

Dr RACHEDI Mounira

Maitre de conférences « A »

COURS DE LIMNOLOGIE



LAC TONGA (EL-TARF)

*2^{ème} Année LICENCE - FILIÈRE
HYDROBIOLOGIE MARINE & CONTINENTALE
(UCBET, 2022)*

Avant-propos

Ce polycopié de cours est essentiellement adressé aux étudiants inscrits en deuxième année licence, de la filière « **Hydrobiologie Marine et Continentale** », du domaine des Sciences de la Nature et de la Vie. Le contenu de ce polycopié de cours est conforme au programme officiel de la filière.

L'enseignement de cette unité fondamentale et dont l'intitulé est « **Limnologie** », a pour but de présenter le milieu biophysique des eaux continentales en décrivant les éléments physiques et biologiques des écosystèmes aquatiques et en définissant les interactions entre les différentes composantes de ces écosystèmes, les processus qui contrôlent le développement des communautés. Le contenu du cours fait appel à des connaissances en physico-chimie de l'eau, en biologie générale des organismes autotrophes et hétérotrophes, en botanique et en zoologie.

Dr RACHEDI Mounira

LISTE DES FIGURES

N°	Titre	Page
1	Le lac Léman (premier lac étudié par la limnologie) (gnu-www.aquaportail.com).	2
2	Localisation de la lagune El-Mellah (Parc National d'El-Kala).	3
3	Schémas des différences entre lacs et étangs.	4
4	Schéma d'un bassin versant pour un cours d'eau (laborde, 2009).	6
5	Le cycle hydrologique (medhycos.mpl.ird.fr).	9
6	Un lac volcanique (maxisciences.com).	10
7	Photo représentant la différence entre lac naturel et une retenue artificielle.	11
8	Stratification thermique d'un lac en été.	13
9	Cycle thermique annuel d'un lac.	14
10	Disque de Secchi.	15
11	Ce schéma montre comment les vents peuvent former des vagues à la surface d'un lac, et comment le vent pousse les eaux sur les berges. Par Mewtow - Travail personnel, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=48780819	17
12	Acquisition de la composition chimique des eaux par l'altération des roches carbonatées (1) et des roches silicatées (2), sous l'action de l'acide carbonique (H ₂ CO ₃) produit par la minéralisation de la matière organique dans les sols (en orange). Cette altération libère du carbone inorganique dissous (CID) dans les rivières. P : photosynthèse, R : respiration, D : dégazage de CO ₂ , PP : production de phytoplancton.	25
13	Principales zones d'un lac.	31
14	La différence entre procaryote et eucaryote (Cruzel, 2019).	32
15	Les regroupements de bactéries (Cruzel, 2019).	33
16	La paroi des (Cruzel, 2019).	34
17	Représentation schématique d'une cellule de levure (Cruzel, 2019).	35
18	Représentation schématique d'une cellule virale (Cruzel, 2019).	36
19	Pyramide écologique d'un écosystème aquatique.	38
20	Photos d'un herbier d'algues Characées (A) & herbier de bryophytes (<i>Fontinalis antipyretica</i>) (B).	39
21	Tapis de nénuphars jaunes.	40
22	Herbier de callitriches et voile de lentilles d'eau.	41
23	Représentation schématique de la répartition des macrophytes dans la zone littorale d'un lac tempéré peu profond. (Hélophytes et Hydrophytes).	41
24	Photo de microalgue (Phytoplancton) sous microscope.	45
25	Bactériophage qui infecte les bactéries (https://www.istockphoto.com , 2017).	52
26	Quelques exemples de macro-invertébrés benthiques : Aselle de murs (A), Dugesia (B), Hydracarien (C).	54
27	Les poissons : l'Omble chevalier (A), Corégone (B) et Truite (C).	56
28	Quelques exemples de poissons, amphibiens et reptile.	58
29	Photo d'un arbre de cyprès chauve <i>Taxodium distichum</i> .	65
30	Photo d'un macrophytes flottantes avec des feuilles (<i>Nymphaea</i> spp).	66

31	Cyclomorphose du zooplancton.	71
32	Impact de l'introduction d'espèces exotiques dans un lac leurs effets de la nourriture Internet (Horne and Goldman, 1994).	75

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre	Page
1	Classement des lacs du monde par superficie (Source : Encyclopedia of inland waters, University of British Columbia University, University of Michigan, 2009).	19
2	Classement des lacs d'Afrique par superficie (Source : Encyclopedia of inland waters, University of British Columbia University, University of Michigan, 2009).	22
3	Moyennes mondiales (mg/L) des concentrations des eaux de pluies et de rivières et des eaux marines en éléments majeurs (SiO ₂ : silice dissoute, Ca : calcium, Mg : magnésium, Na : sodium, K : potassium, Cl : chlorures, SO ₄ : sulfates) et en carbone (CID : carbone inorganique dissous, COD : carbone organique dissous).	23
4	Solubilité de l'oxygène dans l'eau en fonction de la température (IBGE, 2005).	29
5	Les différentes formes des bactéries (Cruzell, 2019).	33

TABLE DES MATIÈRES

COURS 1 : INTRODUCTION A LA LIMNOLOGIE	1
1.1. Définition de la limnologie	2
1.1.1. Les lacs	2
1.1.2. Un étang	4
1.1.3. Une mare	4
1.1.4. Une lagune	5
1.2. Les lacs et leur bassin versant	5
1.3. Typologie des hydrosystèmes	8
1.3.1. Le Cycle de l'eau	8
1.4. Origine des lacs	10
COURS 2 : LIMNOLOGIE PHYSIQUE ET CHIMIQUE	12
2.1. Limnologie physique	12
2.1.1. Caractéristiques morphométriques	12
2.1.2. Facteurs climatiques :	12
2.1.2.1. Température	12
2.1.2.2. Transparence et lumière	14
2.1.2.3. Vent	16
2.1.3. Courantologie	17
2.1.4. Les grandes masses d'eaux	18
2.1.4.1. Dans le monde	18
2.1.4.2. En Afrique	22
2.2. Limnologie chimique	23
2.2.1. Nature chimique des eaux	23
2.2.1.1. Facteur et processus de contrôle	24
2.2.1.2. Modification naturelles de la composition des eaux	26
2.2.2. Facteurs abiotiques (O ₂ , pH,...)	27
COURS 3 : LIMNOLOGIE BIOLOGIQUE	30
3.1. Caractéristiques biologiques d'un lac	30
3.2. Les principaux groupes microbiens (procaryotes – Mycètes....)	31
3.2.1. Les différentes familles de micro-organismes	32
3.3. Organisation biocénotique limnique	37
3.4. Compartiment biotique des écosystèmes aquatiques	37
3.5. Les principaux groupes floristiques	39
3.5.1. Les macrophytes	39
3.5.1.1. Rôle des macrophytes littoraux dans le fonctionnement des écosystèmes lacustres	42
3.5.2. Les microphytes	45
3.5.2.1. Maillon de la chaîne alimentaire	45

Table des matières

3.5.2.2. Trois familles productrices de toxines	46
3.6. Les principaux groupes faunistiques	49
3.6.1. Invertébrés (Zooplancton, zoobenthos)	49
3.6.2. Vertébrés (reptiles, oiseaux et batraciens)	55
COURS 4 : NOTION DE PALEO LIMNOLOGIE	59
4.1. Définition et explication de la Paléo-limnologie	59
4.2. Définition et explication de la Paléoécologie	60
4.3. Définition et explication de la Paléontologie	62
COURS 5 : CROISSANCE ET DYNAMIQUE DES POPULATIONS	64
5.1. Croissance et dynamique des populations algales	64
5.1.1. Définition du phytoplancton	66
5.1.2. Rôles et application du phytoplancton	66
5.1.2.1. Rôle et intérêt du phytoplancton	66
5.1.2.1.1. Phytoplancton, « poumon de la planète »	67
5.1.2.1.2. Phytoplancton, base de la chaîne alimentaire aquatique	67
5.1.2.2. Différents domaines d'applications du phytoplancton	67
5.1.2.2.1. Domaine agricole	67
5.1.2.2.2. Domaine alimentaire	68
5.1.2.2.3. Domaine cosmétique	68
5.1.2.2.4. Domaine pharmaceutiques	69
5.1.2.2.5. Domaine énergétique	69
5.1.2.2.6. Domaine de l'environnement	69
5.1.2.3. Effet nuisible du phytoplancton	70
5.1.2.3.1. Risque sur les organismes	70
5.1.2.3.2. Risque sur la santé humaine	71
5.2. Croissance et dynamique des populations d'invertébrés planctoniques	71
5.3. Croissance et dynamique des populations d'invertébrés benthiques	72
5.4. Croissance et dynamique des populations de poissons	73
REFERENCES	76
GLOSSAIRE	82



INTRODUCTION

Cours 1 : Introduction à la limnologie

1.1. Définition de la limnologie :

La **limnologie** est la branche de l'écologie qui étudie les écosystèmes aquatiques continentaux (eaux intérieures: lacs, étangs, rivières, marais, zone humide), les interactions entre organismes aquatiques et leur environnement, qui déterminent leur distribution et leur abondance dans ces écosystèmes.

La **limnologie** est la « **science des eaux continentales** », ce qui la différencie de l'**océanographie** qui traite les écosystèmes marins. On distingue donc les écosystèmes **lentiques** (à renouvellement lent), les écosystèmes **lotiques** (à écoulement rapide) et les **zones humides** (dont les sols sont saturés d'eau).

Le terme « limnologie » trouve sa racine dans le grec *limne* (lac) et *logos* (étude). François-Alphonse Forel (1841-1912) en fut le précurseur avec son étude du lac Léman (Fig. 1). Donc la limnologie est l'écologie appliquée aux eaux continentales. Elle se subdivise en limnologie physique, limnologie chimique et limnologie biologique. À l'origine la limnologie était définie comme l'« **océanographie des lacs** » et parfois incorrectement comme « **l'écologie des eaux douces** ». Elle est parfois classée comme une subdivision de l'hydrologie qui appartient au domaine de la géographie.



Figure 1. Le lac Léman (premier lac étudié par la limnologie)
(gnu-www.aquaportail.com).

1.1.1. Les lacs :

En 1892, le Suisse François-Alphonse Forel, fondateur de la limnologie, fut le premier scientifique à définir clairement un lac. Pour lui, « on désigne par un lac une masse d'eau stagnante sans communication directe avec la mer, située dans une dépression du sol fermée de tout côté ». Un **lac** est une grande étendue d'**eau douce** terrestre, constitué par des rivières et autres cours d'eau qui servent à alimenter ou à vidanger le lac. Les lacs sont plus grands et plus profonds que les étangs, tout en restant un plan d'eau par définition. Même si par certaines dimensions, certains lacs d'**eau salée** sont considérés comme des mers intérieures, les lacs sont intérieurs et ne sont pas une partie de l'**océan** : ils sont distincts des **lagunes** (Fig. 2).

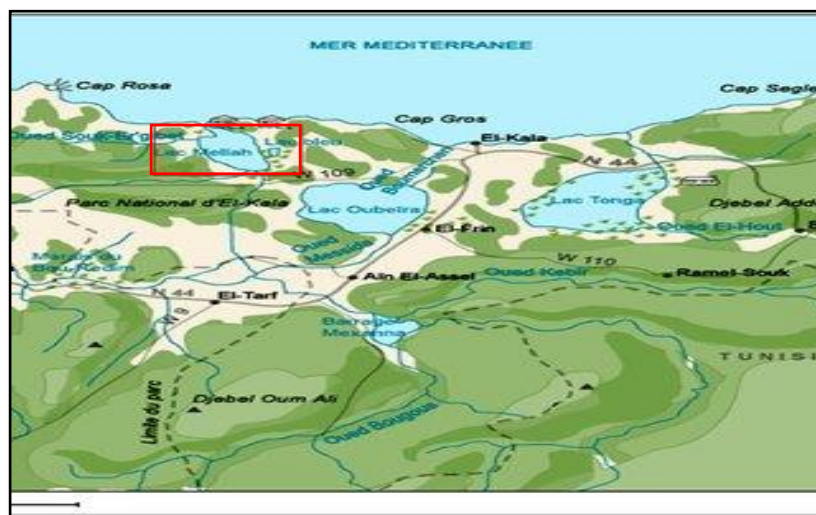


Figure 2. Localisation de la lagune El-Mellah (Parc National d'El-Kala).

Il existe sur Terre sept millions de lacs couvrant une superficie de deux millions de kilomètres carrés, 1,2% des terres émergées. Ce taux est nommé **limnacité**, il s'agit de la proportion d'un territoire donné occupée par les lacs. Les plus grandes limnacidés se trouvent dans les régions nord, en Norvège, en Amérique du Nord (anciennes zones glacières).

Il existe une très grande variété de lacs : certains sont salés (par exemple, le Grand Lac Salé aux États-Unis ; la mer Morte au Proche-Orient), mais la majorité des lacs sont constitués d'eau douce.

Certains sont profonds et d'une taille gigantesque (**le lac Baïkal**, en Sibérie, atteint 1637 mètres de profondeur pour plus de 23 000 km² ; le lac Victoria, en Afrique, couvre 68000 km², mais avec une profondeur maximale modeste de 83 m), Le plus grand d'entre eux est en fait appelé mer : il s'agit de **la mer Caspienne**, dont la surface de 371 000 km².

Dans le langage courant, le lac est un concept assez flou ; les noms locaux donnés aux plans d'eau par la population ne s'accordent pas toujours aux définitions officielles, et c'est souvent la grande taille ou une grande profondeur qui sont alors prises en compte. Un lac est ainsi plutôt plus grand et plus profond qu'un étang (Fig. 3), lequel est plus grand et plus profond qu'une mare.

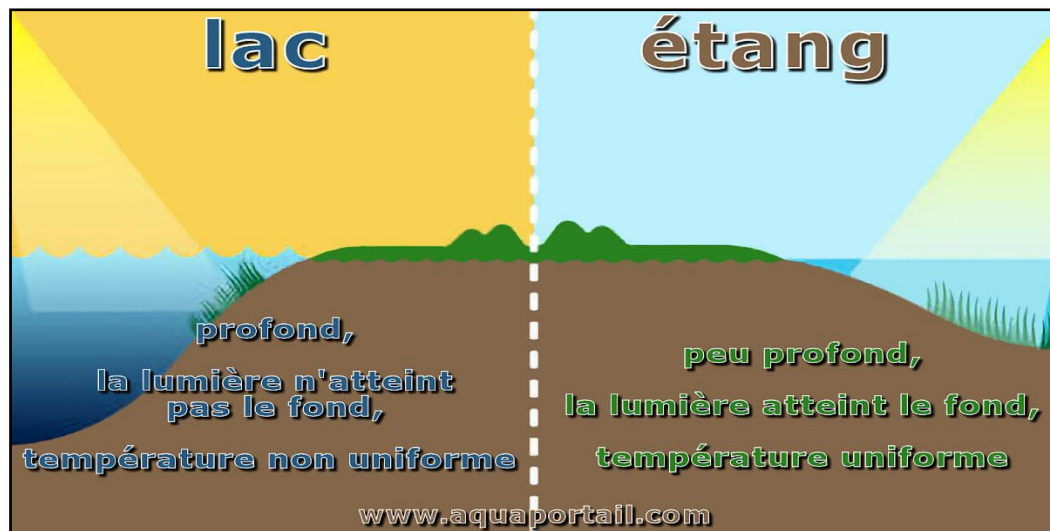


Figure 3. Schémas des différences entre lacs et étangs.

1.1.2. Un étang :

Un étang est une étendue d'eau peu profonde et de taille variable, bien que relativement petite, qui résulte de l'accumulation d'eau non absorbée par le sol, celui-ci étant trop imperméable. Dans un étang, **l'eau est relativement stagnante**, c'est à dire qu'elle ne circule pas. Les étangs sont alimentés par une source d'eau de faible débit pouvant être des eaux de pluies, des ruissellements.

Un étang peut être d'eau douce ou d'eau salée s'il est formé par de l'eau de mer.

1.1.3. Une mare :

Une **mare** est une petite étendue d'eau stagnante et peu profonde (naturelle ou non), de faible surface. Cette petite hauteur d'eau permet aux rayons du soleil d'en éclairer le fond, ce qui favorise l'enracinement de plantes. Contrairement à un étang, le niveau d'eau n'est pas constant, aussi une mare peut-elle être asséchée une bonne partie de l'année. Il n'y a pas de critère précis pour différencier une grande mare d'un petit **étang**, si ce n'est que les mares n'ont généralement pas d'exutoires, alors que les étangs sont souvent alimentés par une source ou un

ruisseau et ont un exutoire.

1.1.4. Une lagune :

Une **lagune** est une étendue d'eau généralement peu profonde séparée de la mer par un **cordon littoral**. Souvent constitué de sable fin. Les lagunes sont parfois appelées étangs littoraux. La lagune est plus ou moins **saumâtre**, suivant l'importance de ses échanges avec la mer et des apports du **bassin versant**, qui varient selon la saison.

1.2. Les lacs et leur bassin versant :

Qu'est-ce que le bassin versant d'un lac?

Le bassin versant (ou bassin hydrographique) d'un lac est la totalité du territoire qui se draine vers ce dernier. C'est le territoire sur lequel toutes les eaux (de surface et souterraines) s'écoulent pour aboutir dans le lac.

Ce territoire est délimité physiquement par la topographie environnante. Ainsi, comme un pays, un bassin versant a des frontières. Ces frontières sont naturelles et suivent les « lignes de partage des eaux » (Fig. 4). Les gouttes de pluie qui tombent sur le versant situé à l'intérieur de ces lignes vont rejoindre le lac. Les gouttes de pluie qui tombent sur l'autre versant vont alimenter un lac ou un cours d'eau voisin.

Chaque bassin versant se caractérise par différents paramètres morphologiques (surface, pente), pédologiques (nature, granulométrie, type de sol et capacité d'infiltration des sols), biologiques (type et répartition de la couverture végétale), mais aussi anthropiques (présence de zones urbaines, de villégiature et d'agriculture).

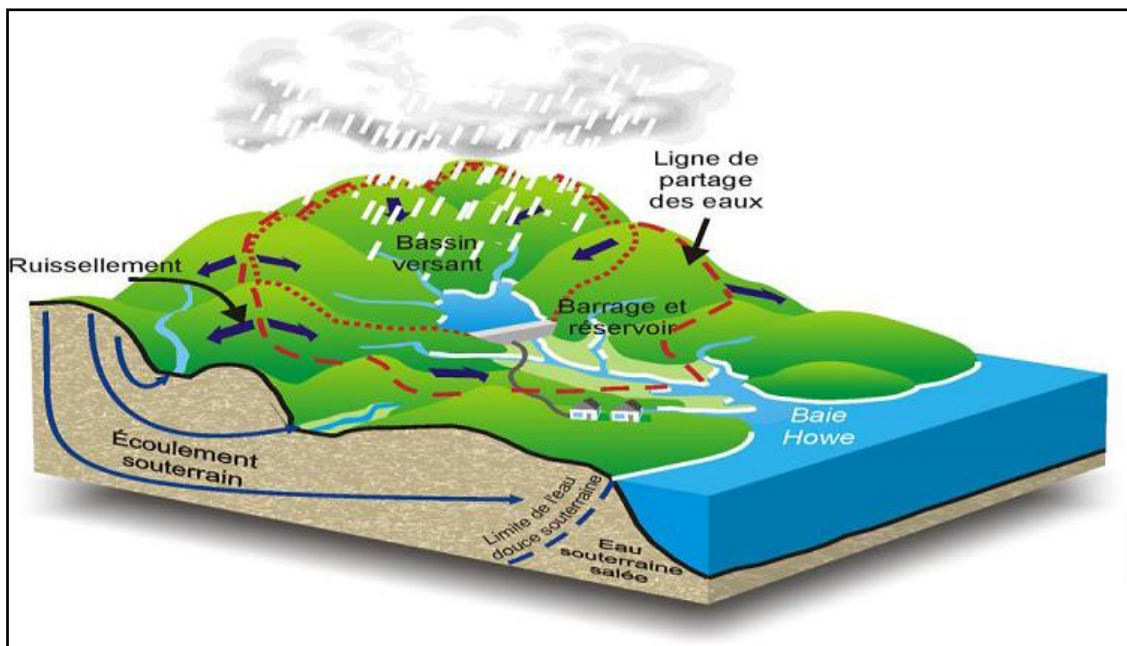


Figure 4. Schéma d'un bassin versant pour un cours d'eau (laborde, 2009).

Comment ce qui se passe dans le bassin versant de mon lac influence ce dernier?

Un lac est le reflet de son bassin versant. L'état d'un lac est directement influencé par la taille, la topographie ou la géologie de son bassin versant ainsi que par l'utilisation du sol qui y est faite et la végétation qui y est présente. Par exemple, un petit lac peu profond dont le bassin versant est grand (lien avec la quantité de territoire drainé) et fortement habité risque de présenter des concentrations plus élevées de phosphore par rapport à un grand lac ayant un petit bassin versant peu fréquenté. Le ratio taille du bassin/taille (ou volume) du lac est donc un des éléments à considérer dans l'étude de l'état d'un lac. Également, le type de sol et la pente ont un impact sur la rapidité d'écoulement des nutriments, des contaminants et des sédiments vers un lac.

L'utilisation du territoire pour diverses activités humaines (agriculture, foresterie, villégiature, entre autres) a aussi une influence déterminante sur la qualité et la quantité d'eau qui parvient à un lac. Les terres agricoles et urbaines, qui sont souvent dénudées et

artificialisées, constituent une source de nutriments et de contaminants pour un lac. En particulier, les fertilisants et les fumiers appliqués sur les terres agricoles ainsi que les rejets d'égouts urbains et les fuites des fosses septiques sont d'importantes sources d'azote et de phosphore pour les plans d'eau. Les pesticides et les rejets industriels, quant à eux, sont des sources de contaminants (métaux lourds, BPC, etc.). De plus, le déboisement et l'artificialisation de ces zones favorisent un écoulement plus rapide de l'eau de pluie, des nutriments, des contaminants et des sédiments vers les cours d'eau. À l'inverse, les zones boisées et les milieux humides servent de filtres contre les nutriments, les contaminants et les sédiments provenant de l'ensemble du bassin versant. Ils limitent aussi les inondations en absorbant les surplus d'eau de pluie (agissant, en quelque sorte, comme des éponges). Finalement, les milieux humides et les forêts constituent des habitats privilégiés pour la faune et la flore aquatique et terrestre. La préservation de ces milieux, tant sur la rive que dans l'ensemble du bassin versant, est essentielle si l'on veut protéger adéquatement un lac ou un cours d'eau.

Plusieurs autres activités pratiquées dans le bassin versant ont un impact sur la qualité de l'eau. La densité croissante des réseaux routiers et les fossés de route qui y sont rattachés en est un exemple. Ces derniers canalisent les polluants et les sédiments directement vers les lacs. Les diverses pratiques des citoyens et des riverains, parfois peu respectueuses de l'environnement, contribuent aussi à la dégradation d'un lac. Citons, entre autres, le déboisement des bandes riveraines, l'épandage d'engrais et de pesticides sur les pelouses, les fosses septiques inefficaces ou mal entretenues et les divers travaux et constructions réalisés dans la rive et le littoral.

1.3. Typologie des hydrosystèmes :

1.3.1. Le Cycle de l'eau :

Une partie de l'eau précipitée retourne vers l'atmosphère, par évapotranspiration (Fig. 5). Le terme d'évaporation désigne les pertes en eau des nappes d'eau libres sous forme de vapeur (lacs, retenues, mares); alors que l'évapotranspiration regroupe les pertes du sol : absorption de l'eau par le couvert végétal ou animal, et restitution à l'atmosphère par transpiration. L'évapotranspiration est liée à un certain nombre de paramètres climatiques tels que température, vent, humidité, rayonnement etc.

L'eau non restituée à l'atmosphère migre sous forme :

- D'écoulements de surface rapides (rivières, ravines...), transitant parfois par des zones de stockage naturel (étangs, mares...) ou artificiel (retenues...);
- D'écoulements souterrains intervenant après infiltration; ces eaux sont souvent stockées en profondeur dans des réservoirs constitués de roches poreuses et perméables formant les aquifères.

Si elles ne sont pas utilisées par l'homme, les eaux souterraines parviennent finalement à la mer.

Le cycle de l'eau se poursuit : c'est le milieu marin qui, par évaporation, humidifie les masses d'air véhiculées par l'alizé. Par condensation, il y a formation de nuages, et éventuellement précipitation.

Établir le bilan en eau d'une région sur une période donnée, c'est chiffrer les quantités d'eau qui entrent et sortent des différents bassins versants qui la composent (le bassin versant d'une rivière est la zone à l'intérieur de laquelle l'eau précipitée s'écoule et converge vers la rivière).

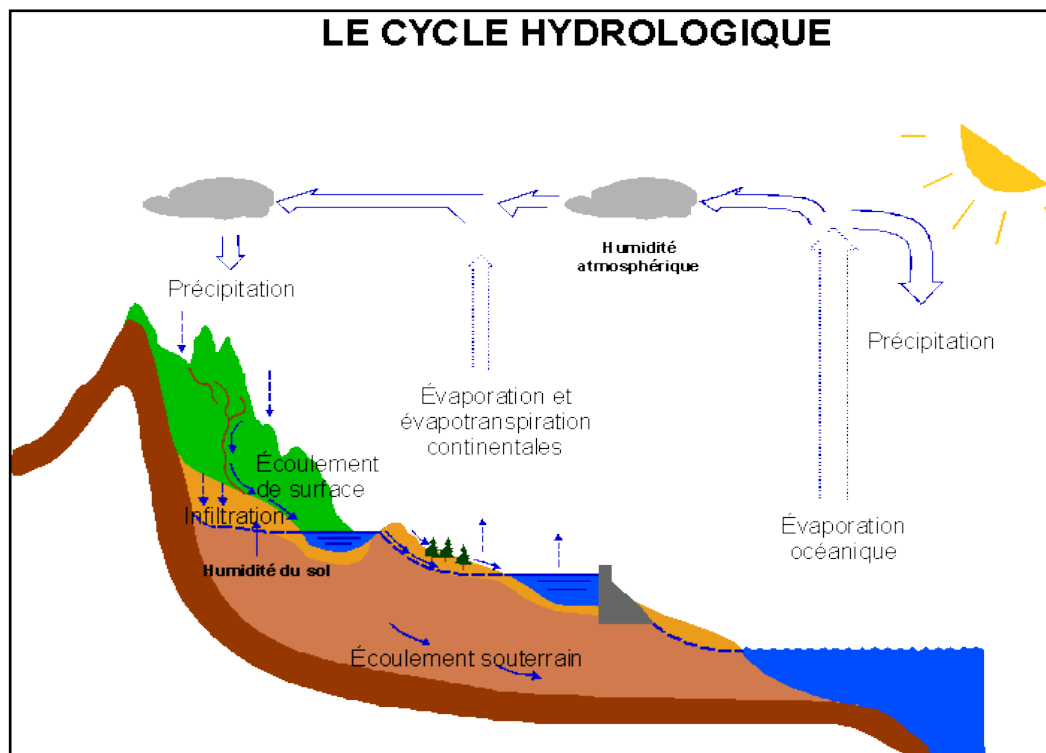


Figure 5. Le cycle hydrologique (medhycos.mpl.ird.fr).

Chacun des termes du bilan hydrologique est naturellement pondéré par divers paramètres climatiques et géographiques. Par exemple, la température est l'un des facteurs principaux du pouvoir évaporant de l'atmosphère, le relief conditionne les précipitations des masses nuageuses, et la nature de la couverture végétale influe sur les phénomènes d'interception et de transpiration.

Les durées de séjour de l'eau dans les différents compartiments du cycle sont très variables. En moyenne, elles sont de l'ordre de la semaine dans l'atmosphère, de plusieurs jours à plusieurs années dans les rivières selon la taille des bassins versants, des siècles à des millénaires dans les grands aquifères du sous-sol, d'une trentaine de siècles dans les océans.

1.4. Origine des lacs :

Les lacs ont connu des genèses diverses, ils sont issus de mouvements d'origine tectoniques, volcaniques, glaciaires ou de la résultante d'un glissement de terrain ou d'une érosion fluviale.

La naissance d'un lac est d'abord liée à celle d'une contre-pente qui empêche l'écoulement des eaux et d'une nécessaire imperméabilité des terrains sous-jacents. La diversité actuelle des plans d'eau du bassin provient de leurs histoires géologiques différentes.

La tectonique a eu un rôle déterminant pour les sites propices à une installation lacustre : un petit bassin d'effondrement, une zone de subsidence, une cuvette synclinale. Les périodes glaciaires quaternaires ont remodelé certains types de plans d'eau.

Une classification des lacs peut se faire sur le type d'événement géologique qui a entraîné leur formation :

1. Volcaniques : Les lacs d'origine volcanique (Fig. 6) peuvent se former de deux façons : par exemple, le lac Pavin (France) se situe dans un cratère, tandis que le lac Chambon (France) est retenu par une coulée volcanique qui forme un barrage.



Figure 6. Un lac volcanique (maxisciences.com).

2. **Glaciaires** : Les lacs glaciaires s'observent en montagne et en hautes latitudes, des milieux ayant connu le passage de glaciers. C'est le réchauffement climatique permanent qui a eu lieu depuis 10.000 ans qui a entraîné la fonte progressive des grands glaciers quaternaires. Ce phénomène a engendré de puissantes contre-pentes à l'intérieur de la montagne et dans sa périphérie. c'est l'exemple des Cent lacs en Italie.
3. **Tectoniques** : Beaucoup de lacs, généralement les plus profonds, sont issus d'affaissements avec failles, le Baïkal (Asie), le Tanganyika (Afrique) par exemple. La Mer Caspienne, la Mer d'Aral ou le Tchad sont des lacs d'origine tectonique sans faille.
4. **Alluvionnaires** : quand un cours d'eau, par exemple le fleuve Brenta en Vénétie (Italie), rencontre des dépôts alluvionnaires sur son cours, formant ainsi le lac de Levico et le lac de Caldonazzo.
5. **Karstiques** : un lac karstique est issu de la dégradation du substrat calcaire dissout par les eaux chargées en dioxyde de carbone, créant une dépression.
6. **Éolienne** (vent) : s'observent en régions arides à cause du vent qui crée des dépôts.
7. **Artificiels** : créés par des ouvrages construits par l'homme, souvent des barrages pour la production hydroélectrique. La différence entre lac naturel et une retenue artificielle est représentée dans la figure 7.

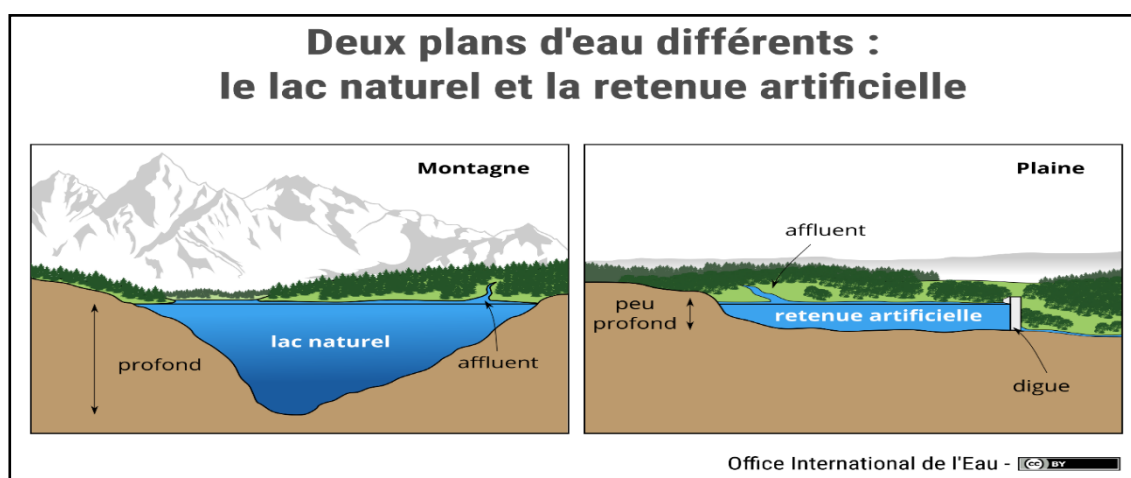


Figure 7. Photo représentant la différence entre lac naturel et une retenue artificielle.



LIMNOLOGIE

PHYSIQUE

ET CHIMIQUE

Cours 2 : Limnologie physique et chimique

La dynamique d'un lac est régie par un ensemble complexe de processus physiques, chimiques et biologiques qui sont intimement liés les uns aux autres. Il importe donc de connaître ces propriétés, mais également les liens qui les unissent, afin de prendre des décisions éclairées concernant la gestion d'un lac.

2.1. Limnologie physique :

Un lac est avant tout défini par sa morphométrie, c'est-à-dire sa superficie, sa forme et sa profondeur. La température, la lumière et la transparence constituent d'autres propriétés physiques qui sont également propres à chaque lac. Ces propriétés jouent un rôle important dans la dynamique d'un lac et peuvent influencer son état (qualité de l'eau et état des écosystèmes aquatiques).

2.1.1. Caractéristiques morphométriques :

La morphométrie d'un lac (profondeur, superficie, périmètre, forme, volume etc.) influence, entre autres, le temps de rétention de l'eau, la stratification thermique et la productivité du lac. Elle donne aussi des indications sur le comportement qu'un lac aura relativement à diverses pressions. Effectivement, les lacs plus profonds et comportant un plus grand volume d'eau seront généralement en mesure de supporter de plus grands apports de polluants provenant du bassin versant.

2.1.2. Facteurs climatiques :

2.1.2.1. Température :

Les lacs des climats tempérés (comme ceux du Québec) et suffisamment profonds tendent à se stratifier au cours de la période estivale. En effet, différentes couches d'eau (strates

horizontales) se mettent en place au fur et à mesure que l'eau se réchauffe. Il y a généralement formation de trois couches distinctes dans les lacs au cours de l'été (Fig. 8) : l'épilimnion (couche de surface), l'hypolimnion (couche la plus profonde) et le métalimnion ou thermocline (zone de transition entre l'épilimnion et l'hypolimnion).

Cette stratification thermique agit comme une barrière physique, empêchant le mélange des diverses couches d'eau. Conséquemment, les couches formées présentent des caractéristiques différentes les unes des autres.

Pendant l'été, l'épilimnion devient chaud, tandis que l'hypolimnion présente des températures plus fraîches (Fig. 9). Ces deux couches ne se mélangent pas, générant un gradient de température vertical : la température de l'eau n'est donc pas la même de la surface vers le fond. Cependant, à l'automne et habituellement au printemps, il se produit un brassage des couches d'eau du lac, pendant lequel la température est uniforme sur la totalité de la colonne d'eau. Ce brassage a des répercussions sur les autres caractéristiques physicochimiques du lac. Par exemple, il mélange le phosphore présent dans la couche profonde du lac aux autres couches situées plus en surface. Il favorise aussi un mélange de l'oxygène dissous dans l'ensemble du lac, ce qui permet de renouveler les concentrations d'oxygène dissous dans l'hypolimnion.

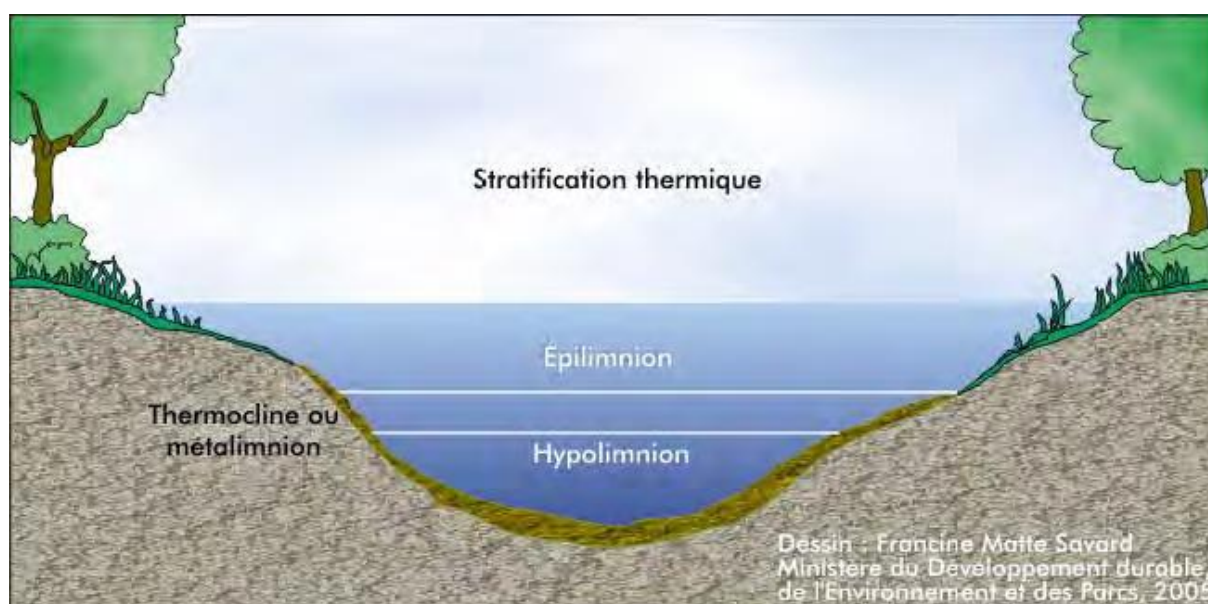


Figure 8. Stratification thermique d'un lac en été.

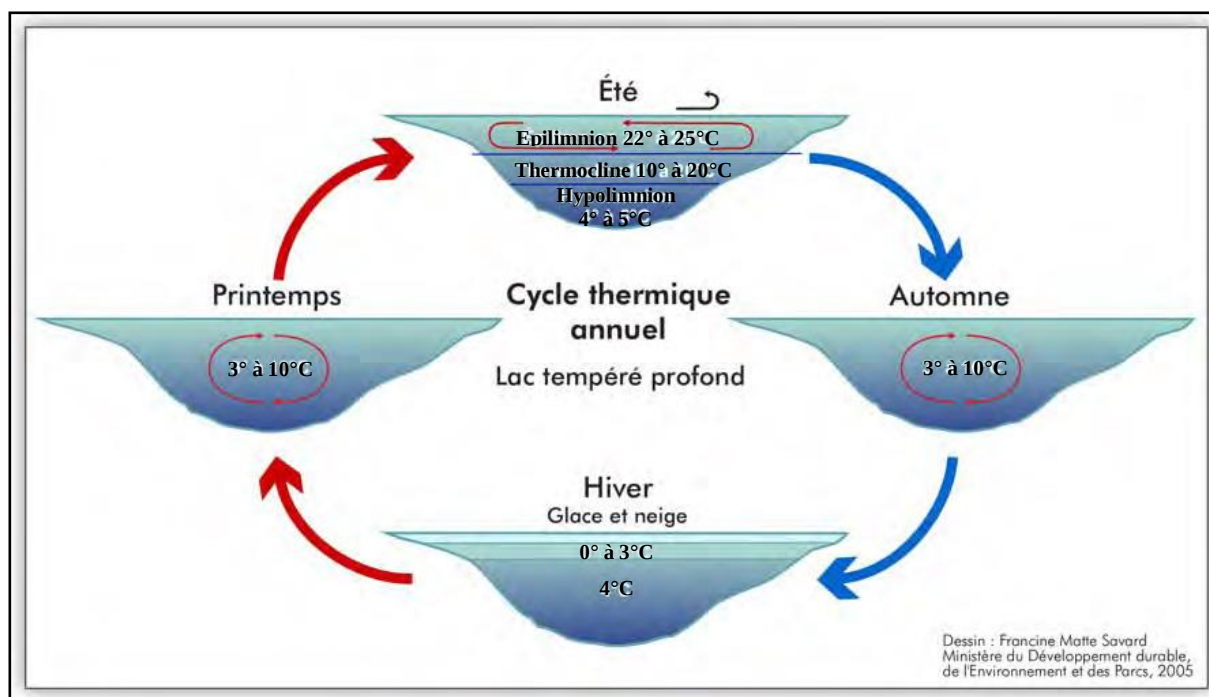


Figure 9. Cycle thermique annuel d'un lac.

2.1.2.2. Transparence et lumière :

La transparence de l'eau est une autre propriété physique importante à considérer. La transparence est fortement liée à la propriété de l'eau de transmettre la lumière. Une eau de faible transparence laisse passer peu de lumière. Puisque la lumière (ou le rayonnement solaire) est indispensable à la photosynthèse réalisée par les plantes aquatiques et les algues, la profondeur jusqu'où la lumière peut pénétrer dans un lac a des répercussions importantes sur la production biologique de ce dernier ainsi que sur la production d'oxygène dissous par les végétaux. Conséquemment, la transparence de l'eau joue un rôle dans le métabolisme d'un lac.

La transparence diminue suivant l'augmentation des quantités de matières en suspension dans l'eau. Une quantité élevée d'algues en suspension (phytoplancton) est un premier facteur ayant pour effet de diminuer la transparence de l'eau. La transparence varie aussi en fonction de la couleur de l'eau. En particulier, les particules organiques provenant de la décomposition de l'humus et de matières organiques dans le bassin versant donnent à l'eau

une coloration plus sombre (souvent brun orangé) et en diminuent la transparence. Finalement, la présence de diverses particules organiques ou inorganiques (détritus, sédiments) provenant de l'érosion des sols dans le bassin versant ou, dans certains cas (lacs peu profonds, par exemple), de la remise en suspension des particules déposées au fond du lac, influence également la transparence.

➤ Mesurer la transparence de l'eau :

On mesure la transparence de l'eau à l'aide d'un disque de Secchi. Il s'agit d'un disque noir et blanc d'un diamètre d'environ 20 cm, relié à une corde, qu'on laisse couler vers le fond du lac. La profondeur à laquelle le disque disparaît et réapparaît à la vue correspond à la transparence de l'eau. Les lectures de transparence se font aux stations d'échantillonnage situées dans les zones les plus profondes du lac.

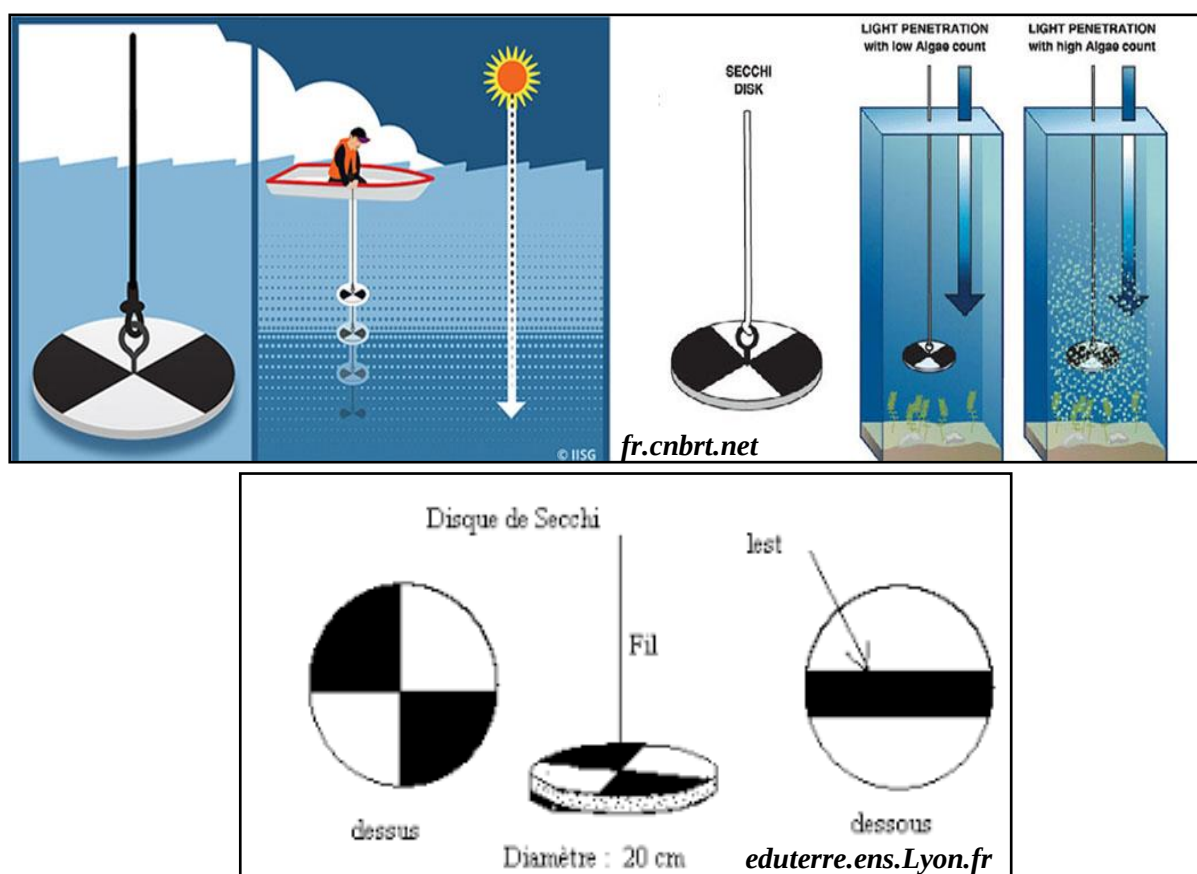


Figure 10. Disque de Secchi.

2.1.2.3. Vent :

Dans la plupart des lacs des climats tempérés, comme au Québec, il s'établit une stratification saisonnière de l'eau selon la température de celle-ci. Au cours de l'hiver, les lacs sont recouverts de glace et l'eau peut devenir stagnante, sa température étant de 0°C immédiatement sous la glace et, uniformément, de 4°C (ou un peu plus) en profondeur. Après la débâcle, l'action du vent à la surface de l'eau provoque un mélange (homogénéisation printanière) de l'ensemble de la masse d'eau. Le lac devient généralement isotherme (température égale sur toute la profondeur de l'eau) et chimiquement homogène.

Il est utile de se rappeler que la densité de l'eau douce (poids) est à son maximum lorsqu'elle atteint 4 °C. A cette température l'eau s'enfonce dans le lac.

Au printemps, l'énergie calorifique est absorbée par les couches supérieures du lac. Le vent constitue la principale source d'énergie répartissant la chaleur dans le lac. Il produit des courants qui déplacent les eaux de surface plus chaude en obligeant les couches plus froides à remonter à la surface du lac pour subir le réchauffement. Il s'établit un contre-courant sous la surface provoquant l'échange de chaleur. Dans les lacs suffisamment profonds, plus de 5 m au Québec, il se forme une couche limite (thermocline), par suite des gradients de densité dus à l'accumulation de chaleur; entre la couche superficielle mélangée (épilimnion) et la masse d'eau sous-jacente (hypolimnion) qui est plus froide et moins mélangée.

À l'automne, l'arrivée de températures plus froides entraîne des changements de densité de l'eau et une dé-stratification thermique. Vers la fin de l'automne, l'eau commence à redevenir isotherme et le lac est mélangé de nouveau (homogénéisation automnale).

La biologie d'un lac dépend beaucoup de la thermocline qui constitue une barrière au déplacement de l'oxygène dissous, des solutés et des toxiques ainsi qu'à la distribution de chaleur entre l'épilimnion et l'hypolimnion. La photosynthèse se fait principalement, mais non

pas exclusivement, dans les couches supérieures d'un lac (couches trophogènes). Les facteurs régissant le processus dépendent des espèces de phytoplancton présentes, de la pénétration de la lumière, de la disponibilité des substances nutritives, de la température et de l'interaction entre les divers besoins du phytoplancton.

2.1.3. Courantologie :

Bien que stagnante, l'eau des lacs connaît de nombreux mouvements internes. Outre les **courants** créés par les cours d'eau, en amont ou en aval, et les **sources** souterraines, il peut se produire des tourbillons ou des ondes dus à diverses causes, parmi lesquelles l'action du vent à la surface de l'eau (Fig. 11). En outre, les lacs sont sujets à une série de mouvements, véritables déplacements périodiques d'eau d'un côté à l'autre du bassin, observables comme de réelles dénivellations d'une partie à l'autre de la côte. Dans le lac de Bolsena, malgré sa taille relativement limitée, on a ainsi enregistré des variations de niveau allant jusqu'à 50 cm.

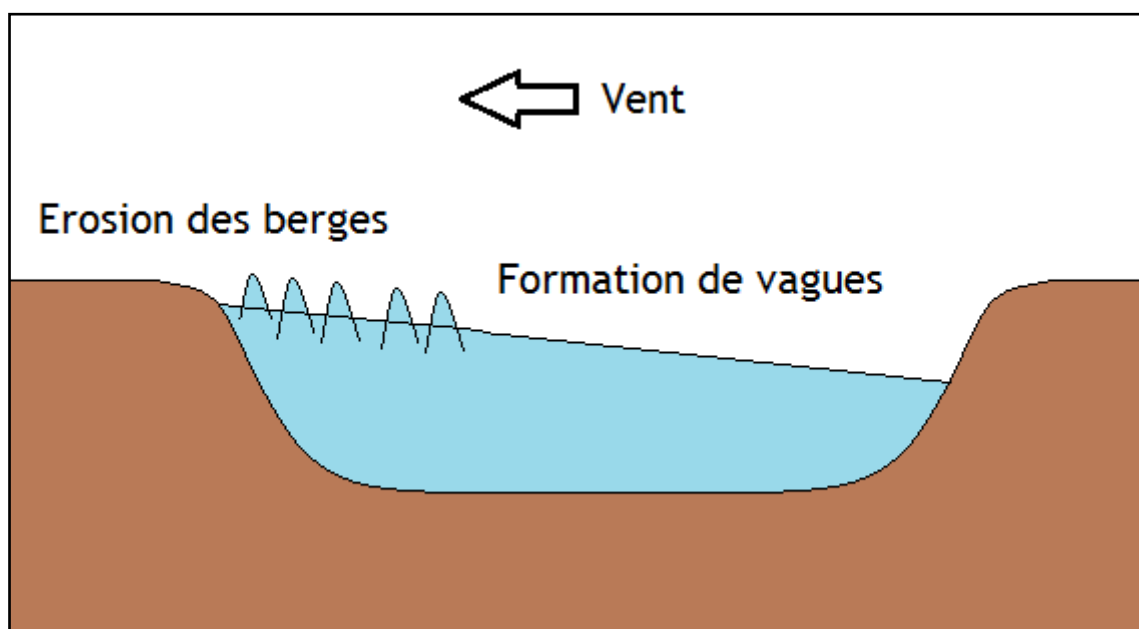


Figure 11. Ce schéma montre comment les vents peuvent former des vagues à la surface d'un lac, et comment le vent pousse les eaux sur les berges. Par Mewtow -Travail personnel, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=48780819>

Enfin, les différentes couches d'eau se déplacent en profondeur en raison des différences de température en fonction de la profondeur, de la journée et des saisons.

D'après **François-Alphonse Forel**, « en opposition avec les **fleuves, rivières** et autres eaux courantes, les lacs sont formés d'eaux stagnantes ; ces eaux ne sont pas entraînées dans une direction toujours la même ». L'eau des courants lacustres change souvent de direction, à cause des changements de direction du vent, des obstacles rencontrés (côte, île, etc.) et des variations de températures entre différentes zones.

De nos jours, il est proposé d'employer à la place de « **masse d'eau** » le terme de plan d'eau, ou **nappe** d'eau, du fait que de grands mouvements existent mais ne suivent pas une pente comme un cours d'eau.

2.1.4. Les grandes masses d'eaux :

2.1.4.1. Dans le monde :

Le plus grand lac du monde est la mer Caspienne 371000 Km², partagés par l'Azerbaïdjan, l'Iran, le Kazakhstan, la Russie et le Turkmenistan. Trois autres lacs du monde possèdent une superficie supérieure à 60000 Km² : Michigan-Huron (117 702 Km²), le lac supérieur (82 414 Km²) et la lac Victoria (69 485 Km²) (Tab. 1). Ce dernier recense uniquement les lacs dont la superficie est supérieure ou égale à 3 000 Km².

Tableau 1. Classement des lacs du monde par superficie (Source : Encyclopedia of inland waters, University of British Columbia University, University of Michigan, 2009).

RANG	LAC	ÉTAT(S)	SUPERFICIE (KM ²)
1	Mer Caspienne [1]	Azerbaïdjan, Iran, Kazakhstan, Russie, Turkménistan	371 000
2	Michigan-Huron [2]	Canada, États-Unis	117 702
3	Supérieur	Canada, États-Unis	82 414
4	Victoria	Kenya, Ouganda, Tanzanie	69 485
5	Tanganyika	Burundi, Congo (RDC), Tanzanie, Zambie	32 893
6	Baïkal [3]	Russie	31 500
7	Grand lac de l'Ours	Canada	31 080
8	Malawi	Malawi, Mozambique, Tanzanie	30 044
9	Grand Lac des Esclaves	Canada	28 930
10	Érié	Canada, États-Unis	25 719
11	Winnipeg	Canada	24 514
12	Ontario	Canada, États-Unis	19 477
13	Balkhach	Kazakhstan	18 428
14	Ladoga	Russie	18 130
15	Aral [4]	Kazakhstan, Ouzbékistan	17 160
16	Vostok [5]	Antarctique	15 690
17	Maracaïbo	Venezuela	13 210
18	Tonlé Sap	Cambodge	13 000
19	Lagoa dos Patos	Brésil	10 140
20	Onega	Russie	9 891

Suite tableau 1 :

21	Bangwelo	Zambie	9 840
22	Eyre	Australie	9 500
23	Volta [6]	Ghana	8 502
24	Titicaca	Bolivie, Pérou	8 135
25	Lac Nicaragua	Nicaragua	8 624
26	Athabasca	Canada	7 920
27	Smallwood	Canada	6 527
28	Reindeer	Canada	6 500
29	Kouïbychev	Russie	6 450
30	Turkana	Kenya	6 405
31	Yssyk Koul	Kirghizistan	6 200
32	Orumieh	Iran	6 001
33	Mar Chiquita	Argentine	6 000
34	Torrens	Australie	5 745
35	Vänern	Suède	5 545
36	Bukhtarmal	Kazakhstan	5 490
37	Bratsk	Russie	5 470
38	Winnipegosis	Canada	5 403
39	Kariba	Zambie, Zimbabwe	5 400
40	Albert	Ouganda, Congo (RDC)	5 299
41	Nasser	Égypte, Soudan	5 248
42	Poyang	Chine	5 100

Suite tableau 1 :

43	Nettilling [7]	Canada	5 051
44	Nipigon	Canada	4 843
45	Manitoba	Canada	4 706
46	Grand Lac Salé	États-Unis	4 662
47	Moero	Congo (RDC), Zambie	4 650
48	Qinghai	Chine	4 635
49	Rybinsk	Russie	4 580
50	Saimaa	Finlande	4 400
51	Dongting	Chine	4 350
52	Lac des Bois	Canada, États-Unis	4 350
53	Caniapiscau	Canada	4 318
54	Guri	Venezuela	4 250
55	Sobradinho	Brésil	4 220
56	Khanka	Chine	4 190
57	Dubawnt	Canada	3 838
58	Van	Turquie	3 755
59	Tana	Éthiopie	3 630
60	Peïpous	Estonie, Russie	3 555
61	Uvs Nuur	Mongolie, Russie	3 350
62	Amadjuak	Canada	3 115
63	Melville	Canada	3 069
© Atlasocio.com			

Notes : [1] La mer Caspienne est juridiquement considérée comme un lac et non une mer.

[2] Le lac Huron (59 600 km²) et le lac Michigan (58 000 km²) forment une entité hydrologique unique. En effet, leurs eaux peuvent circuler dans les deux sens par le chenal de 8 kilomètres de long et de 40 mètres de profondeur qui les relie. À noter qu'au sein du lac Huron se situe l'île Manitoulin, la plus grande île lacustre au monde.

[3] Le lac Baïkal est le lac le plus profond et celui qui possède le plus grand volume d'eau douce du monde.

[4] Dans les années 1960, la mer d'Aral formait la quatrième plus vaste étendue lacustre du monde avec une superficie de 66 458 km². Cependant, après le détournement des deux fleuves l'alimentant (Amou-Daria et Syr-Daria) afin de produire du coton, la mer d'Aral a peu à peu perdu 75 % de sa surface, 14 mètres de profondeur et 90 % de son volume: 28 687 km² en 1998, 17 160 km² en 2004.

[5] Le lac Vostok est le plus grand lac subglaciaire du monde.

[6] Le lac Volta est le plus grand lac de barrage du monde.

[7] Localisé sur l'île de Baffin, le lac Nettilling est le plus grand lac du monde situé sur une île.

2.1.4.2. En Afrique :

Le plus grand lac d'Afrique est le lac Victoria avec 69 485 Km², partagé par le **Kenya**, l'**Ouganda** et la **Tanzanie**. Deux autres lacs du continent africain possèdent une superficie supérieure à 30 000 Km² : Le lac Tanganyika (32 893 Km²), et le lac Malawi (30 044 Km²) (Tab. 2).

Tableau 2. Classement des lacs d'Afrique par superficie (Source : Encyclopedia of inland waters, University of British Columbia University, University of Michigan, 2009).

RANG	LAC	ÉTAT(S)	SUPERFICIE (KM ²)
1	Victoria	Kenya, Ouganda, Tanzanie	69 485
2	Tanganyika	Burundi, Congo (RDC), Tanzanie, Zambie	32 893
3	Malawi	Malawi, Mozambique, Tanzanie	30 044
4	Bangwelo	Zambie	9 840
5	Volta [1]	Ghana	8 502
6	Turkana	Kenya	6 405
7	Kariba	Zambie, Zimbabwe	5 400
8	Albert	Ouganda, Congo (RDC)	5 299
9	Nasser	Égypte, Soudan	5 248
10	Moero	Congo (RDC), Zambie	4 650
11	Tana	Éthiopie	3 630
12	Rukwa	Tanzanie	2 600
13	Lac Tchad [2]	Cameroun, Niger, Nigeria, Tchad	1 350
14	Eyasi	Tanzanie	1 050
© Atlasocio.com			

Sources : Gene E. Likens, *Historical Estimates of Limnicity*, Encyclopedia of inland waters, Amsterdam, 2009 ; William M. Marsh and Martin M. Kaufman, *Physical geography: great systems and global environments*, University of British Columbia, University of Michigan, 2012 ; Frits van der Leeden, *The Water Encyclopedia*, Second Edition, 1990.

Notes : [1] Le lac Volta est le plus grand lac de barrage du monde.

[2] La superficie du lac Tchad a continuellement diminué à partir des années 1960 : 22 903 km² en 1963, 4 000 km² en 2001, 2 500 km² en 2008, 1 350 km² à 1 540 km² en 2015.

2.2. Limnologie chimique :

2.2.1. Nature chimique des eaux :

Un lac comporte de nombreuses caractéristiques chimiques. Les nutriments, l'oxygène dissous et le pH en sont quelques exemples. La présence de contaminants constitue aussi une caractéristique chimique d'un lac ; toutefois ; les contaminants ne sont pas caractéristiques de tout lac.

La composition chimique d'une eau, avant toute perturbation anthropique, est contrôlée par son milieu environnemental (atmosphère, biosphère, sols et roches). En suivant le cycle de l'eau (*cours 1, fig. 5, P 9*), depuis l'atmosphère vers les eaux continentales puis les océans, la concentration des eaux en éléments majeurs et traces et leur composition chimique changent grandement. Les précipitations atmosphériques sont faiblement concentrées en éléments majeurs (du $\mu\text{g/L}$ au mg/L) et majoritairement composées d'ions sodium (Na^+), chlorure (Cl^-) et sulfate (SO_4^{2-}), alors que les rivières et les nappes sont plus concentrées (10 à 10^2 mg/L) et composées surtout d'ions calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}) et bicarbonate (HCO_3^-) (Tab. 3).

Tableau 3. Moyennes mondiales (mg/L) des concentrations des eaux de pluies et de rivières et des eaux marines en éléments majeurs (SiO_2 : silice dissoute, Ca : calcium, Mg : magnésium, Na : sodium, K : potassium, Cl : chlorures, SO_4 : sulfates) et en carbone (CID : carbone inorganique dissous, COD : carbone organique dissous).

	SiO_2	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO_4	CID	COD
Précipitations atmosphériques	0,3	0,31	0,26	1,46	0,135	2,6	1,37	0,20	1,93
Fleuves et rivières	10,4	13,5	3,6	7,4	1,35	9,6	8,7	10,2	5,37
Océans	4,24	400	1336	11500	390	19775	2784	25,1	0,94

Source : <http://books.openedition.org/editions-cnrs/docannexe/image/9980/img-1.jpg>.

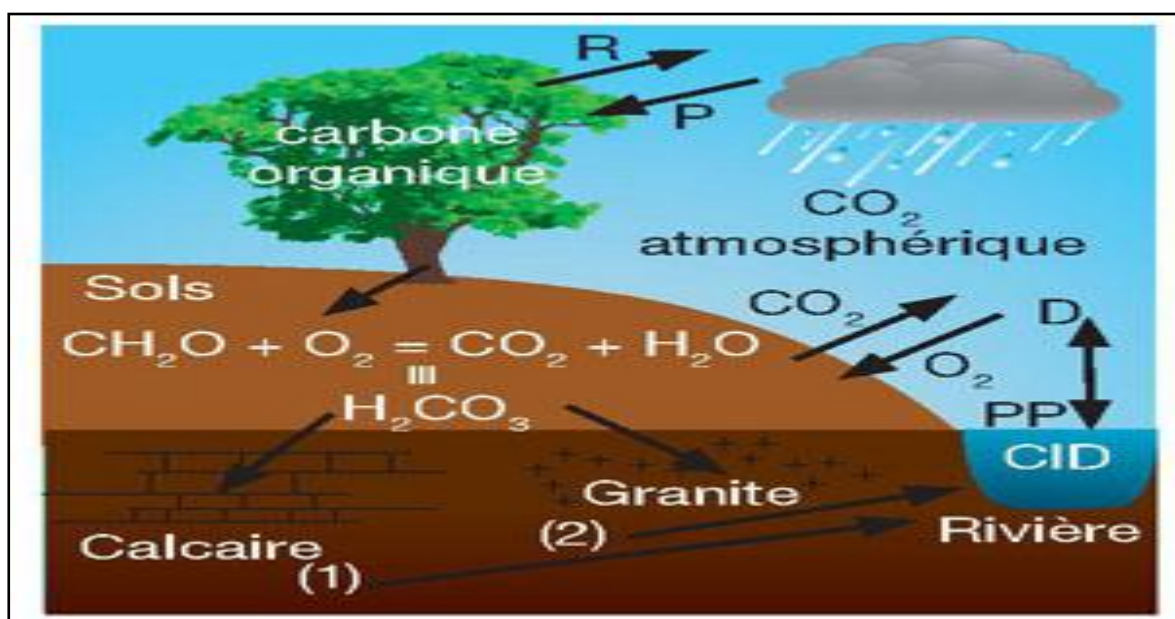
Les eaux d'origine fluviale, une fois déversées dans les océans, voient leur concentration augmenter par évaporation. La teneur en sels dissous des océans atteint 35 g/L et leur composition est chlorurée-sodique (87 % de NaCl), car les minéraux les moins solubles, comme les carbonates précipitent. Il reste alors en solution dans l'eau de mer les minéraux les plus solubles, comme le sel NaCl.

2.2.1.1. Facteur et processus de contrôle :

La composition naturelle des précipitations est contrôlée par des gradients côte-intérieur, dus à la diminution des teneurs en chlorure d'origine océanique et à l'augmentation relative d'ions de sources continentales (comme le calcium) et par des gradients altitudinaux, correspondant à l'augmentation des précipitations (effet de dilution) et à la diminution des poussières d'origine continentale. Les concentrations des différents ions, à l'exception du calcium, diminuent des côtes vers l'intérieur des terres, mais leur rapport avec la concentration en chlorure issu des océans augmente. Ces eaux de pluies alimentent les rivières et leur teneur en éléments est concentrée par évapotranspiration. En l'absence de roches évaporitiques contenant du sel, le chlorure des rivières provient des pluies. Les eaux de pluies peuvent aussi se charger en éléments, en passant à travers la canopée des arbres, lessivant ainsi les dépôts secs d'éléments fixés sur les végétaux et gagnant ou perdant des éléments par échange avec le feuillage. Ces « pluviolessivats » ont des teneurs 3 à 10 supérieures aux pluies, notamment pour le potassium, le sulfate et le chlorure.

Les eaux de pluies et pluviolessivats percolent ensuite dans les sols et se chargent en acide carbonique (H_2CO_3), acide faible naturel issu de la minéralisation/oxydation des matières organiques. Ces solutions de sols, acides et riches en CO_2 , participent à l'hydrolyse et à la dissolution des minéraux des roches, libérant dans les rivières et les nappes des cations, de la silice (SiO_2) et du carbone inorganique dissous (CID). Ces processus d'altération contrôlent la

composition chimique des eaux continentales et la consommation de CO_2 atmosphérique (Fig. 12).



Source URL: <http://books.openedition.org/editions-cnrs/docannexe/image/9980/img-2.jpg>

Figure 12. Acquisition de la composition chimique des eaux par l'altération des roches carbonatées (1) et des roches silicatées (2), sous l'action de l'acide carbonique (H_2CO_3) produit par la minéralisation de la matière organique dans les sols (en orange). Cette altération libère du carbone inorganique dissous (CID) dans les rivières. P : photosynthèse, R : respiration, D : dégazage de CO_2 , PP : production de phytoplancton.

Ainsi, dans les eaux drainant des roches silicatées, les bicarbonates HCO_3^- libérés proviennent totalement du CO_2 atmosphérique, alors qu'ils ne représentent que la moitié seulement pour les eaux drainant les roches carbonatées, l'autre moitié venant des carbonates des minéraux. Le pourcentage de HCO_3^- issu du CO_2 atmosphérique varie donc de 50 à 100 % en fonction de la nature des roches : 67 % pour l'ensemble des continents ainsi que le bassin de l'Amazonie, 57 % sur la Garonne (carbonates plus abondants) et 77 % sur le Congo (silicates plus abondants). L'altération des roches libère des éléments en solution dans les rivières et forme des minéraux secondaires dans les sols, notamment des argiles*, des oxydes de fer et d'aluminium. Le type et le taux d'altération dépendent de l'intensité des pluies, du drainage* et de la température. Plus le climat est chaud et humide, plus le degré d'altération est avancé et

plus son intensité est élevée, passant dans les sols de la formation d'argiles à la formation d'oxydes de fer et d'aluminium. Sur roches granitiques par exemple, il est possible de caractériser ces différents types d'altération à partir de la composition des eaux qui s'écoulent, en calculant le rapport moléculaire (RE) entre cations et silice. Ce rapport est équivalent au rapport moléculaire entre silice et alumine des minéraux secondaires formés dans les sols. Enfin, les composés organiques sont essentiellement fournis, dans des conditions naturelles, par la minéralisation des matières organiques, qui libèrent principalement dans les eaux du carbone organique dissous (COD), du carbone organique particulaire (COP), de l'azote organique et du nitrate, et par la production de plancton. Le flux de COD est directement proportionnel à l'intensité du drainage et au stock de carbone organique dans les sols. Les teneurs en azote et en phosphore des eaux naturelles restent faibles (du $\mu\text{g/L}$ au mg/L). Les feux de forêts peuvent aussi libérer des composés organiques, dont la composition moléculaire est assez différente de celle des sols ou des tourbières. La composition du COD varie suivant la source et la nature des processus qui ont conduit à sa libération dans les eaux. La nature de la végétation (forêt de feuillus ou de résineux, toundra, steppes, savanes, prairies...), l'âge de la matière organique des sols et son degré d'évolution jouent un rôle important sur la composition du COD et COP dans les eaux.

2.2.1.2. Modification naturelles de la composition des eaux :

Après acquisition de la signature géochimique, la composition des eaux de rivières peut être modifiée lors de leurs transferts de l'amont vers l'aval par différents processus chimiques, physiques et biologiques naturels, comme le dégazage de CO_2 à l'interface eau/atmosphère, et aussi la production phytoplanktonique, la formation de diatomées, les échanges avec la végétation riveraine et les macrophytes aquatiques, ou encore les échanges avec les nappes souterraines, les apports d'affluents à signatures géochimique et biologique différentes, ainsi que les interactions entre éléments dissous-matières en suspension et/ou

sédiments de fond, la précipitation ou la dissolution de minéraux, les interactions avec les biofilms de rivières ; ou la dégradation des litières en milieux aquatiques. La composition chimique de l'eau est fortement modifiée à l'échelle temporelle lors des événements de crues, en raison de contributions variables des eaux venant de différents réservoirs et des écoulements : pluies, ruissellements de surface et subsurface (sols), nappes. Les processus d'érosion chimique et physique sont alors très actifs.

Enfin, de nos jours, les impacts anthropiques de nature diverse (contaminations diffuses par retombées atmosphériques, intrants agricoles, contaminations ponctuelles urbaines et industrielles...) perturbent ces équilibres et ces processus naturels, entraînant une modification importante de ces compositions chimiques naturelles de l'eau de pluie, des rivières, des nappes et des océans.

2.2.2. Facteurs abiotiques (O_2 , pH,) :

➤ *Les nutriments :*

Les nutriments (dont font partie l'azote et le phosphore) sont des éléments essentiels à la croissance des plantes aquatiques et des algues. Comme les plantes et les algues sont à la base de la chaîne alimentaire, on peut dire que les nutriments sont essentiels à la vie. Cependant, lorsque ceux-ci sont en trop grande abondance, une prolifération massive d'algues et de plantes peut se produire. Dans la plupart des lacs des régions tempérées, le phosphore est le nutriment le moins disponible. Conséquemment, il constitue l'élément limitant qui contrôle la croissance des végétaux dans la majorité des écosystèmes aquatiques. Une augmentation des concentrations de phosphore dans un lac, à la suite de rejets agricoles ou urbains, par exemple, générera donc une croissance rapide, voire une prolifération massive d'algues (dont les algues bleu-vert) et de plantes aquatiques.

➤ *L'oxygène dissous :*

L'oxygène dissous est essentiel à la survie de la faune aquatique. La dynamique de l'oxygène dans un lac varie en fonction de la profondeur du lac et de la période de l'année. En période de stratification thermique (période estivale), lorsque les différentes couches d'eau d'un lac ne se mélangent pas, l'oxygène dissous ne circule pas entre les différentes zones (verticalement) du lac. Ainsi, l'oxygène dissous est plus abondant en surface, là où il y a photosynthèse par les plantes aquatiques et les algues et où l'interface entre l'air et l'eau permet une certaine diffusion de l'oxygène dans l'eau. Dans l'hypolimnion, toutefois, la décomposition bactérienne et la respiration (utilisation de l'oxygène) sont plus importantes et consomment donc l'oxygène ambiant. Puisque l'hypolimnion se retrouve séparé de l'épilimnion (pas d'échanges entre les deux zones), ces conditions produisent un déficit en oxygène dans le fond du lac. À l'automne et au printemps, lorsque les couches d'eau du lac sont bien mélangées, l'oxygène dissous est réparti également dans l'ensemble de la colonne d'eau. Toutefois, un déficit d'oxygène est possible à nouveau pendant la période hivernale, lorsqu'il n'y a plus de brassage de la colonne d'eau. Le déficit en oxygène dissous dans l'hypolimnion d'un lac peut être accentué par divers facteurs. En particulier, une forte production primaire (plantes et algues, liée à l'eutrophisation) générera de plus grandes quantités de matière organique. Lorsque ces organismes meurent et sédimentent à l'automne, la décomposition de cette matière organique s'amorce et génère, dans certains lacs, un sévère déficit en oxygène durant l'hiver. Le déficit en oxygène dissous peut aussi être lié à la morphologie du lac. Par exemple, les lacs peu profonds et/ou dont l'hypolimnion est réduit tendent à être plus vulnérables lorsqu'il y a un déficit sévère en oxygène dissous. L'hypolimnion étant plus petit, l'oxygène dissous y est plus rapidement consommé.

Tableau 4. Solubilité de l'oxygène dans l'eau en fonction de la température (IBGE, 2005).

Température (°C)	Solubilité (mg O ₂ / l)
0	14,16
5	12,37
10	10,92
15	9,76
20	8,84
25	8,11

➤ *L'acidité de l'eau (pH) :*

Le pH (mesure de l'acidité de l'eau) est un autre facteur influençant l'écologie d'un lac. L'intervalle de pH nécessaire au maintien (bonne santé) de la vie aquatique varie entre 6,5 à 9,0 (critère de protection de la vie aquatique – effet chronique [MDDEP 2006a]). Au-dessus ou au-dessous de ces niveaux, diverses fonctions biologiques, telles que la respiration ou la reproduction, peuvent être altérées. La présence de calcaire dans le bassin versant d'un lac peut prévenir l'acidification de ce dernier, car ce type de roche est majoritairement composé de CaCO₃, un composé tampon qui neutralise l'acidité. Les lacs dont le bassin versant est constitué de roches à haute teneur en silice (le granite du Bouclier canadien, par exemple) ne contiennent que peu ou pas de ce composé tampon et sont donc sensibles à l'acidification.



LIMNOLOGIE

BIOLOGIQUE

Cours 3 : Limnologie biologique

Nous avons décortiqué dans le chapitre précédant un aspect physique et chimique par rapport milieu aquatique et ces actions sur les êtres vivants : ors pour aborder la complexité du milieu aquatique faudrait donc prendre en considération un aspect biologique (facteur biotique) du milieu aquatique synonyme d'une diversité aquatique importante d'où la limnologie biologique,

La limnologie biologique relève donc brillamment ce défi en présentant les bases essentielles de la connaissance des organismes aquatiques d'une manière structurée, la compréhension des interactions qu'ils entretiennent entre eux, et enfin les relations avec leur environnement.

3.1. Caractéristiques biologiques d'un lac :

Un lac est constitué de communautés variées de plantes et d'animaux. Près de la rive, on trouve des **communautés littorales**, où les plantes aquatiques et les algues sont abondantes. Ces communautés sont composées de différents herbiers (nénuphars, potamots, rubaniers, par exemple) qui constituent un habitat d'importance pour de nombreux insectes, crustacés, reptiles, batraciens et poissons. Les plantes de la zone littorale produisent également de l'oxygène, favorable à la survie de la faune aquatique.

La zone littorale, puisqu'elle abrite insectes et petits poissons fourragers, constitue en quelque sorte un garde-manger pour les plus gros poissons qui fréquentent cette partie du lac. Il est donc important de maintenir l'intégrité du littoral, sans quoi la santé du lac en entier serait touchée.

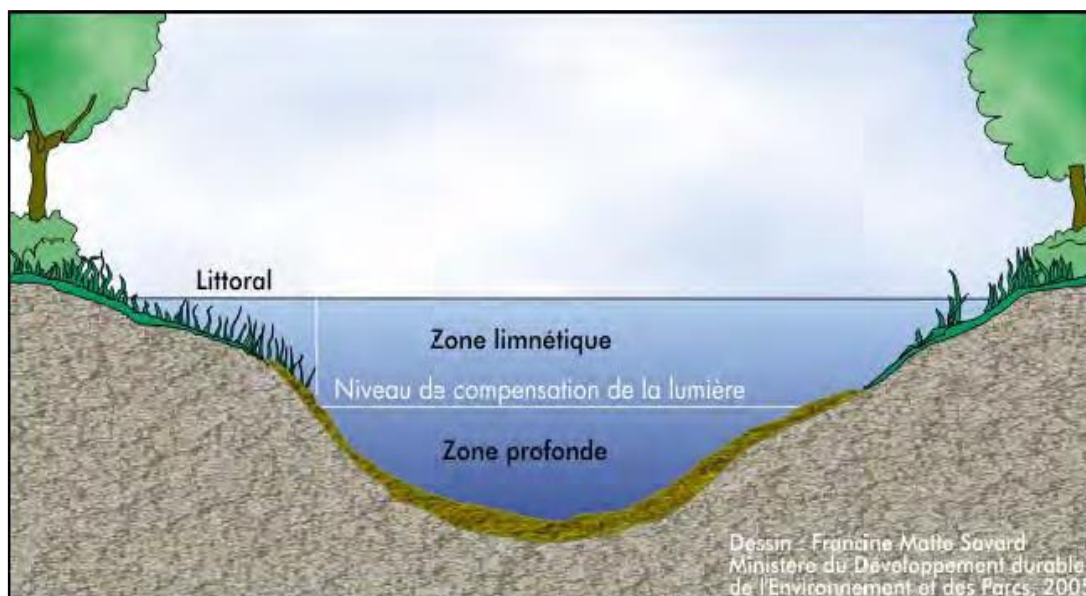


Figure 13. Principales zones d'un lac.

3.2. Les principaux groupes microbiens (procaryotes – Mycètes....) :

Les micro-organismes ont été les premières formes de vie sur Terre. Ils vivent dans tous les milieux (eau, terre, air, aliments et êtres humains).

Leur taille est de l'ordre du micromètre (μm soit 10^{-6} m) à l'exception des virus dont la taille est de l'ordre du nanomètre (nm soit 10^{-9} m).

Définition de micro-organismes : Un micro-organisme, germe ou microbe est un organisme invisible à l'œil nu, ne pouvant être observé qu'au microscope.

Définition de Flore : Ensemble des micro-organismes vivant sur une surface donnée.

Chaque flore peut être à l'origine d'une contamination des denrées alimentaires.

Contaminant	Flore concernée
Main	Flore cutanée
Bouche	Flore buccale
Nez	Flore nasale
Intestins	Flore intestinale
Air	Flore aérobie

3.2.1. Les différentes familles de micro-organismes :

a) La différence entre procaryote et eucaryote :

On distingue chez les micro-organismes les procaryotes des eucaryotes :

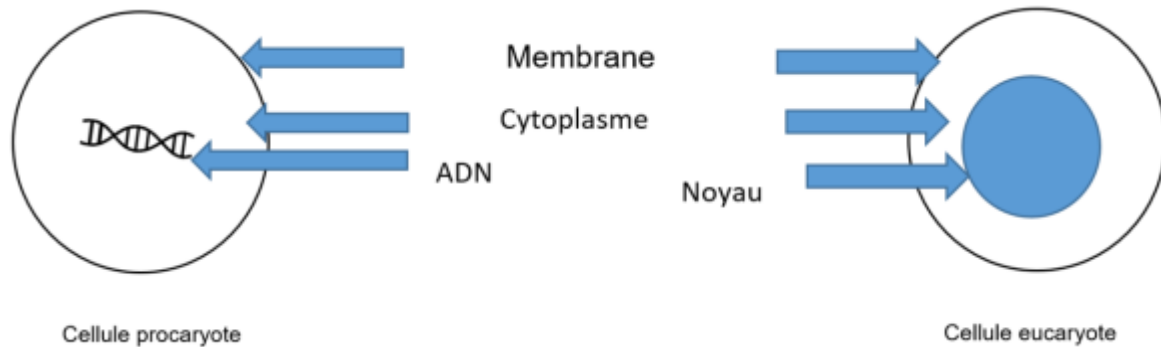


Figure 14. La différence entre procaryote et eucaryote (Cruzel, 2019).

Tous les micro-organismes sont eucaryotes SAUF les bactéries, qui sont procaryotes et les virus qui ne sont pas des formes de vies.

Les différentes catégories de micro-organismes :

➤ **Procaryotes :**

✚ Bactéries,

➤ **Eucaryotes :**

✚ Champignons (ou mycètes) :

- Levures,
- Moisissures

✚ Protozoaires (ou protistes),

✚ Micro-algues,

➤ **Virus.**

b) Les bactéries :

Elles sont procaryotes. Elles sont de forme variée. La plupart sont pathogènes et responsables de **toxi-infections alimentaires (TIA/TIAC)** Exemple : *E. coli*, *Listeria*, *Clostridium botulinum*.

Certaines bactéries sont utiles pour l'Homme comme les bactéries de notre **flore intestinale**, qui nous aide à digérer les aliments.

Tableau 5. Les différentes formes des bactéries (Cruzel, 2019).

NOM	FORME	EXEMPLES
Coque	Arrondie 	<u>Staphylocoque doré</u> Streptocoque Meningocoque
Bacille	Cylindrique 	<u>E. coli</u> <u>Clostridium botulinum</u>
Spirille	En spirale 	Tréponème

Les bactéries peuvent se regrouper en grappes et en chaînettes :



Une grappe de coques



Des bacilles en chaînettes

Figure 15. Les regroupements de bactéries (Cruzel, 2019).

***La paroi des bactéries :**

La plupart des bactéries ont une paroi au-dessus de leur membrane. C'est un élément de protection supplémentaire qui renforce leur pouvoir pathogène et invasif.

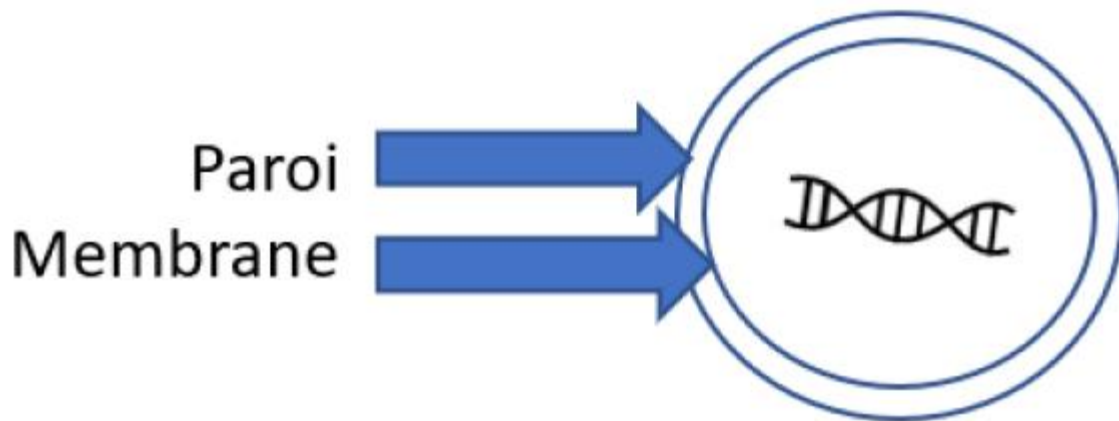


Figure 16. La paroi des bactéries (Cruzel, 2019).

***Les colonies :**

Les bactéries à force de se multiplier forment des amas de milliers de bactéries que l'on peut distinguer à l'œil nu : ce sont des colonies.

c) Les champignons microscopiques (ou mycètes) :

Ce sont des micro-organismes eucaryotes. On distingue parmi eux les moisissures et les levures.

1) Les moisissures :

Aspect filamenteux (*mycelium*) recouvert de spores qui vont former un nouveau *mycelium* en se dispersant. Organisme pluricellulaire.

On distingue les bonnes moisissures (utiles à l'homme), et les mauvaises moisissures:

- **Bonnes moisissures :** en fromagerie (*Penicillium camembertii*, *Penicillium roquefortii*) et fabrication d'antibiotiques (Pénicilline)
- **Mauvaises moisissures :** responsables d'altération des aliments comme les fruits et légumes (*Aspergillus niger*).

2) Les levures :

Forme arrondie. Organisme unicellulaire eucaryote.

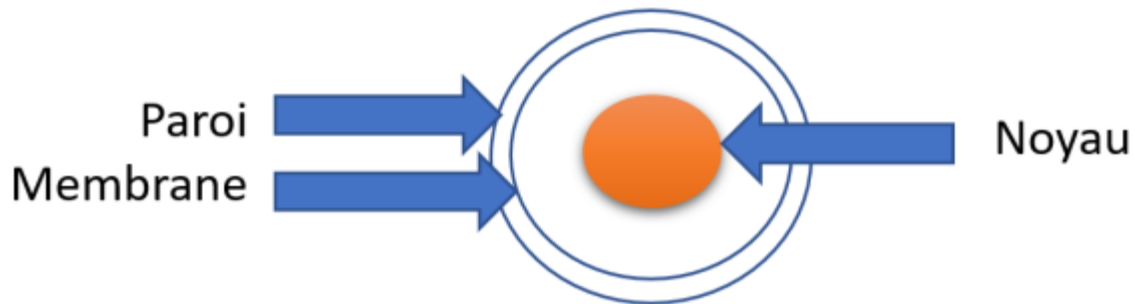


Figure 17. Représentation schématique d'une cellule de levure (Cruzel, 2019).

*On distingue les bonnes levures (utiles à l'homme), et les mauvaises levures :

-**Bonnes levures** : en boulangerie, la levure de boulanger (*Saccharomyces cerevisiae*)

-**Mauvaises levures** : responsables d'altération des aliments comme les fruits et légumes, et de maladies comme les mycoses (*Candida albicans*).

d) Les protozoaires :

Ce sont des animaux microscopiques et mobiles, eucaryotes unicellulaires. Ils vivent souvent dans l'eau et certains sont très pathogènes :

- Le toxoplasme, donnant la toxoplasmose (maladie très dangereuse pour le fœtus).
- Le plasmodium, qui donne le paludisme (ou malaria), qui attaque les globules rouges
- Le trypanosome, qui occasionne la maladie du sommeil (le parasite attaque certaines régions du cerveau ce qui perturbe le sommeil et entraîne des troubles psychologiques)

e) Les algues microscopiques :

Ce sont des cellules végétales, eucaryotes. Certaines microalgues pathogènes peuvent être retrouvées dans des fruits de mer.

f) Les virus :

Les virus sont des entités biologiques (ce ne sont pas des êtres-vivants). Ils ne peuvent pas se multiplier seuls, ils ont besoin de parasiter une cellule pour le faire (en les reprogrammant par modification de l'ADN).

Les virus possèdent une enveloppe (capside) qui protège le matériel génétique à l'intérieur (de l'ADN ou une forme alternative, l'ARN).

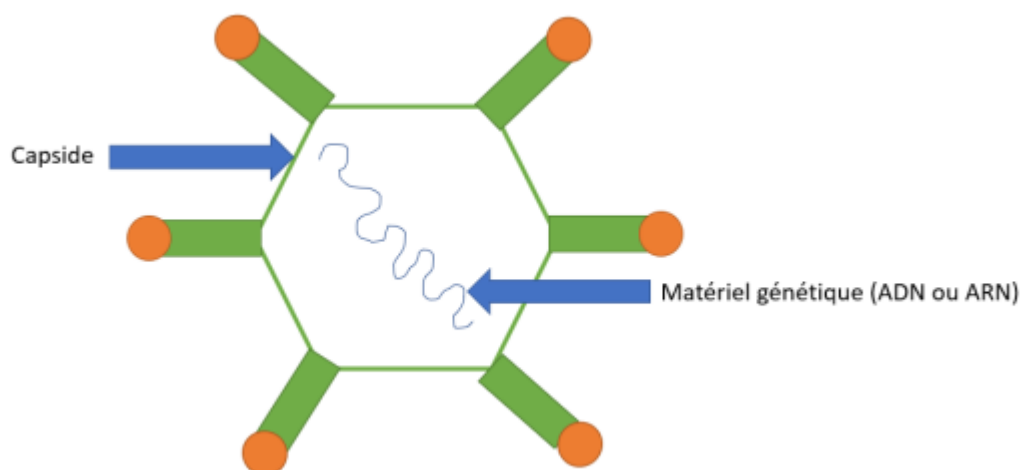


Figure 18. Représentation schématique d'une cellule virale (Cruzel, 2019).

Il n'existe pas de virus qui soit directement utile pour l'Homme dans l'alimentation.

Les virus étant très fragiles à l'air libre, ils se retrouvent principalement dans l'eau, les liquides biologiques (sang, postillons) de personnes infectées et dans les aliments hydratés contaminés.

3.3. Organisation biocénotique limnique :

En effet, l'organisation biocénotique d'un écosystème limnique se rapporte essentiellement aux concepts de base tels que la notion des fonctions écologiques (producteur, consommateur, décomposeur), ainsi que celle des communautés vivantes : phytocénoses, zoocénoses d'où la biocénose.

Par ailleurs, nous nous attelons sur la composition de la structure des écosystèmes aquatiques. À la notion de chaînes et de réseaux trophiques dans ces écosystèmes aquatiques de producteurs primaires (autotrophes) aux consommateurs (hétérotrophes) d'on la notion fondamentale se rapportant aux transferts et aux échanges d'énergie maintenant la vie de manière permanente au sein des êtres vivants dans le milieu limnique.

- Production primaires : Communautés microbiennes, des algues planctoniques et benthiques, écologie des macrophytes (phytoplancton).
- Production secondaire : zooplancton (poisson et insectes, aquatique).

3.4. Compartiment biotique des écosystèmes aquatiques :

La biocénose des écosystèmes aquatiques est très diverse puisque, au sein d'un même écosystème, différentes zones de peuplement apparaissent en lieu étroit avec les conditions physiques du milieu (la profondeur et la luminosité dans les lacs. le courant dans les cours d'eau).

D'une manière générale le développement des êtres vivants dans un milieu aquatique est dépendant de la croissance des végétaux qui, grâce à la photosynthèse peuvent produire leur matière organique à partir des matières minérales du milieu et du CO₂ atmosphérique en utilisant l'énergie lumineuse. Les microalgues ou phytoplancton appartiennent à ce groupe des

producteurs primaires et servent de nourritures aux herbivores (le zooplancton) qui alimentent à leur tour les carnivores.

Une telle chaîne trophique peut s'illustrer satisfaisamment par la pyramide écologique de la figure 19.

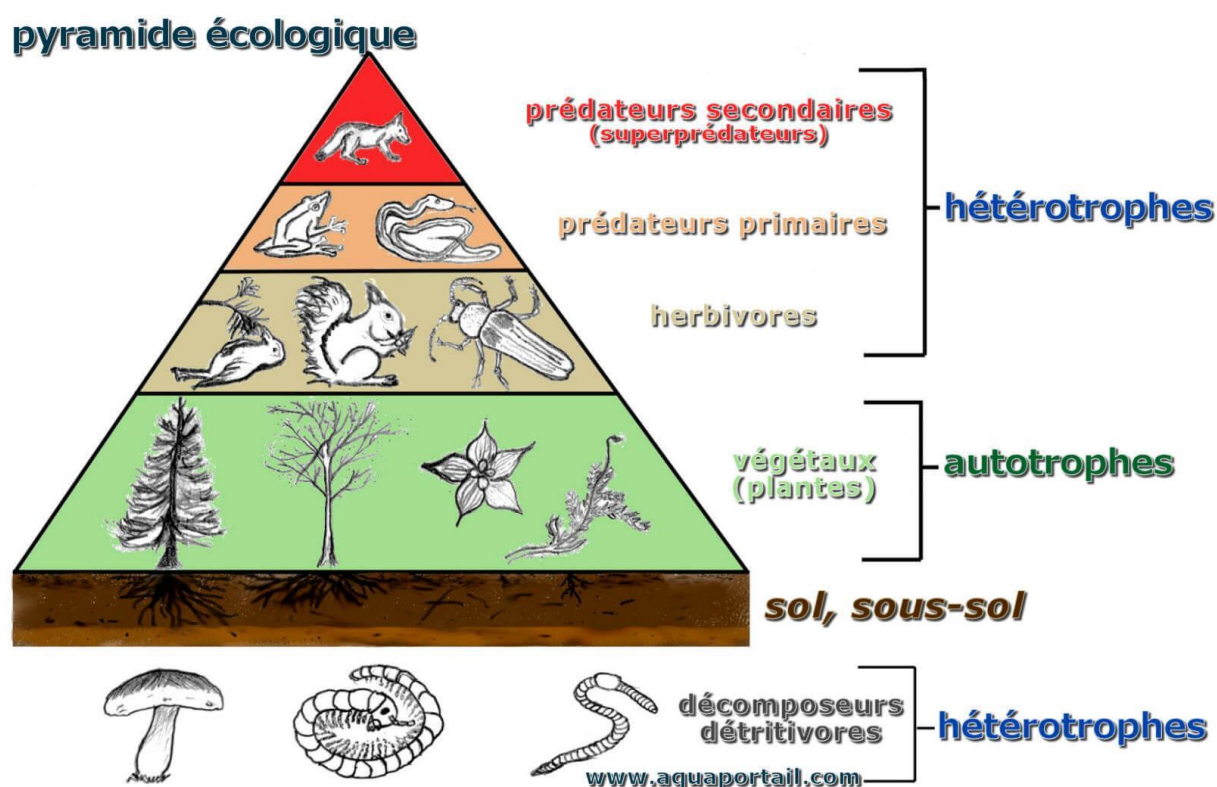


Figure 19. Pyramide écologique d'un écosystème aquatique.

Dans un écosystème sain, les populations sont nécessairement plus nombreuses aux niveaux inférieurs que chez les prédateurs, ce qui leur permet de se renouveler normalement. Enfin, le recyclage de matière organique se fait grâce aux décomposeurs (bactéries champignons qui permettent de fermer les cycles par minéralisation de la matière organique morte.

3.5. Les principaux groupes floristiques :

3.5.1. Les macrophytes :

La végétation aquatique (Fig. 20), communément appelée « **macrophytes aquatiques** », désigne l'ensemble des végétaux aquatiques identifiables à l'œil nu, soit des *Phanérogames*, des *Bryophytes*, des *Ptéridophytes* et des *algues filamenteuses*, dont la partie photosynthétique active est au moins pendant quelques mois de l'année, submergée ou flottante.

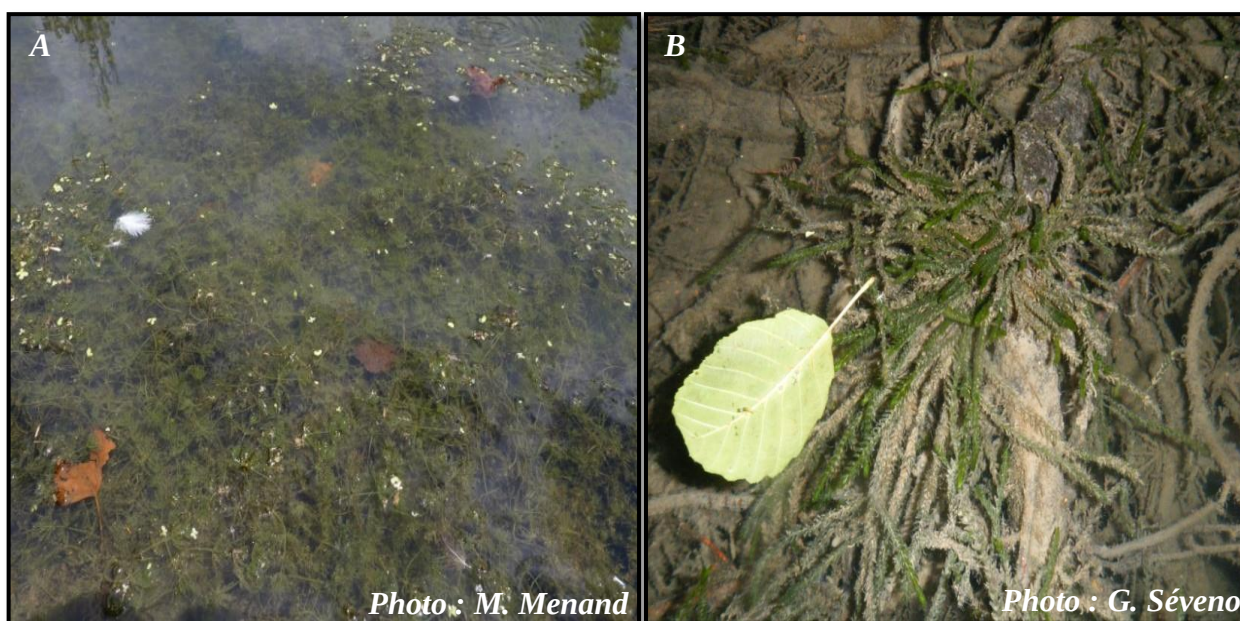


Figure 20. Photos d'un herbier d'algues Characées (A) & herbier de bryophytes (*Fontinalis antipyretica*) (B).

Les macrophytes aquatiques peuvent être classés à l'aide de la taxinomie (Cf. paragraphe précédent) mais également par leur type biologique. Ce dernier permet de distinguer trois grands groupes de macrophytes. Tout d'abord, **les Hélophytes**. Ce sont des plantes semi-aquatiques développant entièrement ou en partie leur appareil végétatif hors de l'eau, par exemple, les roseaux et faux roseaux (*Phragmites australis*, *Phalaris arundinacea*), les massettes (*Typha* spp.), les prêles (*Equisetum* spp.) ou les cypéracées (*Juncus* spp., *Carex* spp., *Cyperus* spp., *Eleocharis* spp., etc.)...

Ensuite **les Hydrophytes** qui sont des plantes strictement aquatiques pouvant être flottantes ou fixées mais dont le développement de l'appareil végétatif se fait au détriment du système racinaire, par exemple les lentilles d'eau (*Lemna* spp.) ou les renoncules (*Ranunculus* spp.), les algues (filamenteuses ou non) et certains Bryophytes (*Fontinalis* spp., *Cinclidotus* spp. etc.)...(Figs. 21, 22 & 23).

Quant aux **Amphiphytes**, ce sont des plantes amphibies pouvant vivre émergées ou immergées en fonction des conditions du milieu, par exemple les Jussies (*Ludwigia* spp.), certains Bryophytes (*Cratoneuron filicinum*, *Hygrohypnum* spp. etc.) ou encore le cresson de fontaine (*Nasturtium officinale*), la berle dressée (*Berula erecta*) ou l'Ache faux-cresson (*Helosciadium nodiflorum*).



Photo : M. Menand

Figure 21. Tapis de nénuphars jaunes.



Figure 22. Herbier de callitriches et voile de lentilles d'eau.

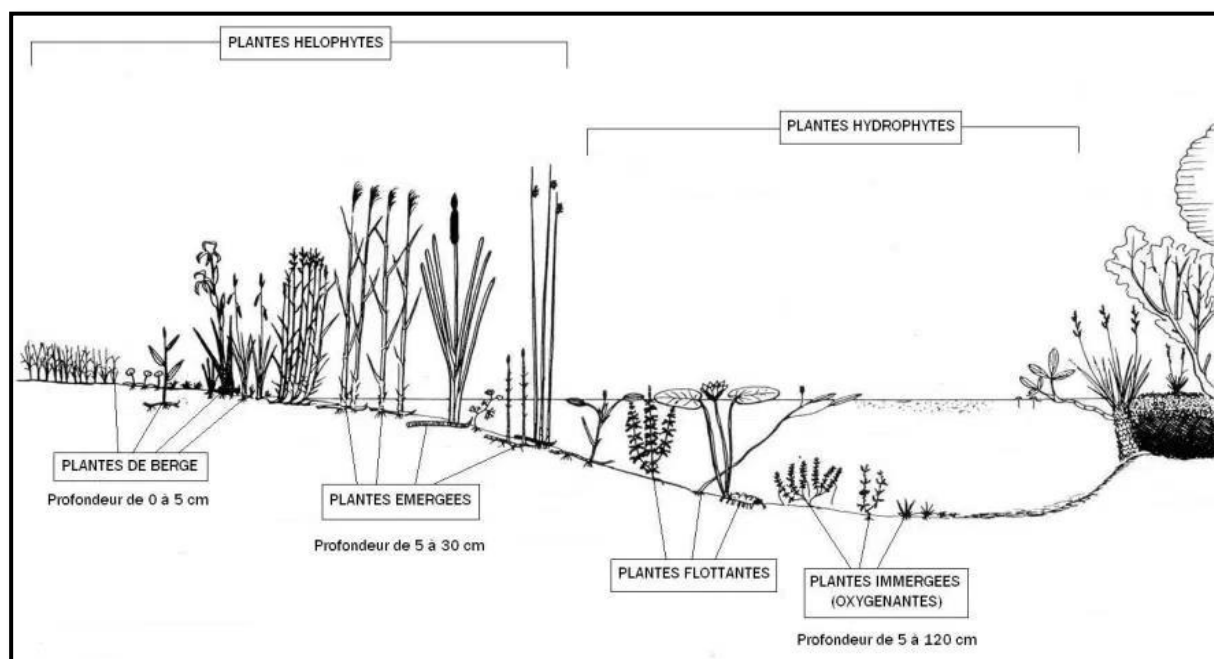


Figure 23. Représentation schématique de la répartition des macrophytes dans la zone littorale d'un lac tempéré peu profond. (Hélophytes et Hydrophytes).

3.5.1.1. Rôle des macrophytes littoraux dans le fonctionnement des écosystèmes lacustres :

Après ce point sur la représentation globale de la végétation aquatique, essayons de regarder d'une manière objective la présence des plantes aquatiques et d'identifier les enjeux qu'elle représente pour le bon fonctionnement de l'hydrosystème. La présence de végétaux aquatiques ne constitue en aucun cas une nuisance pour le milieu naturel exception faites des cas de prolifération végétale (pouvant causer une anoxie du milieu, en particulier la nuit) dont les causes sont souvent multiples mais trouvent, la plupart du temps, leur origine dans une modification anthropique des conditions du milieu (apport excessif de nutriments, modification de l'hydrologie...). En effet, les macrophytes aquatiques ont au contraire plusieurs rôles clef dans l'hydrosystème. Tout d'abord un rôle physico-chimique, les végétaux produisent de l'oxygène, gaz indispensable à la fois pour la respiration des organismes aquatiques et pour la dégradation de la matière organique (réactions d'oxydoréduction), durant la journée à travers la photosynthèse. Ensuite un rôle biologique, les végétaux sont les producteurs primaires des chaînes trophiques des écosystèmes et participent au maintien de la biodiversité du milieu en permettant une meilleure résistance aux perturbations et en servant de niches écologiques pour les invertébrés et les poissons (abris, frayères et nourriture). Le troisième rôle identifiable est le rôle mécanique consistant en la protection des berges contre les phénomènes d'érosion. Enfin ils ont un rôle épurateur de l'eau à travers la consommation des nutriments pour leur croissance ce qui contribue à améliorer la trophie du milieu.

A travers ces différents rôles, il devient relativement facile d'identifier les principaux enjeux que peut représenter cette végétation à la fois pour l'Homme (phyto-épuration de l'eau, protection des zones rivulaires, renouvellement d'une ressource alimentaire...) et pour les milieux aquatiques (maintien de la biodiversité, oxygénation du milieu, détoxification...) et

ainsi justifier l'importance de la connaître et de la protéger. De ce fait, le rôle de la flore aquatique peut se résumer en 3 rôles principaux :

A. Rôle physico-chimique :

Quelles que soient leurs formes et dimensions. Les plantes sont indispensables dans tout écosystème aquatique. L'activité photosynthétique d'une des végétaux chlorophylliens produit de l'oxygène et absorbe le gaz carbonique.

En effet, durant la période nocturne, la fonction chlorophyllienne ne s'effectue pas, les végétaux comme les animaux utilisent l'oxygène dissous dans l'eau. L'oxygène libre joue aussi un rôle essentiel dans le processus de nitrification (favorise les oxydations).

B. Rôle biologique :

La végétation aquatique joue trois rôles essentiels : la production primaire, la diversification des habitats et la source de nourriture.

B.1. Production primaire :

Les végétaux aquatiques participent aux interactions des êtres vivants entre eux. Ils constituent l'élément de base des chaînes alimentaires des biocénoses aquatiques. La production primaire des matières organiques se fait à partir des substances dissoutes ou colloïdales dans l'eau. C'est l'expression de la synthèse du vivant à partir des composés élémentaires.

B.2. Diversification des habitats :

Dans le milieu aquatique. Les peuplements végétaux et animaux sont liés les uns aux autres non seulement par la nourriture que la flore fournit à la faune, mais aussi par les supports et abris qu'elle lui procure.

En effet, beaucoup de diatomées (algues benthiques microscopiques) sont fixées sur la tige ou sur les feuilles des macrophytes. De même, l'installation d'espèces très exigeantes en oxygène est facilitée par la production d'oxygène des plantes.

La présence des plantes contribue à l'augmentation de la densité des peuplements de macro-invertébrés à l'augmentation de la surface d'accueil potentiel du milieu pour la faune benthique. Les végétaux servent aussi de lieu de ponte et de frayère pour les invertébrés et poisson. De matériaux de construction pour les fourreaux larvaires de certains trichoptères, d'abri pour les organismes qui viennent se cacher parmi la masse végétale de la vue de tous les prédateurs ou encore de lieu de protection contre le soleil.

B.3. Source de nourriture :

Les végétaux peuvent être consommés directement par les organismes phytophages (poissons phytophages) ou indirectement par des prédateurs de 2^e et 3^e ordre.

C. Rôle mécanique :

C.1. Réduction de la vitesse d'écoulement :

Dans certains cours d'eau, le volume occupé par les végétaux peut atteindre des proportions importantes et réduire la vitesse d'écoulement. La végétation dense favorise la sédimentation des particules en suspension (débris organiques ou minéraux) favorisant ainsi d'embâcles préjudiciables à l'écoulement des eaux. En période des crues, ces embâcles peuvent créer des turbulences érosives (modification des fonds et des rives).

C.2. Consolidation des éléments et fixation des berges :

Les racines et rhizomes des végétaux consolident efficacement les bancs de matériaux fins qui, dans des conditions normales d'écoulement, seraient entraînés dans l'aval. En bordure. Des eaux stagnantes, les hélophytes s'opposent à l'action érosive des vagues, à la fois en les affaiblissant et en fixant les éléments du substrat.

3.5.2. Les microphytes :

Le terme **microalgue**, parfois appelé **microphyte**, désigne les algues microscopiques. Les microalgues sont consommées depuis des milliers d'années dans le monde (Fig. 24). Par exemple, des traces de la consommation de diverses espèces de microalgues au Mexique du temps des Aztèques ont été retrouvées.

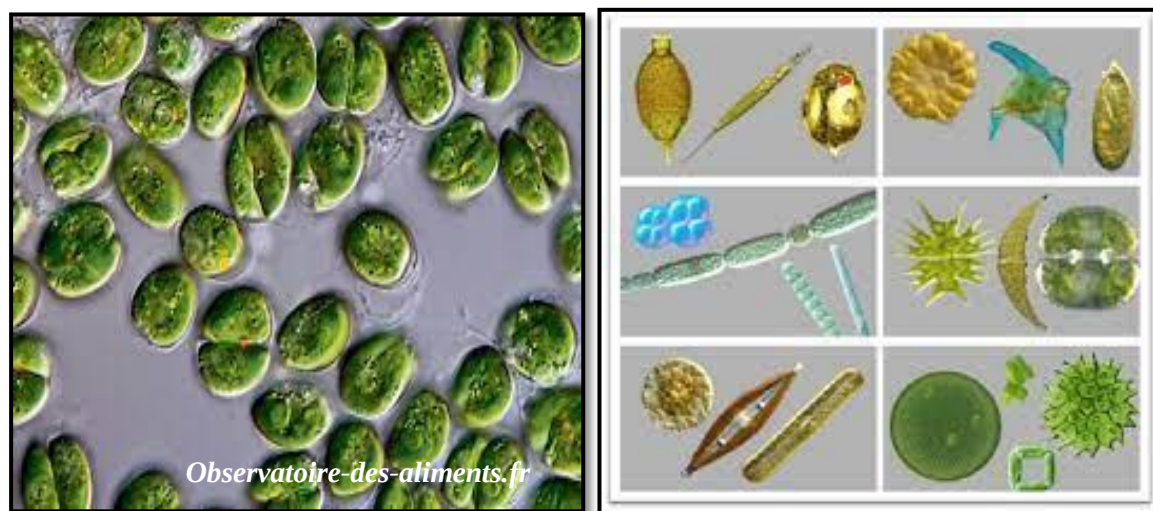


Figure 24. Photo de microalgue (Phytoplancton) sous microscope.

Les micro-algues, encore dénommé phytoplancton, minuscules efflorescences de 20 à 50 microns peuplent les mers et les eaux des littoraux. Parmi les milliers d'espèces, certaines sont toxiques.

Les micro-algues (de minuscules particules plus fines qu'un cheveu) peuplent les mers. Elles se nourrissent du CO₂ et de divers nutriments (phosphate et azote) de plus en plus abondants, liés à l'activité économique des côtes, aux stations d'épuration, à l'agriculture industrielle.

3.5.2.1. Maillon de la chaîne alimentaire :

Les micro-algues absorbent du CO₂ et produisent près de la moitié de l'oxygène de la planète. Elles sont aussi l'un des premiers maillons de la chaîne alimentaire. Le problème est

qu'un certain nombre de ces **algues microscopiques**, sont **toxiques**, aussi bien pour les poissons et les coquillages que pour les hommes.

3.5.2.2. Trois familles productrices de toxines :

En octobre 2017, la Floride a subi une marée de la microalgue *Karenia brevis* qui a décimé des tonnes de poisson. En France, les scientifiques surveillent trois familles de microalgues, **productrices de toxines** : Pseudo-nitzschia (toxines amnésiantes), Alexandrium (toxines paralysantes), et **Dinophysis**, la plus répandue qui émet des toxines diarrhéiques. L'étang de Thau, et certaines régions de Bretagne sont touchées par de telles algues.

➤ QUELQUES DEFINITIONS :

Il importe de définir les termes techniques couramment utilisés pour désigner les organismes aquatiques. On distingue 3 groupes de populations aquatiques :

- Les organismes vivants en pleine eau : Plancton, Necton, Nectoplancton, Triptonecton, Seston.
- Les organismes vivants à l'interface air-eau : Neuston, Pleuston.
- Les organismes vivants à l'interface sédiment-eau : Benthos.

➤ Benthos et Seston :

On entend par benthos(ou benthon) l'ensemble d'organismes végétaux et animaux vivant en liaison intime avec le fond (benthos profondeur) par opposition au pélagos (mer). Le **Pélagos** est l'ensemble d'organismes vivant en pleine eau, libres de tout contact avec le fond.

Le **seston** désigne l'ensemble de toutes les particules en suspension dans l'eau libre vivantes ou mortes, organiques ou inorganiques. Correspond à la somme (tripton + plancton).

Le tripton comprend l'ensemble des éléments figurés non vivants d'origine minérale ou organique (plancton mort). Le substrat doit être compris comme le support de tout peuplement benthique. Il peut être dur ou meuble et détermine les espèces benthiques.

✚ Sur les fonds durs, on trouve :

- des espèces fixées à demeure dans le substrat (espèces sessiles), des espèces capables de déplacements lents et de courte portée (sédentaires).
- des espèces mobiles, marcheuses ou nageuses (vagiles).

✚ Sur les fonds meubles, on trouve :

* **Flore** : Sur les fonds où règne un éclaircissement suffisant, la flore de grandes algues multicellulaires est généralement peu importante faute de moyen de fixation solide en revanche les algues unicellulaires libres ou fixées sur les grains du sédiment sont nombreuses. Les fonds meubles des côtes supportent les herbiers.

* **Faune** : Les espèces sédentaires sont plus nombreuses que les sessiles. Elles se répartissent en deux groupes.

- les formes endogées qui fouissent dans les sédiments fins (vases ou sables), riches en toutes petites espèces (microfaune) et riches en vers, en crustacés et en bivalves d'intérêt commercial (coques, clams).

- les formes épigées qui sont vraiment mobiles et nageuses (poissons, crevettes) ou qui marchent ou rampent seulement (Echinodermes, crustacés et bivalves d'intérêt commercial : huitre, coquilles). On peut noter que la faune des fonds meubles est moins importante (nombreuse) que celle des fonds durs.

En général, un être est benthique si, végétal ou animal, il vit en liaison avec le fond, qu'il vive sur ou dans le fond qu'il soit fixé à demeure ou qu'il s'y déplace, ou même qu'il nage à son voisinage immédiat sans jamais s'en écarter beaucoup. Les animaux nageurs sont appelés nectobenthiques, L'ensemble de végétaux et d'animaux benthiques constituent respectivement le phytobenthos et le zoobenthos

➤ **Plancton et Necton**

Du grec planktos = errant. C'est l'ensemble d'organismes vivants animaux (zooplancton) et végétaux (phytoplancton) qui flottent passivement dans l'eau, à l'exception (pour certaines espèces) de déplacements verticaux en relation, le plus souvent, avec l'alternance des jours et des nuits : Ce sont des organismes vivants qui flottent passivement au sein des eaux et dont les mouvements sont insuffisants pour s'opposer aux mouvements propres de la masse liquide. Il existe même du planctobenthos composé d'organismes d'eau libre, mais limités à la pleine eau proche du sédiment. Du grec nektekos, qui a la propriété de surnager C'est l'ensemble d'organismes du Pelagos,

Uniquement animaux, capables par leur mobilité propre de se déplacer activement (poissons, crevettes mollusques. Ce sont des animaux nageurs capables de s'opposer aux courants sans être entraîné par ceux-ci (poissons, batraciens, etc) Hutchinson (1967) propose le terme de nectoplancton pour caractériser les organismes nectoniques de petite taille susceptibles de voir leurs déplacements contrariés par de-faibles mouvements des eaux La classification de plancton peut se faire sur le plan fonctionnel ou sur le plan dimensionnel.

Classification fonctionnelle distingue :

- le plancton permanent ou holoplancton (holos = entier), c'est-à-dire pendant toute sa vie l'espèce sera pélagique.
- le plancton temporaire ou microplancton (méros = partie)

La classification dimensionnelle répartit le plancton comme suit :

- Ultraplancton : $< 0,005$ mm
- Nanno plancton : $0,005 - 0,5$ mm
- Microplancton : $0,5 - 1,0$ mm
- Mesoplancton : $1,0 - 5,0$ mm
- Macroplancton : $> 5,0$ mm

Le pelagos comprend en outre deux groupes mineurs le **neuston** et le **pleiston**. Le **neuston** est constitué par les êtres qui vivent au voisinage immédiat de la surface, c'est-à-dire les êtres qui se trouvent dans l'interface air-eau, On distingue :

- **épineuston** (= sur la surface) : comprend les organismes aériens, végétaux ou animaux, parfois munis de dispositifs hydrophage leur permettant de se déplacer à la surface de l'eau : hyponeuston vivant dans la pellicule la plus superficielle de l'eau.

Le pleuston regroupe tous les animaux dont une partie du corps est immergée.

3.6. Les principaux groupes faunistiques :

3.6.1. Invertébrés (Zooplancton, zoobenthos) :

Des changements dans la diversité de la faune et de la flore sont survenus au cours des millénaires par des processus de migration, colonisation, acclimatation, compétition et extinction. Le développement humain accélère ces changements.

Cette faune réunit un ensemble d'espèces couvrant un large spectre trophique :

- soit des **algivores** ou plus rarement des **macrophytophages**,
- des brouteurs-racleurs de **périphyton** et/ou **détritiphages**, accompagnés de leurs prédateurs également invertébrés (Elhadj, 2017).

a- organismes microscopiques :

Les organismes microscopiques sont présents dans tous les milieux aquatiques. Les lacs abritent une communauté abondante et très diversifiée d'organismes planctoniques (de pleine eau) ou benthiques (vivant sur le fond), dont le rôle est primordial pour le fonctionnement écologique de ces écosystèmes.

Complètement invisibles ou à peine visibles à l'œil nu, les organismes microscopiques (micro-organismes) sont à la fois abondants, diversifiés et caractérisés par une variété de rôles qui les rendent essentiels, c'est-à-dire dans tous les processus de transformation de la matière organique et des nutriments, ou de décomposition.

De taille nano à millimétrique, ils vivent en pleine eau et se déplacent au gré des courants ; c'est le cas du plancton. D'autres sont plutôt typiques des substrats meubles (sédiments) ou durs (cailloux, rochers, épaves).

En plus de leur rôle fonctionnel, certains sont aussi des bio-indicateurs de la qualité de l'eau

b- des producteurs d'oxygène :

Le phytoplancton est composé essentiellement de microalgues dites chlorophylliennes qui, par leur capacité de photosynthèse, produisent de l'oxygène dans les eaux proches de la surface (zones éclairées). Ces microalgues se développent grâce à l'énergie solaire, au gaz carbonique et à des éléments nutritifs (phosphore, azote, etc.) dissous dans l'eau, transformant ainsi des éléments inertes en matière vivante (biomasse).

Caractérisées par de très nombreuses espèces que l'on classe suivant des critères morphologiques et pigmentaires, ces microalgues servent aussi de proies pour d'autres organismes aquatiques comme les micro-crustacés, les larves de poissons, les mollusques ou les rotifères.

Leur rôle est primordial au sein des lacs. Ils peuvent alors servir à décrire l'état dans lequel se trouve l'écosystème à un moment donné (bio-indicateur).

Un fort développement d'un organisme phytoplanctonique peut par exemple colorer l'eau et lui conférer un niveau de qualité moyen à mauvais.

Si l'espèce qui prolifère est toxique, comme cela peut être le cas avec certaines cyanobactéries, elle peut mettre en péril le fonctionnement de l'écosystème ainsi que certains usages du lac. Ce fut le cas avec une espèce filamenteuse (*Planktothrix rubescens*) qui a proliféré dans le lac du Bourget de 1995 à 2009 avec des abondances maximales de 200 000 cellules par ml.

D'autres cyanobactéries, les picocyanobactéries (unicellulaires), peuvent facilement atteindre des concentrations de l'ordre de 500 000 cellules par ml, mais celles-ci sont par contre plutôt bénéfiques au réseau trophique.

c- Le zooplancton :

Le plancton animal (zooplancton) est considéré comme un maillon clef au sein du réseau trophique, car se situant entre le phytoplancton qu'il broute et certains poissons à qui il sert de nourriture. Il est majoritairement constitué de microcrustacés, dont l'importance quantitative et qualitative est primordiale mais variable d'un lac à un autre.

d- d'autres organismes :

Il est plus difficile d'apprécier la diversité des communautés microbiennes et virales, dans lesquelles se trouvent d'autres groupes très importants, dans le fonctionnement des lacs alpins comme les ciliés, les flagellés, les bactéries (Fig. 25), les archées, les champignons ou encore les virus. La diversité de ces micro-organismes ne peut souvent être appréciée qu'avec des outils issus de la biologie moléculaire, en ciblant des gènes qui permettent de les identifier.



Figure 25. Bactériophage qui infecte les bactéries (<https://www.istockphoto.com>, 2017).

À ce jour, aucun inventaire n'a été effectué sur l'ensemble des lacs. Si l'on s'intéresse aux virus par exemple, il a pu être montré dans le lac du Bourget, à partir d'un seul prélèvement de 20 litres effectué à une profondeur de 5 mètres au cours d'un été, qu'il existait plus de 5 000

espèces virales différentes. Les bactéries, organismes essentiels dans le cycle des nutriments et dans la décomposition de la matière organique, sont présentes à des densités très élevées (environ 1 000 000/ml dans l'eau et 100 à 1 000 fois plus dans 1 g de sédiment).

e- **Macro-invertébrés benthiques** :

Ce sont des animaux (Fig. 26) très diversifiés notamment les vers, les escargots, les insectes, les écrevisses... visibles à l'œil nu. Les substrats littoraux des grands lacs (rochers, galets, graviers, sables, macrophytes) abritent une grande richesse de macro-invertébrés benthiques (50 à 60 taxons). Ces animaux se développent dans les zones peu profondes où ils s'alimentent en broutant des microalgues benthiques, en filtrant le plancton ou en ingérant les détritiques organiques. Ils constituent une ressource alimentaire importante pour les poissons. Les macro-invertébrés benthiques se développent également en zones profondes où ils colonisent les premiers centimètres des sédiments.

On regroupe les macro-invertébrés en plusieurs compartiments :

- ▶ Les macro-invertébrés **épibenthiques**, qui vivent à l'interface entre l'eau et le sédiment tels que les larves d'insectes, les isopodes et les mollusques.
- ▶ Les macro-invertébrés **suprabenthiques**, qui vivent au contact du sédiment mais qui peuvent aussi devenir pélagiques en se déplaçant dans l'eau (exemple d'organismes : larves de diptères et crustacés amphipodes).
- ▶ Les macro-invertébrés **endobenthiques**, qui sont des organismes fouisseurs tels que les oligochètes, les nématodes et les larves de chironomes.

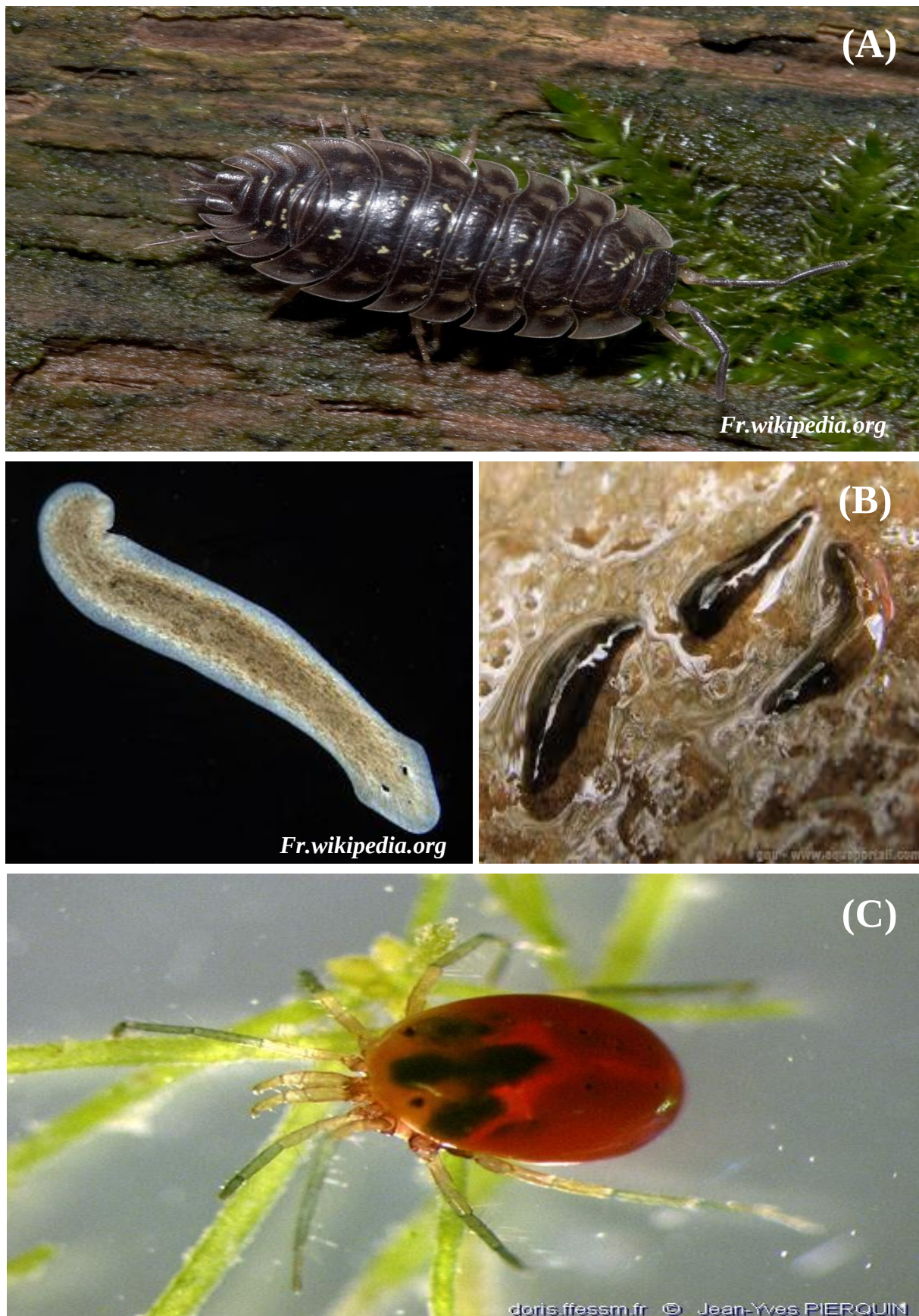


Figure 26. Quelques exemples de macro-invertébrés benthiques : Aselle de murs (A), Dugesia (B), Hydracarien (C).

3.6.2. Vertébrés (reptiles, oiseaux et batraciens) :

a- Poissons :

Historiquement, la colonisation du milieu lacustre par les poissons s'est faite par les cours d'eau, lors des périodes qui ont suivi les mouvements géologiques et la soudaine mise en relation des lacs avec les cours d'eau.

Les premières colonisations se sont faites par des espèces d'eau froide comme les salmonidés (Truite, Corégone et Omble chevalier) qui, migraient en mer pour grossir et remontaient les rivières et les lacs pour se reproduire (Fig. 27).

La composition des peuplements a été modifiée par les activités humaines, certaines espèces étant introduites, volontairement ou accidentellement, d'autres pouvant disparaître sous les diverses pressions anthropiques (humaines). Les populations d'ombles chevalier, et de corégones, ont ainsi été proches de l'extinction lors des périodes d'eutrophisation et certaines souches (sous espèces) ont même disparu.

rôle des poissons dans les lacs

L'ensemble de ces populations participe au fonctionnement écologique des lacs en se nourrissant de zooplancton et de phytoplancton, en régulant éventuellement leur développement et en servant de proies pour des organismes supérieurs, poissons et oiseaux piscivores. La lotte, qui réside dans les zones profondes, joue probablement un rôle important, mais peu visible, en se nourrissant d'œufs et de juvéniles d'omble et de corégone. Le maintien des populations de poissons et d'une pêcherie durable passe par des bonnes pratiques de gestion accompagnées du suivi de la qualité des eaux et des évolutions des communautés de poissons. Par exemple, le nombre de poissons qui consomment du zooplancton aura une influence directe sur l'abondance de ces organismes, mais comme ces derniers se nourrissent eux-mêmes de phytoplancton, un effet en cascade pourra aussi être observé jusqu'à la base du réseau trophique.



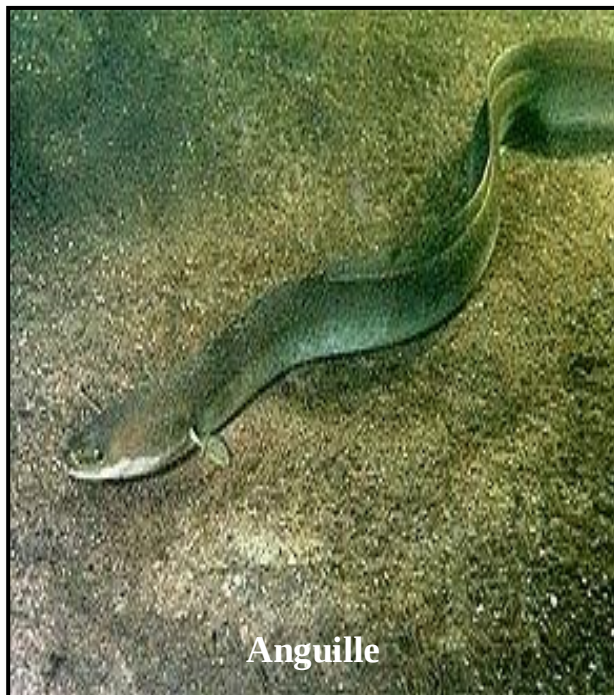
Figure 27. Les poissons : l'Ombre chevalier (A), Corégone (B) et Truite (C).

b- Reptiles, oiseaux et batraciens :

✓ Certains vertébrés n'ont pas besoin de plumes ou de poils sur leur corps pour se garder au chaud. Ils sont ectothermes, ou « à sang froid ». Ceci veut dire que leur température interne est identique à celle de leur environnement, ce qui est le cas des poissons, des amphibiens et des reptiles (Fig. 28).

✓ Les amphibiens, représentés par les grenouilles et les salamandres, dépendent aussi des écosystèmes d'eau douce pour leur survie. Leurs œufs n'ont pas de coquille dure et doivent être laissés dans l'eau ou dans un environnement très humide. Les amphibiens n'ont pas d'écailles et leur peau doit rester moite. La plupart des espèces d'amphibiens ont un cycle de vie comprenant une métamorphose : ils commencent en tant que larves aquatiques (appelées communément des têtards), se changeant éventuellement en adultes respirant de l'air. Les amphibiens, représentés par les grenouilles et les salamandres, dépendent aussi des écosystèmes

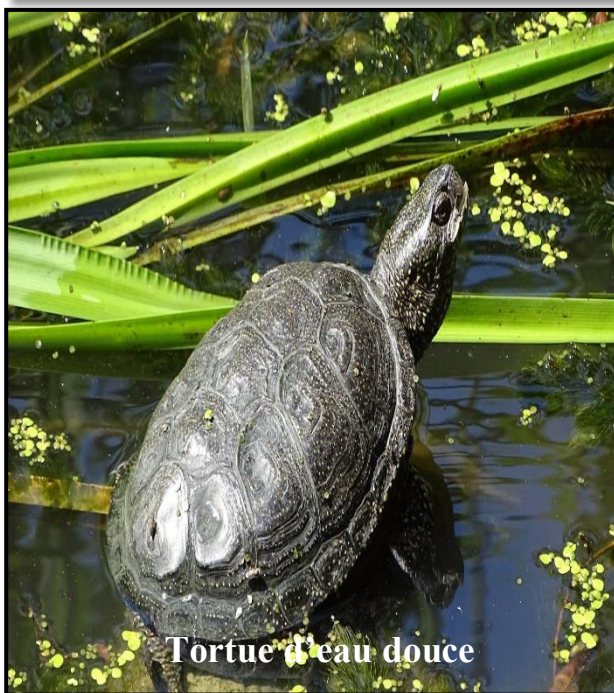
✓ Des espèces de deux des quatre groupes, ou Ordres, de reptiles de la Terre se retrouvent : les tortues, et les lézards et serpents. Les écailles couvrant leur peau et leurs œufs à coquille dure les rendent moins dépendants à la présence de l'eau, mais nos tortues ont tout de même besoin d'habitats aquatiques et terrestres pour compléter leurs cycles de vie. Les lézards et les serpents sont majoritairement des animaux terrestres.



Anguille



Morue



Tortue d'eau douce



Couleuvre

Figure 28. Quelques exemples de poissons, amphibiens et reptile.



PAEOLIMNOLOGIE

Cours 4 : NOTIONS DE PALEO LIMNOLOGIE

4.1. Définition et explication de la Paléo-limnologie :

La **paléolimnologie**, en paléoécologie, est une partie de la paléontologie associée à la limnologie qui consiste en une reconstitution du passé des lacs et des eaux intérieures avec l'étude de leurs sédiments (du limnobenthos). Les sédiments sont examinés pour les paramètres biologiques, chimiques et physiques et les résultats comparés aux analogues modernes. Le traitement continu vertical permet des comparaisons de temps.

Les études paléo-limnologiques concernent la reconstruction des paléo-environnements des eaux intérieures (lacs et cours d'eau, eau douce, saumâtre ou saline) - et, en particulier, les changements associés à des événements tels que le changement climatique, les impacts humains (par exemple, eutrophisation ou acidification) et les processus ontogéniques internes. L'intérêt pour la paléo-limnologie est finalement passé des questions ésotériques de l'ontogénie des lacs à des enquêtes appliquées sur l'impact humain.

Le développement pratique du travail du paléo-limnologue consiste à creuser le sol d'un lac et à étudier ses propriétés physico-chimiques afin de théoriser, connaître et reconstruire son histoire.

La paléo-limnologie est une science multidisciplinaire qui utilise des informations physiques, chimiques et biologiques (c'est-à-dire des données ou des indicateurs indirects) conservées dans des profils de sédiments pour reconstruire les conditions environnementales passées dans les systèmes aquatiques intérieurs.

En étudiant la composition des séries verticales de sédiments et en chronométrant les couches étudiées, on obtient une image fiable et complète des conditions environnementales du passé, des changements qui y ont eu lieu, des directions et des vitesses de changement. En observant ces changements, on peut en outre évaluer si le changement était naturel ou dû à l'homme.

La paléoclimatologie (ou l'étude des climats passés) utilise des données de substitution afin de relier des éléments collectés dans des échantillons modernes pour suggérer les conditions climatiques du passé.

4.2. Définition et explication de la Paléoécologie :

La **paléoécologie** utilise les fossiles des écosystèmes pour reconstruire le passé. Elle se concentre sur les organismes fossiles et leur cycle de vie associé, les interactions, l'environnement naturel et le mode de mort. La recherche tente de clarifier la relation avec la biodiversité actuelle.

La paléoécologie est l'étude scientifique écologique (paléoenvironnement) et paléontologique des écosystèmes des époques passées. Le spécialiste est le paléoécologue ; en botanique, elle est appelée la paléoethnobotanique par exemple.

La reconstruction paléoécologique prend en compte autant que possible les interactions complexes entre les facteurs environnementaux, tels que l'humidité, la température, la disponibilité des aliments, le degré d'ensoleillement, la salinité et le mouvement de l'eau. Étant donné que de nombreux fossiles individuels ne se retrouvent pas dans l'association fossile étudiée pour toutes sortes de raisons (par exemple, par le biais de processus taphonomiques et de fossilisation et de diagenèse), une grande partie de ces informations sont souvent perdues.

La reconstruction de l'environnement à l'aide de fossiles est préférable s'il y a peu ou pas d'espèces éteintes dans la communauté fossile. On suppose tacitement que les exigences environnementales d'une espèce ne changent pas beaucoup au cours de son existence. La connaissance des exigences environnementales des espèces disparues est toujours moins précise. On pense que les espèces apparentées ont des exigences très similaires, mais ce n'est pas toujours le cas. À mesure que le nombre d'espèces disparues augmente dans le temps, une reconstruction environnementale devient de moins en moins précise. Les meilleurs résultats sont donc obtenus au sein du quaternaire.

Si l'on ne sait rien du mode de vie et des préférences écologiques d'une espèce fossile, cela peut parfois être déduit de la communauté qui l'accompagne dans laquelle une telle espèce est très présente. Une autre méthode utilise la morphologie des fossiles. Par exemple, certaines formes de coquille peuvent indiquer un certain cadre de vie. Une telle forme de coquille se produit alors chez de nombreuses espèces non apparentées qui vivent dans le même environnement.

Il existe de nombreuses méthodes pour réaliser des reconstructions paléoécologiques responsables. Habituellement, une analyse quantitative est effectuée : les spécimens individuels sont comptés par espèce ou groupe d'espèces. Les résultats des dénombrements sont souvent traités statistiquement. La méthode statistique utilisée dépend de la quantité de matière, de la quantité de connaissances écologiques sur l'espèce, de la question, etc. La méthode dépend souvent des types de fossiles trouvés et de leur conservation. Habituellement, une analyse est effectuée par groupe végétal ou animal, dont les résultats sont finalement comparés entre eux afin de tirer une conclusion sommaire.

4.3. Définition et explication de la Paléontologie :

La **paléontologie** est une science qui étudie les êtres ayant vécu à la surface du globe terrestre au cours des temps géologiques. Elle est le domaine de la biologie qui étudie la vie du passé de la Terre et son évolution au cours du temps géologique ainsi que les processus d'intégration des informations biologiques dans le registre géologique, c'est-à-dire la formation de fossiles. Voir aussi la paléolimnologie.

Cette partie de la géologie a pour objet d'étudier les êtres vivants disparus à partir de leurs restes fossilisés et des éventuelles traces de leurs activités. Le paléontologue doit s'attacher à reconstituer toutes les caractéristiques morpho-anatomiques, physiologiques mais aussi écologiques et éthologiques des espèces disparues.

La paléontologie aide la zoologie dans l'étude des espèces historiques. La paléontologie est conceptuellement divisée en plusieurs domaines, comme la paléobiologie, un domaine qui étudie les concepts évolutifs et écologiques et se concentre moins sur l'identification des fossiles. C'est au sein de la paléobiologie que la paléozoologie, l'étude des fossiles animaux, et la paléobotanique, l'étude des fossiles végétaux. Fondamentalement, toute discipline biologique appliquée aux organismes du passé géologique, à travers l'étude des fossiles, constitue une sous-discipline de paléobiologie: la paléoécologie (qui étudie les écosystèmes du passé), paléobiogéographie, paléoanatomie, paléoneurologie, paléomastozoologie, etc. Il existe encore une subdivision de paléobotanique et de micropaléontologie constituant la paléopalinologie, dédiée à l'étude du pollen et des spores, importante pour la datation par sériation.

La vie sur Terre a émergé il y a environ 3,8 milliards d'années, et depuis lors, des restes d'animaux et de plantes ou des preuves de ses activités ont été préservés dans les roches. Ces restes et preuves sont appelés fossiles et font l'objet d'études en paléontologie.

La paléontologie joue aujourd'hui un rôle important. Ce n'est plus la science hermétique, réservée aux scientifiques et aux universités. Tout le monde s'intéresse à l'histoire de la Terre et de ses habitants au cours du passé géologique, pour mieux comprendre leurs origines. L'objet immédiat d'étude de la paléontologie sont les fossiles, car ce sont eux qui contiennent actuellement des informations sur le passé géologique de la planète Terre. C'est pourquoi on dit souvent que la paléontologie est simplement la science qui étudie les fossiles. Cependant, il s'agit d'une définition réductrice, qui limite la portée de la paléontologie, car ses objectifs fondamentaux ne se limitent pas à l'étude des restes fossilisés des organismes du passé. La paléontologie ne cherche pas seulement à étudier les fossiles, cherche également, sur la base de ceux-ci, entre autres, à connaître la vie du passé géologique de la Terre.

Les fossiles étant des objets géologiques issus des organismes du passé, la paléontologie est la discipline scientifique qui établit le lien entre les sciences géologiques et les sciences biologiques. La connaissance de la géographie est d'une importance capitale pour la paléontologie, entre autres, à travers celle-ci peut relier le positionnement et la distribution des données collectées à travers le monde.

***CROISSANCE ET
DYNAMIQUE DES
POPULATIONS***

Cours 5 : Croissance et dynamique des populations

5.1. Croissance et dynamique des populations algales :

Chez les plantes, les processus physiologiques sont limités par l'intensité lumineuse et la disponibilité de la lumière et l'intensité contrôle la distribution, la physiologie et le comportement physiologique de nombreuses plantes aquatiques. La lumière et la température de l'eau sont des facteurs qui contrôlent et limitent croissance et photosynthèse chez les photo-autotrophes. Ils agissent également en synergie dans de nombreux milieux aquatiques. Des intensités lumineuses élevées inhibent la photosynthèse dans le phytoplancton et autres photo-autotrophes. Les organismes aquatiques dépendent également des niveaux d'oxygène et de la saturation de l'eau. Dans l'eau, la distribution verticale et horizontale de l'oxygène dissous produit des changements dans la distribution et le comportement des organismes. Pour de nombreux organismes, l'anoxie les régions de lacs et d'eaux côtières sont inhabitables. La disponibilité des contrôles d'oxygène le taux de croissance et les réponses physiologiques et biochimiques de nombreux organismes (Tundisi et Tundisi, 2012).

Un autre facteur important dont dépendent les organismes aquatiques est le pH, car il contrôle de nombreuses réactions chimiques et fournit des ions (HCO_3^- et CO_3^{2-}) pour les plantes aquatiques (Les niveaux de pH, par exemple, peuvent limiter et contrôler la distribution et la croissance des organismes) (Thomaz et Bini, 2005). Ces deux variables chimiques « pH et O_2 dissous » contrôlent largement la croissance et les réponses physiologiques des organismes, populations et communautés aquatiques (Tundisi et Tundisi, 2012).

Les macrophytes aquatiques comprennent un grand groupe d'organismes, tels que les algues thalloïdes, les mousses et les hépatiques, les fougères, les conifères et les plantes à fleurs qui poussent dans les terres intérieures et saumâtres eaux, estuaires et eaux côtières. Les macrophytes aquatiques comprennent les petits (15 mm) organismes flottants jusqu'aux grands arbres tels que le cyprès (*Taxodium* spp.) (Fig. 29), marécages du sud des États-Unis. Le chapitre 6 décrit les macrophytes aquatiques comme plantes émergentes solidement enracinées dans des sols submergés ; macrophytes flottantes avec des feuilles, comme *Nymphaea* spp. (Fig. 30), et la jacinthe d'eau ; et macrophytes entièrement submergés.

Les caractéristiques morphologiques de ces trois types de macrophytes sont importantes, car elles montrent différents types d'adaptation, comme un aérénchyme qui aide à transporter l'oxygène aux racines des plantes émergentes, ou des feuilles fines avec un film superficiel très fin pour aider fixer les nutriments et le dioxyde de carbone dans le milieu liquide, comme cela se produit en immersion les plantes. Les feuilles extrêmement minces minimisent la trajectoire de diffusion des nutriments et maximise l'énergie solaire sous-marine disponible pour les plantes immergées (Tundisi et Tundisi, 2012).



Figure 29. Photo d'un arbre de cyprès chauve *Taxodium distichum*.



Figure 30. Photo d'un macrophytes flottantes avec des feuilles (*Nymphaea* spp).

5.1.1. Définition du phytoplancton :

Le phytoplancton est l'ensemble des microorganismes, procaryotes et eucaryotes, flottant librement dans les eaux de surface et ont une capacité de déplacement limitée et dérivée au gré des courants. A l'instar des végétaux terrestres, le phytoplancton est photo autotrophe et contient de la chlorophylle, ce qui lui permet d'effectuer la photosynthèse (Jeffrey *et al.*, 1997).

Des critères de taille permettent classiquement de séparer les groupes de phytoplancton. On parle de **picoplancton** (inférieur à 2 μm), de **nanoplancton** (entre 2 μm et 20 μm) et de microplancton au-delà et jusqu'à quelques millimètres (Alvain, 2005).

5.1.2. Rôles et application du phytoplancton :

5.1.2.1. Rôle et intérêt du phytoplancton :

Le phytoplancton possède d'importants rôles dans le rétrocontrôle du climat global, notamment en pompant le CO_2 (gaz à effet de serre) de l'air.

5.1.2.1.1. Phytoplancton, « poumon de la planète » :

Les phytoplanctons eucaryotes et procaryotes ont en commun la photosynthèse. Cette réaction assure la transformation du carbone inorganique en énergie chimique en captant l'énergie lumineuse (Sialve et Steyer, 2013). Par la photosynthèse, le phytoplancton produit une grande quantité d'oxygène nécessaire à la vie dans l'eau, mais aussi, grâce aux échanges gazeux à la surface des océans, il fournit les deux tiers de l'oxygène de l'air de notre planète, le dernier tiers provenant des végétaux terrestres (Mollo et Nourry, 2013).

5.1.2.1.2. Phytoplancton, base de la chaîne alimentaire aquatique :

Le phytoplancton constitue le premier maillon de la chaîne alimentaire d'un écosystème aquatique ; il est absorbé par les organismes microscopiques (zooplancton) et les animaux de petite taille. Ces derniers constituent eux-mêmes la nourriture de consommateurs des niveaux trophiques supérieurs. Par ailleurs ; les microalgues ne sont pas appréciées exclusivement par le zooplancton, elles sont un aliment de choix pour des espèces filtreuses de plus grande taille comme les huîtres, les moules, à leur stade larvaire et durant toute leur vie d'adulte (Mollo et Nourry, 2013).

5.1.2.2. Différents domaines d'applications du phytoplancton :

Au vu de leur biodiversité et leurs propriétés physiologiques et biochimiques, les phytoplanctons se révèlent très prometteuses pour de nombreuses applications dans des domaines variés.

5.1.2.2.1. Domaine agricole :

Outre l'intérêt écologique considérable comme agents épurateurs des eaux usées. En agriculture, les micro-algues sont principalement utilisées comme engrais biologique pour la fertilisation des sols pauvres, les algues sont transformées en poudre épandues sur le sol. En

effet, les micro-algues favorisent la croissance des plantes, la résistance aux maladies et produisent des substances protectrices contre les agressions par les gastéropodes. En outre les microalgues sont utilisées comme ingrédient dans la fabrication d'aliment pour le bétail, les fucales sont utilisées comme additifs alimentaires pour leurs qualités digestives. Elles sont transformées en farines mélangées à la nourriture des animaux d'élevage (Abadli et Harkati, 2015).

5.1.2.2.2. Domaine alimentaire :

Parmi les espèces d'algues riches en protéines et en acides gras essentiels, à intérêt agroalimentaire, nous citerons tout particulièrement les spirulines : algue halotolérante extrême du groupe des Cyanobactéries et deux Chlorophytes : *Chlorella* et *Scenedesmus*. Certaines espèces des micro-algues peuvent être consommées comme des légumes. En l'occurrence les espèces: *Undaria pinnatifida*, *Laminaria japonica* et *Porphyra* sp. Les micro-algues dans l'alimentation sont bénéfiques, outre leurs propriétés épaississantes, gélifiantes ou stabilisantes, bien connues et largement utilisées par des industries agroalimentaires, elles ont aussi des propriétés nutritionnelles intéressantes en alimentation humaine ; Les micro-algues produisent aussi une certaine catégorie de produits chimiques qui leurs sont propres: Agaragar, Alginates, Carraghénanes et bien d'autres polysaccharides (Chader et Touzi, 2001 ; Becerra-Celis, 2009).

5.1.2.2.3. Domaine cosmétique :

Les micro-algues utilisées par la filière cosmétique sont souvent les mêmes que celles utilisées pour les applications alimentaires. Cependant, les travaux de recherche mettent en évidence de nouvelles applications pour de nouvelles espèces. La filière cosmétique utilise les micro-algues sous forme d'extraits de plantes, broyées (pour les gommages par exemple) ou en tant qu'agents de coloration. Étant donné que le marketing joue un rôle important dans

l'industrie des cosmétiques, les micro-algues sont souvent utilisées afin de véhiculer une image de produits naturels apportant les bienfaits de la mer (Le *et al.*, 2014).

5.1.2.2.4. Domaine pharmaceutiques :

Les principes actifs extraits des micro-algues sont utilisés comme anti-inflammatoire œsophagien, pour lutter contre l'embonpoint, pour leurs effets laxatifs ou encore pour les pansements, pour les micro-algues peuvent être utilisées dans une amélioration du confort des diabétiques. En effet certain polysaccharides issus des micro-algues peuvent moduler l'absorption intestinale du glucose et la réponse insulínique à l'alimentation d'autres produisent des antibiotiques comme *Stichochrysis* (Gana, 2014).

5.1.2.2.5. Domaine énergétique :

Les micro-algues sont des espèces aquatiques à structures relativement molles. Elles sont totalement dépourvues de lignines, ce qui pourrait en faire une biomasse très avantageuse pour un certain nombre de fermentations telles que la production de méthane ou même d'alcools à des fins énergétiques. Les micro-algues fabriquent des hydrocarbures comme *Botryococcus*, *Dunaliella*, des lipides comme *Neochloris*, *Chlorococcum* (Chader et Touzi, 2001).

5.1.2.2.6. Domaine de l'environnement :

Les principales applications environnementales du phytoplancton sont traitement des eaux usées (capacité assimilation de nombreux nutriments nécessaires à leur croissance les microalgues représentent une solution intéressante pour éliminer ces éléments). Certains genres des Cyanobactéries peuvent être utilisés comme engrais naturels dans les rivières grâce à leurs capacités de fixation de l'azote atmosphérique par des hétérocystes (Roger, 1996). Certaines espèces du phytoplancton, peuvent être utilisées comme des indicateurs de pollution, ainsi *Chamaesiphon polonius* et *Calothrix sp.* sont caractéristiques des eaux non polluées, par contre *Oxillatoria chlorina* et *Spirulina jenniferi* peuvent survivre dans les milieux très pollués et

pauvres en oxygène. Cependant *Phormidium* sp est présent dans les eaux moyennement polluées (Champiat et Larpent, 1994). Par ailleurs ; on trouve l'indice biologique diatomées (IBD), qui est un indice de l'état des écosystèmes lotiques, sa détermination se base sur la communauté de diatomées présente dans les peuplements phytoplanctonique des cours d'eau. Cet indice permet d'évaluer la qualité des eaux, Il a été mis au point en 1996 et normalisé par l'AFNOR en 2000 (Afnor, 2000).

5.1.2.3. Effet nuisible du phytoplancton :

La prolifération du phytoplancton a un impact direct sur les écosystèmes aquatiques entraînant des modifications de la diversité et de la dynamique des populations. En outre, certaines espèces, dont les cyanobactéries, sont susceptibles de synthétiser des toxines à l'origine d'intoxications plus ou moins graves, représentant des risques important pour la santé humaine et animale surtout au niveau des eaux de baignade (Aib et Yakhlef, 2014).

5.1.2.3.1. Risque sur les organismes :

En eau douce tout comme en milieu marin, les efflorescences du phytoplancton induisent une diminution de la biodiversité du milieu (Crossetti *et al.*, 2008). De plus, leur prolifération peut avoir des conséquences sur la stabilité des paramètres physico-chimiques et donc des effets néfastes sur l'équilibre des écosystèmes, Ainsi, des anoxies, résultant de la décomposition des microalgues par des bactéries hétérotrophes sont parfois associées aux efflorescences, provoquant une forte mortalité de populations de poissons (Hudnell, 2008). Certaines espèces phytoplanctonique produisent des phycotoxines, qui sont accumulées par les organismes phytoplanctonophages «les mollusques bivalves, gastéropodes, crustacés, ainsi que certains poissons » et constituent un risque potentiel aux consommateurs (Gailhard, 2003).

5.1.2.3.2. Risque sur la santé humaine :

Comme déjà signalé au paragraphe précédent, les phycotoxines élaborées par les phytoplanctons sont souvent accumulées chez les espèces à régime filtreurs comme les moules, les couteaux, les huîtres.... La consommation des organismes marins ayant bio-accumulés ces phycotoxines représentent de sérieux problèmes sanitaires pour l'homme. Les symptômes associés à ces dangers sont essentiellement d'ordre digestif et/ou neurologique selon la nature chimique de chaque toxine élaborée (Abouabdelah, 2012).

5.2. Croissance et dynamique des populations d'invertébrés planctoniques :

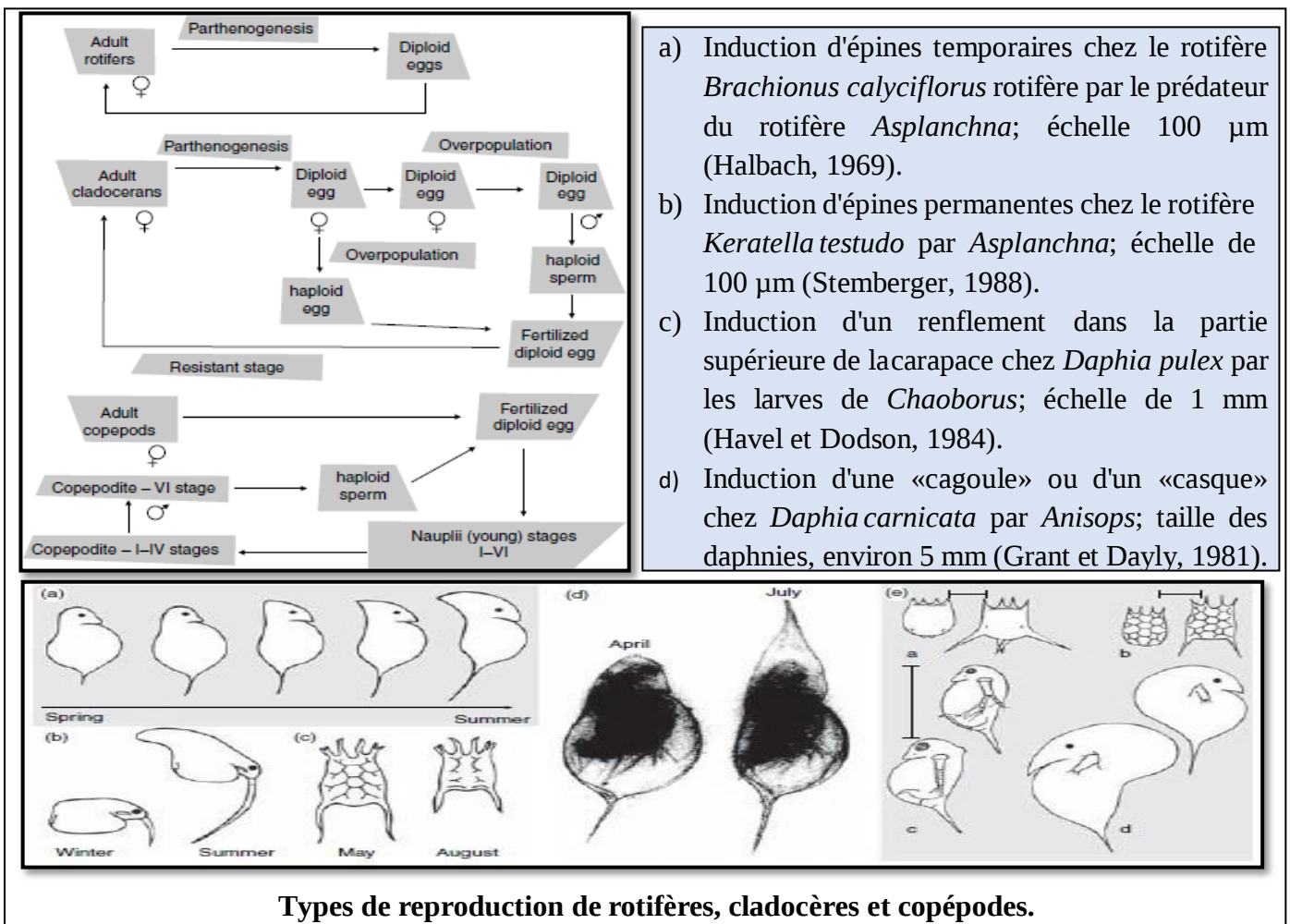


Figure 31. Cyclomorphose du zooplancton.

5.3. Croissance et dynamique des populations d'invertébrés benthiques :

La gamme des espèces de la faune benthique est large et variée, et comprend les herbivores, les détritivores et les prédateurs. Ces organismes traitent l'énergie de sources internes et externes dans les rivières, qui est un produit des activités du périphyton, les feuilles, les résidus végétaux ou la matière organique produits par les humains ou les animaux (Tundisi et Tundisi, 2012).

Dans les lacs, les réservoirs ou les zones côtières et océaniques, ces organismes dépendent largement sur la production de matière organique qui se dépose au fond de l'écosystème (Tundisi et Tundisi, 2012).

Une communauté d'invertébrés benthiques est également importante dans le traitement des matières dans les rivières (et dans la récupération des rivières). Les insectes aquatiques sont communs dans les communautés de macroinvertébrés benthiques de l'intérieur des terres eaux, avec une grande diversité de rivières et de ruisseaux. Espèces de l'ordre des éphéméroptères,

Les plécoptères, les trichoptères, les diptères et les odonates représentent la majorité de la biomasse. D'autres groupes importants de macroinvertébrés comprennent les mollusques, les annélides et crustacés. Il n'y a pas d'insectes benthiques macroinvertébrés dans les milieux marins (Tundisi et Tundisi, 2012).

Dans les lacs, les organismes benthiques sont classés comme benthos profond et benthos littoral. La température, l'intensité lumineuse, les courants et les niveaux d'oxygène dissous varient tous davantage largement dans une période de 24 heures dans la zone littorale. Les zones plus profondes des lacs sont chimiquement et physiquement plus uniforme, sauf dans les lacs eutrophes lors de la stratification période, lorsque l'anoxie et la désoxygénation non hypolimnique se produisent. Amphipodes, larves de les chironomides et les oligochètes, les

mollusques et les larves de Chaoborus sont les plus courants organismes de la communauté animale benthique (Tundisi et Tundisi, 2012).

Dans la zone littorale, la présence de macrophytes offre des espaces spatiaux riches et variés l'hétérogénéité, avec des niches qui dépendent du type de substrat et de la nourriture disponible. Les détritiques organiques sont une importante source de nourriture. Jónasson (1978) a montré des espèces élevées diversité dans la zone littorale du lac Esrom, au Danemark, par rapport à la faune dans les régions profondes du lac (Tundisi et Tundisi, 2012).

Les structures des communautés benthiques de macro-vertébrés peuvent être modifiées par la production de poisson, qui affecte grandement la biomasse de la communauté et la diversité des espèces (Tundisi et Tundisi, 2012).

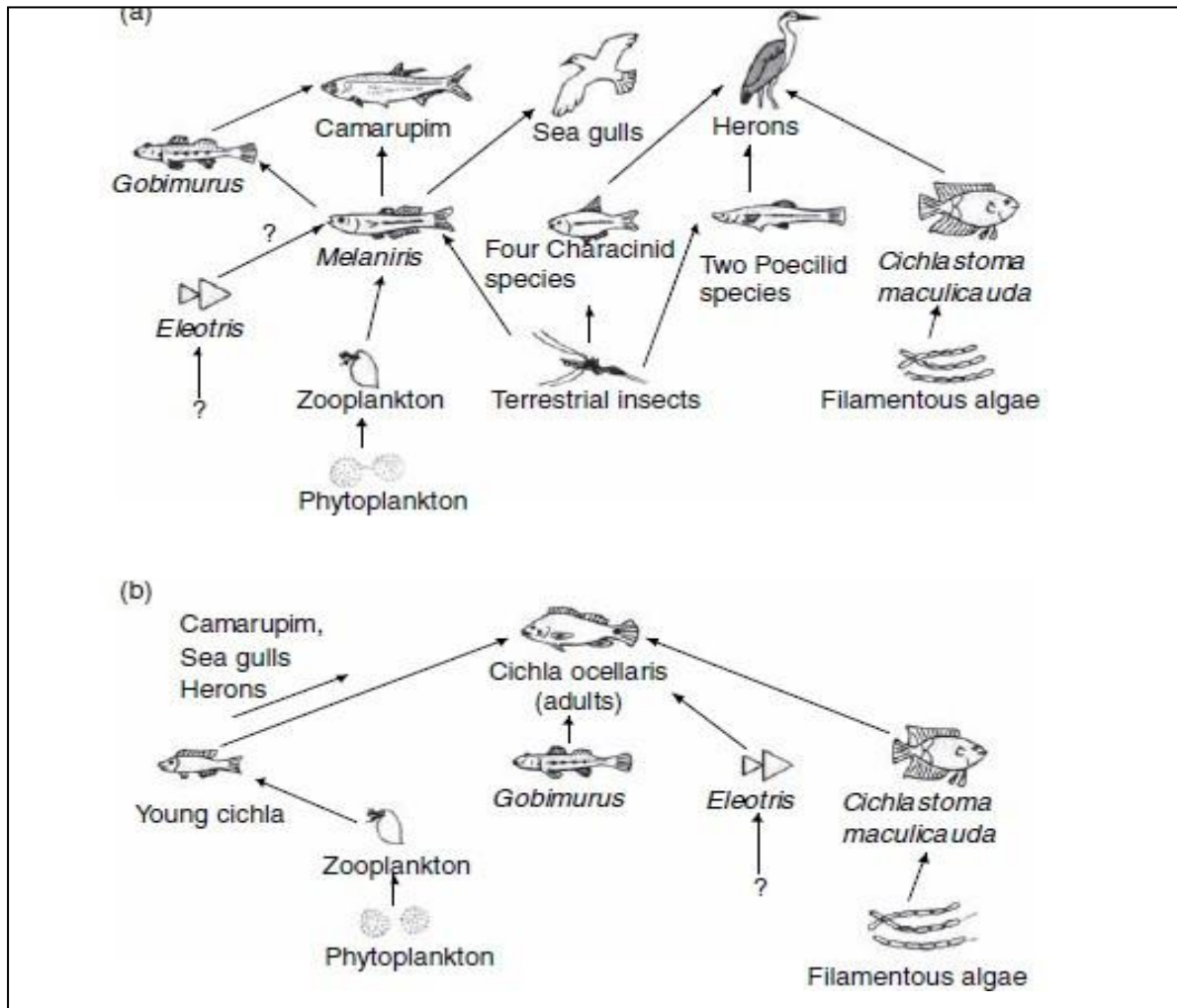
5.4. Croissance et dynamique des populations de poissons :

Les poissons jouent un rôle important dans le fonctionnement de la dynamique écologique des communautés, puisque leur fonction est importante, tant sur le plan quantitatif que qualitatif, dans le réseau trophique et dans les communautés planctoniques, benthiques et nectoniques. Mouvements spatiaux des poissons et des migrations compliquent le calcul quantitatif de leur impact sur les réseaux alimentaires et les structures des communautés aquatiques. Les poissons excrètent des détritiques et l'ammoniac et éliminer les sédiments, et donc jouer un rôle important dans les cycles biogéochimiques des lacs, réservoirs, rivières et zones associées. Les poissons représentent près de 40% des espèces de vertébrés de la planète. Communautés des poissons tropicaux et subtropicaux de la région sud-américaine ont été étudiés de manière approfondie, en particulier dans la région amazonienne (Goulding, 1979, 1981; Goulding *et al.*, 1988) et le fleuve São Francisco (Sato et Godinho, 1999; Godinho et Godinho, 2003). De même, une série de grands travaux scientifiques ont été menés sur les

bassins hydrographiques dans le Haut Paraná (Augustine et Ferreira, 1999, Agostinho *et al.*, 1987, 1991, 1993, 1994, 1999; Bonetto, 1986a; Menezes et Gery, 1983; Vazzoler et Menezes, 1992). Le graphique 8.3 présente les principales caractéristiques écologiques des communautés de poissons tropicaux (Tundisi et Tundisi, 2012).

La saisonnalité des habitats, selon Lowe-McConnell (1999), affecte les poissons comportement et physiologie dans les systèmes aquatiques tropicaux, allant de spécifiques dynamiques (par exemple, inondations et sécheresses) qui créent des habitats différents chaque année aux conditions plus stables de certains lacs naturels et récifs équatoriaux. Saisonnalité et les variations environnementales affectent les poissons et leurs habitudes alimentaires, leur cycle de vie, leur reproduction, et les migrations. Les migrations résultent de cycles hydrologiques saisonniers et sont utilisés pour la reproduction, l'alimentation et échapper aux prédateurs (Tundisi et Tundisi, 2012).

.



- Carnivores : se nourrissent d'organismes aquatiques herbivores ou d'autres animaux aquatiques.
- Détritivores : se nourrissent de restes végétaux, de sédiments ou d'animaux.
- Omnivores : habitudes alimentaires variées, y compris la consommation de plantes, d'animaux ou de détritits en suspension dans l'eau ou dans les sédiments.

Figure 32. Impact de l'introduction d'espèces exotiques dans un lac leurs effets de la nourriture Internet (Horne and Goldman, 1994).



RÉFÉRENCES

OUVRAGES ET DOCUMENTATION CONSULTÉS

A

- ✚ **ABADLI, M. & HARKATI G. 2015.** Contribution à l'inventaire des quelques microalgues vertes d'intérêt nutritionnel dans quelques zones humides de la wilaya d'El Oued (Lac Ayata , Chott Merouane, Sife Lemnade , STEP Kouinine) .
- ✚ **ABOUABDELLAH R. 2012.** Étude des phycotoxines paralytiques et lipophiles chez les mollusques bivalves de l'Atlantique sub marocain. Spécialité Sciences Thèse de doctorat.Université Ibn Zohr. p 174.
- ✚ **ANGELIER E. 2000.** Écologie des eaux courantes. Techniques et documentation.
- ✚ **AFNOR. 2000.** Norme française NF T 90-354. Qualité de l'eau. Détermination de l'Indice Biologique Diatomées (IBD). p 63.
- ✚ **AGOSTINHO AA., VAZZOLER A.E.A.M., GOMES LC. & OKADA E.K. 1993.** Estratificación espacial y comportamiento de *Prochilodus scrofa* en distintas fases del ciclo de vida, en la planicie de inundación del alto río Paraná y embalse de Itaipu, Paraná, Brazil. Rev. Hydrobiol. Trop., vol. 26, no.1, p. 79-90.
- ✚ **AGOSTINHO A.A., JÚLIO Jr H.F. & PETRERE Jr M. 1994.** Itaipu reservoir (Brazil): impacts of the impoundment on the fish fauna and fisheries. In COWX, IG. (Ed.). Rehabilitation of freshwater fisheries. Osney Mead: Fishing News Books. p. 171-184.
- ✚ **AGOSTINHO A.A., MIRANDA L.E., BINI L.M., GOMES L.C., THOMAZ S.M. & SUZUKI H.I. 1999.** Patterns of colonization in neotropical reservoirs, and prognoses on aging. In TUNDISI, JG. and STRASKRABA, M. (Eds.). Theoretical reservoir ecology and its applications. Leiden: Backhuys Publishers. p. 227-265.
- ✚ **AGOSTINHO A.A., VAZZOLER A.E.A.M. & THOMAZ S.M. 1995.** The High River Paraná basin: limnological and ichthyological aspects. In TUNDISI, JG., BICUDO, CEM. and MATSUMURA-TUNDISI, T. (Eds.). Limnology in Brazil. Rio de Janeiro: ABC/SBL. p. 59-103.

- ✚ **AGOSTINHO A.A. & ZALEWSKI M. 1995.** The dependence of fish community structure and dynamics on floodplain and riparian ecotone zone in Paraná River, Brazil. *Hydrobiologia*, vol. 303, no.1-3, p. 141-148.
- ✚ **AGOSTINHO A.A., FERRETTI C.M.L., GOMES L.C., HAHN N.S., SUZUKI H.I., FUGI R. & ABUJANRA F. 1997.** Ictiofauna de dois reservatórios do rio Iguaçu em diferentes fases de colonização: Segredo e Foz do Areia. In AGOSTINHO, AA. and GOMES, LC. (Eds.). *Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo*. Maringá: EDUEM. p. 275-292.
- ✚ **AIB A.F & YAKHLEF K. 2014.** Contribution à l'étude de la qualité bactériologique et phytoplanctonique des eaux du Lac Tonga (Nord-est Algérien) . Spécialité/Option : Santé, Eau et Environnement/ Microbiologie de l'environnement. Université 8 mai 1945 Guelma. p 74.
- ✚ **ALVAIN S., MOULIN C., DANDONNEAU Y. & BREON F.M. 2005.** Remote sensing of phytoplankton groups in case 1 waters from global SeaWiFS imagery *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 52 (11), 1989-2004.

B

- ✚ **BECERRA-CELIS G. 2009.** Proposition de stratégies de commande pour la culture de microalgue dans un photobioréacteur continu.
- ✚ **BOURGET S. 2011.** Limnologie et charge en phosphore d'un réservoir d'eau potable sujet à des fleurs d'eau de cyanobactéries : le lac saint-charles, Québec. Thèse en SC. *Université laval québec*.159p.
- ✚ **BRÖNMARK C. & HANSSON L-A. 2001.** The biology of lakes and ponds. *Biology of habitats. Oxford University Press*.

C

- ✚ **CHADER S. & TOUZI A. 2001.** Biomasse Algale : Source Energétique et Alimentaire. Laboratoire de Bioinasse. Centre de Développement des Energies Renouvelables, pp. 47-50. Roger, 1996.

- ✚ **CHAMPIAT D. & LARPENT J.P. 1994.** Biologie des eaux : Méthodes & Techniques. [éd] Elsevier Masson. p 374.
- ✚ **CROSSETTI L., BICUDO D., BICUDO C. & BINI L. 2008.** Phytoplankton biodiversity changes in a shallow tropical reservoir during the hypertrophicatio process. Brazilian Journal of Biology .Vol 68, p. 1061-1067.
- ✚ **CRUZEL M. 2019.** Cours sciences appliquées – Brevet Professionnel Mention complémentaire Boulanger.

E

- ✚ **ELHADJ Z. 2017.** Cours de limnologie, L2 Hydrobiologie Marine et continentale.

F

- ✚ **FRANÇOIS-ALPHONSE FOREL.** 1904. *Le Léman : monographie limnologique*, t. 3, Lausanne, F. Rouge, 715 p., p. 6.
- ✚ **JEFFREY S.W., MANTOURA R.F.C., WRIGHT S.W. (EDS.).** 1997. Phytoplankton Pigments in Oceanography: Guidelines to Modern Methods. Monographs on Oceanographic Methodology, UNESCO, Paris (1997), pp. 449-559.

G

- ✚ **GAILHARD I. 2003.** Analyse de la variabilité spatio-temporelle des populations microalgales côtières observées par le « Réseau de surveillance du Phytoplancton et des phycotoxines » (REPHY). Thèse de Doctorat. Spécialité : Sciences de l'Environnement Marin .Université de la Méditerranée (Aix– Marseille II) .p 284.
- ✚ **GODINHO H.P. & GODINHO A.L. 2003.** Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais. PUC Minas., Belo Horizonte. 468 p.
- ✚ **GOULDING, M. & GOULDING R. 1979.** *Changing lives through redecision therapy*. New York.

✚ **GOULDING M. 1985.** *Who's been living in your head* (Rev. ed.). Watsonville, CA: WIGFT Press.

✚ **GOULDING M., CARVALHO M.L. & FERREIRA E.J.G. 1988.** Río Negro, rich life in poor water: Amazonian diversity and foodchain ecology as seen through fish communities. The Hague (Netherlands): PB Academic Pub.

H

✚ **HORN J.A. & GOLDMAN C.R. 1994.** Phosphorus Cycling in the Water Column. In: Limnology, McGraw-Hill Inc., New York, 163-164.

✚ **HUDNELL H.K., 2008.** Cyan bacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. [éd] Springer-Verlag, Berlin, Germany. p 950.

K

✚ **KALFF J. 2002.** Limnology. Prentice Hall.

L

✚ **LAMPERT W. & SOMMER U. 1997.** Limnoecology. The ecology of lakes and streams. *Oxford University Press*.

✚ **LE B.Q., RITTER L., FASQUEL D., LESUEUR M., LUCAS S. & GOUIN S. 2014.** Etude de la consommation des algues alimentaires en France. [éd] IDEALG .p. 72.Gana, 2014

✚ **LOWE-MCCONNELL R.H. 1999.** The roles of tilapias in ecosystems. In: Beveridge, M.C.M., McAndrew, B.J. (eds) *Tilapias: Biology and Exploitation*. Fish and Fisheries Series, vol 25. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4008-9_5

M

- ✚ **MENEZES N. & GERY J. 1983.** Seven new Acestrorhynchin Characid species (Osteichthyes, Ostariophysi, Characiformes) with comments on the systematic of the group. *Revue Suisse Zool* 90(3):563–592.
- ✚ **MEYBECK M. 1984.** *Les fleuves et le cycle géochimique des éléments*, Thèse doctorat d'état, Université Paris 6.
- ✚ **MOLLO P. & NOURRY A. 2013.** *Le Manuel du plancton*. © Éditions Charles Léopold Mayer, 2013 Essai n° 195 ISBN 978-2-84377-173-6 Mise en pages : Delphine Mary - La Petite Manufacture Conception graphique: Nicolas Pruvost.

P

- ✚ **PROBST J.L. 1992.** *Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale*, Sciences Géologiques, Mém. 94, Éditions de l'Institut de Géologie, Strasbourg.
- ✚ **POURRIOT R. & MEYBECK M. 1995.** *Limnologie générale*. Collection Écologie 25. Masson. Paris, Milan, Barcelone. 956p.

S

- ✚ **SATO Y. & GODINHO H.P. 1999.** Peixes da bacia do rio São Francisco. In: *Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais*. São Paulo: EDUSP, p. 401-413.
- ✚ **SIALVE B., & STEYER J.P. 2013.** Les microalgues, promesses et défis. *Innovations Agronomiques* 26 (2013), 25-39.

T

- ✚ **TUNDISI, J. G. & TUNDISI T-M. 2012.** *Limnology*. CRC Press.p396.

V

- ✚ **VAZZOLER A.E.A. de M. & Menezes N.A. 1992.** Síntese de conhecimento sobre o comportamento reproductivo dos Characiformes da América do Sul (Teleostei: Characiformes). Rev. Brasil. Biol. 52(4):627-540.

W

- ✚ **WETZEL R.G. 2001.** Limnology. Lake and River Ecosystems. Academic Press.
Third edition.

Sites web consultés :

- www.hydrosphre.weebly.com
- www.medhycos.mdl.ired.fr
- www.eduterre.ens.Lyon.fr
- www.fr.cnbrt.net
- <http://books.openedition.org/editions-cnrs/docannexe/image/9980/img-2.jpg>
- <http://books.openedition.org/editions-cnrs/docannexe/image/9980/img-1.jpg>
- <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=48780819>
- <https://www.aquaportail.com/definition-5321-paleolimnologie.html>
- <https://www.aquaportail.com/definition-8594-paleoecologie.html>
- <https://www.aquaportail.com/definition-3906-paleontologie.html>
- <https://www.aquaportail.com/definition-13584-paleoethnobotanique.html>



GLOSSAIRE

GLOSSAIRES

A

✓ **Abiotique**

Facteurs physico-chimiques caractérisant un écosystème donné. Opposables aux facteurs biotiques, ils constituent une partie des facteurs écologiques de cet écosystème. Les facteurs climatiques (température, lumière, air..), chimiques (gaz de l'air, éléments minéraux..) sont des facteurs abiotiques. Un milieu abiotique est inapte au développement de la vie.

✓ **Abyssobenthos**

Ensemble des organismes qui vivent à la surface ou dans les sédiments du plancher abyssal.

♦ Équivalent étranger : *Abyssobenthos*.

✓ **Abyssopélagique**

Désigne des organismes marins vivants dans les eaux libres abyssales, soit à des profondeurs supérieures à 3000 mètres.

♦ Équivalent étranger : *Abyssopelagic*.

✓ **Accumulation**

En pédologie, correspond, dans un sol, au niveau auquel s'effectuent le dépôt et la concentration des substances entraînées par lessivage des horizons supérieurs par les eaux d'infiltration. Cet horizon illuvial (issu de l'accumulation de la matière) correspond à l'horizon B. En hydrogéologie, désigne la zone d'un hydrosystème fluvial où s'effectuent un stockage partiel de l'eau ainsi que le dépôt des alluvions et autres matériaux liés à l'érosion hydrique et transportés par le courant vers l'aval.

♦ Équivalent étranger : *Accumulation*.

✓ **Acide Aminé**

Molécule possédant une fonction acide carboxylique et une fonction amine primaire. Les acides Aminés sont l'élément de base de la structure de protéines dans lesquelles ils sont liés les uns aux autres par des liaisons amides (ou liaison peptidiques).

◆ Équivalent étranger : *Amino acid*.

✓ **Acidification de l'océan**

Diminution du pH de l'eau de mer due à l'absorption de dioxyde de carbone anthropique. Elle est une menace avérée pour les organismes utilisant de grandes quantités de calcaire pour leurs exosquelette (cas des coraux, par exemple).

◆ Équivalent étranger : *Oceanic acidification*.

✓ **Acidification**

Augmentation de l'acidité d'un sol (baisse du pH), d'un cours d'eau ou de l'air par des événements naturels ou en raison d'activités humaines. Ce phénomène peut modifier les équilibres chimiques et biologiques et affecter les écosystèmes. L'augmentation de l'acidité de l'air est principalement due aux émissions de SO₂, NO_x et HCl lesquels, par oxydation et en présence d'humidité, donnent les acides HNO₃ et H₂SO₄. Ces derniers retombent sur terre, parfois très loin de leurs lieux d'émission, lors des épisodes pluvieux et sont à l'origine des pluies acides qui font diminuer fortement le pH des rivières, des lacs et des sols et qui provoquent le dépérissement des forêts, notamment de conifères. Un pH insuffisant entraîne la disparition de certaines espèces végétales, la dégradation des sols et des équilibres écologiques locaux ou régionaux.

◆ Équivalent étranger : *Acidification*.

✓ **Adaptation écologique**

Processus par lequel les organismes colonisent et se maintiennent dans un environnement qui a changé ou dans nouveau biotope, en utilisant de nouvelles ressources ou en formant de nouvelles associations avec d'autres espèces en conséquence d'une succession de caractéristiques qu'ils développent au moment où ils sont confrontés à une nouvelle situation. L'adaptation écologique peut être à la fois un précurseur de l'évolution de la diversité ou contribuer à maintenir un état de l'évolution, en fonction des conditions.

◆ Équivalent étranger : *Ecological fitting*.

✓ **Aérobie**

Se dit de tout être vivant ou phénomène, processus ou métabolisme dont l'existence exige la présence d'oxygène. Chez les micro-organismes aérobies, la respiration fournit l'énergie nécessaire à la vie par des réactions biochimiques.

♦ Équivalent étranger : *Aerobie*.

✓ **Aérobiose**

Relatif à des processus écologiques qui nécessitent de l'oxygène.

♦ Équivalent étranger : *Aerobiosis*.

✓ **Altération d'un milieu aquatique**

Modification de l'état d'un milieu aquatique ou d'un hydrosystème, allant dans le sens d'une dégradation. Les altérations se définissent par leur nature (physique, ionique, organique, toxique, bactériologique...) et leur effet (eutrophisation, asphyxie, empoisonnement, modification des peuplements...). Le plus souvent ces altérations sont anthropiques mais peuvent aussi être d'origine naturelle.

♦ Équivalent étranger : *Alteration of an aquatic environment*.

✓ **Aléa**

Événement (d'origine naturel ou anthropique) qui peut causer des dommages (le risque) à la société ou l'environnement.

✓ **Analyse phylogénétique**

Analyse cherchant à établir les relations de parentés entre les êtres vivants. Elle est principalement fondée sur la cladistique, une méthode de reconstruction phylogénétique formalisée en 1950 par Willi Hennig.

✓ **Année hydrologique**

Pour les glaciers elle s'étale du début de la saison d'accumulation à la fin de la saison d'ablation suivante

✓ **Anoxie**

Induite par une insuffisance d'apport en oxygène dissous dans les cellules de l'organisme. Chez les animaux, désigne une diminution de la quantité d'oxygène distribuée par le sang aux tissus.

L'anoxie peut être causée par une insuffisance cardiaque, une pneumopathie ou l'anémie, entre autres. Au niveau de la peau et des muqueuses, l'anoxie provoque une cyanose, c'est-à-dire une coloration bleue-violacée. Le cerveau est un des organes les plus sensibles à l'anoxie. En écologie et hydrobiologie, l'anoxie est une diminution de l'oxygène dissous ou présent et biodisponible dans le milieu (sol, sédiment, eau, atmosphère..). Pour les végétaux, l'anoxie s'exerce notamment dans le sol, en période d'inondation, au niveau racinaire.

✓ **Anthropisé (anthropisation)**

En écologie, transformation de paysages, d'écosystèmes ou de milieux semi-naturels sous l'action de l'homme.

✓ **Arbre phylogénétique**

Représentation schématique des relations de parenté entre des groupes d'êtres vivants. Chacun des nœuds de l'arbre représente l'ancêtre commun de ses descendants ; le nom qu'il porte est celui du clade formé des groupes frères qui lui appartiennent, non celui de l'ancêtre qui reste impossible à déterminer. L'arbre peut être enraciné ou pas, selon qu'on est parvenu à identifier l'ancêtre commun à toutes les feuilles.

✓ **Arthropodes**

Embranchement d'animaux invertébrés dont le plan d'organisation est caractérisé par un corps segmenté avec des appendices articulés et recouvert d'une cuticule ou d'une carapace rigide, qui constitue leur exosquelette, dans la plupart des cas constitué de chitine. Apparus il y a 543 millions d'années, l'embranchement des arthropodes est de très loin celui qui possède le plus d'espèces et le plus d'individus de tout le règne animal (80 % des espèces connues).

✓ **Atterrissement**

Dépôt de matériaux alluvionnaires apportés notamment lors des phases de crues par le cours d'eau et formant des bancs qui modifient la dynamique fluviale.

✓ **Autotrophie**

Capacité pour un organisme à produire de la matière organique à partir de la réduction de matière inorganique et d'une source d'énergie externe lumière (photoautotrophie) ou réactions chimiques (chimioautotrophie).

B

✓ **Bactérie Gram**

Bactéries mises en évidence par une technique de coloration appelée coloration de Gram, elles apparaissent alors roses au microscope. La technique de coloration repose sur les caractéristiques membranaires et de paroi de la bactérie. Néanmoins, il ne s'agit pas d'un facteur de classement phylogénétique en effet, les groupes 'Gram +' et 'Gram -' sont tous deux non-monophylétiques.

✓ **Biocénose**

Ensemble des êtres vivants qui coexistent dans un milieu donné (le biotope). Un biotope et sa biocénose sont en interactions constantes ; ils constituent un écosystème.

✓ **Biodiversité**

La biodiversité désigne la variété des formes de vie sur la Terre. Ce terme est composé du préfixe bio et du mot « diversité ».

✓ **Biologie de la conservation**

Discipline traitant des questions de perte, maintien ou restauration de biodiversité. Discipline de synthèse qui applique les principes de l'écologie, de la biogéographie, de la génétique des populations, de l'anthropologie, de l'économie, de la sociologie, etc., au maintien de la diversité biologique sur l'ensemble de la planète.

✓ **Biologie intégrative**

Discipline de la biologie qui concerne la description intégrée des multiples phénomènes intervenant dans les divers niveaux des organisations structurale et fonctionnelle hiérarchiques du vivant.

✓ **Biomasse**

Matière organique qui compose les êtres vivants et leurs résidus, qu'elle qu'en soit l'origine (plantes, bactéries, animaux, champignons...), présents à un moment donné dans un biotope particulier. Elle est toujours composée de carbone. D'un point de vue énergétique, la biomasse représente l'énergie que l'on peut obtenir par combustion ou fermentation de matière vivante.

✓ **Biométrie**

Science de la mesure du vivant. Désigne dans un sens très large l'étude quantitative des êtres vivants.

✓ **Biosphère**

Milieus de la Terre adaptés et/ou entretenus par les organismes vivants. Ils font partie intégrante des écosystèmes présents dans la lithosphère, l'hydrosphère et une partie de l'atmosphère. Cet espace vivant dynamique est entretenu par un apport d'énergie (essentiellement dû au Soleil) et le métabolisme des organismes vivants en interaction avec leur environnement.

✓ **Biotique**

Ayant un rapport avec la vie. Les facteurs biotiques d'un écosystème sont la flore et la faune ainsi que les relations qu'ils ont entre eux. Milieu dans lequel la vie peut se développer.

✓ **Biotope**

Lieu de vie ayant des caractéristiques physiques et chimiques déterminées relativement uniformes. Ce milieu héberge un ensemble de formes de vie composant la biocénose flore, faune, micro-organismes. Un biotope et la biocénose qu'il accueille forment un écosystème.

✓ **Bioturbation**

Phénomène de mélange actif des couches de sol ou d'eau par les espèces vivantes, animales principalement.

✓ **Bloom planctonique**

Aussi appelé efflorescence planctonique. Prolifération relativement rapide de la concentration de quelques espèces d'algues, généralement appartenant au phytoplancton, dans un système aquatique d'eau douce, saumâtre ou salée. Elle se traduit généralement par une coloration de l'eau (rouge, brun, brun-jaune ou vert). Ces couleurs sont dues aux pigments photosynthétiques dominants des algues impliquées. Le phénomène peut être naturel ou favorisé par des pollutions (nitrates, phosphates).

C

✓ **Caractère discret**

Caractère d'un organisme vivant qui peut adopter uniquement des états bien distincts (exemples : noir ou blanc ; présence ou absence des dents de sagesse).

✓ **Cellule souche**

Cellule indifférenciée capable d'engendrer des cellules spécialisées par différenciation cellulaire. Elles peuvent se maintenir par prolifération dans l'organisme ou indéfiniment en culture. Les cellules souches sont présentes chez tous les êtres vivants multicellulaires.

✓ **Charge solide**

Quantité de matériel particulaire qu'un cours d'eau peut transporter sur une section donnée pendant un temps donné.

✓ **Circulation thermohaline**

Part de la circulation océanique due aux variations de densité de l'eau de mer provoquées à la fois par les variations de température (thermo-) et de salinité (-haline).

✓ **Climats**

Le climat est la distribution statistique des conditions de l'atmosphère terrestre dans une région donnée pendant une période donnée. L'étude du climat est la climatologie. Elle se distingue de la météorologie qui désigne l'étude du temps à court terme et dans des zones ponctuelles.

✓ **Cnidaires**

Embranchement (phylum) d'animaux aquatiques (essentiellement marins) que l'on retrouve sous deux formes les polypes, lorsqu'ils sont fixés (c'est le cas du corail ou des anémones de mer), et les méduses lorsqu'ils sont nageurs.

✓ **Colmatage artificiel**

Technique ancienne de génie-civil qui consistait à combler des marais ou des anciens lits de rivière en y faisant décanter la matière en suspension lors d'inondations contrôlées.

✓ **Colonne d'eau**

Volume d'eau situé au-dessus du fond.

✓ **Communauté écologique**

Ensemble de populations d'espèces différentes, partageant certaines caractéristiques écologiques (souvent : espèces de même niveau trophique), occupant un même site ou une même région géographique. Exemples : Communauté de poissons 'herbivores' d'un lac alpin, communauté d'arbres d'une forêt tropicale, avifaune d'Europe.

✓ **Communautés**

Ensemble d'espèces appartenant à un même groupe taxonomique ou fonctionnel en interaction au sein d'un écosystème (par exemple la communauté des plantes ligneuses)

✓ **Compactage dynamique**

Technique permettant de densifier le sol sur une profondeur inférieure à 10 m, sous les impacts d'une masse de 15 à 150 tonnes tombant de 20 à 40 m.

✓ **Conductivité thermique**

Grandeur physique caractérisant l'aptitude des matériaux à transférer (ou conduire) la chaleur en restant au repos. La conductivité électrique est son analogue pour le transfert de l'électricité.

✓ **Consommateur primaire**

Êtres vivants ayant besoin pour grandir et croître de consommer d'autres êtres vivants afin de produire leur propre matière organique. Ce sont des organismes hétérotrophes. Les herbivores, qui ne consomment que des plantes terrestres ou aquatiques, sont des consommateurs primaires.

✓ **Convection**

Mouvement d'un fluide comme l'air ou l'eau engendré, sous l'effet de la pesanteur, par les inhomogénéités de sa densité, dues aux inhomogénéités de température ou de composition chimique (par exemple la salinité).

✓ **Corridor fluvial**

Continuum écologique constitué par un cours d'eau, ses affluents et leurs annexes, de la source à l'embouchure.

✓ **Cosmopolite :**

Se dit d'une espèce animale ou végétale quand elle est présente dans toutes les parties du monde.

✓ **Couche limite**

Région très mince qui entoure tout objet solide en mouvement relatif par rapport à un fluide peu visqueux comme l'air ou l'eau.

✓ **Couvert végétal disjoint**

Caractérise une zone de végétation fractionnée par des rochers, des éboulis, etc.

✓ **Cryptophytes**

Organismes unicellulaires, photosynthétiques pour la plupart. Leurs chloroplastes sont limités par quatre membranes, signe d'une endosymbiose d'un eucaryote photosynthétique. Les Cryptophytes se rencontrent dans de nombreux milieux, en particulier aquatiques (milieux océaniques, eaux douces, eaux interstitielles des milieux terrestres humides). Certaines espèces sont devenues parasites intestinaux de métazoaires. Quelques-unes sont des endosymbiotes de Dinophytes.

✓ **Cténophores**

Organismes marins prédateurs, hermaphrodites, de petite taille. Ils ont une vague ressemblance avec les méduses et constituent une part très importante du plancton.

✓ **Cycle de vie**

Le cycle de vie du produit est la succession d'étapes de commercialisation que traverse un produit dans le temps. En effet, les conditions de vente d'un produit changent en permanence.

D

✓ **Défaunation**

Extinction locale ou globale des populations ou des espèces d'animaux sauvages. Cette extinction peut être fonctionnelle (l'espèce existe encore mais ne joue plus de rôle dans son écosystème).

✓ **Dégradation des litières**

Dans le cas de la décomposition de la litière, la matière organique est convertie en humus à l'aide d'organismes du sol tels que les vers de terre, les cloportes, les acariens, les collemboles et les micro-organismes.

✓ **Dépôts alluvionnaires**

Une alluvion est un dépôt de débris, tels du sable, de la vase, de l'argile, des galets, du limon et des graviers, transportés par de l'eau courante. Les alluvions peuvent se déposer dans le lit du cours d'eau ou s'accumuler au point de rupture de pente.

✓ **Dessication**

Action de dessécher. Élimination de l'eau, naturel ou pas, contenue dans une substance.
Exemple : dessiccation du sol, d'une plante.

✓ **Diagenèse**

La diagenèse, ou diagénèse, désigne l'ensemble des processus physico-chimiques et biochimiques par lesquels les dépôts de sédiments meubles sont transformés en roches indurées.

✓ **Diapause**

Phase, génétiquement déterminée dans le développement d'un organisme, pendant laquelle il diminue l'intensité de ses activités métaboliques.

✓ **Dimorphisme sexuel**

Ensemble des différences morphologiques plus ou moins marquées entre les individus mâle et femelle d'une même espèce.

✓ **Diploïdie**

Propriété d'une cellule dont les chromosomes qu'elle contient sont présents par paires ($2n$ chromosomes). Le concept est généralement à opposer à haploïdie, terme désignant la propriété des cellules avec des chromosomes en simple exemplaire (n chromosomes). Un organisme ou une partie d'organisme est dit diploïde lorsque ses cellules sont elles-mêmes diploïdes.

✓ **Distance phylogénétique**

Représente un indice de similitude globale entre deux taxons. C'est la quantité d'évolution entre les séquences et leurs ancêtres. Permet de déterminer quelles espèces ont bifurqué en premier, quelles sont les dernières espèces apparues.

E

✓ **Echantillons**

En statistique, un échantillon est un ensemble d'individus représentatifs d'une population. L'échantillonnage vise à obtenir une meilleure connaissance d'une ou plusieurs population ou sous-populations par l'étude d'un nombre d'échantillons jugé statistiquement représentatif.

✓ **Écologue**

Travaille dans l'écologie. Le métier d'écologue consiste à étudier les relations entre les organismes et le monde environnant. Ne doit pas être confondu avec l'écologiste, qui milite pour protéger l'écologie.

✓ **Écosystème**

Ensemble formé par une association d'êtres vivants (ou biocénose) et son environnement (le biotope) biologique, géologique, édaphique (le sol), hydrologique, climatique, etc. Un écosystème est caractérisé par des interactions entre espèces vivantes et leur milieu environnant, des flux de matière et d'énergie entre chacun des constituants de l'écosystème permettant leur vie et un équilibre dynamique au cours du temps, entre pérennité et évolution.

✓ **Écosystème primaire ou ancien**

Écosystème présentant un grand niveau de naturalité, sans perturbation importante (donc peu détruit et peu exploité) depuis longtemps. Le terme est surtout utilisé pour désigner les forêts primaires qui sont des forêts intactes que l'on retrouve surtout en zone tropicale comme la forêt amazonienne ou la forêt du bassin du Congo. Mais le terme peut aussi s'appliquer à des écosystèmes herbacés comme les savanes. On traduit écosystème primaire en anglais par « *old-growth ecosystems* ». Dans la définition anglaise on retrouve la notion d'ancienneté qui est fondamentale dans la définition de ces écosystèmes.

✓ **Effet de serre**

Action des molécules d'une enveloppe, comme la serre d'un jardin ou l'atmosphère, qui conduit celle-ci à absorber et renvoyer vers le sol une fraction du rayonnement thermique émis par celui-ci.

✓ **Endémique**

Caractérise une maladie chez l'homme dont le taux d'incidence est en général assez stable.

✓ **Epibenthique**

Organisme vivant à la surface du substratum dans la zone de fond marin.

✓ **Épiphyte**

Plante non-parasite utilisant d'autres plantes comme support de croissance

✓ **Éthologie**

Étude du comportement des diverses espèces animales, dans leur milieu naturel ou non.

✓ **Eucaryotes**

Organismes unicellulaires ou multicellulaires dont les cellules possèdent un noyau et des organites (réticulum endoplasmique, appareil de Golgi, plastes divers, mitochondries, etc.) délimités par des membranes. Les eucaryotes sont, avec les bactéries et les archées, un des trois groupes du vivant.

✓ **Euryhalin**

Se dit d'un organisme tolérant de larges fluctuations de salinité de son milieu de vie. Exemples : toutes les espèces peuplant ou fréquentant les lagunes et estuaires, telles que flets, mulets, lamproies... (Ant. : sténohalin*)

✓ **Eutrophisation**

Du grec εὔ, bien, et τροφή, action de nourrir. Enrichissement des habitats aquatiques en matières nutritives (azote, phosphate, matières organiques) par les eaux usées et le drainage des champs cultivés, qui provoque un envahissement massif par des algues et des angiospermes. Le stade ultime est caractérisé par la mort d'une grande partie de la faune, à cause du manque d'oxygène.

F

✓ **Facteurs anthropiques**

Facteurs associés à l'action de l'homme qui transforme les espaces, les paysages, les écosystèmes.

✓ **Faune sessile**

Organismes le plus souvent aquatique, vivant seuls ou en colonies et définitivement fixés directement sur le substratum. C'est par exemple le cas des éponges, des coraux, des hydrozoaires, des tuniciers, des bryozoaires, etc.

✓ **Films bactériens ou voiles bactériens**

Aussi appelé biofilms ; communauté microbienne marquée par la sécrétion d'une matrice adhésive et protectrice. Il se forme généralement dans l'eau ou en milieu aqueux. Les biofilms ont sans doute constitué les premières colonies d'organismes vivants, il y a plus de 3,5 milliards d'années. Avec les stromatolithes, ils semblent à l'origine des premières roches biogéniques et structures récifales.

✓ **Flagellé**

Cellule ou organisme unicellulaire muni d'un ou de plusieurs flagelles, structure assurant leur mobilité.

✓ **Fossilisation**

Passage d'un corps organisé à l'état de fossile ; résultat de cette action.

✓ **Fossiles**

Un fossile est la trace plus ou moins minéralisée d'un ancien organisme vivant ou de son activité passée, ou bien son simple moulage, conservés dans une roche sédimentaire. Il peut s'agir de restes plus ou moins bien conservés de l'organisme lui-même, ou d'empreintes laissées par ce dernier.

G

✓ **Glace de mer**

Glace issue du gel de l'eau de mer, et qui flotte à sa surface (typiquement de quelques décimètres d'épaisseur).

H

✓ **Helminthes**

Terme générique rassemblant divers types de vers en général parasites les vers ronds (nématodes), les vers à trompe épineuse (acanthocéphales – vers « à tête épineuse») et les vers plats (plathelminthes cestodes et trématodes).

✓ **Hétérotrophe**

Qualifie un organisme (animaux, champignons, procaryotes) incapable de synthétiser lui-même ses composants et qui recourt donc à des sources de matières organiques exogènes produites initialement par des organismes autotrophes.

✓ **Hétérotrophie**

Mode de nutrition caractéristique d'organismes utilisant des sources de matières organiques exogènes pour leur croissance et leur développement. Les animaux, les champignons, de nombreux protozoaires, l'essentiel des procaryotes et quelques rares plantes sont hétérotrophes.

✓ **Hydrolyse**

Une hydrolyse est une réaction chimique et enzymatique dans laquelle une liaison covalente est rompue par action d'une molécule d'eau. Exemple : hydrolyse du saccharose : saccharose + eau → glucose + fructose : ce mélange porte le nom de sucre inverti.

✓ **Hydrophile**

Propriété d'un composé ayant une affinité pour l'eau et tendance à s'y dissoudre. Il est également ionique. Il peut être soluble dans l'eau (hydrosoluble) ou les solvants polaires.

✓ **Hydrophobe**

Propriété d'un composé « qui n'aime pas l'eau » ; il repousse l'eau ou est repoussé par l'eau. Les produits hydrophobes sont souvent lipophiles (solubles dans les corps gras ou les solvants organiques), mais insolubles dans l'eau.

✓ **Hydrosphère**

Zones de la Terre occupées par de l'eau ou de la glace (océans, mers, cours d'eau, lacs, glaciers, calottes polaires et eaux souterraines). A noter que l'atmosphère contient de grandes quantités de vapeur d'eau.

I

✓ **Ile océanique**

Île dont le socle rocheux est lié à l'activité volcanique ou corallienne (en milieu tropical uniquement)

✓ **Interaction mutualiste**

Interaction entre deux espèces à bénéfice réciproque.

✓ **Interspécifique**

Terme qui décrit les relations qui s'établissent entre des individus appartenant à des espèces différentes.

✓ **Intraspécifique**

Terme qui décrit les relations qui s'établissent entre des individus appartenant à une seule et même espèce.

✓ **Isolement reproductif**

Mécanisme empêchant, ou limitant fortement, l'hybridation de deux espèces habitant la même région, même lorsqu'elles sont étroitement apparentées. On distingue les mécanismes qui font barrière à l'accouplement ou à la fécondation de ceux qui, intervenant après la fécondation, réduisent la viabilité ou la fertilité des œufs fécondés ou des individus hybrides qui en sont issus.

L

✓ **Lac**

Plan d'eau d'origine naturelle pour lequel une durée de séjour relativement longue des eaux et une profondeur suffisante permettent de définir une zone pélagique (pleine eau) où s'établit à certaines époques de l'année, une stratification thermique stable. On peut distinguer les lacs de montagne qui sont alimentés par les torrents, les lacs de plaine et les lacs littoraux (Carcans, Lacanau...).

✓ **Lâcher d'eau ou lâchure de barrage**

Évacuation contrôlée d'une fraction d'eau du barrage (soutien d'étiage, sécurité, production d'énergie,...).

✓ **Lagunage**

Traitement biochimique: stockage de l'eau résiduaire durant le temps nécessaire à la production de la dégradation de la matière organique par bactéries hétérotrophes. Les lagunes sont constituées de plans d'eau peu profonds, en général au nombre de trois. L'apport d'oxygène naturel, par échange avec l'atmosphère ou par photosynthèse des algues de surface, peut être complété exceptionnellement par des aérateurs pour stimuler l'activité biologique et diminuer les surfaces.

✓ **Lessivage**

Entraînement en profondeur par l'eau des sels solubles des colloïdes du sol. En particulier, les nitrates et certains produits phytosanitaires (ou leurs produits de dégradation) peuvent ainsi atteindre les nappes d'eau et en altérer la qualité, jusqu'à rendre l'eau impropre à la consommation.

Pour l'air, c'est l'entraînement par les précipitations de poussières, gaz, aérosols, etc. contenus dans l'atmosphère.

✓ **Lichens**

Organismes issus d'une symbiose entre un champignon et une algue. L'algue synthétise la matière organique à partir du dioxyde de carbone (CO₂) de l'air et du rayonnement solaire

(photosynthèse). En contrepartie, le champignon prélève dans le milieu l'eau et les sels minéraux indispensables à la symbiose lichénique.

✓ **Limite des eaux douces**

L'endroit du cours d'eau où, à marée basse et en période d'étiage, le degré de salinité augmente sensiblement par suite de la présence de l'eau de mer.

✓ **Limnologie**

Science qui étudie les lacs et réservoirs à ciel ouvert, y compris les phénomènes hydrologiques, en relation avec l'environnement.

✓ **Limon**

Matériau non organique à grains fins, dont le diamètre nominal des particules varie de 0,02 à 0,002 mm suivant les normes de l'Association internationale de la science des sols, ou de 0,05 à 0,005 mm suivant les normes de l'US Bureau of Soils (classification granulométrique).
- Matériau meuble appartenant à la fraction la plus fine, dont la plupart des particules sont plus petites que des grains de sable et plus grosses que des particules d'argile.

✓ **Lit (d'un cours d'eau)**

Partie la plus basse d'une vallée creusée par l'écoulement et dans laquelle se déplacent, en dehors des crues, l'eau et les matériaux transportés.

✓ **Lit bactérien**

Type de film biologique actif.

✓ **Littoral**

Pour certains, il correspond à la ceinture des terres émergées et des aires toujours submergées. Pour d'autres, le terme se restreint au trait de côte, à l'estran, ou au contraire s'étend à toutes les terres qui sont influencées par la présence de la mer. Au point de vue juridique, le littoral est "l'ensemble des sites naturels en bordure de mer dont la situation particulière confère une qualité exceptionnelle très estimée et qui mérite d'être protégée".

M

✓ **Macrophytes aquatiques**

Un macrophyte est un végétal aquatique de zones humides continentales et littorales. Il peut s'agir de phanérogames (plantes à fleur), de bryophytes (mousses et hépatiques), de ptéridophytes (prêles, ...).

✓ **Matière inorganique**

Par opposition à la matière organique qui renferme des composés organiques qui sont basés sur un squelette carboné et comportent habituellement des liaisons C-H. Dans les sols, la matière inorganique est constituée de composés minéraux provenant de la décomposition de la matière organique au cours des processus de minéralisation. Ces composés peuvent aussi être produits par la chimie. Cependant, quelques composés simples du carbone (carbonates, bicarbonates et cyanures ioniques, les carbures, excepté les hydrocarbures) sont classés parmi les composés inorganiques.

✓ **Micropaléontologie**

La micropaléontologie est une branche de la paléontologie dont l'objet est l'étude des microfossiles. Il s'agit de fossiles à paroi minérale et de taille généralement inférieure à 4 mm - très souvent en dessous du millimètre -, ce qui impose le recours au microscope électronique.

✓ **Microphytes**

Végétaux minuscules, souvent unicellulaires présents dans les milieux aquatiques (eau douce et eau de mer).

✓ **Mollusques**

Embranchement d'animaux non segmentés, à symétrie bilatérale quelquefois altérée. Ils ont un corps mou (d'où le nom de mollusque) composé généralement d'une tête, d'une masse viscérale, et d'un pied. Ils peuvent être pourvus d'une coquille calcaire produite par un manteau recouvrant la masse viscérale.

✓ **Nématodes**

Vers ronds, non segmentés. Certains mènent une vie « libre » (dans les sols, l'eau, etc.). D'autres ont une vie parasitaire, au sein d'organismes fongiques, végétaux ou animaux.

✓ **Nématomorphes**

Vers non-segmentés, au corps cylindrique, extrêmement longs et fins (en moyenne de 0.5 à 2,5 mm de diamètre pour 10 à 70 cm de longueur). Aussi appelés vers gordiens à cause de l'impression qu'ils donnent de faire des nœuds compliqués avec leur corps.

O

✓ **Ontogéniques**

Ce qui est **ontogénique** est relatif aux gènes et à la génétique, à l'ontogénie. Une ontogénétique qualifie ce qui est relatif au développement de l'individu (organisme) depuis la fécondation de l'oeuf (ontogenèse) jusqu'à l'état adulte.

✓ **Organisme unicellulaire**

Organismes vivants composés d'une seule cellule, à la différence des organismes multicellulaires. Cette appellation regroupe diverses formes de vie, notamment les bactéries et les archées, mais aussi de nombreux eucaryotes (comme certaines algues et champignons, etc.).

✓ **Organites**

Structure spécialisée ayant une fonction spécifique au sein de la cellule. Par exemple, le noyau, les mitochondries et les chloroplastes sont des organites.

P

✓ **Paléoanatomie**

Étude scientifique de l'anatomie des êtres fossiles.

✓ **Paléobiogéographie**

Au début du XIX^e siècle, eut lieu une des découvertes fondamentales des sciences de la vie et de la Terre. Il s'agit de la découverte d'une nouvelle géographie, différente de la géographie physique et de la géographie politique. ...

✓ **Paléobiologie**

La paléobiologie, étude de la vie des temps passés, permet de reconstituer l'histoire des êtres vivants. Cette histoire donne aussi des indices sur les mécanismes évolutifs en jeu dans l'évolution des espèces. La paléobiologie s'occupe plus particulièrement des restes fossiles des êtres vivants.

✓ **Paléo-environnement**

Reconstitutions environnementales des époques anciennes, en particulier à l'échelle géologique.

✓ **Paléoethnobotanique**

Ou archéobotanique, est une des composantes de l'archéologie appliquée à l'ethnobotanique en ethnobiologie. La paléoethnobotanique est l'étude des biofacts, des restes de plantes cultivées ou utilisées par l'homme dans les temps anciens, qui ont survécu dans des contextes archéologiques.

✓ **Paléomastozoologie**

didactique Partie de la paléontologie qui étudie les animaux fossiles et leur mode de vie.

✓ **Paléoneurologie**

La paléontologie est la discipline scientifique qui étudie les processus de fossilisation des êtres vivants disparus ou la corrélation et datation des roches qui les contiennent.

✓ **Perturbation**

Évènement ponctuel (souvent peu fréquent) qui modifie l'état d'un écosystème.

✓ **pH**

Abréviation pour Potentiel d'Hydrogène, une mesure de l'activité de l'ion hydrogène (ou proton) dans une solution. Le pH est un indicateur de l'acidité (pH inférieur à 7) ou de l'alcalinité (pH supérieur à 7) d'une solution. Une solution de pH 7 est dite neutre.

✓ **Photosynthèse**

Processus bioénergétique qui permet aux plantes, aux algues et à certaines bactéries de synthétiser de la matière organique à partir du CO_2 de l'atmosphère en utilisant la lumière du soleil. L'énergie solaire est ainsi utilisée pour oxyder l'eau et réduire le dioxyde de carbone afin de synthétiser des substances organiques (glucides). L'oxydation de l'eau conduit à la formation du dioxygène O_2 que l'on retrouve dans l'atmosphère. La photosynthèse est à la base de l'autotrophie, elle est le résultat du fonctionnement intégré du chloroplaste au sein de la cellule et de l'organisme.

✓ **Plancton**

Ensemble des microorganismes vivants dans les milieux aquatiques (eaux douces, saumâtres et salées) et flottant au gré des courants. Souvent invisibles à l'œil nu, leur taille varie de 0,2 micromètre (0,002 millimètre) à 0,2 millimètre. On distingue le plancton végétal, ou phytoplancton, et le plancton animal, ou zooplancton (constitué de gamètes, larves, animaux inaptes à lutter contre le courant comme des petits crustacés planctoniques, siphonophores et méduses). Les organismes planctoniques sont définis à partir de leur niche écologique et non selon des critères phylogénétique ou taxonomique.

✓ **Pluviolessivats**

Résultat de la percolation des eaux pluviales à travers le feuillage.

✓ **Population**

Ensemble des individus d'une même espèce et pouvant se reproduire entre eux dans un territoire donné

✓ **Pression**

force agissant par unité de surface. Dans un fluide la pression agissant sur une surface est indépendante de l'orientation de celle-ci.

✓ **Procaryote**

Micro-organismes (en général unicellulaires) à la structure cellulaire simple, ne comportant pas de noyau, et presque jamais de compartimentation interne (la seule exception étant les thylakoïdes chez les cyanobactéries). Deux des trois groupes constituant le vivant sont des procaryotes les Archées et les Bactéries.

✓ **Processus taphonomiques**

La taphonomie est la discipline de la paléontologie et de l'archéologie qui étudie la formation des gisements fossiles et tous les processus qui interviennent depuis la mort d'un organisme, incluant le transport, l'enfouissement, la fossilisation, l'altération, etc.

✓ **Producteur primaire**

Être vivant capable de produire de la matière organique à partir de matière minérale, par exemple grâce à la photosynthèse. C'est un organisme autotrophe, situé à la base de la chaîne alimentaire. Il est ingéré par un consommateur primaire, lui-même étant la cible éventuelle des consommateurs secondaires.

✓ **Production phytoplanctonique :**

Le phytoplancton est appelé producteur primaire car il a la capacité de transformer la matière inorganique (CO₂, sels minéraux, eau, lumière...) en matière organique (biomasse) utilisable par les autres organismes vivants.

✓ **Propriétés physico-chimiques**

Les **propriétés physico-chimiques** incluent les **propriétés** physiques, les **propriétés** de solvation liées aux interactions avec différents milieux et les propriétés ou attributs moléculaires qui définissent la réactivité chimique intrinsèque.

Q

✓ **Quaternaire**

Le Quaternaire ou l'ère quaternaire, ou encore le système quaternaire, est la troisième période géologique de l'ère du Cénozoïque ; c'est la plus récente sur l'échelle des temps géologiques.

R

✓ **Réseau écologique**

Réseau d'organismes (espèces) interdépendants, connectés par des relations de compétition, prédation, mutualisme, parasitisme, commensalisme, ..., en interaction dans un même habitat ou biotope*.

✓ **Réseau trophique**

Description de certaines relations entre espèces (relations prédateur-proie notamment), les cycles et flux d'énergie et de nutriments au sein des écosystèmes entre producteurs, consommateurs et décomposeurs. Le niveau de base de ce réseau est celui de la production primaire autotrophe, au-dessus de ce niveau, chaque maillon d'une chaîne alimentaire correspond à un niveau trophique.

✓ **Résilience d'un écosystème**

Capacité d'un écosystème à se régénérer et à revenir à l'état de référence suite à une perturbation (c'est-à-dire à l'état avant perturbation).

✓ **Résistance d'un écosystème**

Capacité d'un écosystème à persister ou à maintenir sa fonction face aux perturbations exogènes.

✓ **Restauration écologique**

Action intentionnelle qui initie, assiste ou accélère la récupération d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit (SER 2004).

✓ **Respiration**

Désigne à la fois les échanges gazeux résultant de l'inspiration et de l'expiration de l'air par les organismes vivants (rejet de dioxyde de carbone CO₂ et absorption de dioxygène O₂) et la respiration cellulaire qui permet, en dégradant du glucose grâce au dioxygène, d'obtenir de l'énergie.

S

✓ **Sériation**

En Archéologie, la sériation est une méthode de datation.

✓ **Sténohalin**

Se dit d'un organisme vulnérable aux fluctuations de salinité de son milieu de vie. Exemple : poissons pélagiques tels que morues, anchois... (Ant. : euryhalin*)

✓ **Stress**

État, situation d'un organisme subissant la pénurie ou l'excès d'une ressource (eau, nutriments, lumière).

✓ **Stress salin**

Stress dû à la salinité des sols. Cette salinité peut être naturelle ou induite par les activités agricoles comme l'irrigation (avec de l'eau de faible qualité) ou l'utilisation de certains types d'engrais.

✓ **Succession écologique**

Après une perturbation, évolution libre d'un écosystème au cours du temps, consistant en une série d'étapes devant se succéder dans un ordre défini.

✓ **Symbiose**

Du grec σύν, avec et βίος, vie. Association intime, durable entre deux organismes appartenant à des espèces différentes qui se traduit par des effets bénéfiques aussi bien pour l'un que pour l'autre. Les organismes impliqués sont qualifiés de symbiotes, ou symbiontes (anglicisme) ; le plus gros peut être nommé hôte.

T

✓ **Taux de croissance intrinsèque (d'une espèce)**

Taux de croissance d'une population de cette espèce hors régulation densité-dépendante, c.-à-d. sans compétition locale pour les ressources. C'est le taux de croissance d'une petite population de cette espèce, en expansion dans un habitat vacant.

✓ **Taxon**

Unité des classifications hiérarchiques des êtres vivants. Généralement le terme est employé aux rangs spécifique (l'espèce) et subs spécifique (la sous-espèce).

✓ **Taxonomique**

Relatif à la taxinomie, ou classification hiérarchique des êtres vivants.

✓ **Taxonomiste**

Personne compétente en taxonomie qui a pour objet de décrire les organismes vivants et de les regrouper en entités appelées taxons afin de les identifier puis les nommer et enfin les classer et de les reconnaître via des clés de détermination dichotomiques.

✓ **Thalle**

Désigne l'appareil végétatif assez simple des végétaux primitifs (algues, lichens, certains bryophytes...) par rapport à celui des plantes évoluées qui présentent un cormus avec tige, racines et feuilles.

✓ **Thermosphère**

Région la plus basse de l'hétérosphère, où la composition chimique de l'atmosphère perd son homogénéité. La température y croît en fonction de l'altitude, alors qu'elle décroît dans la mésosphère située au-dessous d'elle. Elle débute à une altitude de 95 km et se termine dans l'exosphère, à une altitude dépendant de l'activité solaire.

✓ **Tirage avec remise**

Effectuer un tirage successif avec remise de p jetons dans une urne qui en contient n , c'est prendre un premier jeton, relever sa valeur, le reposer dans l'urne, prendre un deuxième jeton, relever sa valeur, le reposer dans l'urne, etc. jusqu'au p -ième jeton. Cela revient à choisir p objets parmi n avec répétition (on peut choisir plusieurs fois le même objet) et avec ordre (l'ordre dans lequel on choisit les objets a de l'importance). Le nombre de tirages successifs avec remise de p jetons parmi n est : $n \times n \times \dots \times n = np$.

✓ **Tourbière**

Zone humide, colonisée par la végétation, dont les conditions écologiques particulières ont permis la formation d'un sol caractérisé par sa très forte teneur en matière organique, peu ou pas décomposée, d'origine végétale. C'est un écosystème particulier et fragile dont les caractéristiques en font, malgré des émissions de méthane, un puits de carbone, car il y a plus de synthèse de matière organique que de dégradation.

✓ **Tornade**

Structure tourbillonnaire d'axe quasi-vertical, porteuse de vents violents et dévastateurs, souvent accompagnée d'orages. Sa rotation est souvent engendrée par un cisaillement entre des vents horizontaux de directions opposées.

✓ Tourbillon

Domaine fluide animé d'une rotation plus ou moins intense, souvent visible dans l'eau et dans l'air.

✓ Trophique

Adjectif relatif à la nutrition d'un individu, d'un tissu vivant. Concerne les relations entre espèces (relations prédateur-proie notamment), les cycles et flux d'énergie et de nutriments au sein des écosystèmes entre producteurs, consommateurs et décomposeurs. Le niveau de base de ce réseau est celui de la production primaire autotrophe, au-dessus de ce niveau, chaque maillon d'une chaîne alimentaire correspond à un niveau trophique.

V

✓ Vent solaire

Flux de particules, notamment des protons, des électrons et quelques noyaux d'hélium, issu du Soleil, et dont la partie dirigée vers la Terre est détournée par le champ magnétique terrestre.

✓ Viviparité

Mode de reproduction où la germination des graines se produit alors qu'elles sont encore dans le fruit accroché à la plante-mère.

✓ Voile bactérien

Aussi appelé biofilm ; communauté microbienne marquée par la sécrétion d'une matrice adhésive et protectrice. Il se forme généralement dans l'eau ou en milieu aqueux. Les biofilms ont sans doute constitué les premières colonies d'organismes vivants, il y a plus de 3,5 milliards d'années. Avec les stromatolithes, ils semblent à l'origine des premières roches biogéniques et structures récifales.

Z

✓ **Zooplankton**

Plankton animal. Il se nourrit de matière vivante, certaines espèces étant herbivores et d'autres carnivores.

✓ **Zooxanthelles**

Algues symbiotiques unicellulaires vivant au sein des anémones de mer.

Dr RACHEDI MOUNIRA
MAITRE DE CONFERENCES « A »
(UCBET, 2022)



COURS DE LIMNOLOGIE

