚ Guillaumet J.L. & et Morat P. (1990). Menaces sur la flore. *Cahiers d'Outre-Mer*. 11 p.
- ✚ Hunter D, Heywood V (eds.) (2011). *Espèces sauvages apparentées à des plantes cultivées. Manuel de conservation in situ*. Bioersivity International, Rome, Italie, 542 p.
- ✚ Jackson P.S. & Sutherland, L.A. (2000). Agenda International pour la Conservation dans les Jardins Botaniques. Botanic Gardens Conservation International, U.K. 70 p.
- ✚ Kluser S., De Bono A., Giuliani G., Peduzzi P., (2004). *Les Feux de Végétation, un impact double pour la planète*. Bulletin d'Alerte Environnementale, (3) Programme des Nations Unies pour L'environnement, 4 p.
- ✚ Kroenlein M., (1993). Définir les arboretums. Monaco cedex. *Belgique : les presses agronomiques de Gembloux*, 241-243 p.
- ✚ Laurent E., Delassus L., Hardegen M (2017). *Méthodes d'inventaire et de cartographie des groupements végétaux. Guide méthodologique*. Programme « Connaissance et cartographie des végétations sur de grands territoires : étude méthodologique ». Conservatoire botanique national de Brest, 42 p.
- ✚ Lévêque C. & Mounolou J.C. (2008). *Biodiversité : Dynamique biologique et conservation*. 2ème Edition. Dunod, Paris, France, 274 p.
- ✚ Lévêque C. (2008). *La biodiversité au quotidien : le développement durable et l'épreuve des faits*. IRD Editions. Paris, France, 286 p.
- ✚ Marcon E. (2015). *Mesures de la Biodiversité*. Master. Kourou, France. 268 p.
- ✚ Markert, B.A., Breure, A.M. & Zeichmeister H.G. (2003). *Bioindicators & biomonitoring: principles, concepts, and applications*. Elsevier. Amsterdam. 997 p.
- ✚ Mason J.T, Christopher J.W. Mc Clure & Barber J.R. (2016). Anthropogenic noise impairs owl hunting behavior, *Biological Conservation* 199, 29-32 p.
- ✚ Milian J. & Rodary E. (2010). La conservation de la biodiversité par les outils de priorisation : Entre souci d'efficacité écologique et marchandisation. *Revue Tiers Monde* 202, 33-56 p.

- ✚ Mittermeier R.A., Robles G.P. & Mittermeier C.G. (1999). *Megadiversity: Earth's Biologically Wealthiest Nations*. Graphic Arts Center Publishing Company, 501 p.
- ✚ Mombrial, F., Lambelet-Haueter C. & Palese R. (2016). *Manuel de fonctionnement de la Banque de semences*. Laboratoire de conservation. Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève. 89 p.
- ✚ Myers N., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., Da Fonseca G.A., Kent J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403 : 853-858 p.
- ✚ OCDE (2008). L'Organisation de Coopération et de Développement Economiques *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030. Chapitre 9 : Biodiversité*. 24 p.
- ✚ Pankhurst C., Doube B.M. & Gupta V.V.S.R. (1997). *Biological indicators of soil health*. Wallingford ; New York. CAB International. 451 p.
- ✚ Parmesan, C. (1996). Climate and Species' Range. *Nature*, 382, 765-766 p.
- ✚ Parmesan, C. (2005). *Range and abundance changes*, Lovejoy, T.E. et L.J. Hannah (éd.), *Climate Change and Biodiversity*. 56-60 p.
- ✚ Quezel P. & Santa S. (1962 ; 1963). *Nouvel Flore de l'Algérie et des Régions Désertiques Méridionales*. Tome I-II. Edition : CNRS, Paris. France, 1170 p.
- ✚ Ramade F. (2009). *Éléments d'Écologie. Écologie fondamentale*, 4e éd., Dunod, 668 p.
- ✚ Rameau J.C. (1985). Phytosociologie forestière : caractères et problèmes spécifique, relations avec la typologie forestière. *Coll. Phytosociol., XIV, Phytosociologie et foresterie*, Nancy, France, 687-738 p.
- ✚ Rautner, M., Leggett, M. & Davis, F. (2013). *Le Petit Livre des grands moteurs de déforestation*. Global Canopy Programme: Oxford, 103 p.
- ✚ Ribière G. (2013). *Valeurs de biodiversité, prix de la nature*. Victoires Edition. 158 p.
- ✚ Primack R.B, Lecomte J., Sarrazin F. (2012). *Biologie de la conservation ; cours et applications*. DUNOD, Sciences & Techniques, 388 p.
- ✚ Russel A. Mittermeier et al. (2007). « Focus : Les pays de mégadiversité », in Pierre Jacquet et al., *Regards sur la Terre 2008*, Presses de Sciences Po (P.F.N.S.P.) « Annuels », 153-154 p.
- ✚ Sauvion N. & Baaren J.V. (2013). *Impact des changements climatiques sur les interactions insectes-plantes : Chapitre 38*, IRD Éditions Institut de recherche pour le développement, Marseille, France, 44 p.
- ✚ SCDB, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (2001). *Impacts of human-caused fires on biodiversity and ecosystem functioning, and their causes in tropical, temperate and boreal forest biomes*. Montreal, Canada, 42 p.

- ✚ SCDB, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (2007). *Biodiversité et changements climatiques*. Journée internationale de la biodiversité, Montréal, Canada, 48 p.
- ✚ SCDB, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (2008). *Biodiversité et agriculture : Protéger la biodiversité et assurer la sécurité alimentaire*. Montréal, Canada, 56 p.
- ✚ SCDB, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (2009). *Espèces exotiques envahissantes une menace à la diversité biologique*. Montréal, 26 p.
- ✚ SCDB, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (2010). *La biodiversité forestière-Le trésor vivant de la planète*. Montréal, Canada, 48 p.
- ✚ Schultz J. (2005). *The Ecozones of the World : The ecological divisions of the geosphere*. Kindle Edition, 268 p.
- ✚ Sekkoum S. & Maachou H.M. (2018). « Le parc national de Tlemcen (Algérie) : un potentiel touristique sous-exploité », *Études caribéennes* [En ligne], 39-40 | Avril-Août, mis en ligne le 15 juillet 2018, consulté le 27 juillet 2018. URL : <http://journals.openedition.org/etudescaribeennes/12450>.
- ✚ Sibley J. (2008). *Impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité : synthèse bibliographique*. Rapport MNHN-SPN/MEDDAT n° 8. 28 p.
- ✚ Stevens G.C. (1989). The latitudinal gradients in geographical range : how so many species coexist in the tropics. *American Naturalist* 133 : 240-256 p.
- ✚ Stevens, G.C. (1992). The elevational gradient in altitudinal range : an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. *American Naturalist* 140 :893-911 p.
- ✚ Stolton, S., Dudley, N., Avcioğlu Çokçalışkan, B. et al. (2020). *Valeurs et avantages des aires protégées*. In Worboys, G. L., Lockwood, M., Kothari, A., Feary, S. et Pulsford, I. (éd.). *Gouvernance et gestion des aires protégées*. Canberra : ANU Press.
- ✚ Tilman D., Reich P.B. & Knops J.M.H. (2006). Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature* 441 : 629-632 p.
- ✚ UICN Comité français de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature France, 2015. *Les espèces exotiques envahissantes sur les sites d'entreprises*. Livret 1 : Connaissances et recommandations générales, Paris, France, 40 p.
- ✚ Vélez R. (1999). *Protection contre les incendies de forêt : principes et méthodes d'action*. In : Vélez R. (ed.). *Protection contre les incendies de forêt : principes et méthodes d'action*. Zaragoza : CIHEAM, 1999. Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches 26, 1-18 p.
- ✚ Whitaker R.H. (1975). *Communities and ecosystem*, 2nd ed. New York : Macmillan, 375 p.

- ✚ Zabinski, C., Wojtowicz T. & Cole D. (2000). The effects of recreation disturbance on subalpine seed banks in the Rocky Mountains of Montana. *Can. J. Bot.* 78 :577-582 p.
- ✚ Zaninotto V. & Faure E. (2015). *Pollution atmosphérique, biodiversité et écosystèmes*. Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environnement et la Société. Rapport sur la pollution atmosphérique. 24 p.

#### Webographie :

- ✚ Webmaster 1 : Science de la nature et de la vie en seconde. Séance 5 bis : biodiversité actuelle et passée | Science de la Vie et de la Terre en Seconde (wordpress.com) . Carte : 72-biomesmap.jpg (1945×1321) (wordpress.com). Consulté le 12/09/2018.
- ✚ Webmaster 2 : Biomes versus Ecozones. 5- Biomes versus Écozones | Bio-Scène.org (bio-scene.org). Carte : File:Ecozones.svg - Wikimedia Commons. Consulté le 09/09/2018.
- ✚ Webmaster 3 : Conservation International CI (2004). Biodiversity hotspots web site. Site : [Biodiversity Hotspots \(conservation.org\)](http://www.conservation.org). Consulté le 15/03/2019.