



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Mohammed Seddik Benyahia-Jijel



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de l'Enseignement Fondamental des
sciences de la Nature et de la Vie

كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم التعليم الأساسي لعلوم الطبيعة والحياة
السنة الثانية علم التغذية

Plantes et Environnement

Polycopié de cours

2^{ème} année Sciences Alimentaires

U E Découverte Code : UED 4.1

Préparé par Dr YOUNSI Salah Eddine

Grade de l'auteur MCB

2023/2024

Ref.....



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Mohammed Seddik Benyahia-Jijel



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de l'Enseignement Fondamental des
sciences de la Nature et de la Vie

كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم التعليم الأساسي لعلوم الطبيعة والحياة
السنة الثانية علم التغذية

Plantes et Environnement

Polycopié de cours

2^{ème} année Sciences Alimentaires

U E Découverte Code : UED 4.1

Préparé par Dr YOUNSI Salah Eddine

Grade de l'auteur MCB

2023/2024

Ref.....

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	01
CHAPITRE I : BIOME OU BIOCENOSE	03
1- Introduction	03
2- Les biomes terrestres et leurs répartitions en latitude	03
2-1- La toundra	04
2-2- Les forêts boréales (la taïga)	05
2-3- Forêts tempérées à feuilles caduques	06
2-4- Les forêts ou biomes de type méditerranéens	06
2-5- Les steppes	07
2-6- Les déserts	07
2-7- Les savanes tropicales	08
2-8- Les forêts ombrophiles équatoriales ou pluvieuses tropicales	08
3- Les biomes aquatiques	09
Chapitre II : ECOSYSTEME	10
1- Introduction	10
2- Structure d'un écosystème	10
2.1. La biocénose	10
2.2. Le biotope	10
2.2.1. Facteurs physiques	11
2.2.2. Facteurs chimiques	11
3- Délimitation d'un écosystème	12
4- Classification et nomenclature des écosystèmes	12
4.1. Classification selon la taille ou l'échelle spatiale	13
4.2. Classification selon les biocénoses	13
4.3. Classification selon les types de milieux écologiques	13
4.3.1. Ecosystèmes aquatiques (water ecosystems)	13
4.3.2. Ecosystèmes terrestres	14
Chapitre III : REPONSES DE LA PLANTE AUX FACTEURS DU MILIEU	15
1. Introduction	15
2. Mécanismes généraux de réponse des plantes aux facteurs de l'environnement	15
2.1. Réponse à la température	16
2.1.1 Les différents effets de la température	16
2.1.2 Exemple des effets de la température chez quelques plantes	18
2.1.1 Exemple de réponses adaptatives à la température	18
2.2. Réponse à la disponibilité en ressources	19
2.2.1. La lumière	20
2.2.2. L'eau	21

2.2.3. Le CO ₂	22
2.2.4. Les sels minéraux	22
3. Distribution des végétaux	23
3.1. Notions de chorologie	24
3.2. Types des aires de distribution	24
3.3. Facteurs de répartition	24
Chapitre V : FONCTIONNEMENT DES COMMUNAUTES VEGETALES	25
1. Variations spatio-temporelles des communautés végétales	25
1-1- Variations spatiales	25
1-2- Variations temporelles	25
1-2-1- Histoire évolutive des végétaux	25
1-2-2- Évolution des cycles de vie et phénologie	27
2. Actions de l'homme sur le fonctionnement des couverts végétaux	27
2-1- Les chaînes trophiques ou alimentaires	28
2-2- Les cycles biogéochimiques	30
3. Actions de l'homme sur le fonctionnement des couverts végétaux	32
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	33

LISTE DES FIGURES

Numéro et titre de la figure	Page
Figure 01 : Répartition des principaux biomes du monde	04
Figure 02 : Situation géographique de la toundra	05
Figure 03 : Situation géographique des forêts boréales	05
Figure 04 : Situation géographique forêts tempérées	06
Figure 05 : répartition géographique des biomes méditerranéens	06
Figure 06 : répartition géographique des steppes tempérées (en jaune) et de subtropical (en orange)	07
Figure 07 : Situation géographique du désert	07
Figure 08 : Situation géographique de la savane tropicale	08
Figure 09 : répartition géographique des forêts ombrophiles équatoriales	09
Figure 10 : Schéma de la structure d'un écosystème	11
Figure 11 : Schéma des interactions au sein d'un écosystème	12
Figure 12 : Vue schématique des mécanismes de perception du stress et de transduction du signal chez les plantes supérieures	15
Figure 13 : Bilan métabolique général d'une plante en fonction de la température	17
Figure 14 : Besoins de fonctionnement d'un système végétal à la surface du globe	19
Figure 15 : Réponse des plantes à l'augmentation de l'intensité lumineuse	20
Figure 16 : exemple des symptômes dans le cas de carences en éléments minéraux pour les plantes	23
Figure 17 : L'évolution végétale au cours des temps géologiques	26
Figure 18 : Flux de la matière et de l'énergie (rôle de la photosynthèse et de la respiration)	27
Figure 19 : Exemple de chaînes trophiques, aquatique (à gauche) et terrestre (à droite)	28
Figure 20 : Exemple de réseau trophique terrestre	28
Figure 21 : Cycle simplifié du carbone	31

8LISTE DES TABLEAUX

Numéro et titre du tableau	Page
Tableau 01: Répartition en latitude des principales formations végétales en fonction du climat	04
Tableau 02 : Caractéristiques globales de la toundra	05
Tableau 03 : Caractéristiques globales des forêts boréales	05
Tableau 04 : Caractéristiques globales des forêts tempérées	06
Tableau 05 : Caractéristiques globales des biomes méditerranéens	06
Tableau 06 : Caractéristiques globales des steppes tempérées	07
Tableau 07 : Caractéristiques globales du désert	07
Tableau 08 : Caractéristiques globales de la savane tropicale	08
Tableau 09 : Caractéristiques globales des forêts ombrophiles équatoriales	09

INTRODUCTION GENERALE

Les plantes (*Plantae*) sont des organismes photosynthétiques et autotrophes, caractérisés par des cellules végétales. Elles forment l'un des règnes des Eukaryota, qu'est un groupe monophylétique comprenant les plantes terrestres, les algues vertes, les algues rouges et les glaucophytes [01]. Le nombre total des espèces de plantes n'est plus facile de le déterminer, mais il existerait (en 2015) plus de 400 000 espèces décrites, dont la grande majorité sont des plantes à fleurs (369 000 espèces répertoriées), sachant que près de 2 000 nouvelles espèces sont découvertes chaque année [02].

Le critère plus général de définition du monde végétal qu'a été proposée revient à la relative rigidité de la paroi celluloso-pectique, cependant, l'autotrophie en est le caractère métabolique le plus spectaculaire et plus fondamentale. L'organisme chlorophyllien fixe lui-même le carbone qu'il va incorporer dans ses molécules, à partir de carbone minéral (dioxyde de carbone atmosphérique ou dissous dans l'eau) ; il fixe également l'énergie (d'origine lumineuse) qui sera impliquée dans les processus de son métabolisme [03]. Soulignons ainsi, un autre caractère très général du végétal, qu'on peut supposer lié à son immobilité, l'absence d'unité dans plusieurs aspects de l'organisation : pas d'homogénéité génétique obligatoire de l'individu, pas de système nerveux central, pas de centralisation unitaire de l'organisme, etc. ; mais ça reste des faits importants à souligner.

Grâce à ses fonctions multiples, les plantes, jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement des écosystèmes, assurant de ce fait la vie sur terre, notamment à travers les chaînes alimentaires qui sont basées sur la productivité des plantes. Elles constituent également la première et principale source de nourriture pour l'homme, en plus à d'autres fonctions directes ou indirectes qui les assurent (fonction écologique, socioéconomique, esthétique,....).

Les plantes sont des organismes fixés au sol (sauf quelques exceptions), ce qui les rend très dépendants des conditions de leur environnement. Elles occupent quasiment tous les milieux terrestres, certaines étant même retournées au mode de vie aquatique, comme les zostères ou les posidonies qui comptent parmi les rares plantes sous-marines. Chaque espèce se définit par son aire de répartition, c'est-à-dire la zone géographique qu'elle occupe en accord avec ses exigences climatiques et de substrat.

On distingue les plantes selon leurs régions climatiques : sans être exhaustif, on cite des plantes équatoriales, alpines, désertiques, méditerranéennes, tempérées ou arctiques. Ainsi, au sein d'une même région, on distingue des plantes suivant leur habitat qui présentent des adaptations aux conditions du milieu et à la composition du sol (conditions dites édaphiques). On parle de plantes d'ombre ou de lumière selon leur exigence en éclairement, de plantes hygrophiles (adaptées aux milieux humides), mésophiles ou xérophiles (adaptées aux milieux arides) selon leur exigence en eau, de plantes calcicoles ou calcifuges selon leur exigence en taux d'ions calcium dans le sol, de plantes nitrophiles pour celles qui poussent sur un sol riche en ions azotés. En forêt équatoriale pluvieuse, où les arbres ombragent en permanence le sous-bois par leur feuillage dense, de nombreuses plantes sont présentes en hauteur dans la canopée : il s'agit d'épiphytes (orchidées et fougères, par exemple), se développant sur des arbres, et de diverses lianes.

Ces différentes notions abordées ci-dessus, seront détaillé dans ce présent document qui s'intitule Plantes et Environnement. Ça correspond à un cours conçu en respectant le programme pédagogique officiel, qui sera destiné aux étudiants de 2eme année Socle Commun, filière Sciences Alimentaires, domaine Sciences de la Nature et de la Vie, dont il est enseigné pratiquement à l'université Med Seddik Ben Yahia de Jijel.

Quant à l'objectif de ce cours, on peut saisir les points essentiels suivants :

- Acquisition aux étudiants des connaissances scientifiques et des concepts de base en écologie et environnement.
- Initiation des étudiants aux notions sur les biomes et sur le fonctionnement des communautés végétales
- Permettre aux étudiants la compréhension de la relation plante-environnement, dont les facteurs de répartition et de distribution des formations végétales.

Ce cours est divisé en quatre chapitres, dont le 1^{ier} a exposé la répartition et la caractérisation des biomes terrestres, suivi par un 2^{ième} qui a évoqué la notion de l'écosystème et ces différents types. Ensuite, il y en a un 3ème chapitre qui traite la question de la réponses des plantes au facteurs du milieu, en expliquant certains mécanismes d'adaptation et de distribution, en plus à un 4^{ième} et dernier chapitre qu'a abordé le principe du fonctionnement des communautés végétales en intégrant la variation spatio-temporelle des communautés végétales, les chaines alimentaires et cycles biogéochimiques ainsi que l'action de l'homme sur le couvert végétal.

Enfin, on signale également que la matière Plantes et Environnement renferme aussi des séances de travaux dirigés (TD) qui sont décrites à la fin de ce document.

Chapitre I : BIOME OU BIOCENOSE

1. Introduction

La biosphère est une zone de faible épaisseur (par rapport au diamètre de la Terre qui est de 12 600 km) qui entoure le globe, et où la vie est apparue, s'est diversifiée et se maintient. Elle est formée de trois compartiments : l'atmosphère, l'hydrosphère (les océans, fleuves et rivières, etc.) et la lithosphère (le sol et la partie superficielle des roches). Elle s'étend jusqu'aux plus profondes fosses abyssales (soit 11 000 m) ; le sol n'est habité que sur quelques mètres de profondeur au maximum ; dans l'atmosphère, des oiseaux peuvent se rencontrer jusqu'à 8 000 m d'altitude. La vie ne peut se maintenir dans la biosphère que grâce à l'énergie solaire et à la circulation d'éléments indispensables comme le carbone ou l'azote, qui sont constamment recyclés. La biosphère est constituée d'éléments relativement indépendants les uns des autres et plus ou moins stables, les écosystèmes.

Les divers écosystèmes présents dans la biosphère actuelle peuvent se répartir en deux groupes fondamentalement distincts :

- Les écosystèmes terrestres, associés aux continents émergés ;
- Les écosystèmes aquatiques, dépendant de l'hydrosphère, que l'on peut subdiviser en écosystèmes limniques (fleuves et lacs), littoraux (lagunes, estuaires, mangroves) et écosystèmes marins (=océaniques).

L'étude de la répartition géographique des écosystèmes montre qu'elle présente une zonation assez régulière, tant dans le plan horizontal (latitudinal) que dans le plan vertical (altitudinal). Elle ne peut être entreprise qu'au niveau des grandes unités écologiques, macroécosystèmes ou biomes

2. Les biomes terrestres et leurs répartitions en latitude

Suivant les différentes régions climatiques continentales, on distingue une grande diversité des cartes de biomes terrestres, qui peuvent varier selon les caractéristiques que l'on considère. D'après Veyret et Vigneau (2002), un biome est une "entité écologique d'échelle continentale, caractérisée par un type dominant de formation végétale, qui correspond, avec les animaux, les bactéries et les champignons qui lui sont associés, à une vaste aire bioclimatique : toundra, forêt boréale de conifères, forêt tropicale humide..." [04].

Les facteurs écologiques contrôlent la distribution en latitude et en altitude de ces divers macroécosystèmes, essentiellement par ceux qui se rapportent aux climats, qui conditionne la zonation des grands biomes dans la biosphère. Les plus déterminants sont : les températures, les précipitations, les altitudes et les latitudes (Tab. 01). Si l'on chemine de l'équateur aux pôles, on observe une certaine symétrie dans la répartition des divers biomes sur chaque hémisphère notamment pour les biomes continentaux (fig. 01).

Tableau 01: Répartition en latitude des principales formations végétales en fonction du climat

Latitude Nord	Zones thermiques	Type Humide	Type semi-aride	Type aride
70	Subarctique	Toundra		
55	Boréale	Forêt de Conifères		
40	Tempérée moyenne	Forêt caducifoliée	Grande prairie et steppe	Déserts et semi-déserts tempérés
	de transition { tempérée chaude sub-tropicale	Forêt méditerranéenne Forêt laurifoliée		
30				
10	Tropicale	Forêt tropicale	Savane	Déserts chauds
	Equatoriale	Forêt pluviale		

(source : [05])

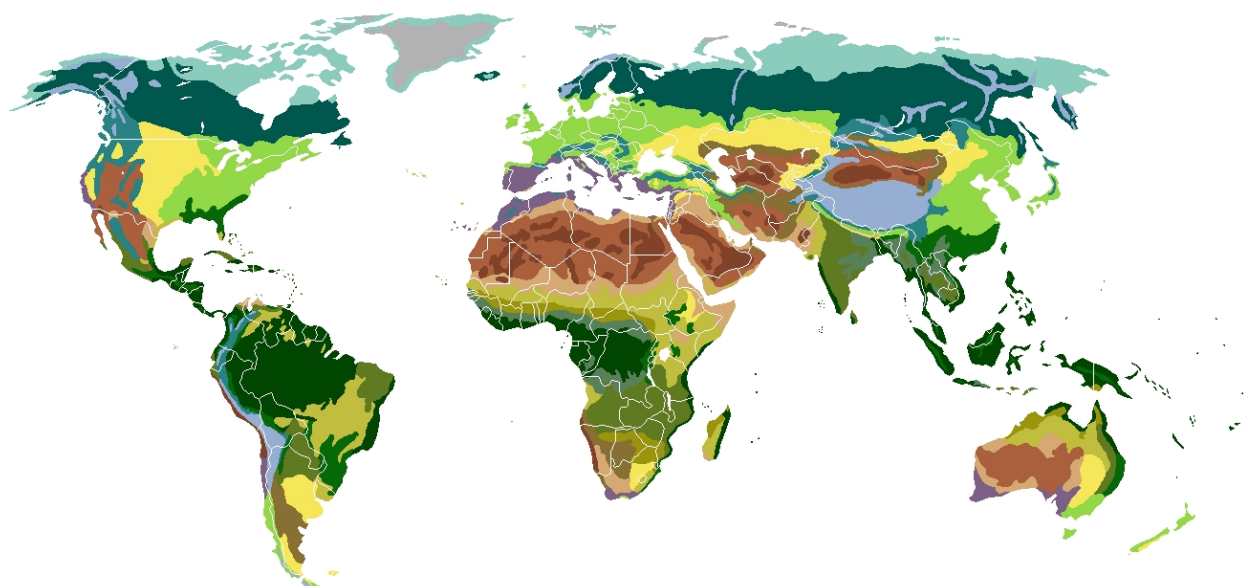


Figure 01: Répartition des principaux biomes du monde . Inlandsis et déserts polaires Toundra Taïga Forêts feuillues caducifoliées tempérées Prairies Forêts sempervirentes subtropicales Forêts sempervirentes méditerranéennes Forêts de mousson Déserts arides Déserts et broussailles xérophytes Steppe aride Déserts semi-arides Savanes Savanes et forêts claires Forêts tropicales caducifoliées Forêts sempervirentes tropicales Toundra alpine Forêts de montagne

[06]

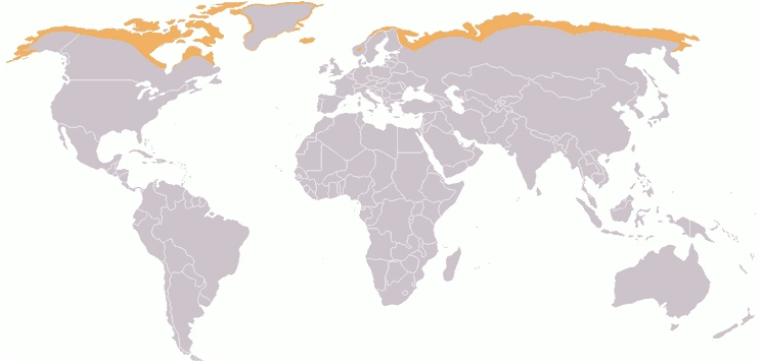
Il est toutefois reconnu que les biomes terrestres peuvent être regroupés en huit groupes généraux suivants :

2-1- La toundra

Le mot « toundra » vient des Sami du nord-ouest de la Russie, et signifie « terre stérile » ou « terre sans arbres ». C'est le plus jeune des biomes de la planète, ayant été formé il y a environ 10 000 ans, à la fin de la dernière période glaciaire. Elle se caractérise par des plantes herbacées

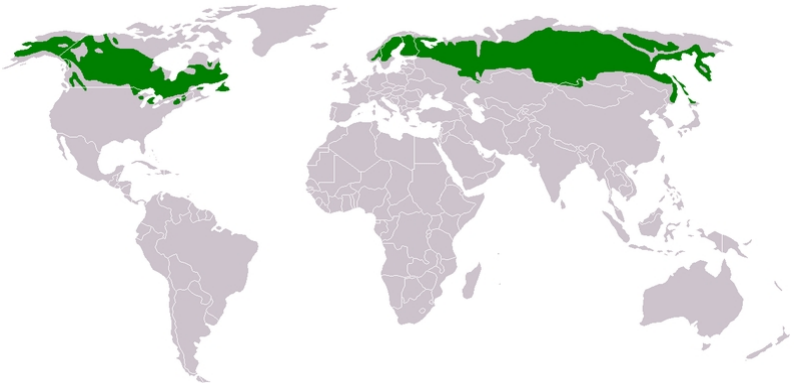
(graminées, carex), cryptogames (lichens) et arbustes, croît sur des sols perpétuellement gelés en profondeur.

Elle occupe la région comprise entre la limite naturelle des arbres vers les pôles et les régions parabiosphériques correspondant aux calottes glaciaires arctiques et antarctiques. On la trouve quasi exclusivement dans l'hémisphère nord, au-delà du cercle polaire Arctique (Tab. 02; fig. 02). Elle forme une large couronne autour du cercle polaire arctique de plus de huit millions de kilomètres carrés (soit 6 %6 % des terres émergées).

Tableau 02 : Caractéristiques globales de la toundra		
Climat	Sec /hivers très long, sombre et froid.	
Précipitations	faibles:250–500mm/an	
Températures	m = - 26°C / M = 11°C	
Vent	Violent et froid (Blizzard), dépasse 100km/heure	
Sol	Mince couche (25-100cm), souvent gelé, acide et pauvre	
Plantes	Des herbacées; graminées, lichens, mousses...	
Animaux	Ours blanc, Renard	
Biomasse	faible avec 5 tonnes/hectare	
		Figure 02: Situation géographique de la toundra [07]

2-2- Les forêts boréales (la taïga)

Les forêts boréales sont des forêts des régions froides de l’hémisphère Nord, dominées par des conifères (*Aciculisylvae*). Elles sont présentes uniquement dans l'hémisphère nord en raison de l'éffilement des continents vers le sud (Tab. 03; fig. 03). Ce biome porte différents noms selon les continents, on distingue ainsi la taïga russe, la forêt hudsonienne canadienne et le barrskog scandinave [08].

Tableau 03 : Caractéristiques globales des forêts boréales		
Climat	Sec /hivers très long, sombre et froid.	
Précipitations	faibles:250–700mm/an	
Températures	m = - 3°C / M = 15°C	
Vent	non particulier	
Sol	Peu profonde, peu acide, gelé en hiver	
Plantes	Arbres de grandes tailles, gym (Pin, Sapin, Cèdre ...)	
Animaux	Diversifiée, de faible nombre ; Ours brun, oiseaux et mammifères	
Biomasse	élevée avec 200 tonnes/hectare	
		Figure 03 : Situation géographique des forêts boréales [09]

Il s'agit d'un gigantesque biome qui constitue 1/3 de la forêt mondiale soit 13 millions de km². La forêt boréale constitue une vaste bande circumpolaire de 12000 km presque'en continue sous la

toundra arctique et d'une largeur de 1000 à 1500km environ. Cette zone recouvre ainsi la majorité des terres du Canada, de l'Alaska, de la Scandinavie et de la Russie septentrionale [08].

2-3- Forêts tempérées à feuilles caduques

Les forêts tempérées se composent principalement avec des feuilles, parmi lesquels des chênes, des frênes, des hêtres. Elles sont présentes surtout dans l'hémisphère Nord, en altitude, on les retrouve jusqu'à 1500 m (Tab. 04; fig. 04).


Tableau 04 : Caractéristiques globales des forêts tempérées		
Climat	Tempérées	
Précipitations	Importantes de pluie ou de neige (P=600 à 1500mm)	
Températures	Hivers plutôt doux et étés assez chauds, la moyenne annuelle = de 4 à 12 °C)	
Vent	Non particulier	
Sol	Riche en matière organique	
Plantes	Des feuillus (chênes, peupliers, érables, etc.)	
Animaux	Espèces de mammifères herbivores, d'insectes ...	

Figure 04 : Situation géographique forêts tempérées [10]

2-4- Les forêts ou biomes de type méditerranéens

Ces biomes sont caractéristiques de la région méditerranéenne, mais qui se trouve aussi en Afrique du Sud, en Californie, dans l'Ouest du Chili et dans le sud de l'Australie. Il s'agit des zones tempérées chaudes, dont le maximum d'extension se situe au niveau des 35° degrés de latitude Nord et Sud (Tab. 05; fig. 05). Ça correspond à des zones marquées par une période de sécheresse estivale de durée variable mais excèdent souvent trois mois. Ils sont très variés et complexes, en constituant un domaine des chênes sclérophylles et des conifères sempervirents.


Tableau 05 : Caractéristiques globales des biomes méditerranéens		
Climat	de type méditerranéen	
Précipitations	Saisonnières, irrégulières, et parfois intense	
Températures	Variant entre 12 et 18 °C	
Sol	Riche en fer à PH légèrement acide	
Plantes	Diversifiées ; <i>Quercus</i> , <i>Olea</i> , <i>Pinus</i> , <i>Cedrus</i> , ...	
Animaux	Singe, renard, sanglier, oiseaux très diversifiés, ...	
Biomasse	60 tonnes/hectare	

Figure 05 : Répartition géographique des biomes méditerranéens [11]

2-5- Les steppes

Le terme de « steppe » provient du russe : степь (*step*), qui désigne la steppe eurasienne, un écosystème de prairie tempérée en Eurasie centrale. Le terme a été repris pour désigner d'autres formations végétales dans le monde qui sont diverses et parfois plus arides [12]. En biogéographie, il s'agit de plusieurs types de formations végétales composées d'étendues d'herbes dépourvues d'arbres, pouvant être denses ou clairsemées, sous des latitudes diverses (tempérées à tropicales).

La végétation est formée d'étendues de graminées à feuilles adaptées à la sécheresse, parsemées de plantes à bulbes et à rhizomes et parcourue par des troupeaux de grands herbivores. Elles couvrent d'énormes surfaces dans l'hémisphère boréal, encore là où la précipitation ne suffit pas pour la croissance des arbres (Tab. 06; fig. 06).

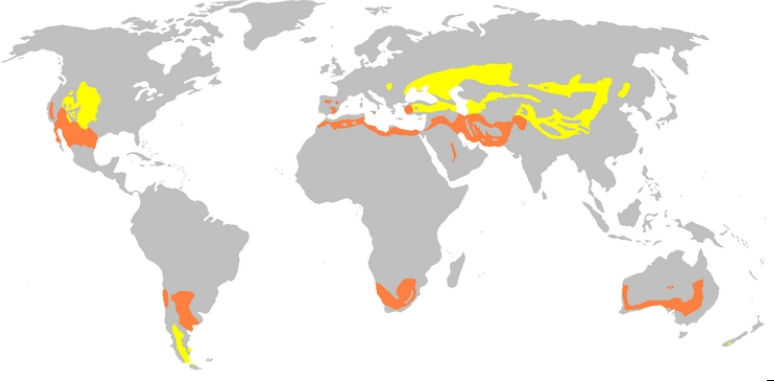
Tableau 06 : Caractéristiques globales des steppes tempérées		
Climat	Tempéré froid et subtropical chaud	
Précipitations	De 250 à 750mm	
Températures	6 à 10°C de moyenne	
Plantes	Armoise, alfa,	
Animaux	Troupeaux de grands herbivores	

Figure 06 : répartition géographique des steppes tempérées (en jaune) et de subtropical (en orange) [13]

2-6- Les déserts

Un désert est une zone de terre où les précipitations sont rares et peu abondantes, et où, par conséquent, les conditions de vie sont hostiles pour les plantes et pour les animaux. Les déserts font partie des environnements extrêmes (Tab. 07; fig. 07). Le maximum d'extension se situe au niveau des deux tropiques, succèdent aux savanes sans transition nette. Ils se caractérisent par la grande faiblesse des précipitations (mois de 200 mm/an) et leur forte irrégularité. Le couvert végétal est discontinu, surtout représenté par des plantes vivaces xérophytiques.


Tableau 07 : Caractéristiques globales du désert		
Climat	Très sec, humidité très faible (15 à 40%), évaporation très élevée	
Précipitations	< 200 mm/an	
Températures	T° moyennes annuelles sont de 30°C	
Vent	Permanent et parfois violent : dépasse 100km/h avec du sable	
Sol	Généralement salé et non fixe	
Plantes	Cactées (Agave), Poacées (graminées), Asteracées	
Animaux	Reptiles, rongeurs,	
Biomasse	Faible : 7 tonnes/ hectare	

Figure 07 : Situation géographique du désert [14]

2-7- Les savanes tropicales

Les savanes sont des formations végétales herbeuses propre aux régions chaudes à longue saison sèche et dominées par des espèces de la famille des Graminées (Poacées), cependant, elles sont plus ou moins parsemée d'arbres ou d'arbustes. Elles s'étendent entre les deux tropiques partout où les précipitations deviennent insuffisantes pour permettre le développement des écosystèmes forestiers. On distingue plusieurs types de savanes (savanes herbeuse, arbustive et arborée) en fonction de la quantité et de la taille des arbres qu'on y trouve. Elles couvrent de vastes régions de la zone intertropicale entre 10° et 23° de latitude [14] (Tab. 08; fig. 08).


Tableau 08 : Caractéristiques globales de la savane tropicale		
Climat	Longue saison sèche avec faibles précipitations	
Précipitations	250 – 1200 mm/an	
Températures	T° moyennes annuelles varient de 26- 30°C	
Sol	Sec et pauvre en été. Asphyxié en hivers.	
Plantes	Poacées grandes tailles : 1m	
Animaux	Très grande diversité : zèbre, Gazelle, éléphant, girafe, rhinocéros, lion etc.	
Biomasse	Moyenne: 40 tonnes/ha	

Figure 08 : Situation géographique de la savane tropicale [15]

2-8- Les forêts ombrophiles équatoriales ou pluvieuses tropicales

Les forêts équatoriales, ou forêts tropicales humides, sont des forêts denses qui recèlent une incroyable biodiversité. Elles constituent le biome le plus complexe et de loin le plus riche en espèces de la biosphère. Bien qu'elles s'étendent sur 850 millions d'hectares, soit ne couvre que 7 % des terres émergées de la planète, ces forêts abritent la moitié des espèces vivantes. On y trouve 20 fois plus d'espèces d'arbres que dans la forêt tempérée.

Les forêts denses humides se situent entre le 10° de latitude Nord et Sud (Tab. 09; fig. 09). Elles sont centrées surtout sur la zone équatoriale en 3 ensembles distincts :

- Le Bassin Amazonien : la plus vaste superficie forestière de ce type au monde
- L'Afrique centrale : le bassin du fleuve Congo, Cameroun, Gabon
- Malaisie, Indonésie et Nouvelle-Guinée

Tableau 09 : Caractéristiques globales des forêts ombrophiles équatoriales	
Climat	Équatorial
Précipitations	Très abondantes de 1500 à 8000mm/an, pluie régulière toute l'année
Températures	T = 24 et 28 °C
Sol	M.O est importante
Plantes	Très grande diversité spécifique
Animaux	
Biomasse	500 tonnes/ha

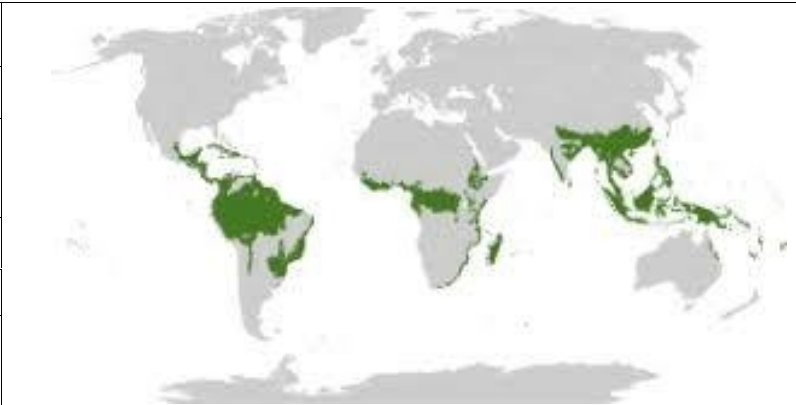


Figure 09 : répartition géographique des forêts ombrophiles équatoriales [16]

A noter qu'il existe aussi des forêts sèches tropicales dite aussi forêts de mousson ou tropophiles leur succèdent dans les zones subéquatoriales marquées par la présence d'une saison sèche prolongée.

3. Les biomes aquatiques

Pour les milieux aquatiques (hydrosphère), la répartition des biomes est n'est évidente, du fait que dans les océans existent d'importants courants qui assurent une certaine homogénéisation des conditions ambiantes, malgré les différences de latitude. Par ailleurs l'absence de barrières entravant les déplacements des formes vivantes, équivalentes aux déserts, chaînes de montagnes ou étendues marines pour les écosystèmes continentaux, interdit toute zonation latitudinale en milieu océanique sauf pour quelques exceptions.

Chapitre II : ECOSYSTEME

1- Introduction

Le terme d'écosystème a été défini par Tansley en 1935. Un écosystème, ou système écologique, est un système fonctionnel qui inclut une communauté d'êtres vivants et leur environnement. C'est une unité relativement stable et intégrée qui repose sur des organismes photosynthétiques. Il est considéré comme une sorte d'entité collective, faite d'individus transitoires. Certains de ces individus peuvent vivre jusqu'à plusieurs milliers d'années (les grands arbres, par exemple), par contre certains micro-organismes ne peuvent vivre que quelques heures, voire quelques minutes.

L'écosystème, dans son ensemble ; a tendance à rester stable, sans être, toutefois, statique. Une fois son équilibre est atteint, il peut durer des siècles sans se modifier (sauf en cas d'accidents naturels majeurs ou d'intervention violentes de l'Homme).

Selon la convention sur la diversité biologique : complexe dynamique formé de communautés de plantes, d'animaux et de microorganismes et de leur environnement non vivant qui, par leurs interactions, forment une unité fonctionnelle. Il correspond à l'ensemble des populations (individus de différentes espèces) vivant sur une aire géographique délimitée qui contient les ressources nécessaires à leur survie et à leur pérennité. Il inclut également les composants physiques de l'environnement avec lesquels les organismes interagissent, tels que l'air, le sol, l'eau ou le soleil. Un flux de matières et d'énergie relie les différents constituants de l'écosystème grâce à la naissance et à la mort des individus. L'ensemble des organismes habitant un écosystème particulier est appelé communauté ou biocénose. Un écosystème est donc composé d'un biotope et d'une biocénose [17].

2- Structure d'un écosystème

L'écosystème est structuré spatialement tant du point de vue de biotope que de la biocénose (fig. 10 et 11). En priorité, la structure des écosystèmes est définie par le climat (pluviométrie, température). Le deuxième facteur essentiel est la qualité du sol définie par les éléments géologiques.

2.1. La biocénose :

Ensemble des organismes vivants caractérisant un milieu écologique ou biotope donné. Elle regroupe différentes catégories d'espèces ; les producteurs (végétaux autotrophes), les consommateurs (animaux et décomposeurs, champignons et micro-organismes hétérotrophes). Ainsi, si on veut spécifier juste la partie animale d'une biocénose on emploie le terme Zoocénose, alors que pour désigner l'ensemble des végétaux d'un écosystème on utilise le terme phytocénose.

2.2. Le biotope :

Composants d'un écosystème dans ses dimensions physico-chimiques, abiotiques et spatiales qui fournit à la biocénose le milieu de vie indispensable. C'est un lieu de vie défini par des caractéristiques relativement uniformes. Chaque biotope est différencié par ses compartiments (eau, sol, air) et ses facteurs écologiques (lumière, température, nutriments, ...), en réponse aux exigences à un type de vie distinct. Parmi ces facteurs écologiques qualifiés physico-chimiques on soulève les suivants :

2.2.1. Facteurs physiques : parmi lesquels on cite :

- Facteurs climatiques : précipitations, température, luminosité, vents, humidité relative, Etc.
- Facteurs géographiques : latitude, altitude, longitude, etc.
- Facteurs édaphiques : structure, texture, porosité, conductivité, etc.

2.2.2. Facteurs chimiques

- Composition chimique de l'air : H_2O , O_2 , CO_2 , N_2
- Teneur du sol en nutriments : azote (N), phosphore (P), potassium (K), Fe, ...
- Propriétés chimiques de l'eau ou des substrats : pH, salinité, matière organique (MO), ...

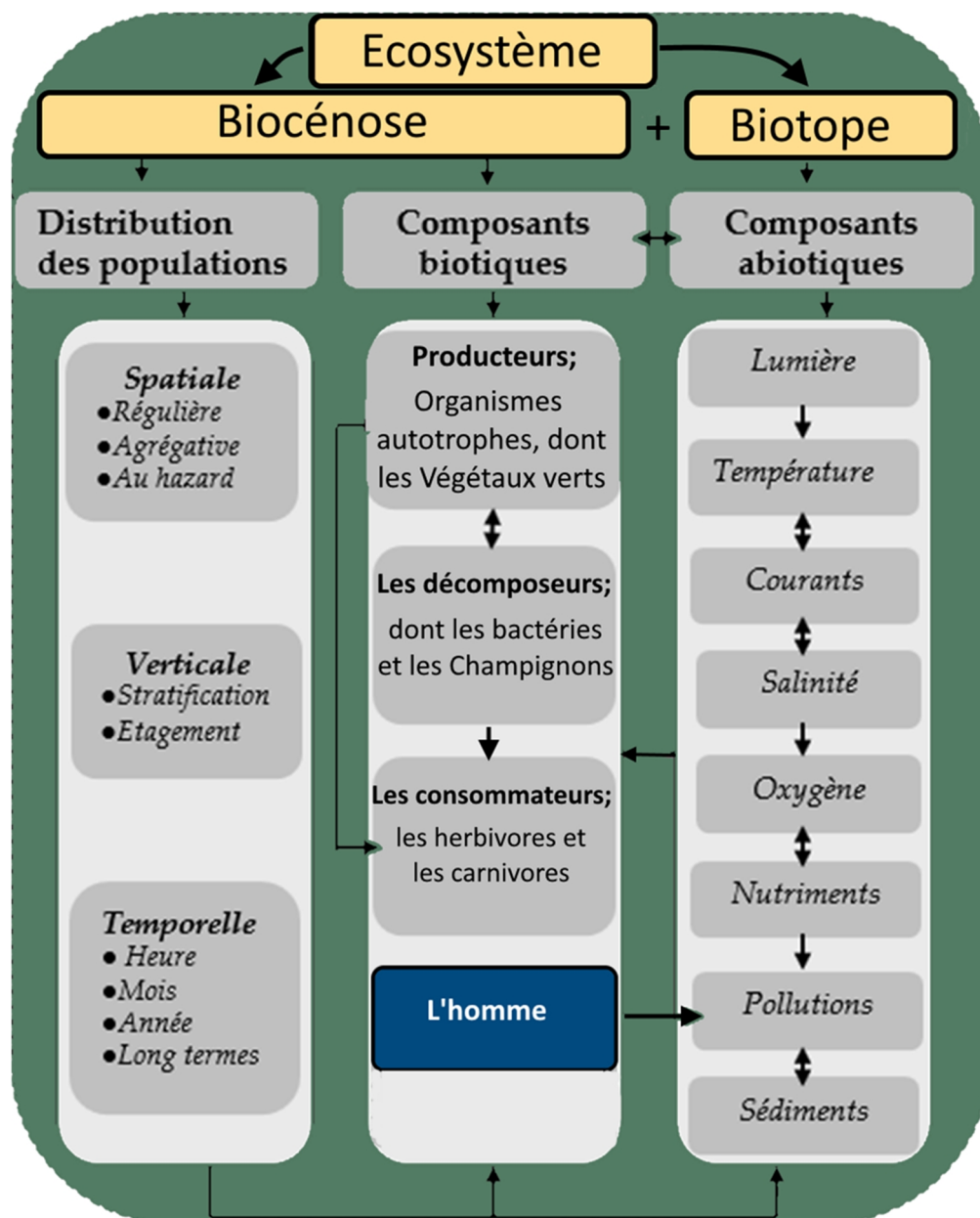


Figure 10 : Schéma de la structure d'un écosystème

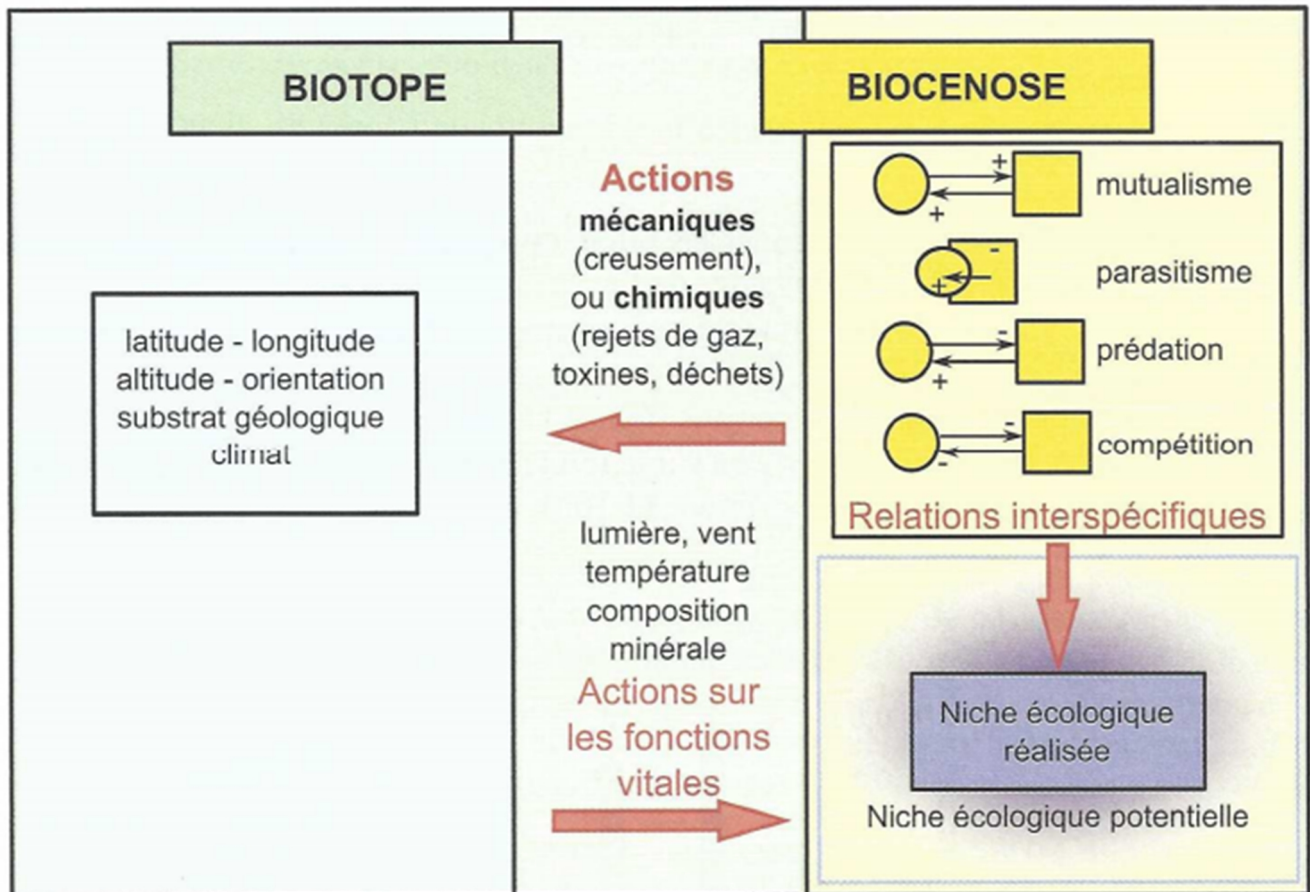


Figure 11 : Schéma des interactions au sein d'un écosystème [18]

3- Délimitation d'un écosystème

Les limites d'un écosystème sont définies par les interactions dynamiques, parfois appelées processus écosystémiques, parmi les composantes d'un écosystème (végétaux, faune, climat, paysage et activités humaines). Les limites d'un écosystème sont indépendantes de l'échelle ou de la localisation des processus écosystémiques qui se produisent à une multitude d'échelles.

Dans la nature, les limites de l'écosystème sont difficiles à obtenir, parce qu'il existe un gradient entre deux écosystèmes voisins, d'où un effet de lisière ou écotone. Les écotones sont particulièrement riches en faune dont les espèces ne se mélangent pas.

4- Classification et nomenclature des écosystèmes

Selon la nomenclature des écosystèmes, il existe en générale trois critères de classification. Il s'agit de la taille ou l'échelle spatiale, le type du milieu écologique et les biocénoses, dont la formation végétale dominante.

4.1. Classification selon la taille ou l'échelle spatiale

La notion d'écosystème peut s'appliquer à des portions de dimensions variables de la biosphère comme un désert, un marais, une prairie, une roche...

Si on considère le critère taille, on distingue trois catégories d'écosystèmes :

- Un micro-écosystème : une roche ou une souche d'arbre par exemple ;
- Un méso-écosystème : une forêt ou une prairie par exemple ;
- Un macro-écosystème : océan, savane, désert, etc.

4.2. Classification selon les biocénoses

Si on considère les biocénoses :

- **La synusie** : ça correspond à un micro-écosystème, caractérisant une biocénose temporaire et indépendante. C'est aussi un groupement formé par les éléments d'une seule strate de végétation.
- **Les communautés ou associations** : Ça correspond à un méso-écosystème. Elles constituent les biocénoses proprement dites, qui sont qualifiées durables et autonomes.
- **Le biome** : C'est une communauté d'êtres vivants spécifique à un macro-écosystème. Ce dernier est le sujet d'un chapitre plus détaillé à travers ce cours.

4.3. Classification selon les types de milieux écologiques

Cette classification est plus largement utilisée, en faisant référence aux différents milieux écologiques que ce soit terrestre ou marin. On signale dans ce qui suit, quelques exemples des plus

4.3.1. Ecosystèmes aquatiques (water ecosystems)

Regroupent les écosystèmes côtiers, marins et d'eau douce et correspondent à des écosystèmes particulièrement importants pour la biodiversité.

a. Ecosystème marin : On appelle « écosystème marin » un ensemble écologique formé d'une biocénose, composée d'organismes marins, et d'un biotope, constitué par l'eau salée et les rivages des mers et des océans. Les organismes marins interagissent constamment entre eux (reproduction, chaîne alimentaire...) et avec le biotope. Les écosystèmes marins couvrent plus de 70 % de la surface du globe mais, proportionnellement, ils présentent une diversité moindre que les écosystèmes terrestres.

b. Ecosystèmes limniques (limnic ecosystems): Ce sont des écosystèmes caractérisant l'ensemble des eaux continentales souvent qualifiées douces. Il s'agit des eaux courantes, lacustres et stagnantes qui se divisent en deux types : Ecosystèmes lenticques caractérisant les eaux

stagnantes, dont le renouvellement de l'eau est très lent (lacs, étangs, marais) et Ecosystèmes lotiques dans lesquels le renouvellement de l'eau est très rapide (fleuves, rivières, torrents).

4.3.2. Ecosystèmes terrestres

Les écosystèmes terrestres comprennent une grande variété d'habitats répartis sur toute la surface du globe. Ils correspondent à ceux dont les organismes, faune et flore, se développent sur le sol ou le sous-sol. Certains y incluent également les organismes qui vivent dans l'air, et d'autres les considèrent séparément comme un écosystème mixte ou de transition, bien qu'il ne soit pas indépendant de l'environnement terrestre [19].

Il existe une grande variété d'écosystèmes terrestres, qui sont classés en fonction des facteurs abiotiques qui les dominent et, par conséquent, du type de végétation prédominante (Forêts, savanes, déserts, prairies, etc.). Ces derniers font l'objet d'un chapitre plus détaillé dans ce cours, cependant, on note qu'il existe aussi d'autres exemples d'écosystème terrestre comme les suivants :

c. Ecosystèmes dunaires : Ecosystèmes caractérisés par l'extrême porosité de leurs sols qui empêche l'accumulation d'eau et nécessite de la part des végétaux le développement d'un système racinaire important soit en pivot, soit en ramification afin de récupérer autant d'eau que possible. Outre l'adaptation de ces végétaux, il faut noter que cette caractéristique permet de fixer le sable des dunes mobiles (dites également blanches) vers un stade partiellement végétalisé (dunes grises).

d. Ecosystème rural : c'est un écosystème qui conserve une grande partie de ses caractéristiques naturelles et qui, en même temps, a été modifié et adapté par et pour les êtres humains, comme les villes et les villages. Les habitants de ces zones sont principalement engagés dans le secteur primaire, qui comprend les activités agricoles, d'élevage et de culture, tandis que l'activité industrielle est de moindre importance, étant de type traditionnel et à faible rendement. En outre, les machines et les outils utilisés sont généralement rudimentaires, de sorte que, bien que la main-d'œuvre soit plus importante, l'environnement n'est généralement pas aussi dégradé ou pollué.

e. Ecosystème urbain : Ecosystème qui possède une biocénose adaptée à un biotope dominé par le minéral qui a pour conséquence une faible présence des producteurs primaires et donc de leur biomasse et de leur diversité. L'espèce humaine y joue le rôle d'espèce clé de voûte ou espèce ingénieur car elle structure l'écosystème.

La vie est permise par des flux entrants d'énergie et de matière provenant d'autres écosystèmes. Cette déconnexion spatiale des étapes de production primaire, de consommation et de recyclage engendre des déficits (d'énergie, d'aliments...) et des excédents (de déchets biodégradables ou non) qui ne peuvent se compenser. Il s'agit donc d'un écosystème mais « un écosystème très ouvert, entièrement tributaire de l'extérieur pour toutes ses consommations d'énergie et de matière, et donc à la fois très fragile et fragilisateur de la biosphère dans son ensemble.

Chapitre III : REPONSES DE LA PLANTE AUX FACTEURS DU MILIEU

1. Introduction

Les êtres vivants sont soumis à un environnement qui varie dans le temps et dans l'espace. Un changement environnemental peut affecter le mode de vie et les types d'interactions entre ces êtres vivants, et pourra être avantageux pour certaines espèces et désavantageux pour certaines d'autre [1811]. Il s'agit plus particulièrement des conditions climatiques et édaphiques qui assureront pour la plante, soit un environnement favorable à ces besoins, soit un environnement défavorable (stress biotique et abiotique) qui perturbe son métabolisme et va provoquer des anomalies [19].

Contrairement aux animaux qui peuvent se déplacer lorsque les conditions de vie ne leur sont plus favorables, les plantes sont pour la plupart fixées. Elles ont de ce fait développé des stratégies d'adaptation pour répondre aux changements environnementaux en modulant et en ajustant en permanence leurs systèmes métaboliques. Les plantes doivent affronter différents types d'agressions ou de stress abiotiques et s'y adapter : le manque ou l'excès d'eau, les fortes ou faibles luminosités, la pollution de l'air, la salinité des sols, les températures extrêmes et le vent. Elles subissent également d'autres types d'agressions par des organismes vivants, on parle alors de stress biotiques [20].

2. Mécanismes généraux de réponse des plantes aux facteurs de l'environnement

Les mécanismes par lesquels les plantes perçoivent les signaux environnementaux et les transmettent à la machinerie cellulaire pour activer des mécanismes de réponses adaptées déterminent chaque jour leur survie. La transmission ou transduction de signaux de stress constitue la première étape physiologique par laquelle la plante met en place sa machinerie d'adaptation ou de réponse aux différents stress environnementaux (fig. 12).

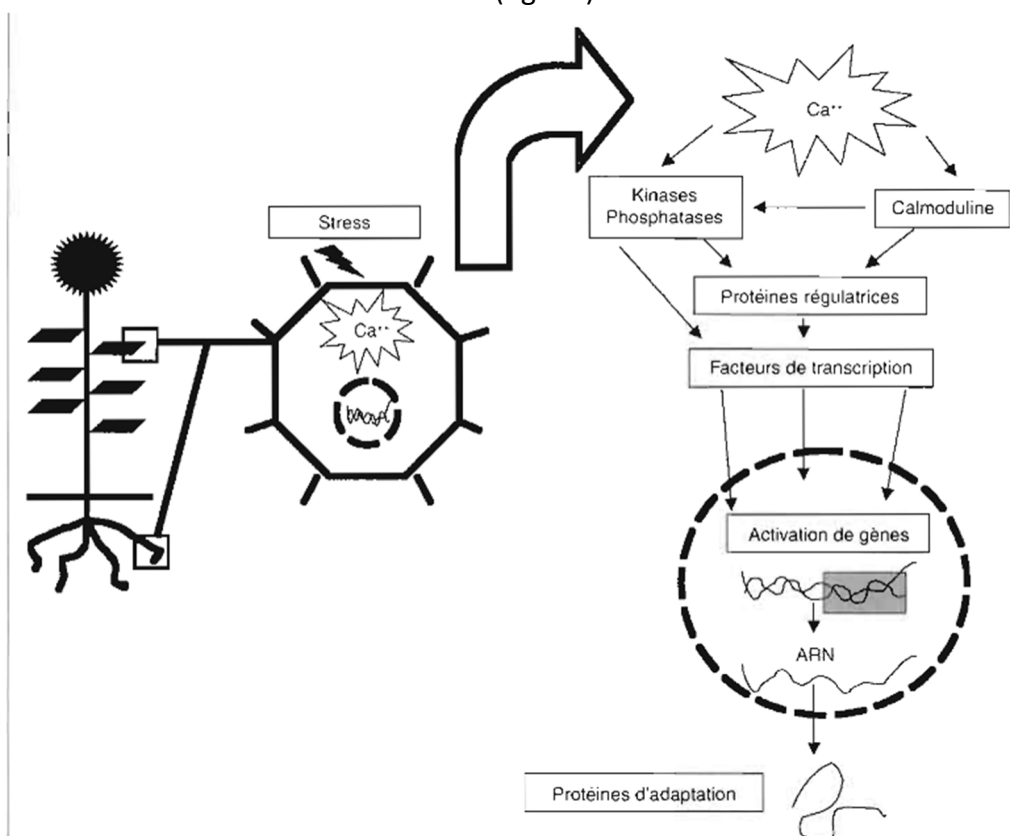


Figure 12 : Vue schématique des mécanismes de perception du stress et de transduction du signal chez les plantes supérieures [21].

Ainsi, une voie de transduction d'un signal commence par la perception de ce signal au niveau de la membrane (par un senseur ou non), suivie par la production de seconds messagers et, éventuellement, de facteurs de transcription. Ces facteurs de transcription contrôlent l'expression de gènes impliqués dans la réponse au stress, incluant des changements morphologiques, biochimiques et physiologiques à court et à plus long terme [21].

2.1. Réponse à la température

La température est un facteur de première importance pour les plantes, dont elle s'exprime soit par sa valeur moyenne annuelle ($T^{\circ}\text{C}$), soit par la moyenne du mois le plus froid ou le minima ($m^{\circ}\text{C}$) et la moyenne du mois le plus chaud ou le maxima ($M^{\circ}\text{C}$). Elle joue un rôle important pour la croissance de la plante, en agissant sur le volume et la taille et donc sur la productivité de la plante. Une faible augmentation de la température peut agir positivement sur la croissance de la plante, parce que la plante reçoit un minimum d'énergie thermique ce qui induit à une croissance maximale de la plante. Tandis qu'une haute température réduit l'activité microbienne du sol, et une diminution de la disponibilité des nutriments pour la plante [22].

La relation entre la température de l'air et celle la plante est complexe mais bien comprise et résulte d'un bilan d'énergie qui se réalise dans le feuillage et par transfert de chaleur dans le sol. Cette énergie se décompose d'une part en énergie radiative, elle-même bilan du rayonnement solaire incident absorbé et réfléchi, et d'autre part en chaleurs latente (évaporation de l'eau si disponible) et sensible (par transfert de chaleur entre la végétation et l'atmosphère). Mais la température de l'eau qui circule dans le xylème, largement influencée par la température de la zone du sol d'où elle provient, contrôle aussi fortement la température des zones de croissance (base des talles des monocotylédones, pointes de racines) qui détermine la vitesse de la morphogenèse.

2.1.1 Les différents effets de la température

Le stress thermique induit un déséquilibre métabolique général. Le signal thermique est traduit par des modifications d'activités enzymatiques et des variations d'intensité, des échanges se manifestent par des modifications du métabolisme général et, par voie de conséquence, sur la nature et la répartition des métabolites. Ainsi, le profil biochimique d'une plante soumise au stress thermique sera différent de celui d'une même plante n'ayant pas subi le stress [23].

L'ensemble des observations sur les modifications physiologiques et métaboliques induites par les températures extrêmes permet de dresser un tableau général, une sorte de portrait type, le schéma de la figure 13, inspiré de Levitt (1980), résume les principales caractéristiques [24].

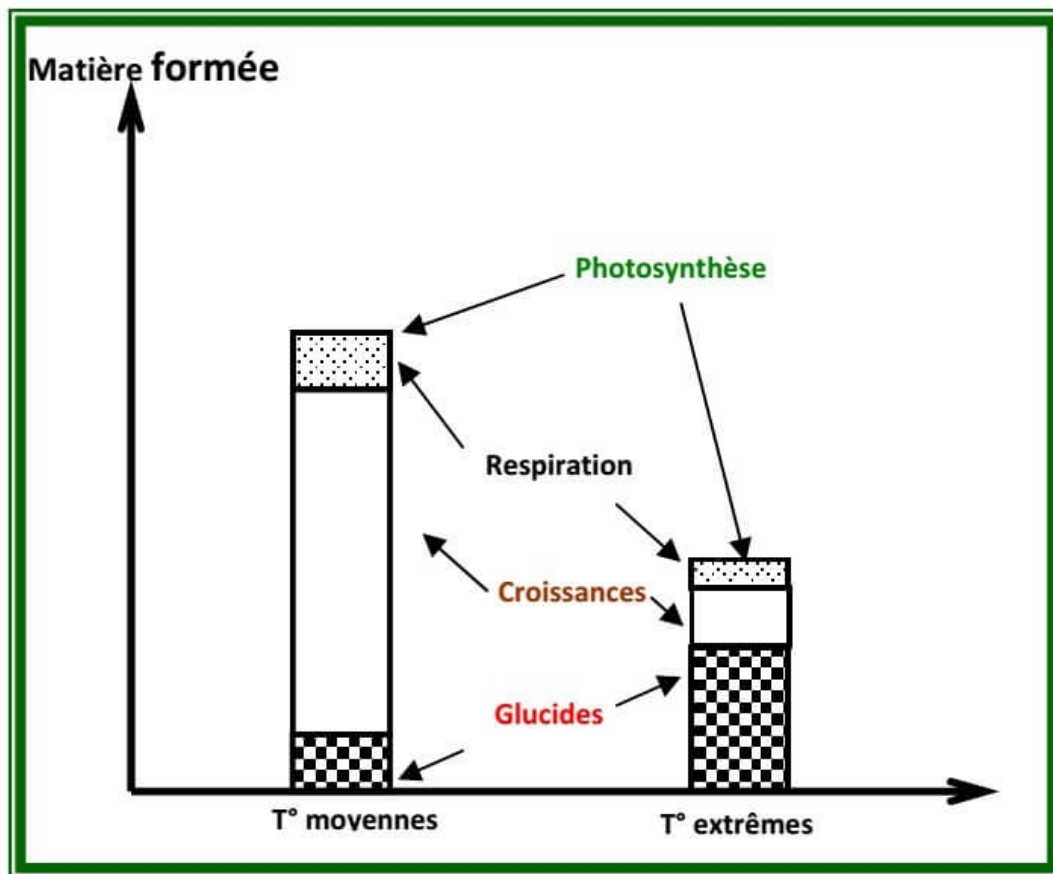


Figure 13: Bilan métabolique général d'une plante en fonction de la température [24].

Nous pouvons ainsi résumer les différents effets de la température comme suivant :

- Des effets métaboliques ; modification de l'intensité du métabolisme.
- Des effets sur les biomembranes lipoprotéiques ; notamment l'activité enzymatique et les capacités d'échanges. En effet, toute élévation de températures au-delà d'une certaine valeur provoque soit la déstabilisation et la déformation (dénaturation) des grosses molécules fragiles que sont les protéines-enzymes, soit même aussi la fonte des lipides membranaires qui conduit à la rupture des membranes et à la perte du contenu cellulaire [25].
- Des effets sur les mouvements des solutés ; transport des assimilats, viscosité de la sève, perméabilité des racines, etc.
- Effet sur la respiration ; Entre 0-20°C l'abaissement de la température provoque une diminution régulière de l'intensité respiratoire [2619], alors que l'augmentation se traduit par une consommation accrue de réserve et une réduction de l'accumulation de matière sèche [27].
- Effets sur la photosynthèse ; l'assimilation photosynthétique du CO₂ chez la plante supérieure s'annule généralement lorsque la température atteint 45-50°C. Comme pour toutes les activités métaboliques, on observe un effet positif de la température jusque vers 30°C en général, puis une action dépressive avec annulation totale vers 45°C ; l'inhibition est plus marquée que la température excessive est appliquée plus longtemps [28].

- Effet sur la transpiration ; La température agit sur l'évaporation de l'eau cellulaire. Son augmentation entraîne l'ouverture des stomates et donc une augmentation de la transpiration. Elle conduit alors à la fanaison ou le flétrissement temporaire des plantes.
- Développement de maladies cryptogamiques, des infestations d'insectes et autre invasion biologique.

2.1.2 Exemple des effets de la température chez quelques plantes

- L'activité photosynthétique pour *Quercus ilex* et *Phillyrea latifolia* est plus importante au printemps, du fait des conditions optimales de température et de l'humidité (15°C et 220 mm), tandis que la valeur la plus faible est enregistrée en hiver à cause des basses températures (7°C) [29].
- L'activité photosynthétique maximale du Pois est enregistrée à 22°C, et à 27°C pour le Maïs [30].
- Une température entre 40°C et 45°C annule l'assimilation photosynthétique pour la plante [31].
- Chez le Concombre et le Maïs, il y en a une inhibition de la synthèse des chlorophylles à 42°C [32].
- Une température supérieure à 34°C pour le Riz, et 36°C pour le Maïs diminue la fertilité pour ces deux espèces [33].

2.1.1 Exemple de réponses adaptatives à la température

Les structures des macromolécules et les forces de cohésion assurant leur édifice et leur assemblage sont profondément modifiées par des variations de températures. Ceci concerne principalement les protéines et les lipides.

- Cas des hautes températures (stress du chaud):

La haute température peut provoquer même la mort de la plante par inhibition des activités des membranes cellulaires, qui jouent un rôle principal pour la défense de la plante [34]. Une augmentation de la température pendant une période froide peut soulager le stress de la plante, mais augmenter le stress pendant une période chaude. Pendant un stress à haute température, la réponse de la plante peut être semblable à celle induite par un stress hydrique, avec des symptômes caractérisés par le flétrissement, la brûlure les feuilles et des changements dans le métabolisme des enzymes et hormones jouant un rôle dans la croissance de la plante [35].

La réponse adaptative à l'élévation des températures entraîne généralement des modifications diverses, on peut citer :

- Le raccourcissement des cycles de végétation par diminution du temps disponible pour mettre en place la production ;
- La diminution de la durée de croissance et de maturation des organes récoltables (exp : les graminées, légumineuses) ;
- Une réduction significative de la production de biomasse totale, concomitante à une réduction de la croissance en diamètre et en hauteur des tiges ;

- Cas des basses températures (stress du froid)

Comme la haute température, la faible température a des effets sur la plante. Les changements climatiques en général, ont causé des extinctions des espèces, et modifié l'abondance de certaines autres espèces dans certaines zones. Le seigle, est une plante qui adapte aux températures fraîches, avec l'augmentation de la température, son aire de répartition remonte plus au nord [36]. La première période de gelée de l'automne est mortelle pour le Concombre et le Haricot qui ne peut pas survivre à cette faible température, tandis que *Arabidopsis thaliana* est capable de tolérer une faible température aux alentours de 0°C (Hannah 2006). Et enfin, les céréales d'hiver, et les Choux peuvent résister à une température de -25°C [37].

2.2. Réponse à la disponibilité en ressources

Les plantes ont toujours besoin de différentes ressources pour se nourrir et pousser normalement en remplissant leurs fonctions vitales. Il s'agit de la lumière, du carbone, de l'oxygène de l'eau et plus particulièrement des sels minéraux, dont l'azote, le phosphore et le potassium (fig. 14). L'air, l'eau et le sol permettent de fournir les éléments indispensables au développement des plantes.

- L'air fournit à la plante, sous forme de gaz, le carbone nécessaire à la photosynthèse et à l'assimilation chlorophyllienne en plus de l'oxygène de l'air, qu'est présent aussi dans le sol est indispensable à la respiration de la plante qui lui fournit son énergie.
- L'eau, outre ses rôles multiples, est dissociée en hydrogène et oxygène au cours du processus de l'assimilation. La plante émet de l'oxygène vers l'atmosphère.
- Le sol fournit l'essentiel de l'eau et des éléments nutritifs sous forme d'ions minéraux.

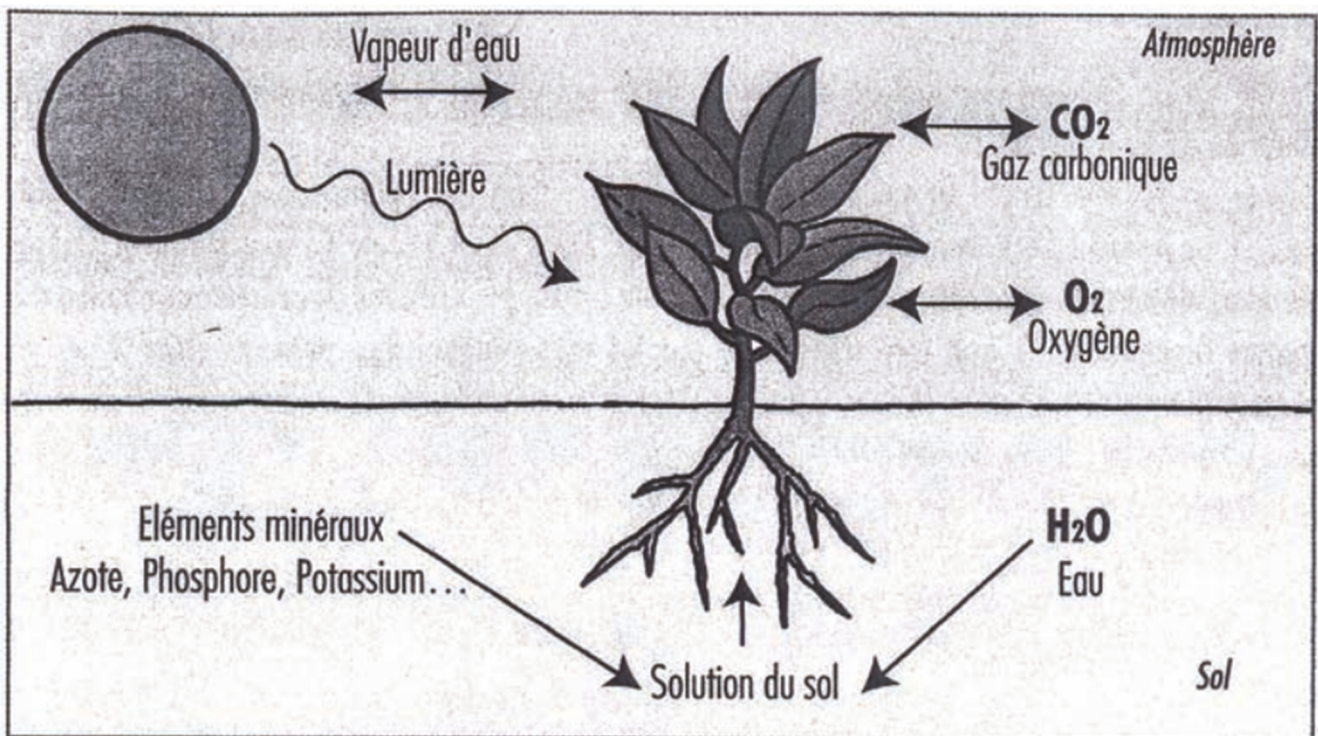


Figure 14 : Besoins de fonctionnement d'un système végétal à la surface du globe [38]

2.2.1. La lumière :

La lumière est composée de radiations électromagnétiques. La longueur de ces ondes est exprimée en nanomètres (nm). Les couleurs perçues par les humains se situent entre 400 et 700 nm. Les plantes sont sensibles au même spectre de longueurs d'ondes pour accomplir la photosynthèse. Elles absorbent le bleu (445 à 500 nm) et le rouge (620 à 700 nm), mais reflètent le vert (500 à 575 nm). C'est d'ailleurs pour cette raison qu'elles nous apparaissent vertes.

L'élongation des plantes est influencée par la qualité spectrale de la lumière. Le phytochrome est un pigment protéique qui intervient dans le déclenchement de l'élongation. Quand le rouge sombre (730 nm) domine, le phytochrome réagit et stimule l'élongation, voire l'étiollement des plants.

En production, lorsque les plants sont entassés les uns sur les autres, les feuilles situées en haut des autres captent les ondes bleues et rouges. Seules les ondes rouge sombre atteignent le feuillage caché. Comme elles dominent le spectre lumineux à cet endroit, le phytochrome envoie un signal d'élongation. C'est à ce moment que les plantes s'étiolent. Pour obtenir une production de qualité, il est donc préférable d'espacer les plants adéquatement.

Plus l'intensité lumineuse est élevée, plus la photosynthèse est active et plus la demande en CO_2 augmente. Toutefois, lorsque l'éclairage est très fort, les végétaux peuvent atteindre un point de saturation lumineuse (fig. 15). Ce seuil varie d'une espèce à l'autre. Les plantes produisent alors le maximum de photosynthèse qu'il leur est possible de produire. Dans de telles circonstances, il serait inutile, et même risqué, d'augmenter l'intensité lumineuse, car la plante n'a peut-être pas la capacité de supporter la chaleur engendrée par autant de lumière.

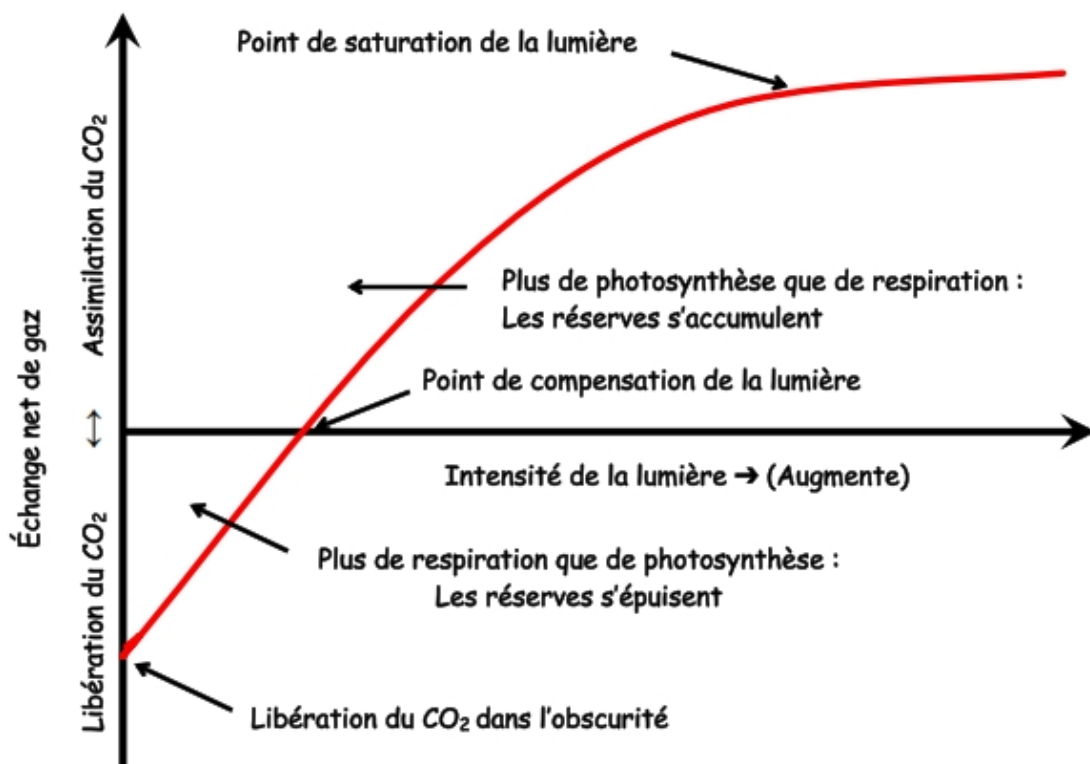


Figure 15 : Réponse des plantes à l'augmentation de l'intensité lumineuse [39]

2.2.2. L'eau

L'état de la plante est déterminé essentiellement par le bilan transpiration – absorption. La morphogenèse répond immédiatement à une dégradation de ce bilan hydrique. Les flux d'eau des tissus en croissance (mm/jour) sont en effet égaux à l'expansion volumique des cellules. On sait que l'impact hydraulique de toute augmentation de transpiration de la plante sur la croissance foliaire est immédiat du fait de la baisse de potentiel hydrique dans la base des tissus en croissance

[40]. Comme cela affecte autant les méristèmes, la formation des zones de croissance est elle aussi affectée, ce qui entraîne des effets prolongés du bilan hydrique sur l'expansion des feuilles et la ramification.

Pour réduire l'impact de ces réponses immédiates et, à terme, inévitables, l'approfondissement de l'enracinement et la réduction de la transpiration permettent à la plante d'affronter le déficit hydrique avec un compromis nécessaire entre les deux.

Ainsi, La sécheresse altère fréquemment la balance hormonale de la plante et modifie l'activité de nombreuses enzymes, ainsi que l'expression du génome [41]. A terme, on assiste à un ajustement osmotique des cellules, puis à des modifications morphologiques, anatomiques, physiologiques et développementales de la plante.

▪ Mécanismes de résistance à la sécheresse

Les mécanismes de résistance des plantes à la sécheresse sont l'échappement, la restauration, la tolérance à la déshydratation et l'évitement [41].

- L'échappement correspond à la capacité de la plante d'achever son cycle de croissance lors de périodes favorables, évitant ainsi les périodes de contrainte hydrique (cas des plantes en milieux désertiques).
- La restauration consiste en la capacité de la plante à rétablir un métabolisme normal après une période de déficit hydrique (cas des mousses, lichens et des algues). Ce mécanisme ne concerne pas les Angiospermes qui utilisent plutôt un mécanisme de protection.
- La tolérance à la sécheresse correspond à la capacité des plantes à supporter des niveaux de déficit hydrique élevés. Ce mécanisme est rendu possible par l'élévation de la viscosité du cytoplasme des cellules, par la protection des enzymes et des membranes par certains osmoprotectants et antioxydants, et par la modification de la composition phospholipidiques des membranes cellulaires.
- L'évitement correspond à la capacité de la plante à éviter les phénomènes de déshydratation des tissus, à la fois en maintenant le prélèvement d'eau du milieu et en diminuant les déperditions du composé absorbé. l'un des mécanismes fondamentaux de ce mécanisme est l'ajustement osmotique. Ce processus permet notamment le maintien de la turgescence des apex et des feuilles en croissance, qui, associé à l'extensibilité des parois, permet le maintien de la croissance cellulaire malgré la déficience en eau.

2.2.3. Le CO₂

L'augmentation de la teneur en CO₂ est un facteur favorable pour les plantes en C₃ comme la plupart des plantes fourragères pérennes. L'accroissement de la teneur en CO₂ atmosphérique (Ca) engendre mécaniquement celle de la teneur en CO₂ interne aux feuilles (Ci) et une augmentation de la photosynthèse. C'est ce que montre bien la réponse positive de la photosynthèse au taux de CO₂, amortie seulement pour des valeurs élevées de teneur. C'est aussi ce que simulent les modèles de production (pour le blé par exemple) et ce que démontrent les expériences réalisées à l'échelle d'un cycle cultural entier (expérimentation FACE). Mais, en général, les accroissements de rendements sont inférieurs à ce qu'annoncerait celui de la photosynthèse. De fait, une adaptation de la capacité photosynthétique des feuilles est aussi attendue. L'augmentation de Ci, malgré celle de la photosynthèse, provoque une fermeture des stomates, ce qui induit une réduction de la transpiration. Or, cette réduction est relativement plus importante que celle de la photosynthèse, ce qui fait que l'efficacité de l'eau des plantes augmente avec la teneur en CO₂ [42].

2.2.4. Les sels minéraux

Pour assurer leurs croissances et leurs développements, les plantes sélectionnent et prélèvent les éléments dont elles ont besoin dans le milieu environnant : le carbone à partir du dioxyde de carbone atmosphérique, l'oxygène dans l'air et dans le sol et enfin l'eau et les autres éléments nutritifs qu'elle contient principalement à partir du sol.

Les racines absorbent ces éléments de façon sélective et généralement les concentrent à partir de l'eau du sol qui constitue une solution très diluée en ions (N, P, K, Ca, Mg, S et les oligo-éléments). Les feuilles ne peuvent pas remplacer les racines dans leur rôle nutritif, mais elles constituent une voie complémentaire d'absorption d'eau et d'éléments minéraux utile dans certains cas.

Il y a environ 16 éléments indispensables à la croissance des plantes, dont quelques-uns sous forme de traces. Ces derniers sont contenus dans le milieu environnant (sol, eau et air) sous forme d'ions, dont la majeure partie pénètre à travers les racines.

Les éléments peuvent avoir un rôle « plastique » quand ils rentrent directement dans la composition des composés organiques : c'est le cas de l'azote, du phosphore et du soufre. Ils peuvent rester essentiellement sous la forme minérale d'ion tel qu'ils ont été absorbés par les racines comme c'est le cas du potassium. Ces derniers jouent enfin un rôle dans de très nombreuses réactions enzymatiques qu'ils catalysent.

- Les macro-éléments : Carbone, Oxygène, Azote, Phosphore, Soufre, Potassium, Calcium, Magnésium, forment les tissus et représentent 99% de la matière sèche. S'y ajoutent en quantité plus faible et très variable selon les espèces : le sodium, le chlore et le silicium.
- Les oligo-éléments : Fer, Manganèse, Cuivre, Zinc, Bore, Molybdène, Cobalt, Nickel, sont actifs en très petites quantités dans l'activation de nombreux complexes enzymatiques.

La carence ou la non-disponibilité de ces besoins vont perturber ou limiter le développement végétal. Selon la loi de Liebig ; la croissance des plantes n'est possible que si tous les éléments minéraux sont présents en quantités suffisantes dans le sol et ce sont les éléments déficitaires (dont la concentration est inférieure à une valeur minimum) qui conditionnent et limitent la croissance.

Les plantes carencées présentent alors des symptômes caractéristiques particuliers tels que des chloroses, des déformations ou des nécroses d'organes qu'il faut observer avec méthode.

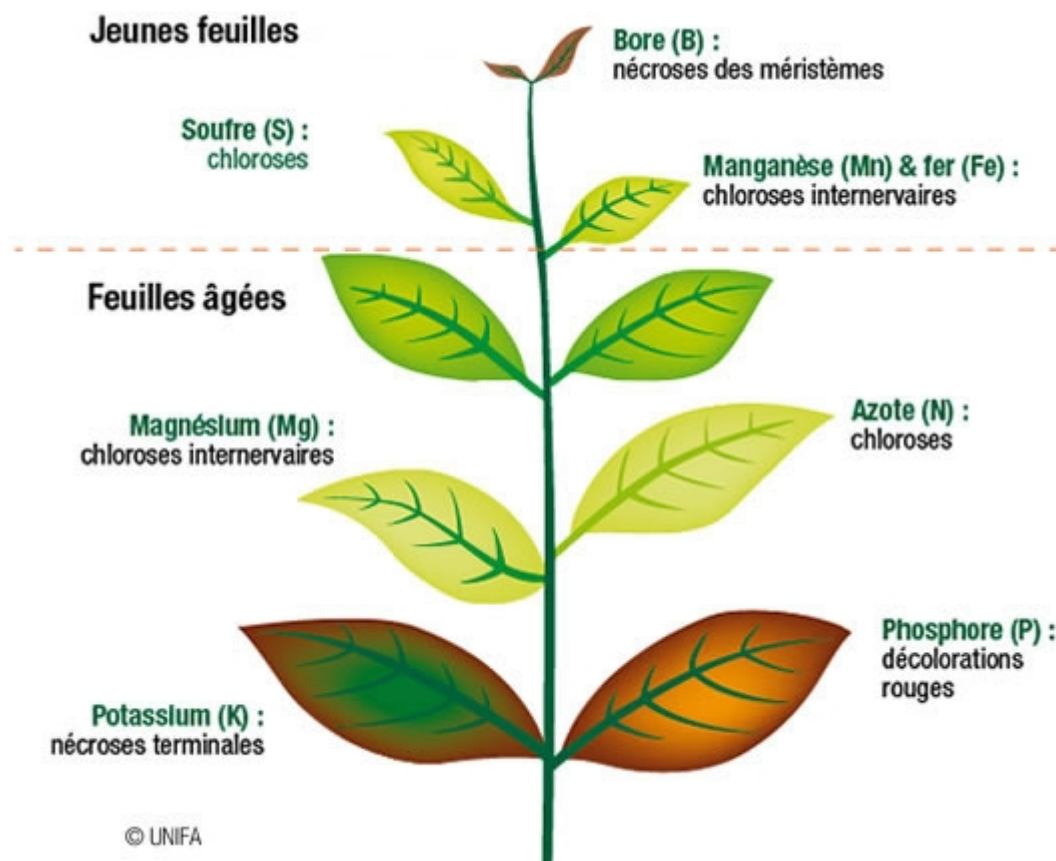


Figure 16 : exemple des symptômes dans le cas de carences en éléments minéraux pour les plantes [43]

3. Distribution des végétaux

Les espèces se répartissent dans la biosphère, chacune dans un environnement qui lui convient en fonction de sa propre évolution et de ses exigences écologiques. Cet environnement est considéré comme une aire ou un espace géographique d'extension, sur lequel une espèce vivante se rencontre de façon spontanée.

La répartition des plantes peut se percevoir selon différents niveaux taxonomiques : l'aire de telle « espèce », de tel « Genre », de telle « Famille », de tel « Ordre », etc. Cependant, les organismes constitutifs d'une aire donnée sont en règle générale considérés comme un « taxon » ou « unité taxonomique » correspondant le plus souvent à une seule « espèce » ; qui a une répartition géographique propre. La répartition de ce taxon est appelée alors « la chorologie de cette espèce ».

3.1. Notion de chorologie

La Chorologie est une branche de la Biogéographie qui se charge de la délimitation des « aires » de distribution des organismes vivants sur terre (espèces et autres unités taxonomiques). Ces aires de distribution ne sont pas fixées définitivement, dans lesquelles on peut observer des phénomènes d'expansion, de régression ou même d'extinction.

3.2. Types des aires de distribution

En générale, quatre grandes modalités de répartition sont reconnues au niveau planétaire :

-Les aires cosmopolites : elles s'étendent en principe à l'ensemble de la surface du globe. Ce critère théorique est rarement strictement réalisé. On parle plutôt de sub-cosmopolitisme. Les exemples les plus fréquents de ce type d'aire se rencontre parmi les plantes aquatiques

-Les aires circumterrestres : aires qui s'étendent autour du globe tout restant localisées entre des limites latitudinales précises. On distingue ainsi des taxons à aires circumboréales ou aires circumtropicale

-Les aires disjointes : il s'agit des aires discontinues, fragmentées en deux ou plusieurs éléments. Cette notion de discontinuité est très relative, l'aire d'un taxon ne pouvant réellement être continu. Une aire disjointe apparaît donc comme formée d'éléments séparés par une distance trop importante pour qu'elle puisse être franchie par les moyens de dissémination propres au taxon. On peut ainsi retrouver des individus appartenant au même taxon, mais localisés dans des zones géographiques très distantes. Les oiseaux montrent souvent des cas d'aires disjointes.

-Les aires endémiques : c'est un mode de répartition dont la localisation est strictement limitée à un seul territoire qui peut être d'étendue très variable. Cet endémisme provient en général d'un isolement : barrière d'isolement (Montagne, île, désert), Paléoendémisme et néoendémisme, Vicariance (dislocation de l'aire d'origine d'un même taxon ; Sapin, Platane, ...)

3.3. Facteurs de répartition

La distribution des êtres vivants est sous le contrôle de plusieurs facteurs ; certains sont qualifiés internes (propre à l'espèce), d'autres appartiennent au milieu de vie des organismes qui se qualifiés externes.

- Exemple de facteurs internes : l'aptitude de propagation et le potentiel évolutif.
- Exemple de facteurs externes : l'eau, la température, la lumière, etc.

Chapitre IV : FONCTIONNEMENT DES COMMUNAUTES VEGETALES

1- Variations spatio-temporelles des communautés végétales

1-1- Variations spatiales

La répartition spatiale actuelle d'une espèce végétale est le résultat de différents facteurs : environnementaux (conditions climatique, édaphique, topographique...), historiques (processus passés qui ont agi sur les populations antérieures) et biotiques (capacité intrinsèque de l'espèce et processus d'interactions interspécifiques). Les espèces végétales qui coexistent forment des assemblages caractéristiques appelés communautés. Celles-ci peuvent être étudiées et caractérisées en relation avec l'environnement sans évaluer l'écologie de chacune des espèces constitutives indépendamment : c'est le champ de l'écologie des communautés. Cependant, les limites spatiales des communautés végétales sont plus ou moins nettes en fonction des caractéristiques du milieu.

- En botanique et en biogéographie, une formation végétale désigne une communauté d'espèces végétales, caractérisée par une certaine physionomie, et qui détermine un paysage caractéristique. Cette physionomie, on dit aussi, « végétation », qui permet de faire une description générale à une échelle assez étendue, dépend des espèces qui composent la formation végétale et du milieu qui les accueille.
- On distingue par exemple, la forêt, la mangrove, la steppe, la savane, la lande, la mégaphorbiaie, la cariçaie, etc.

A noter qu'on a bien décrit cette question de répartition spatiale des communautés dans un chapitre précédent

1-2- Variations temporelles

1-2-1- Histoire évolutive des végétaux

L'histoire évolutive des végétaux est un processus de complexification croissante, depuis les premières algues, en passant par les bryophytes, les lycopodes et les fougères, jusqu'aux complexes gymnospermes et angiospermes actuels. Bien que les végétaux plus primitifs continuent de prospérer, particulièrement dans leur milieu d'origine, chaque nouveau degré d'organisation évolue et développe de nouvelles capacités qui lui permettent de mieux s'adapter à de nouveaux milieux.

Les précurseurs des végétaux semblent être des Cyanobactéries, qu'on classait traditionnellement parmi les algues, sous le nom de cyanophytes ou algues bleu-vert. Elles apparaissent déjà dans des fossiles du Précambrien, datant d'environ 3,8 milliards d'années. Elles auraient joué un grand rôle dans la production du dioxygène de l'atmosphère, et, ce faisant, été responsables de la Grande Oxydation. Leurs cellules ont une structure procaryote typique des bactéries, la photosynthèse se produisant directement dans le cytoplasme (fig. 17).

Les formations végétales actuelles et les cortèges floristiques varient avec le climat et la région considérée. La végétation est largement dominée, excepté dans les régions froides, par un groupe très diversifié, les Angiospermes, qui représentent environ 80 % des 250 000 espèces actuelles décrites. Toutefois, il n'en a pas toujours été ainsi. Des premières plantes terrestres à la flore actuelle, l'évolution

végétale et la succession des différents groupes à la surface du globe a contribué à l'évolution des paysages, et la végétation, soumise aux pressions sélectives des variations climatiques, a été "façonnée" au cours des temps géologiques.

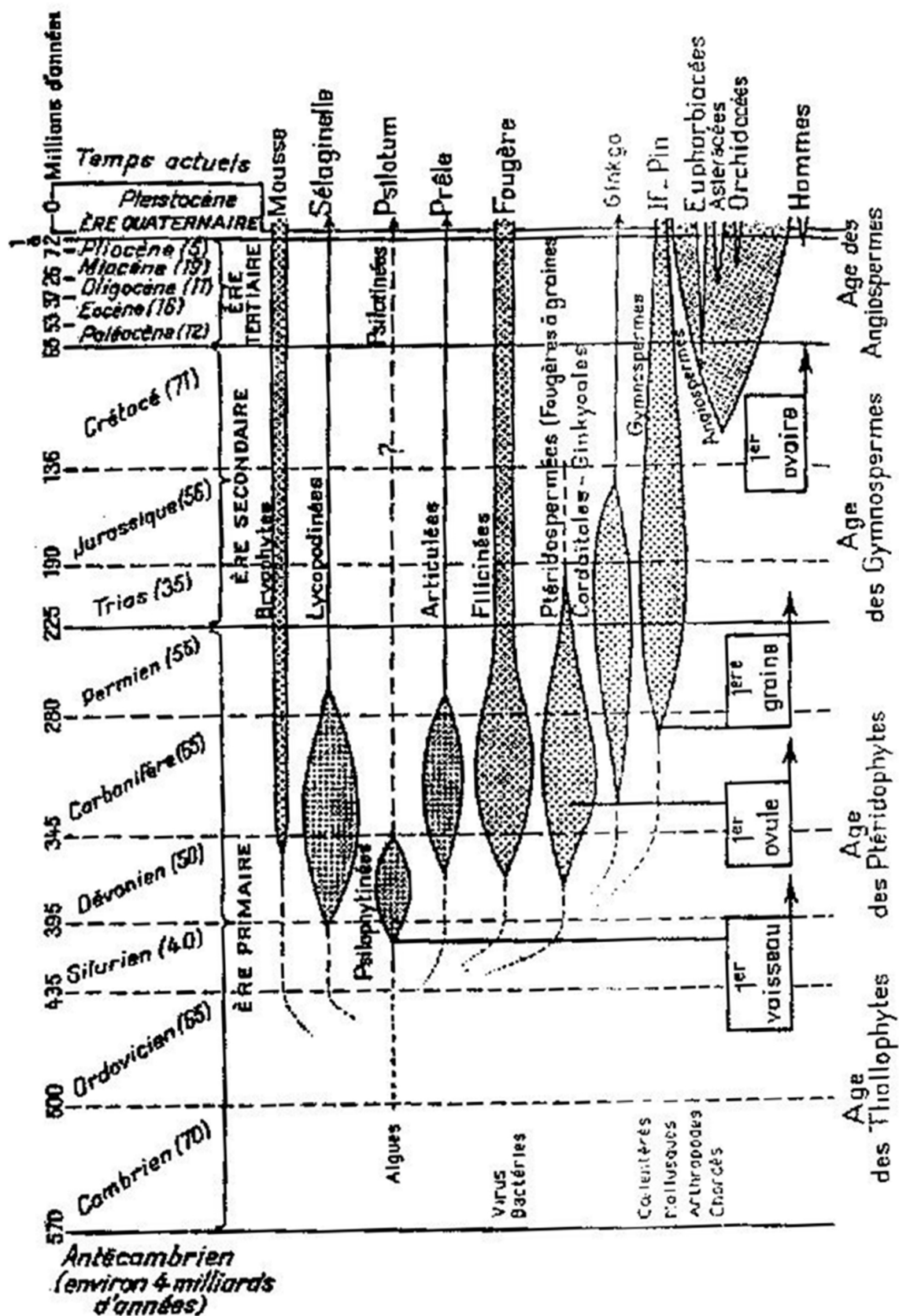


Figure 17 : L'évolution végétale au cours des temps géologiques [44]

1-2-2- Évolution des cycles de vie et phénologie

Toutes les plantes multicellulaires ont un cycle de vie formé de deux phases (haplophase et diplophase) se superposant, pour ces plantes, à deux générations. L'une, appelée gamétophyte, produit des gamètes (mâles ou femelles), et correspond à l'haplophase : les cellules possèdent un seul jeu de chromosomes (noté 1N). L'autre, appelée sporophyte, produit des spores, et correspond à la diplophase : les cellules possèdent deux jeux de chromosomes regroupés en paires (notés 2N). Les deux générations peuvent avoir une apparence identique (on parle d'isomorphie) ou très dissemblable (on parle d'hétéromorphie).

Ainsi, les plantes se caractérisent par différents états, végétatifs (feuilles, racines) ou reproducteurs (graines), et par leur cycle de vie. Il existe des plantes annuelles qui disparaissent l'hiver quand les conditions (lumière, humidité, température) seront défavorables pour réapparaître au printemps suivant à partir de la germination de leurs graines, ou d'organes de réserve souterrains comme les bulbes et les tubercules. Par contre les plantes vivaces sont encore bien visibles à la mauvaise saison, pendant laquelle elles entrent souvent en dormance, perdant leurs feuilles, comme les arbres à feuilles caduques, pour reprendre leur croissance aux beaux jours, à partir de leurs bourgeons.

2- Fonctionnement des communautés et cycles biogéochimiques

Les communautés un système d'échanges biophysiques d'énergie et de matière. Le couvert végétal absorbe le rayonnement solaire contribuant au flux d'énergie. En même temps, les communautés d'espèces s'interagissent entre elles à travers des échanges de matière de différentes façons (fig. 18). Ces interactions peuvent être négatives comme : i) la compétition, par exemple concurrence pour l'eau entre les arbustes et les arbres ; ii) le parasitisme, par exemple développement du gui aux dépens d'un peuplier ; iii) l'herbivorie, par exemple consommation du feuillage par les insectes phytophages ; iv) la prédation, par exemple lombric avalé par une mésange. Elles peuvent être aussi positives comme : i) la facilitation, par exemple une plante d'une espèce va bénéficier d'une disponibilité accrue d'azote dans le sol du fait de son voisinage avec une plante d'une autre espèce fixatrice d'azote ; ii) la symbiose, par exemple l'association mycorhizienne champignon-arbre au bénéfice réciproque de nutrition.

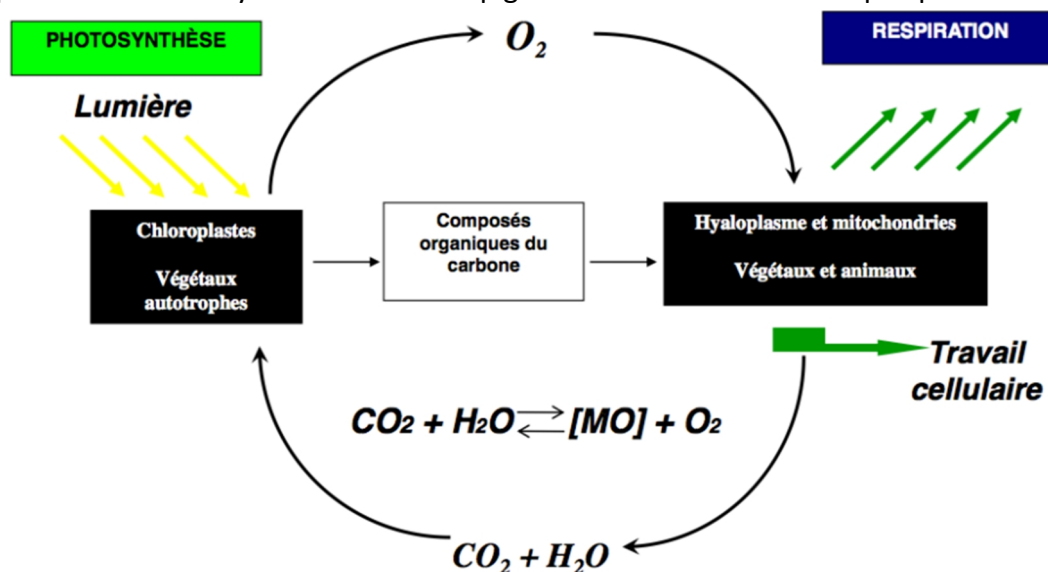


Figure 18 : Flux de la matière et de l'énergie (rôle de la photosynthèse et de la respiration) [45].

On constate alors que le fonctionnement des communautés se traduit à travers deux processus fondamentaux :

- Le transfert ou flux d'énergie que doit assurer par les chaînes trophiques
- La transformation ou flux de matière que doit assurer par les cycles biogéochimiques.

2-1- Les chaînes trophiques ou alimentaires

C'est l'ensemble des relations qui s'établissent entre des organismes en fonction de la façon dont ceux-ci se nourrissent (fig. 19). Elles comprennent des producteurs (algues, par exemple), des consommateurs primaires (herbivores), des consommateurs secondaires (carnivores) et des décomposeurs (ou détritivores) [46]. C'est une suite de relations alimentaires existant entre les êtres vivants. Cependant, on parle de réseau trophique pour un ensemble de chaînes alimentaires reliées entre elles au sein d'un écosystème et par lesquelles l'énergie et la biomasse circulent (fig. 20).

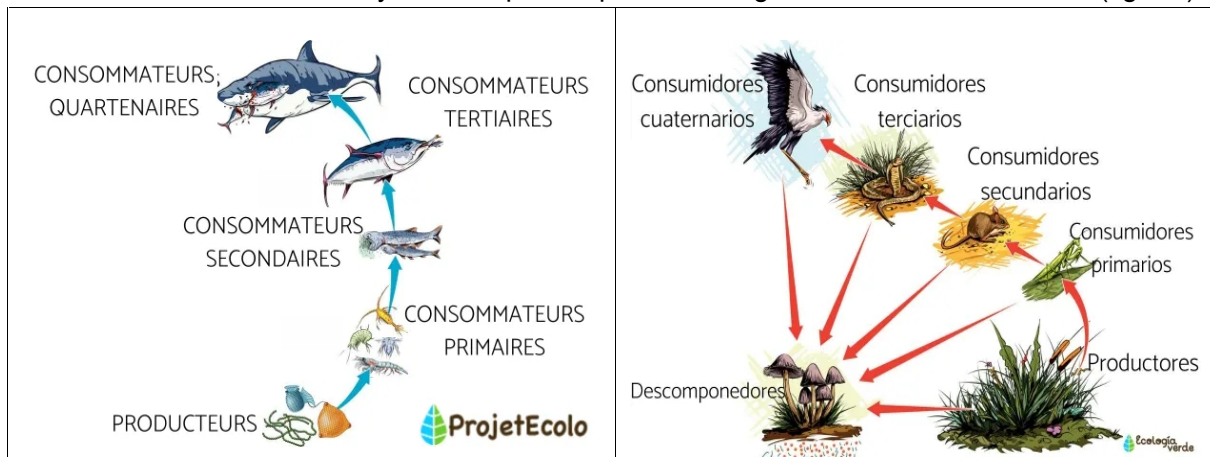


Figure 19 : Exemple de chaînes trophiques, aquatique (à gauche) et terrestre (à droite) [19]

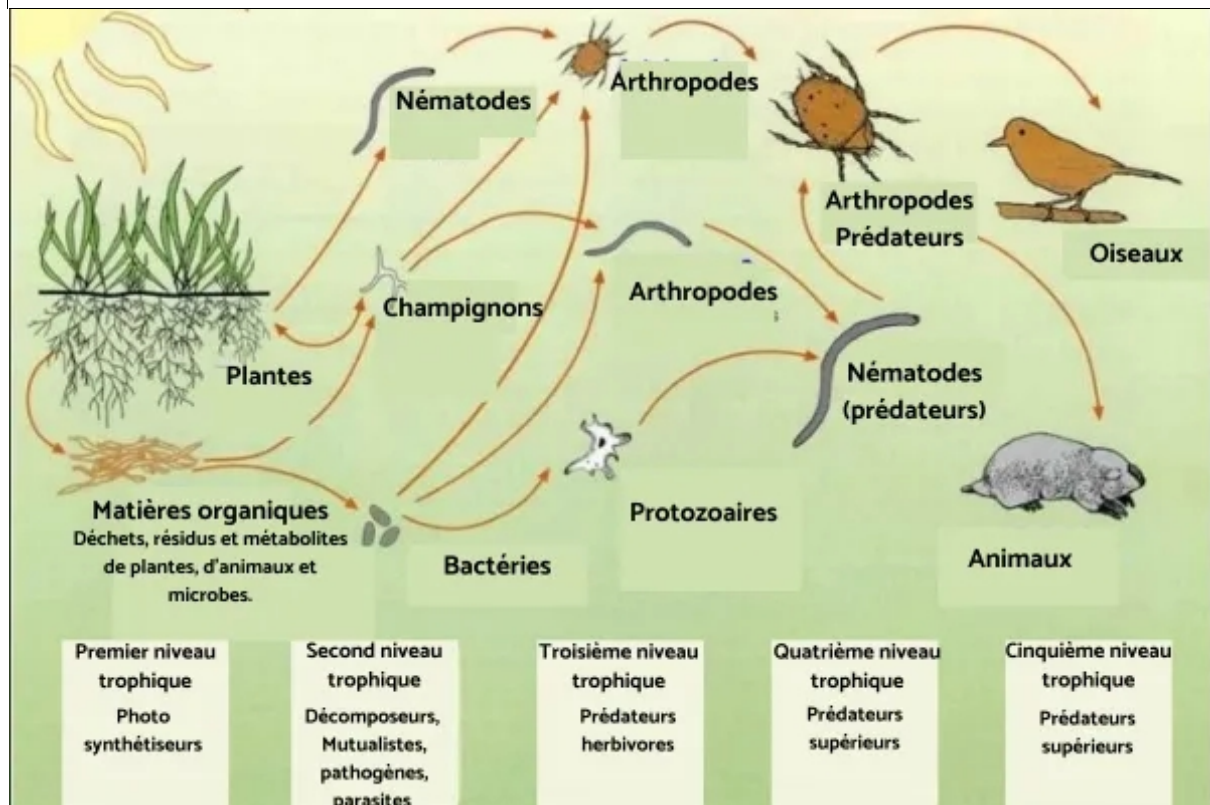


Figure 20 : Exemple de réseau trophique terrestre [19].

Les différents niveaux trophiques sont déterminés selon la manière dont s'obtient la matière et l'énergie, ce qu'on distingue les suivants :

a. Les Producteurs : C'est l'ensemble des végétaux chlorophylliens qui vont fixer l'énergie de la lumière solaire (photosynthèse). Il y a en moyenne 1 à 5% de l'énergie solaire qui est captée par les plantes.

b. Les Consommateurs : Ce sont les organismes hétérotrophes qui se nourrissent des producteurs obtenant ainsi la matière et l'énergie nécessaires. Ces derniers sont divisés en consommateurs primaires, consommateurs secondaires et consommateurs tertiaires, selon leur relation de prédation. Cette production d'énergie s'effectue essentiellement à partir de la dégradation par voie oxydative (respiration) de la matière organique (catabolisme). Ensuite, il y aura édification de la propre matière (organique) de ces consommateurs (anabolisme). On distingue plusieurs catégories de consommateurs selon le régime alimentaire :

- **Les herbivores** : ce sont les consommateurs des végétaux : par exemple : les Cétacées consomment les phytoplanctons ; les algues sont mangées par les gastéropodes, les tortues marines, etc. ; les lichens constituent la nourriture des gastéropodes terrestres, les myriapodes terrestres, etc. En ce qui concerne les végétaux supérieurs, tous les organes peuvent être consommés (herbes et feuilles de ligneux, par les Vertébrés et les Insectes, les fruits et les graines, par les Oiseaux et autres Vertébrés ; etc.)

- **Les saprophages** : consomment des végétaux et des animaux morts, leur rôle est en quelque sorte de recycler la matière organique avant d'être déminéralisée par les décomposeurs. Il existe plusieurs types de saprophages : Les détritivores (consomment les débris végétaux et animaux.); les coprophages (se nourrissent des excréments de divers animaux , ce sont surtout des insectes); les nécrophages : (nourrissent de cadavres, ce sont des oiseaux et des insectes charognards).

- **Les carnivores** : se nourrissent d'autres animaux dont ils vont digérer la matière organique, ce qu'on les appelle aussi les prédateurs. On en distingue trois catégories : Prédateurs de premier ordre qui mangent les herbivores (chacal, lion, etc.), prédateurs de 2° ordre qui mangent les prédateurs de 1° ordre (serpents, etc.) et les prédateurs de 3° ordre (les rapaces qui mangent les serpents, etc.).

c. Les Décomposeurs : Ce sont surtout des bactéries et des champignons. Ils se nourrissent de la matière organique morte (cadavres, litières, etc.). Leur rôle est de décomposer la matière organique ou la minéraliser (en CO_2 , NH_3 , H_2S , etc.). Ces éléments minéraux seront repris par d'autres bactéries. Par exemple : bactéries nitrifiantes → nitrates, bactéries sulfurantes → sulfates, etc. Les nitrates et les sulfates sont mieux assimilés par les plantes.

Le processus de décomposition est aussi important que celui de production dans un écosystème donné. La quantité de matière organique qui retourne au sol dans les écosystèmes terrestres, sous forme de feuilles, de racines ou de bois mort, peut aller, chaque année, de quelques tonnes à quelques dizaines de tonnes par hectare. Un nombre important d'espèces agissent plus ou moins rapidement sur cette matière pour la recycler, en la fractionnant, la transformant, la décomposant et la minéralisant. Elle redevient disponible pour les producteurs et utilisable pour la synthèse de nouvelles molécules organiques.

En conclusion on peut dire que les décomposeurs jouent un rôle essentiel dans le cycle biogéochimique.

On constate ici un transfert d'énergie d'un niveau trophique à un autre :

Energie solaire → (lumière + chaleur) Photosynthèse → matières organiques végétales → matière organique herbivore → matière organique carnivore I → matière organique carnivore II → matière organique carnivore III. , etc.

Les chaînes trophiques ne vont pas s'allonger indéfiniment, en principe elles vont s'arrêter au niveau du carnivore III parce qu'il y a perte d'énergie d'un niveau à un autre.

Ainsi, l'étude des carnivores appelle à quelques remarques :

- Il existe des êtres animaux qui sont capables de tout consommer : ils sont dits omnivores ou diversivores (Homme, Sanglier, Hérisson, etc.).
- En ce qui concerne les parasites : il existe des parasites qui sont fixés en divers points de la chaîne : exemple : l'olive a deux parasites : un parasite primaire (dacus) et un parasite secondaire (opius).

Nous signalons enfin, que les chaînes de parasites contiennent des éléments de tailles décroissantes tandis que les prédateurs sont, en général, de tailles croissantes. En plus, si on considère la chaîne trophique essentielle et qu'on veut considérer les chaînes de parasites, de saprophages, etc., on obtient un écosystème très compliqué.

2-2- Les cycles biogéochimiques

La biogéochimie (vient de biologie, chimie et géologie) correspond à la géochimie de la biosphère, qui s'intéresse à la partie de la terre (domaines superficiels) où règne la photosynthèse et qui sont caractérisés par la présence à la fois de constituants minéraux et d'êtres vivants; mais ce sont ces derniers (micro- et macro-organisme) qui, en raison de leur mode d'existence (biosynthèse de matière organique vivante, puis production de matière organique morte), gouvernent en fait le fonctionnement chimique de ces milieux.

Les cycles biogéochimiques s'intéressent alors plus spécialement aux éléments chimiques qui sont en relation directe avec la vie et ce, qu'ils soient majeurs (C, N, P, K, etc.) ou en traces (Mg, Fe, Cu, etc.) et par ailleurs qu'ils soient indispensables (éléments plastiques d'ordre constitutionnel et oligo-éléments à activité métabolique) ou bien toxiques [47].

Les cycles biogéochimiques démontrent un flux continu de matière entre biotope et biocénose sous forme de substances qui passe alternativement de l'état organique à l'état minéral et inversement. Notant ainsi, que ces cycles de matière sont interdépendants (O et C par exemple). A titre d'exemple le cas du cycle de carbone (C) par rapport à l'oxygène (O) dont on s'intéresse dans l'exemple suivant :

- **Le cycle du carbone**

Le cycle du carbone représente 50% de la biomasse, et 25% des atomes de la biosphère. Le CO₂ sera incorporé dans les producteurs primaires essentiellement par photosynthèse. Cette énergie sera respirée par les P1, formant de la biomasse consommée par les consommateurs. Les consommateurs vont faire de la respiration et mourir, permettant le recyclage de MO par les décomposeurs. Les décomposeurs vont aussi dégrader des P1, permettant le retour du CO₂ disponible, permettant à la vie de continuer sur notre planète (fig. 21).

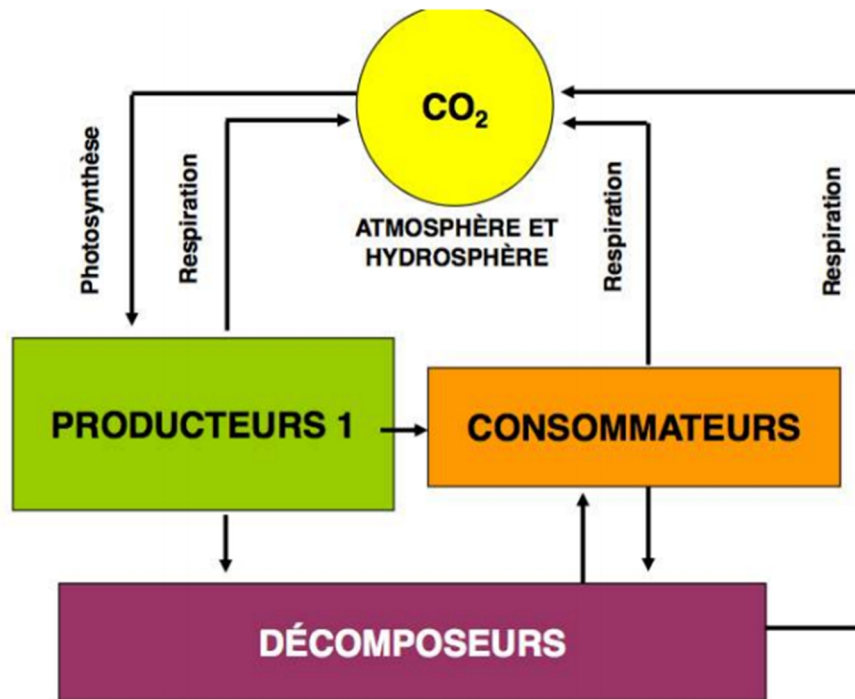


Figure 21 : Cycle simplifié du carbone [45]

Les océans renferment 38.10^{12} tonnes de CO₂, ce qui est énorme comparé à l'atmosphère où il y aura seulement 750.10^9 tonnes de CO₂. C'est l'océan donc qui assure la régulation du CO₂ dans l'atmosphère par dissolution

Ainsi, le réservoir de CO₂ sera alimenté par les êtres vivants tant que la vie existera par recyclage. Le stockage de matière organique permettra l'utilisation de charbon ou d'hydrocarbures (Biomasse enfouie sous la pression du sol), en libérant les particules fines anciennement formées, et augmentant la concentration en CO₂ de l'atmosphère (280ppm de CO₂ dans l'atmosphère à la fin du 19^{ème} siècle 400ppm aujourd'hui).

- Le cycle de l'oxygène sera inversé par rapport au cycle du carbone (flèches dans l'autre sens) .
- On trouvera aussi des cycles de l'azote, du potassium, du manganèse, du fer, du cuivre, du zinc ... tous utilisés en petites ou grandes quantités par les organismes vivants (CHONP et oligoéléments).

3- Actions de l'homme sur le fonctionnement des couverts végétaux

Les actions de l'homme pesant sur le fonctionnement des écosystèmes, dont le couvert végétal, sont multiples et devient plus graves au fil du temps. Il agit soit par la destruction des espèces : le Dodo de l'île de la Réunion et de l'île Maurice, le Glyptodon d'Argentine, etc, soit par transport d'espèces, volontaire ou involontaire, d'un continent à un autre : Cactacées et Jacinthes d'eau américaines en Afrique, Eucalyptus australiens dans le monde entier, etc. Des actions comme la déforestation ou le reboisement ont provoquées le bouleversement des formations végétales.

En effet, l'homme et ses aménagements modifie les couverts végétaux et, en conséquence, les écosystèmes et les milieux depuis le Néolithique : domestication et sélection des plantes cultivées, artificialisation des sols, construction de terrasses sur des versants, création de terres artificielles, modification et régulation des fleuves et rivières, urbanisme et construction des réseaux de transport, etc.

Notant enfin, que le tapis végétal est le révélateur de l'anthropisation car sa structure même permet de discerner ses effets. Étudiée et mesurée d'un point de vue physique et biologique, l'anthropisation se dissocie de l'humanisation pour laquelle sont pris en compte la valeur et le sens de l'environnement pour l'être humain [48].

Travaux Dirigés proposés

Dans le cadre des travaux dirigés (TD), ayant pour objectif l'amélioration de l'apprentissage en faveur des étudiants, on a proposé sept séries de TD permettant de bien retenir et approfondir les connaissances présentées dans le cours. Les intitulés sont comme suivant :

- **TD N° 1 : Explication de quelques termes employés en écologie et environnement.**

Ce TD consiste à développer aux étudiants un vocabulaire propre à la matière pour se familiariser avec les nouveaux termes.

- **TD N° 2 : Présentation de deux facteurs écologiques ; cas du sol et du climat**

Vu l'importance des facteurs écologiques vis-à-vis l'étude des plantes, on a opté pour la présentation de ces deux facteurs qualifiés essentiels à la compréhension de la relation plantes-environnement.

- **TD N° 3 : Les chaînes et les réseaux trophiques**

Les relations alimentaires constituent un élément clé dans le fonctionnement des écosystèmes. Elles ne constituent pas uniquement de simples chaînes alimentaires, mais des relations généralement plus complexes appelées réseaux trophiques. Le TD 3 met en lumière ces différentes relations alimentaires en donnant des exemples.

- **TD N° 4 : Régime alimentaire des espèces**

Pour situer la place d'une espèce au sein du réseau trophique, on procède à la détermination de son régime alimentaire. Ce TD traite comment on détermine le régime alimentaire d'une espèce donnée.

- **TD N° 5 : La production primaire et la production secondaire**

Dans les écosystèmes, la matière organique est synthétisée par les plantes chlorophylliennes qui sont des organismes autotrophes. Cette matière organique traverse les différents niveaux trophiques pour assurer un flux de matière et d'énergie. Les questions abordées ici sont :

- Comment s'effectue le flux de la matière et de l'énergie à travers les écosystèmes ?
- Comment peut-on expliquer la déperdition de la matière et de l'énergie à travers les niveaux trophique ?

- **TD N° 6 : Les pyramides écologiques**

Les pyramides écologiques constituent un outil important pour exprimer le flux de la matière et de l'énergie dans les écosystèmes. Pour cela on a soulevé dans ce TD les deux questions suivantes :

- Que représente et renseigne ces pyramides écologiques
- Comment calculer le rendement à partir d'une pyramide écologique ?

- **TD N° 7 : Aspects dynamique d'un écosystème**

Un écosystème est connu par sa dynamique. En effet, il peut avoir des variations soit dans le sens d'une dégradation ou dans le sens d'une évolution vers un état d'équilibre. Ce TD vise à savoir les différents aspects de la dynamique des écosystèmes et identifier les facteurs qui sont responsables de cette dynamique ?

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01] Damien Aubert, *Classer le vivant : Les perspectives de la systématique évolutionniste moderne*, Paris, Ellipses, 2017, 496 p. (ISBN 978-2-340-01773-3)
- [02] Steven Bachman, *State of the World's Plants Report. 2016*, Royal Botanic Gardens, Kew, p. 7/84, 2016 (ISBN 978-1-84246-628-5).
- [03] Baillaud, L. (2007). La végétalité: un réseau de déterminismes reliant structure, biologie et milieu de vie dans le deuxième royaume de la nature?. *Acta Botanica Gallica*, 154(2), 153-201.
- [04] VEYRET Yvette, VIGNEAU Jean-Pierre (2002), Géographie physique. Milieux et environnement dans le système terre, Paris, Armand Colin, coll. U Géographie, 368p.
- [05] Ozenda, P. (1982). [*Plants in biosphere [areas of distribution, ecology, biocoenotics, applied ecology]*].[French].
- [08] Carlesso M., Galland C., 2010. Les grands biomes terrestres. Licence 2 Aménagement et Géographie. 39p.
- [12] A. John Arnfield, « Köppen climate classification » [archive], Encyclopædia britannica (consulté le 23 juin 2022).
- [17] Triplet, P. (2019). Dictionnaire de la diversité biologique et de la conservation de la nature. *Documentation électronique* https://societe-zoologique.fr/sites/default/files/2019-02/Dictionnaire-diversite-biologique-conservationnature_2019.pdf.
- [18] Peycru, P., D. Grandperrin, C. Perrier (dir.), B. Augère, J.-F. Beaux, F. Cariou, P. Carrère, T. Darribère, J.-M. Dupin, C. Escuyer, J.-F. Fogelgesang, S. Maury, É. Quéinnec, E. Salgueiro & C. Van Der Rest (2014). *Biologie tout-en-un BCPST 2 e année*. Dunod, Paris, 3 e édition (1 e édition 2007).
- [18] Sbeiti, A. (2016). *Effet du changement climatique sur la réponse des plantes et des pathogènes, lors du développement de la maladie racinaire provoquée par les champignons pathogènes du sol du genre verticillium, chez deux espèces du genre medicago* (Doctoral dissertation, Toulouse, INPT).
- [19] Beebe, S., J. Ramirez, A. Jarvis, I.M. Rao, G. Mosquera, J.M. Bueno, and M.W. Blair. 2011. "Genetic Improvement of Common Beans and the Challenges of Climate Change." In *Crop Adaptation to Climate Change*, edited by Shyam S. Yadav, Robert J. Redden, Jerry L. Hatfield, Hermann Lotze-Campen, and Anthony E. Hall, 356–69. Oxford, UK : Wiley-Blackwell. <http://doi.wiley.com/10.1002/9780470960929.ch25>.
- [20] Calatayud, P. A., Garrec, J. P., & Nicole, M. (2013). Adaptation des plantes aux stress environnementaux. *N. Sauvion, P.-A. Calatayud, D. Thiéry, & F. Marion-Poll (Vol. Eds.), Interactions insectes plantes*, 229e245.
- [21] Calatayud, P. A., Garrec, J. P., & Nicole, M. (2013). Adaptation des plantes aux stress environnementaux. *Interactions insectes plantes. Institut de recherche pour le développement, Marseille*, 229-245.
- [22] Sardans, J., and J. Peñuelas. 2005. "Drought Decreases Soil Enzyme Activity in a Mediterranean Quercus Ilex L. Forest." *Soil Biology and Biochemistry* 37 (3) : 455–61. doi : 10.1016/j.soilbio.2004.08.004.
- [23] Bourdu, R. (1984). Bases physiologiques de l'action des températures. In *Communications au colloque sur physiologie du maïs* (pp. 389-424).
- [24] Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Chilling, freezing, and high temperature stresses. vol. 1. Academic, New York.

- [25] Ahrens, M. J., & Ingram, D. L. (1988). Heat tolerance of citrus leaves. *HortScience (USA)*.
- [26] Aussenac, G. (1973). Climat, microclimat et production ligneuse. In *Annales des Sciences forestières* (Vol. 30, No. 3, pp. 239-258). EDP Sciences.
- [27] Abrol, Y. P., & Ingram, K. T. (1996). Effects of higher day and night temperatures on growth and yields of some crop plants. In F. Bazzaz, & W. Sombroek eds: Global climate change and agricultural production: Direct and indirect effects of changing hydrological, pedological and plant physiological processes. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England. 123-140.
- [28] Heller, R., Esnault, R., & Lance, C. (1998). Physiologie végétale. Tome1. Nutrition. 6^{ème} édition, DUNOD, Paris: 134-135 p.
- [29] Ogaya, R., J. Peñuelas, D. Asensio, and J. Llusà. 2011. "Chlorophyll Fluorescence Responses to Temperature and Water Availability in Two Co-Dominant Mediterranean Shrub and Tree Species in a Long-Term Field Experiment Simulating Climate Change." *Environmental and Experimental Botany* 71 (2) : 123–27. doi : 10.1016/j.envexpbot.2010.10.016.
- [30] Cornic, G. 2007. "Effet de La Température Sur La Photosynthèse." In .
- [31] Saugier, B. 1983. "Aspects écologiques de la photosynthèse." *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques* 130 (1) : 113–28. doi : 10.1080/01811789.1983.10826594.
- [32] Kumar, T.A., and T.B. Charan. 1998. "Temperature-Stress-Induced Impairment of Chlorophyll Biosynthetic Reactions in Cucumber and Wheat." *Plant Physiology* 117 (3) : 851–58.
- [33] Seguin, B. 2008. "Impact Du Changement Climatique Sur Les écosystèmes Naturels et Cultivés." *Forêt Méditerranéenne* 29 (2) : 127–36.
- [34] Wahid, A., S. Gelani, M. Ashraf, and M. Foolad. 2007. "Heat Tolerance in Plants : An Overview." *Environmental and Experimental Botany* 61 (3) : 199–223. doi : 10.1016/j.envexpbot.2007.05.011.
- [35] Garrett, K.A., S.P. Dendy, E.E. Frank, M.N. Rouse, and S.E. Travers. 2006. "Climate Change Effects on Plant Disease : Genomes to Ecosystems." *Annual Review of Phytopathology* 44 (1) : 489–509. doi : 10.1146/annurev.phyto.44.070505.143420.
- [36] Guy, C.L. 2003. "Freezing Tolerance of Plants : Current Understanding and Selected Emerging Concepts." *Canadian Journal of Botany* 81 (12) : 1216–23. doi : 10.1139/b03-130.
- [37] Körner, C. 1999. *Alpine Plant Life Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. Berlin ; New York : Springer. <http://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/40331217.html>.
- [38] Bordé, C., Bach, J. F., Bony, J. M., Aspect, A., & Bordé, C. (2021). Cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux. In *Cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux*. EDP Sciences.
- [39] Tousignant, M. E., & Delorme, M. (2005). Connaître le fonctionnement de la plante pour mieux gérer son environnement. In *Article paru dans Québec Vert (IQDHO). Adapté de Understanding Plant Growth: A Review of the Basics. Conférence présentée lors de l'Ohio International Short Course*.
- [40] Martre, P., Cochard, H., & Durand, J. L. (2001). Hydraulic architecture and water flow in growing grass tillers (*Festuca arundinacea* Schreb.). *Plant, Cell & Environment*, 24(1), 65-76.
- [41] Lamaze, T., Tousch, D., Sarda, X., Grignon, C., Depigny, D., This, D., ... & Belhassen, E. (1994, February). Résistance des plantes à la sécheresse : mécanismes physiologiques. In *Journée ASF Association des Sélectionneurs Français*.

- [42] Durand, J. L., Lorgeou, J., Picon-Cochard, C., & Volaire, F. (2013). Ecophysiologie de la réponse et de l'adaptation des plantes fourragères et prairiales au changement climatique. *Fourrages*, (214), 111-118.
- [44] Guignard, J. L. (1974). Abrégé de botanique : à l'usage des étudiants en pharmacie. (*No Title*).
- [45] Studocu, (2018). Structure et fonctionnement des écosystèmes, document des Sciences-de-la-Terre Université-de-Brest 22p.
- [47] Pédro G. et Delmas AB. (1970). Les principes géochimiques de la distribution des éléments traces dans les sols. *Ann.Agr.*, 24: 483-518
- [48] Alexandre, F. & Génin, A. (2012). Chapitre 7 - Le couvert végétal, marqueur de l'anthropisation de la biosphère. Dans : , F. Alexandre & A. Génin (Dir), *Géographie de la végétation terrestre: Modèles hérités, perspectives, concepts et méthodes* (pp. 119-132). Paris: Armand Colin.<https://doi.org/10.3917/arco.alex.2012.01.0119>"

SITES WEB

- [06] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Biome#/media/Fichier:Vegetation-no-legend.PNG>
- [07] https://fr.wikipedia.org/wiki/Toundra#/media/Fichier:Biome_map_11.svg
- [09] https://fr.wikipedia.org/wiki/Ta%C3%AFga#/media/Fichier:Taiga_ecoregion.png
- [10] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/Biome_map_04.svg
- [11] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/Biome_map_12.svg
- [13] https://fr.wikipedia.org/wiki/Steppe#/media/Fichier:Steppe_world.png
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/Desert_climate#/media/File:BW_climate.png
- [15] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3b/Biome_map_07.svg
- [16] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fb/Biome_map_01.svg
- [19] <https://www.projetecolo.com/ecosysteme-terrestre-definition-caracteristique-et-types-12.html>
- [43] <https://fertilisation-edu.fr/nutrition-des-plantes/8-nutrition-des-plantes.html>
- [46] <http://environnement.sante.wallonie.be/home/glossaire/definitions-du-glossaire/definition/chaine-trophique.html>