

## Introduction à l'écologie:

ÉCOLOGIE = est la science qui étudie les milieux et les conditions d'existence des êtres vivants et les rappports qui s'établissent entre eux et leur environnement, ou plus généralement avec la nature.

➔ **Étymologie** du mot **écologie**: du grec "oikos", maison ou demeure et "logos", science, connaissance.

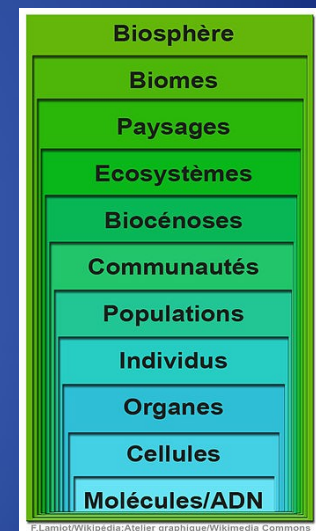
► L'écologie a été définie par le biologiste allemand **Ernst Haeckel** en **1866** comme "**la science des relations des organismes avec le monde environnant, c'est-à-dire, dans un sens large, la science des conditions d'existence**".

► **Écologie comme science biologique** intègre tous les niveaux d'organisation des êtres vivants.

Celui de la **biologie moléculaire**, de la **biologie cellulaire**, la **biologie des organismes** (au niveau individu et organisme), l'étude des populations, l'étude des communautés, des écosystèmes et de la biosphère.



*L'écologie a besoin de nous tous*



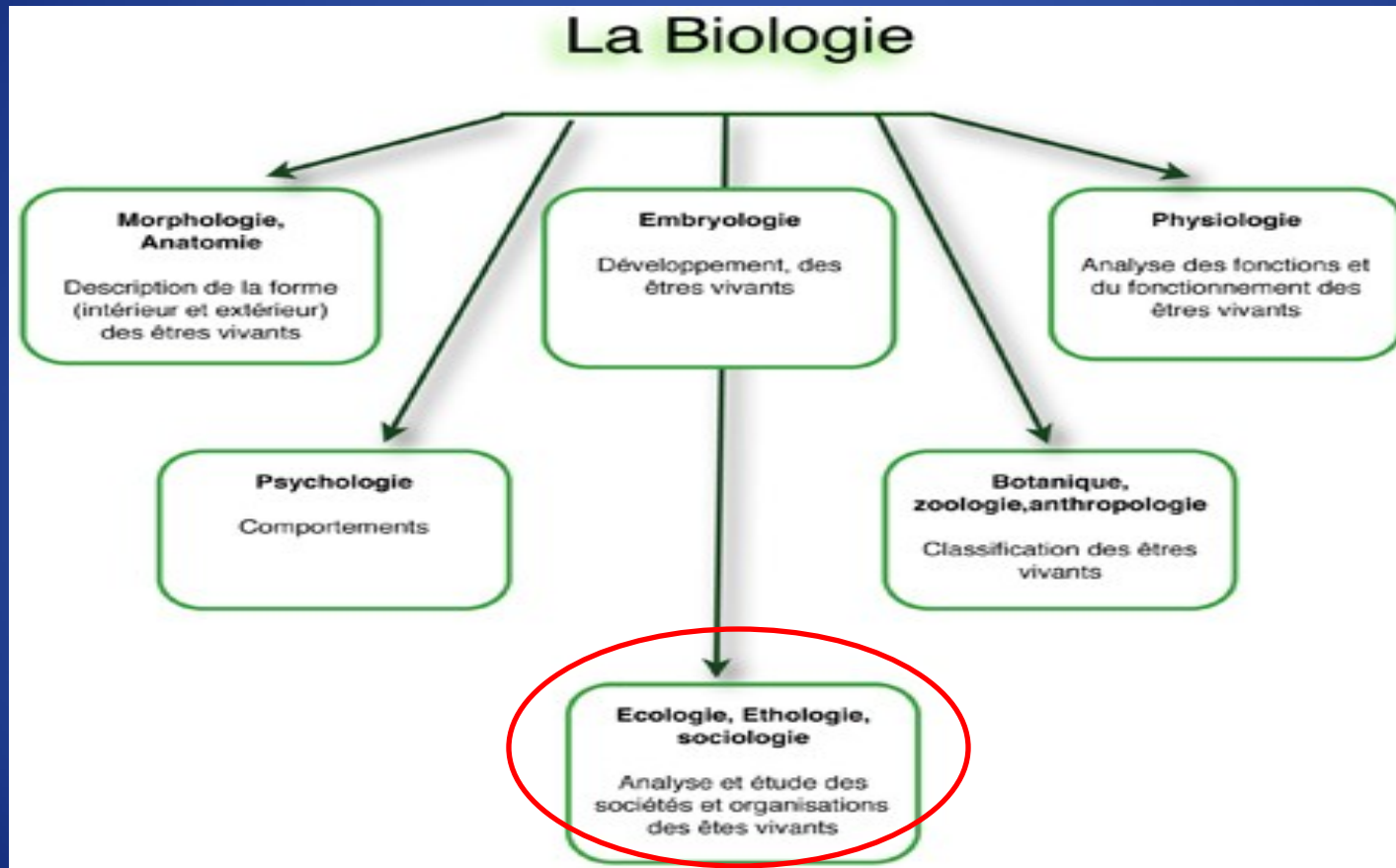
# Les sous disciplines de l'écologie:

Les relations décrites par l'écologie du plus petit niveau jusqu'au niveau le plus global concourent au développement de certaines sous-disciplines de cette science et sont :

- **ECOPHYSIOLOGIE**, qui étudie les relations entre un processus physiologique et les facteurs environnementaux ;
- **AUTOÉCOLOGIE**, qui étudie les relations entre un type d'organisme et les facteurs de l'environnement (facteurs écologiques);
- **ÉCOLOGIE DES POPULATIONS** (ou démo-écologie), qui étudie les relations entre une population d'individus d'une même espèce et son habitat ;
- **SYNECOLOGIE**, qui étudie les relations entre une communauté d'individus d'espèces différentes et l'environnement ; le global des relations réciproques de l'organisme et du milieu;
- **ÉCOLOGIE GLOBALE**, qui étudie l'écologie à l'échelle de l'écosphère ou biosphère (totalité des milieux occupés par des êtres vivants) et étudie des écosystèmes ;
- **ÉCOLOGIE HUMAINE**, qui étudie l'espèce humaine, l'activité organisée, sociale et individuelle de cette espèce, sa culture et son environnement dans la biosphère.  
Cette discipline se rattache à d'autres aspects d'écologie: *Écologie du paysage, Écologie urbaine, Écologie industrielle et/ou agricole (agro-écologie), etc....*

► La définition « large » du terme **écologie** permet de classer dans l'écologie de nombreuses disciplines telles que:

Biogéographie - Écologie animale (zoologie faunistique) - Écologie aquatique - Écologie chimique - Ecoévolution - Écologie des écosystèmes - **Écotoxicologie** - Écologie mésologique - **Écologie microbienne** (bactérienne et virale)- Écologie moléculaire - **Paléoécologie** - Écologie de restauration - **Écologie des sols** - Écologie des systèmes - Écologie théorique - Écologie tropicale - **Écologie végétale** (botanique floristique).



▶ Toujours en partant de la définition « large » du terme écologie, celle-ci joue un rôle important en tant que générateur d'interactions interdisciplinaires en reliant des domaines tels que l'économie, la sociologie, la géonomie, l'urbanisme, l'architecture, la santé individuelle et la santé publique, l'agriculture, le design, l'éducation, la technologie, le travail, le bien-être, la production industrielle et l'organisation sociale.

▶ Un écologue est un spécialiste de l'écologie &  
Un écologiste est un défenseur de la nature et des équilibres biologiques.

▶ Le terme « écologie » est souvent utilisé de manière erronée pour désigner l'écologie politique, l'environnementalisme (ou l'écologisme) et l'écologie sociale.





# Ecologie & Environnement:

L'**environnement** et l'**écologie** sont les enjeux majeurs à la fois de notre présent mais surtout de notre futur. Ces deux domaines rassemblent des stratégies :

- intégrant les concepts de la conservation des systèmes écologiques, des ressources naturelles et de la biodiversité ;
- sur un fondement de développement durable.



Exemples: 1- recyclage



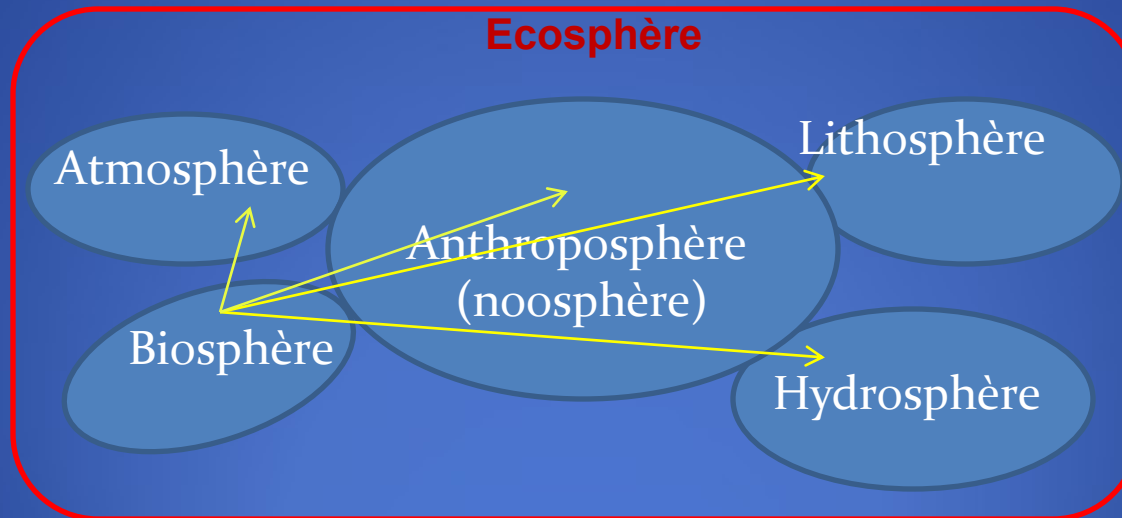
2- Energies renouvelables (propres)

# Principes fondamentaux de l'écologie:

► L'écologie est une science qui étudie les écosystèmes à plusieurs niveaux : la **population** (individus de la même espèce), la **Biocénose** (ou communauté d'espèces), les **écotones** et les **écosystèmes** des différents habitats (marins, aquatiques, terrestre, etc.) et la **Biosphère**.

► La Terre, d'un point de vue écologique, comprend plusieurs systèmes : l'**hydrosphère** (ou sphère de l'eau), la **lithosphère** (ou sphère du sol), l'**atmosphère** (ou sphère de l'air) et l'**la Biosphère** qui les chevauchent partiellement.

► Actuellement, on considère un autre système lié aux activités de l'homme, c'est l'**Anthroposphère** qui s'interconnecte à tous les autres systèmes. L'ensemble de ces systèmes constitue l'**ECOSPHERE**:



# Crises et perturbations écologiques:

▶ Une crise écologique se produit lorsque l'environnement biophysique d'un individu, d'une espèce ou d'une population d'espèces évolue de façon défavorable à sa survie.

▶ Il s'agit d'un environnement dont la qualité se dégrade par rapport aux besoins de l'espèce, suite à une évolution des facteurs écologiques abiotiques (par exemple, lors d'une augmentation de la température, de pluies moins importantes).

## Exemples:

1-Extinction des espèces

2-Disparition des habitats

3-Catastrophes naturelles

4- réchauffement climatiques

5-Pollution

Etc.....

} Déclin de la biodiversité

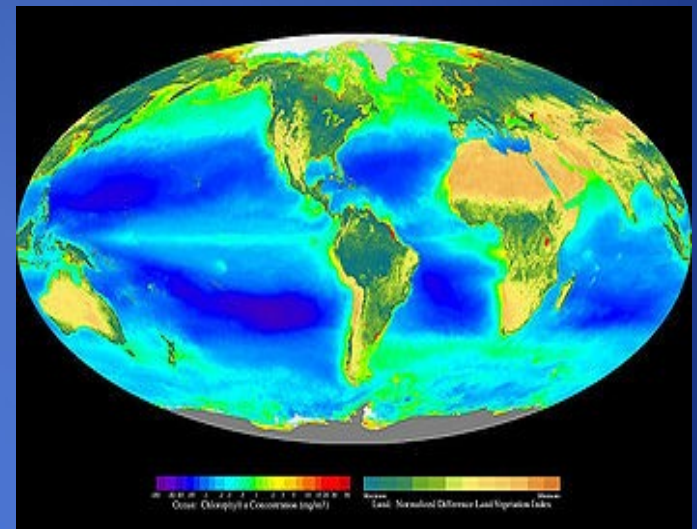
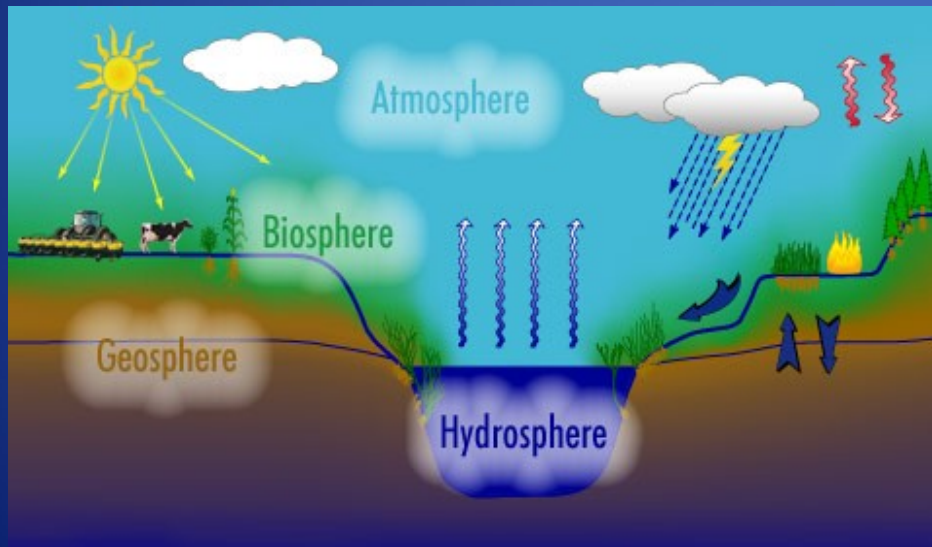
} Déclin de l'environnement

# Chapitre I : Organisation générale de la biosphère

## I.1-Notion de Biosphère:

La notion de **biosphère** désigne à la fois un espace vivant et un processus dynamique et auto-entretenu sur la planète Terre. La biosphère regroupe des systèmes écologiques (écosystèmes) présents dans la **lithosphère**, **l'hydrosphère** et une partie de **l'atmosphère**. Elle recouvre ainsi ces trois compartiments du globe terrestre.

- ▶ Pour le biologiste, la biosphère est un vaste espace de vie et d'étude.
- ▶ Pour le physicien, la biosphère est un espace de vie et d'étude d'un vaste système thermodynamique ouvert aux influences extérieures, qui tire l'essentiel de son énergie du rayonnement solaire, via la **Photosynthèse**. Fixant chaque année, en **énergie chimique**, quelque **500 milliards de milliards de calories**, soit près de **10 fois plus** que n'en utilisent toutes les formes de l'industrie humaine.



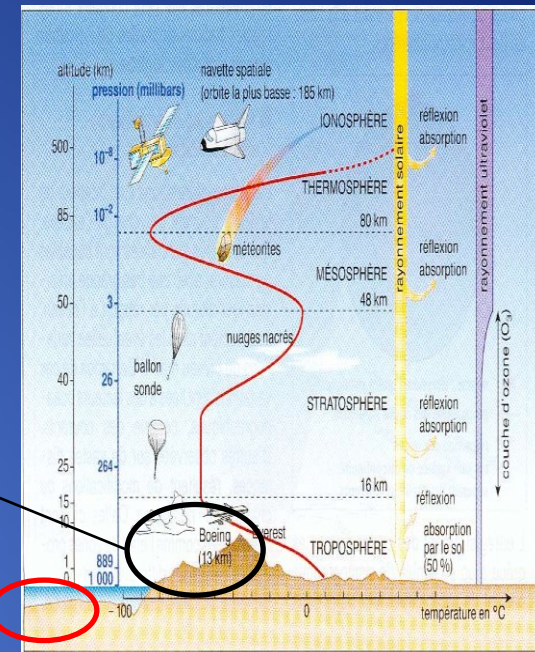
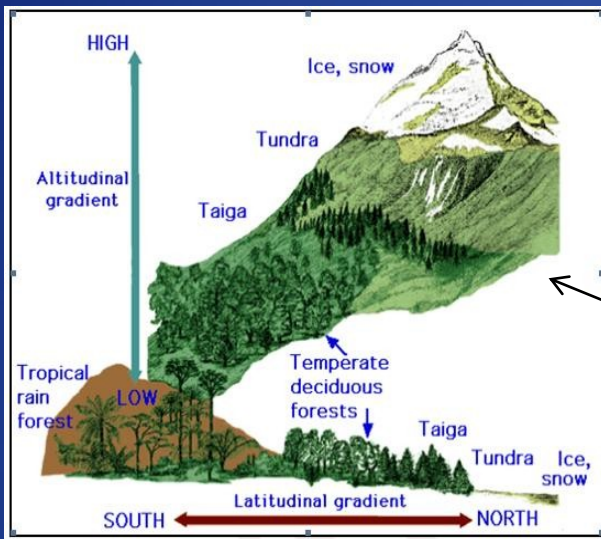


# I.2-Organisme vivant dans son environnement:

## I.2.1. limites de la vie:

► Les limites extrêmes de la vie sont de **+15 Km** dans l'atmosphère et de **-11 Km** dans les grands fonds marins.

► La majorité des espèces est localisée en milieu terrestre, dans les 3000 premiers mètres, et en milieu aquatique, dans les 100 premiers mètres (zone de pénétration de la lumière).



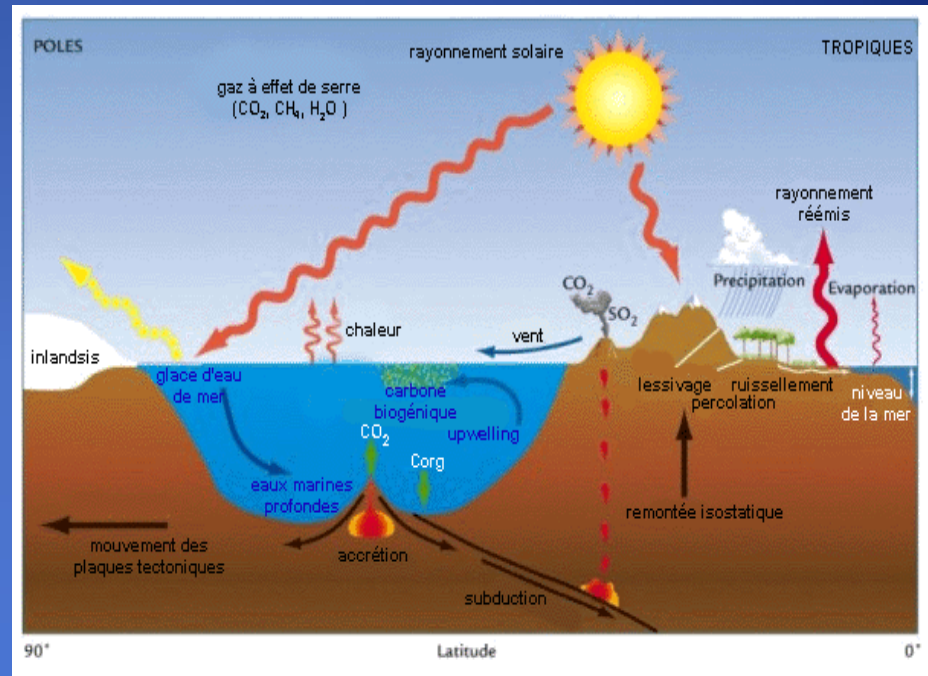


► Le milieu continentale ne représente que 30% de la surface du globe, les 70% reviennent au milieu aquatique (mers, océans et eaux continentales). Les terres émergées ont une part importante dans la productivité biologique.

► La biosphère est comme une machine vivante très structurée qui profite du mieux qu'elle le peut des ressources en éléments chimiques que lui offrent la **lithosphère** (ensemble des roches) et l'**hydrosphère** (océans et mers, étangs, lacs...), entourées d'une atmosphère (air).

► L'organisme vivant est constitué de matière qu'il emprunte momentanément au système **lithosphère-atmosphère-hydrosphère**.

► Les premiers à bénéficier de l'énergie lumineuse du soleil sont les **végétaux chlorophylliens** (verts en général bien que d'autres pigments puissent leur donner une autre couleur dominante) qui, alimentés en énergie solaire, produisent leurs propres constituants.





## 1.2.2. Modes de vie:

► **Chaque être vivant** « respire » avec son environnement, échange, absorbe, rejette, se modifie... et s'articule avec ce qui l'entoure.

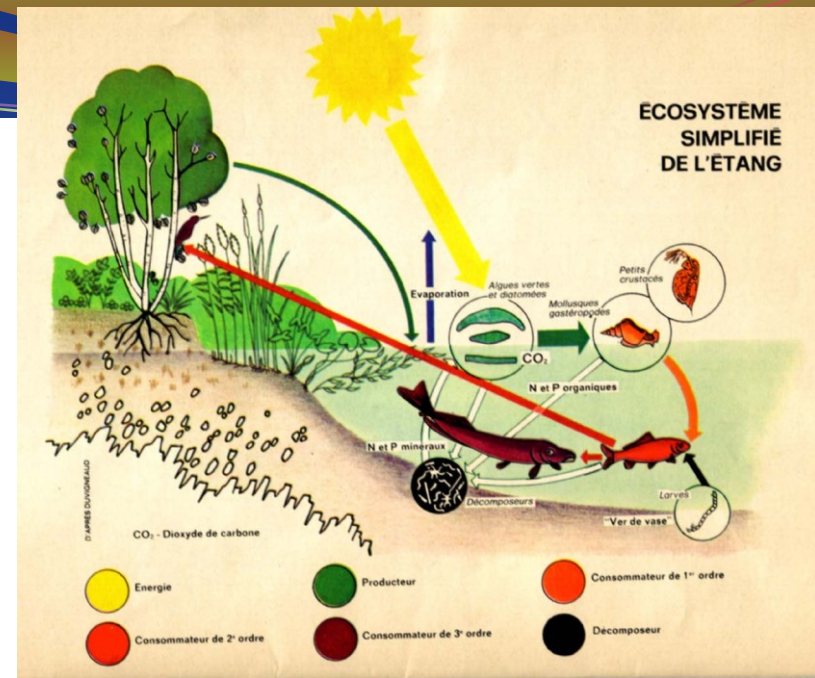
► Seul, il est limité, fragile et vulnérable.

► Associé à d'autres, il acquiert de nouvelles forces, de nouvelles propriétés. Il y perd de sa liberté, mais il gagne en résilience, en capacité à survivre dans les aléas qui l'entourent.

► **Les êtres vivants vivent dans tous les milieux.** On en trouve en milieu aquatique et en milieu terrestre, dans les forêts, les champs et même dans les régions polaires. Ainsi, ils mènent des *modes de vie différents*: aérien, aquatique ou terrestre.

► **Pour pouvoir survivre les organismes développent des adaptations aux conditions environnementales.** Ces adaptations sont:

- *morphologiques;*
- *Physiologiques;*
- *écologiques impliquant les interactions entre les êtres vivants et le milieu et entre eux-mêmes.*



### I.2.3. Interactions entre les organismes vivants: (voir II.1.2-Structure trophique d'une biocénose)

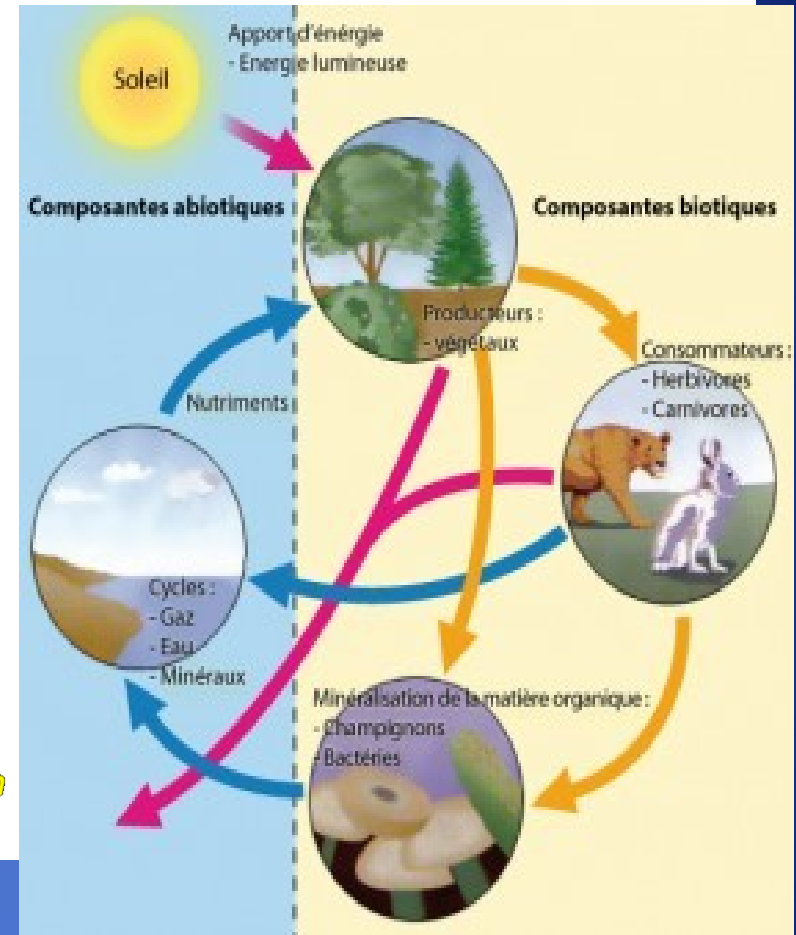
► Sont des interrelations biologiques désignant des processus d'échanges réciproques entre plusieurs éléments biologique (*espèces, groupes, biocénoses*) dans un écosystème .

► Ces interactions (=coactions)engendrent des **co-évolutions**, induites directement (*par exemple dans une relation prédateur-proie*) ou indirectement par ces échanges.

► Les coactions entre les êtres vivants sont liées au circuit général de la chaine alimentaire (trophiques) .

► Dans cette chaine, le principal *aliment* du végétal chlorophyllien est le **CO2** qu'il transforme en glucides, mais également en huiles (lipides) et en protides. Sans l'eau, ces réactions chimiques ne peuvent avoir lieu et d'autres éléments chimiques entrent inévitablement en scène (O, H, N...). Cette propriété unique chez les végétaux à **chlorophylle** en fait des **autotrophes**, et leur permet de produire ;sont aussi des **Producteurs**.

► **Ce sont les Consommateurs (herbivores, omnivores, carnivores et décomposeurs) qui viennent ensuite pour perpétuer les interactions et contribuer ainsi au bon fonctionnement de tout écosystème.**





### I.2.3.1- les types d'interactions: biologiques/écologiques: (voir TD n°1)

► Les interactions (coactions) que mettent en jeu les espèces vivantes dans un écosystème donné, jouent un rôle important dans la régulation des densités (*biomasse, Abondance,..*) et la stabilité des fluctuations des effectifs des espèces. Ces interactions peuvent donc transformer les conditions dans lesquelles vivent d'autres organismes.

► Elles représentent les facteurs écologiques de nature biotique qui participent au fonctionnement des écosystèmes. On distingue 2 catégories d'interactions :

Les interactions intraspécifiques (Homotypiques):

Les interactions interspécifiques (Hétérotypiques):

# Chapitre II: Structure des biocénoses et des écosystèmes.

## II.1- Concept d'Ecosystème:

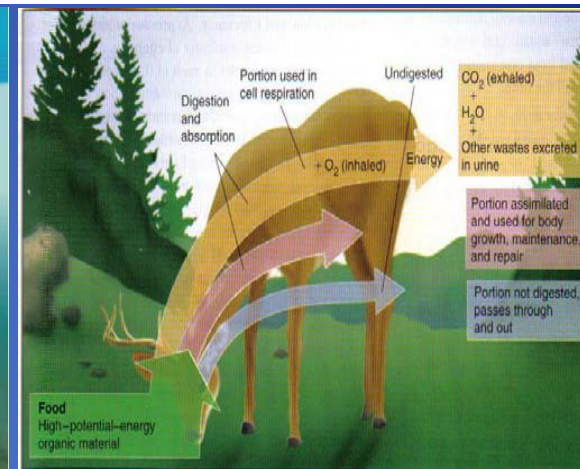
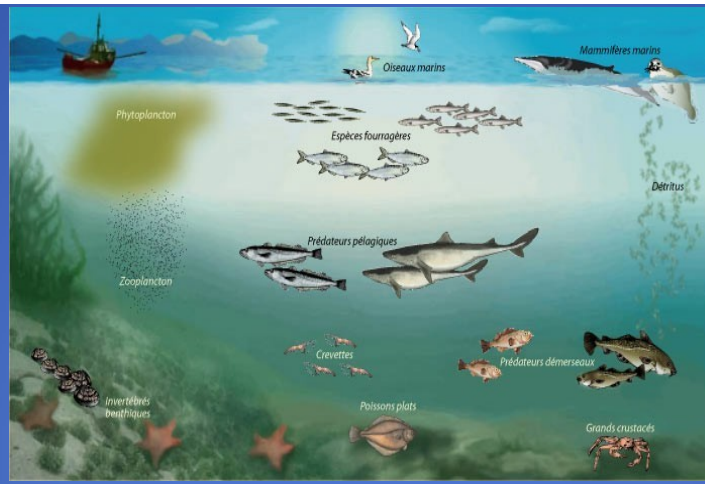
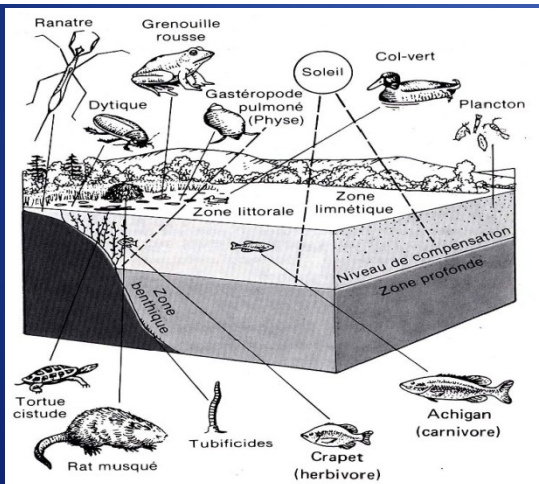
### III.1.1-Définitions et historique:

En Ecologie, un **écosystème** désigne l'ensemble formé par une **association** ou communauté d'**êtres vivants** (**BIOCENOSE**) et son environnement biologique, géologique, édaphique, hydrologique, climatique, etc. (**BIOTOPE**).

Ecosystème    Biocénose    Biotope

- ▶ La notion d'écosystème fut établie par A.G. TANSLEY en 1935 comme unité de base de la nature.
- ▶ En 2004, des scientifiques commandité par l'ONU définissent l'écosystème comme : **«complexe dynamique composé de végétaux, d'animaux, de micro-organismes et de la nature morte environnante agissant en interaction en tant qu'unité fonctionnelle »** .
- ▶ **Ecosystème**: ensemble formé par des éléments biotiques ou vivants et par des éléments abiotiques ou morts, il soumis à des flux énergétiques et à des relations trophiques.
- ▶ C'est un système **trophique-dynamique ou tropho-dynamique**

### Exemple1:



1- Aquatique (étang et mares)

2- Aquatique (Océan et mers)

3- Terrestre (forêt et prairie)

## II.1.2-Evolution du concept d'écosystème:

### Première étape : statique

Les espèces ne sont pas réparties au hasard. Il existe des regroupements d'espèces animales et d'espèces végétales en fonction des paramètres abiotiques (non vivant) du milieu.

### Deuxième étape : succession

Ces regroupements ne sont pas fixes dans le temps, ils évoluent et correspondent à des stades différents, aboutissant théoriquement à un climax.

### Troisième étape : interactions

Les espèces végétales et animales ne sont pas « juxtaposées » au sein d'une association, des interactions (nombreuses) existent entre elles : **chaînes alimentaires**; **interactions abiotiques** et **biotiques**

### Quatrième étape : thermodynamique (+ information actuellement)

Tous les liens entre abiotique et biotique sont quantifiables sur une base énergétique.

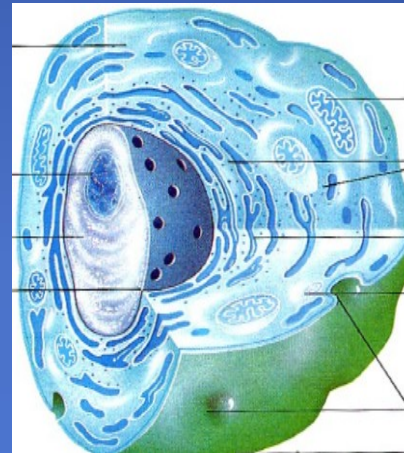
**Conclusion:** *En tant qu'unité fonctionnelle, l'écosystème fonctionne grâce aux interactions permanentes entre ses sous unités constitutives. Il représente ainsi une entité théorique à divers niveaux.*

### Exemple 2:

#### ► Le corps humain est un écosystème dont les sous unités (organes):

cerveau, cœur, poumons, œil, estomac, artères-veine, etc ... Ne sont pas anarchiquement disposés; il existe des relations et des contrôles assurant l'intégrité de l'ensemble.

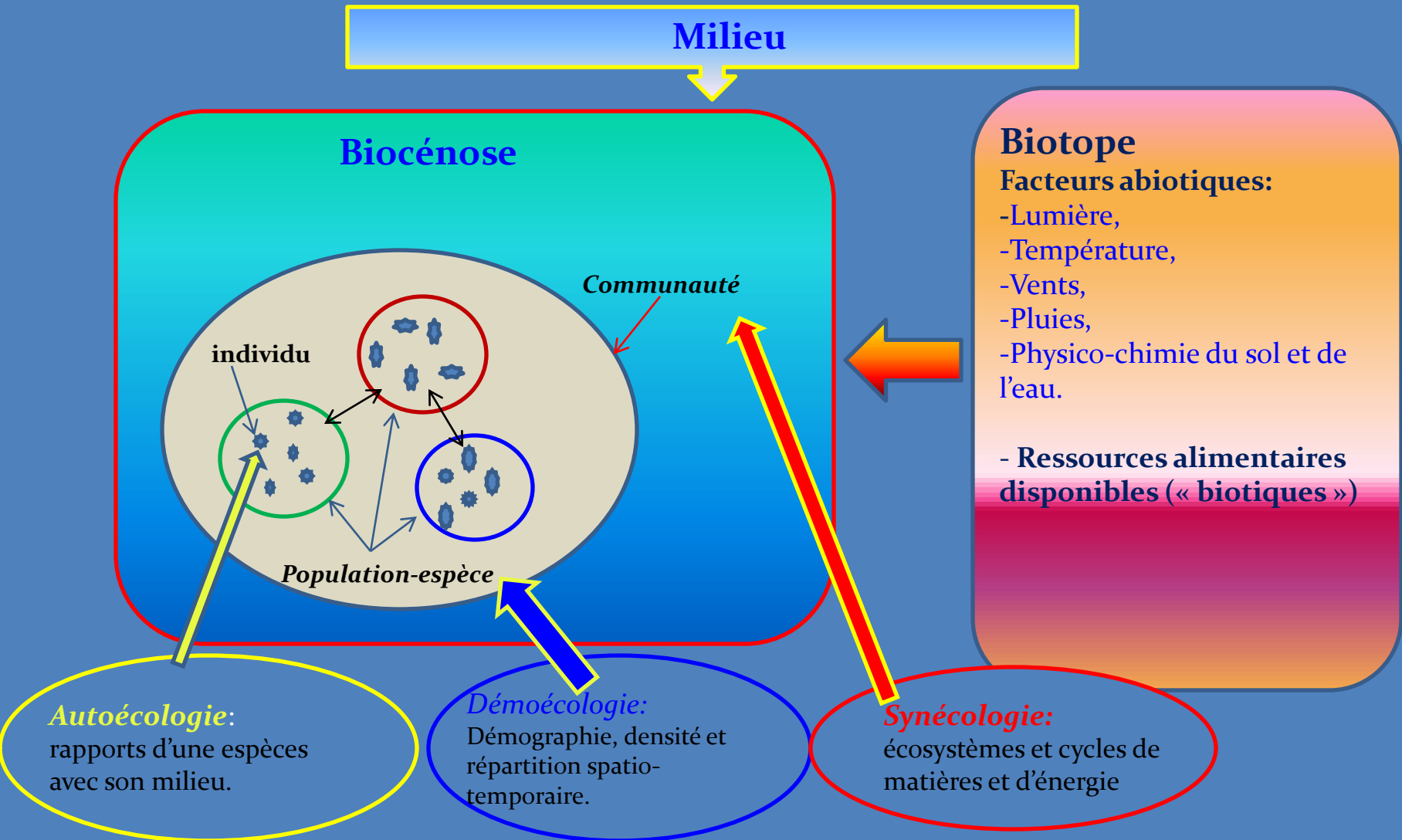
- Contrôle endocrinien
- Régulation de la pression osmotique
- Régulation du débit cardiaque ou pulmonaire.



► La cellule aussi est un écosystème dont les sous unités (organites):  
Noyau, mitochondries,  
App. Golgi, R Endopls, etc..  
Sont en interaction permanente.

### III.1.3- Le concept théorique:

**ECOSYSTEME = Système d'interactions thermodynamiquement ouvert**



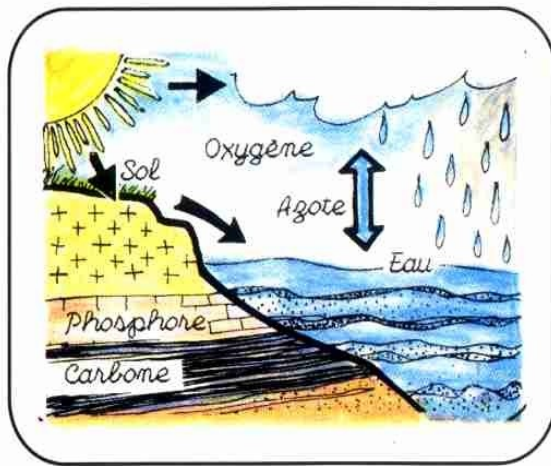


## II.2- Les Biocénoses:

### III.1.1-Définition:

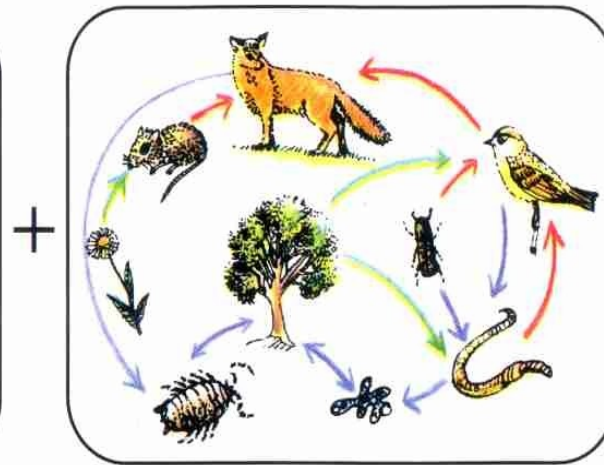
- ▶ Ensemble des êtres vivants qui peuplent un écosystème donné (conditions écologiques fixes).
- ▶ Elle se compose de trois groupes écologiques fondamentaux d'organismes :
  - les producteurs (végétaux), formant la **phytocénose**
  - les consommateurs (animaux), constituant la **zoocénose**
  - les décomposeurs (bactéries, champignons, etc.) intégrant la **microbiocénose** et la **mycocénose**.

Une communauté vivante associée à son milieu de vie :



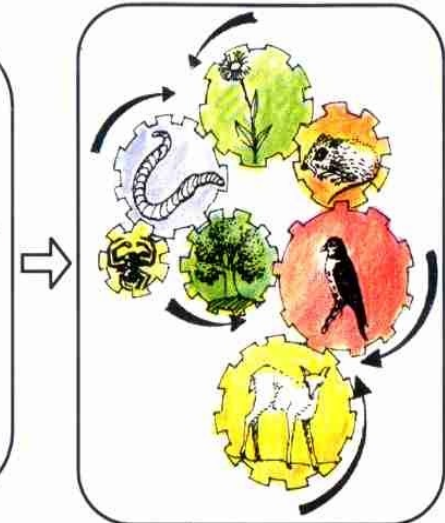
#### UN BIOTOPE

Une aire géographique de surface ou volume variable, soumise à des conditions dont les dominantes sont homogènes et les ressources suffisantes pour assurer le maintien de la vie.



#### UNE BIOCÉNOSE

Un peuplement qui se constitue dans des conditions écologiques données et se maintient en équilibre dynamique.



#### UN ÉCOSYSTÈME

- Une machinerie vivante
- Une unité fonctionnelle de base de la biosphère

**Conclusion:** Une **biocénose** regroupe donc des ensembles d'individus, de populations, de peuplements qui cohabitent au même moment un territoire commun.

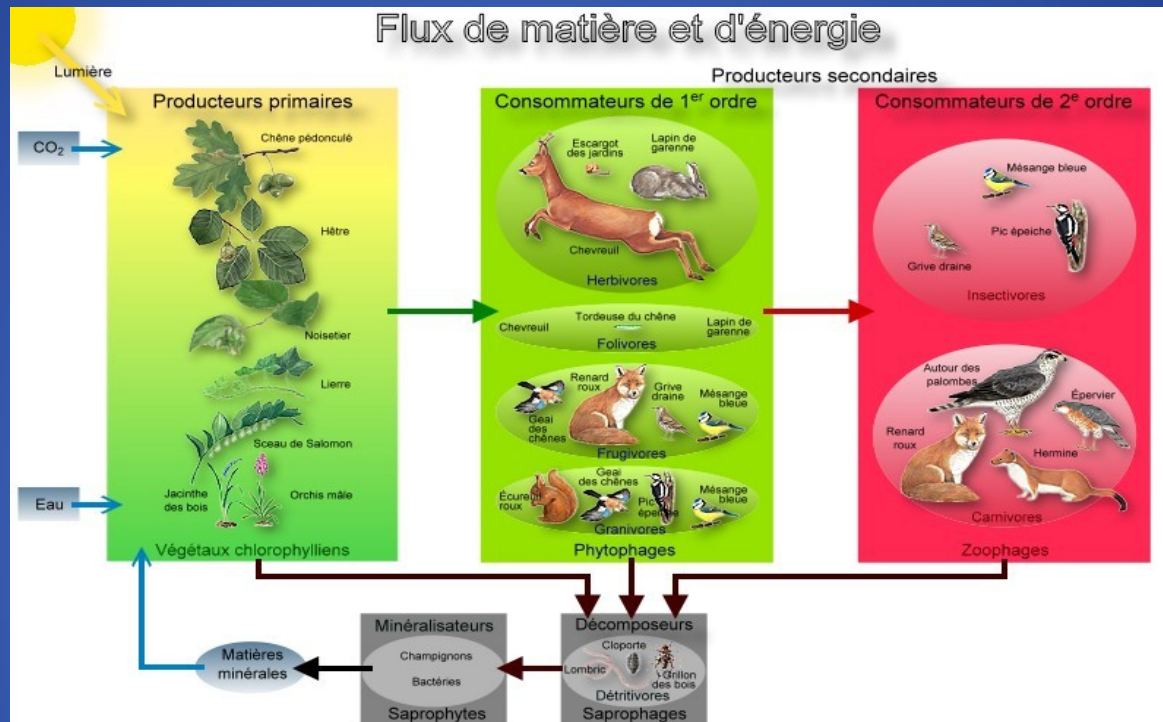
## II.1.2-Structure trophique d'une biocénose:

On classe les différents éléments *biocénotiques* en fonction du rôle écologique qu'ils jouent dans leur écosystème ; ainsi, nous aurons toujours dans toute biocénose des *producteurs*, des *consommateurs* et des *décomposeurs*.

### ◇ Les producteurs :

► Sont les organismes vivants intégrateurs d'énergie dans l'écosystème. Ils captent l'énergie lumineuse du soleil pour la "transformer" en synthétisant du tissu végétal.

► Ainsi est mise en réserve l'énergie lumineuse sous forme de **matière organique** (sucres, lipides et protides). protides...). Seuls les **végétaux chlorophylliens** (feuilles, algues, phytoplancton) sont capables d'exécuter cette opération (*photosynthèse*) d'une extrême complexité. Le végétal, en croissant, emmagasine donc de l'énergie chimique que s'approprieront les consommateurs. **Les organismes aptes à la photosynthèse sont dits autotrophes.**



## ◇ Les consommateurs :

► Ce sont les êtres vivants qui ne peuvent produire leurs constituants par eux-mêmes et à partir de l'inorganique ; contrairement aux producteurs, les consommateurs trouvent la matière (et l'énergie) dont ils ont besoin chez les autres êtres vivants, sont dits *hétérotrophes*. Ils s'en nourrissent en les mangeant, mais tous n'ont pas le même régime alimentaire ; on distinguera :

- Les Herbivores : consommateurs primaires,
- Les Omnivores et Les Carnivores: Consommateurs secondaires où se distingue les carnassiers (superprédateurs) et les parasites.

◇ **Les décomposeurs** : c'est l'ensemble des organismes assurant le démontage, la déconstruction du monde organique pour le ramener à sa part inorganique. Ils assurent ainsi le recyclage des éléments constitutifs de l'écosystème.

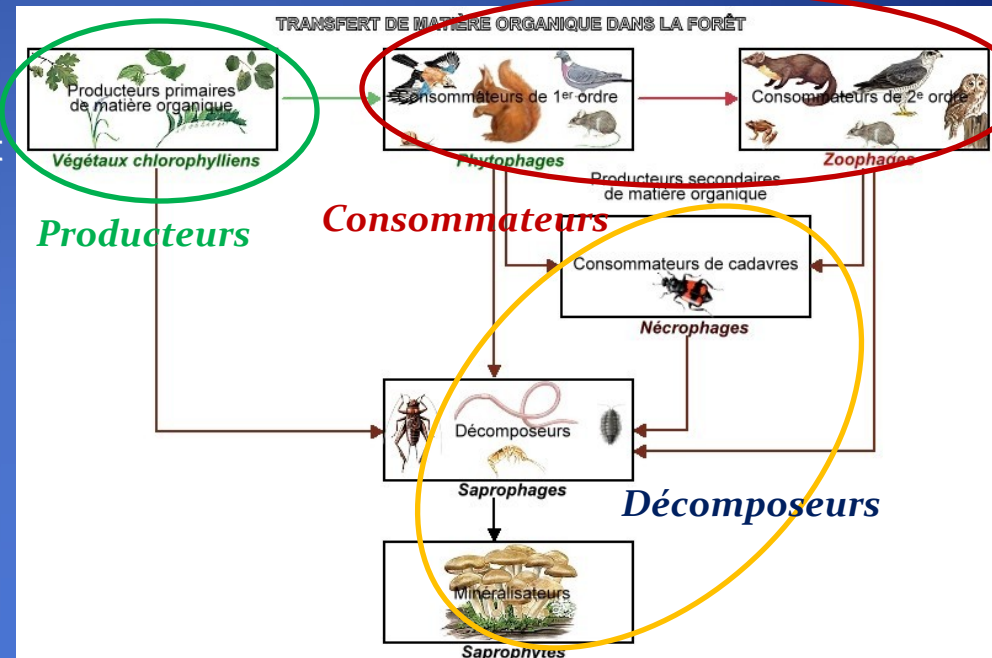
En fonction de leur manière d'opérer, on distinguera des *détritivores* et des *transformateurs* :

■ Les détritivores (vautour, chacal, nombreux invertébrés et micro-arthropodes) sont des *charognards* (ou des *nécrophages*). les détritivores participent à une *primo*-phase de *minéralisation* de la matière organique qu'ils transforment en une substance intermédiaire et amorphe : l'*humus* du sol ;

■ Les transformateurs (bactéries, champignons) modifient totalement la structure de l'humus puisqu'ils le transforment en éléments minéraux (minéralisation complète) qui pourront à nouveau réintégrer l'écosystème, à travers ses nombreux cycles.

## Conclusion:

Ces trois catégories d'organismes sont les véritables acteurs des mécanismes de transfert de matière et d'énergie ( voir TD n°2: étude de cas).



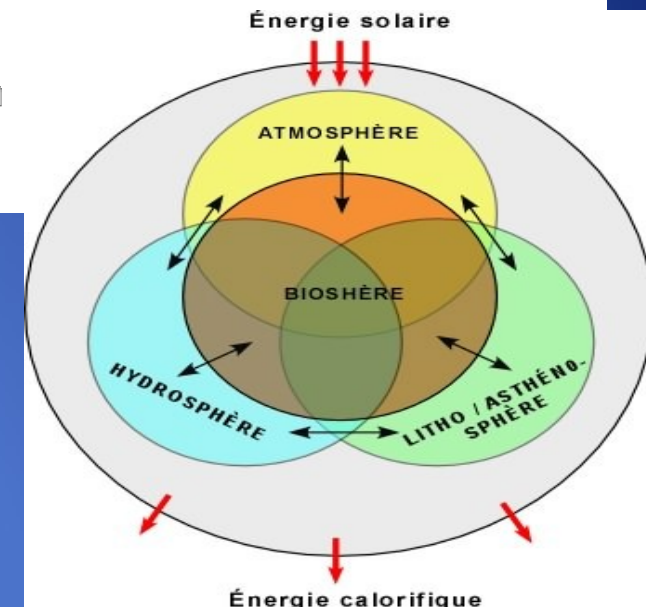


## II.4- Les grands cycles biogéochimiques:

- ▶ Le fonctionnement de la biosphère est inscrit dans des grands cycles biogéochimiques dont les diverses phases se déroulent au sein des divers écosystèmes (aquatiques, terrestres et aériens) de l'ECOSPHERE.
- ▶ Les cycles biogéochimiques sont des **mouvements circulaires des éléments chimiques** du monde abiotique menant ces éléments de l'environnement vers les organismes vivants et des organismes vivants vers l'environnement.
- ▶ Processus de transport et de transformation cyclique d'un **élément** ou **composé chimique** entre les grands réservoirs que sont la lithosphère ( géosphère), l'atmosphère, l'hydrosphère, dans lesquels se retrouve la Biosphère. Ce processus induit le passages de **l'état organique** à **l'état minéral** .
- ▶ Les divers cycles **en interaction** confèrent à la biosphère une capacité de régulation, appelée **homéostasie** qui est à la base de la pérennité des écosystèmes, grâce à la grande stabilité qu'elle assure, tout du moins en dehors des interventions humaines et phénomènes géo-climatiques exceptionnels.

♣ Les flèches indiquent qu'il y a une interaction constante entre les quatre grandes composantes.

♣ La Biosphère est placée au centre de la figure pour satisfaire notre nature anthropocentriste et pour mettre en évidence cette spécificité de la Terre qui exerce un contrôle primordial sur l'ensemble .





## II.4.1- Les principaux cycles biogéochimiques:

► Les cycles biogéochimiques sont largement divisés en cycles **endogènes** qui impliquent surtout les roches souterraines de différentes sortes, et en cycles **exogènes** qui ont lieu en grande partie sur la surface terrestre mais ayant généralement une composante atmosphérique (Gunter, 1991). Ces circuits représentent des flux de permanents, de matière, permettant la vie et la subsistance pour la Biosphère.

► Les cycles les plus importants sont : le cycle de **l'eau** ; le cycle **du carbone**, le cycle **l'oxygène** ; le cycle **l'azote** ; le cycle du **phosphore** ; le cycle du **soufre** et les cycles des **métaux**.

### II.4.1.a)- Le cycle de l'eau:

► La dynamique du cycle de l'eau montre qu'en moyenne sur l'année et sur l'ensemble du globe terrestre, **65% des précipitations** qui arrivent à terre s'évaporent, **24%** ruissellent et **11%** s'infiltrent.

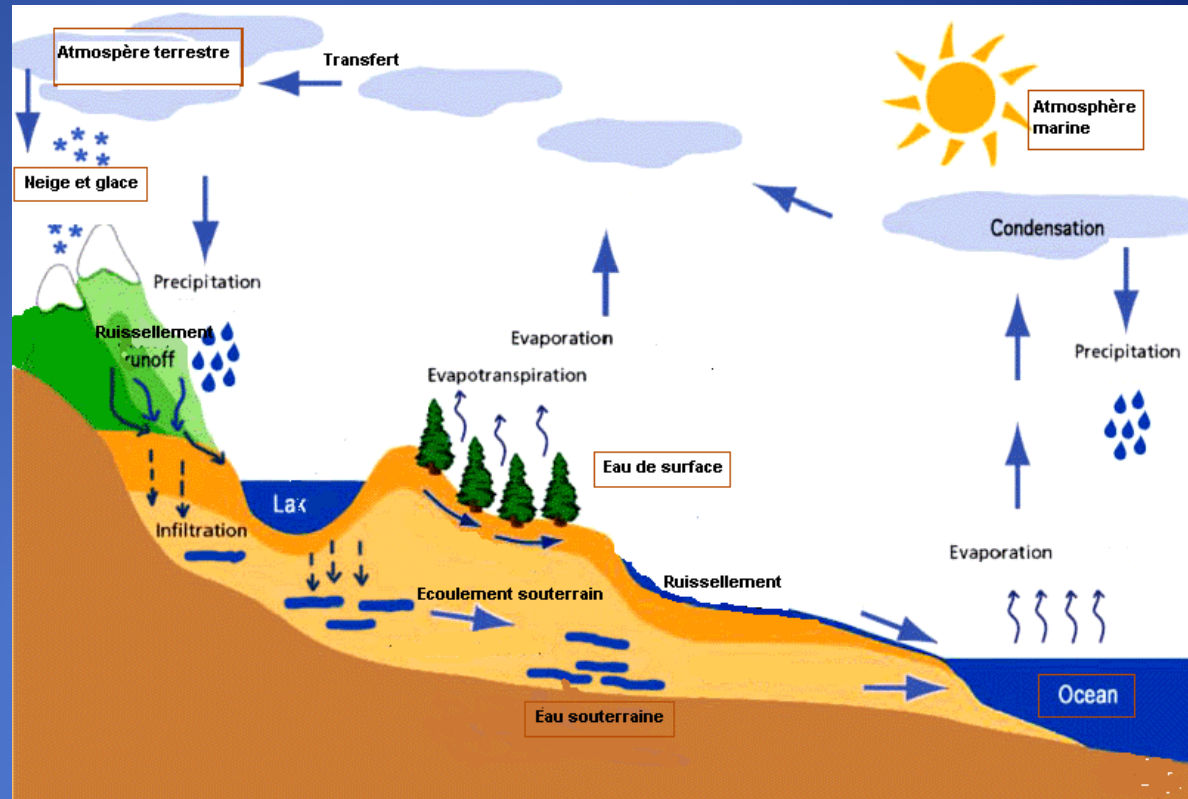
► Les phases de précipitation, d'écoulement, de ruissellement, d'infiltration, d'évaporation, de condensation et de transfert représentent les principales voies d'échange d'eau entre l'hydrosphère, la lithosphère, l'atmosphère et la biosphère.

► Sur la Terre, l'eau existe sous trois formes se succédant perpétuellement :

**Etat liquide** : les rivières, les lacs, les mers, les océans, les nappes phréatiques

**Etat vapeur** : les nuages qui sont constitués de vapeur d'eau

**Etat solide** : la neige et la glace



### II.4.1.b)- Le cycle du carbone:

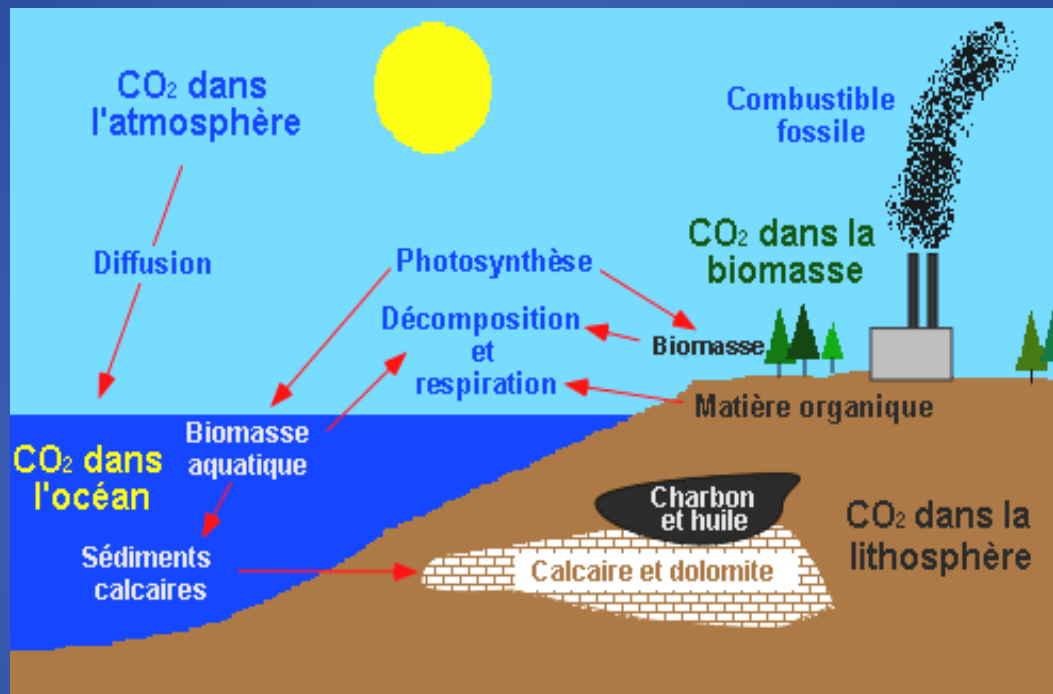
Le carbone est un atome, qui se trouve dans tout ce qui est vivant ou mort des végétaux, animaux et humains. Il est donc présent dans l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère. On en trouve, dans le pétrole et le charbon puisqu'ils sont le résultat de la décomposition des plantes. Il existe donc sous plusieurs formes dans la nature.

► Son circuit commence par La combustion des matières contenant du carbone produit grâce à l'O<sub>2</sub> un gaz que l'on appelle le gaz carbonique, ou dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

► Le carbone circule aussi dans les mers et océans grâce aux courants marins.

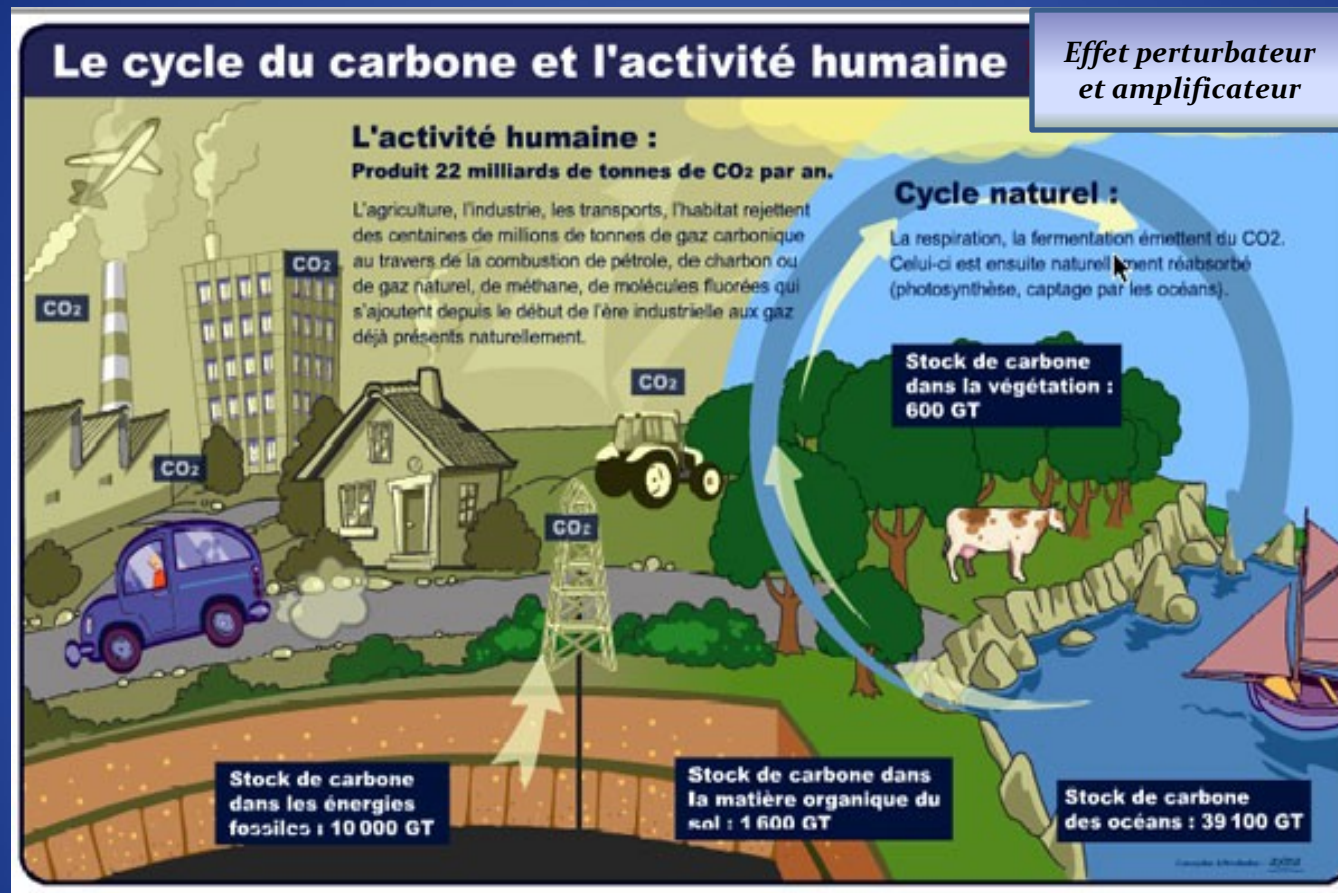
- Là où il fait chaud le gaz carbonique est rejeté par l'eau.
- Là où il fait froid, c'est le contraire : le CO<sub>2</sub> est absorbé par l'eau.

Les deux principales **SOURCES** NATURELLES de CO<sub>2</sub> sont donc : la végétation la nuit et les océans chauds.  
Les deux principaux **PUITS** NATURELS de CO<sub>2</sub> sont donc : la végétation le jour et les océans froids.



D'autres sources de  $\text{CO}_2$  sont les volcans et les activités de l'homme (industries, déforestation, incendies, etc...).

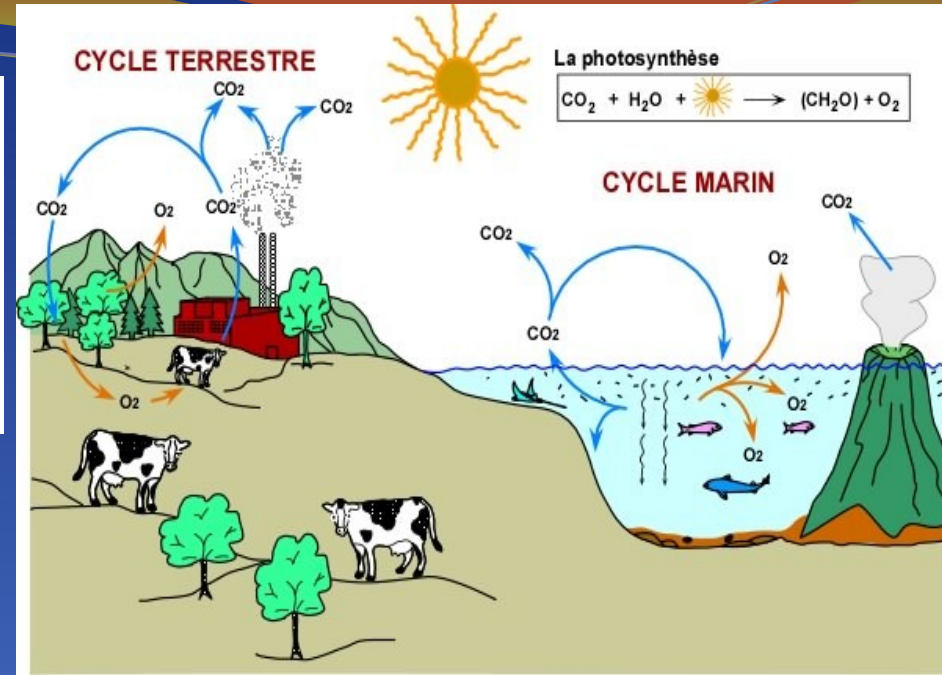
**Conséquences:** Changement climatique (*effet de serre, inondation, sécheresse, pollution...*).



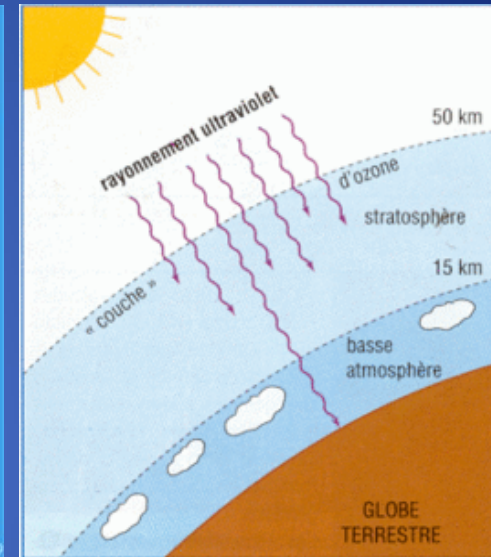
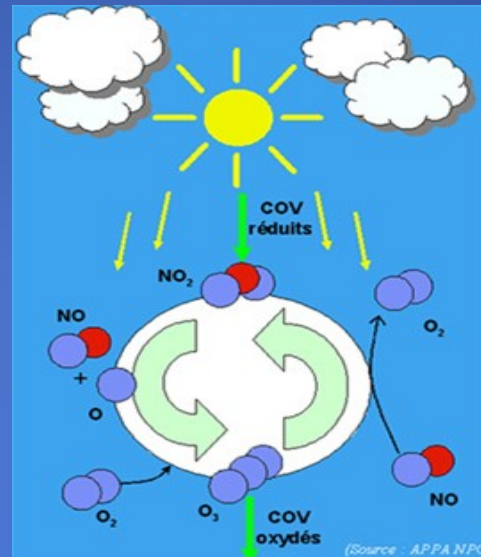


### II.4.1.c)- Le cycle de l'oxygène:

Le cycle biogéochimique de l'oxygène est **indissociable** du cycle du carbone puisque celui-ci s'effectue grâce au ( $\text{CO}^2$ ) utilisé lors de la photosynthèse. Cette dernière produit  $\text{O}_2$  (**dioxygène**) qui, par le biais de la respiration, brûle les composants carbonés produits par la photosynthèse pour redonner du  $\text{CO}^2$ .



► Le cycle de l'oxygène permet d'expliquer le phénomène de l'apparition de l'OZONE. Les dégagements du dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ) qui par décomposition puis recombinaison avec le dioxygène ambiant ( $\text{O}_2$ ) forme de l'ozone ( $\text{O}_3$ ). Or, cet ozone est **néfaste** à la santé et est même considéré comme un polluant. Mais dans la haute atmosphère l'ozone forme une couche qui est indispensable, en effet elle agit comme un filtre vis-à-vis des UV émis par le soleil:





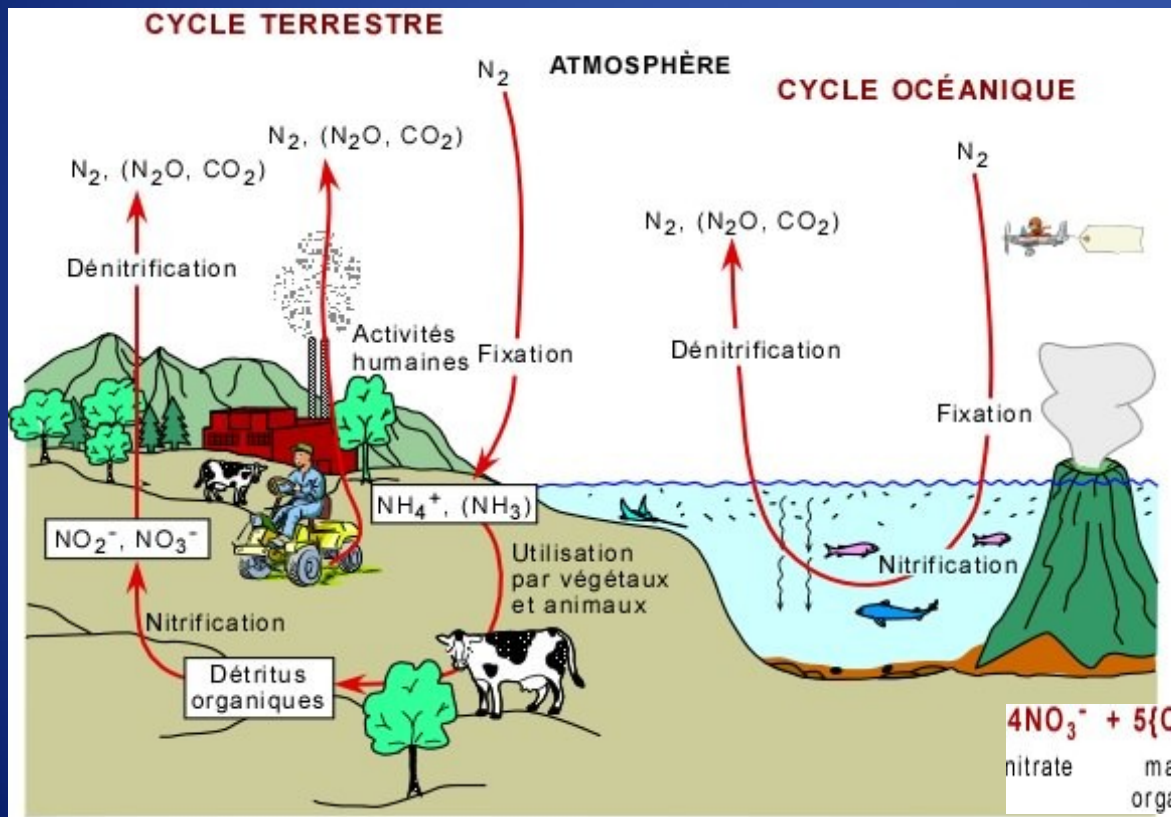
## II.4.1.d)- Le cycle de l'Azote:

Le cycle biogéochimique de l'azote décrit la succession des modifications subies par les différentes formes de l'azote (**diazote** N<sub>2</sub>, **nitrate** NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, **nitrite** NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et **ammoniaque** NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

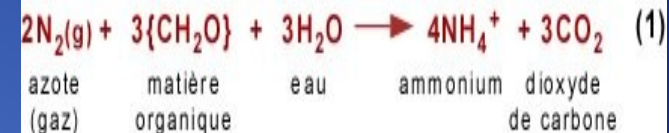
► Le N<sub>2</sub> (gazeux) est le 1<sup>er</sup> en importance dans l'atmosphère terrestre (78%).

► Les organismes ont besoin d'azote pour fabriquer des protéines et des acides nucléiques, mais la plupart ne peuvent utiliser la molécule N<sub>2</sub>. Ils ont besoin de ce qu'on nomme l'azote fixée dans lequel les atomes N sont liés à d'autres types d'atomes comme par exemple à l'H dans l'ammoniac NH<sub>3</sub> ou à l'O dans les ions nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Le cycle de l'azote est très complexe; le schéma suivant en présente une simplification.



Trois processus de base sont impliqués dans le recyclage de l'azote: la **fixation** de l'azote diatomique N<sub>2</sub>, la réaction chimique type est:



; la **nitrification** dont la réaction type est:



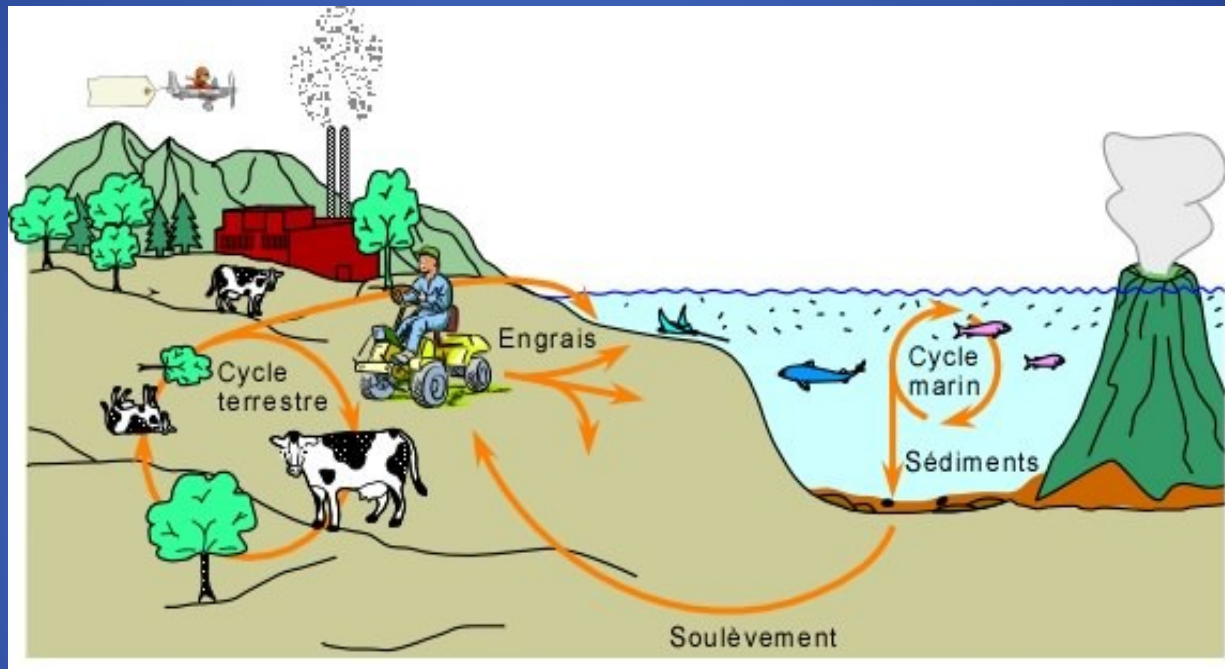
la **dénitrification**, la réaction type est :

### II.4.1.e)- Le cycle du Phosphore:

Le cycle du phosphore est **unique** parmi les cycles biogéochimiques majeurs car il **ne possède pas** de composante **gazeuse**. Par conséquent, il n'affecte pratiquement pas l'atmosphère.

► Le phosphore sous forme de phosphate ( $\text{PO}_4$ ) est présent dans, le système nerveux, le squelette des êtres vivants et aussi dans les dents des vertébrés. Il est essentiel à la fabrication de s protéines et des acides nucléiques (ADN et ARN).

► Sa circulation peut être subdivisée en **cycle terrestre** et en **cycle aquatique (marin et continental)**. Tout le **P** terrestre est dérivé de l'altération des  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Ce **P** est absorbé par les plantes et transféré aux animaux par leur alimentation. **Une partie est retournée** aux sols à partir des excréments des animaux et de la matière organique morte. **Une autre partie est transportée** vers les océans où une fraction est utilisée par les organismes benthiques et ceux du plancton pour secréter leur squelette; l'autre fraction se dépose au fond de l'océan sous forme d'organismes morts ou de particules et est intégrée aux sédiments. Ces derniers sont transformés en roches sédimentaires par l'enfouissement; plus tard, les roches sont ramenées à la surface par les mouvements tectoniques et le cycle recommence.

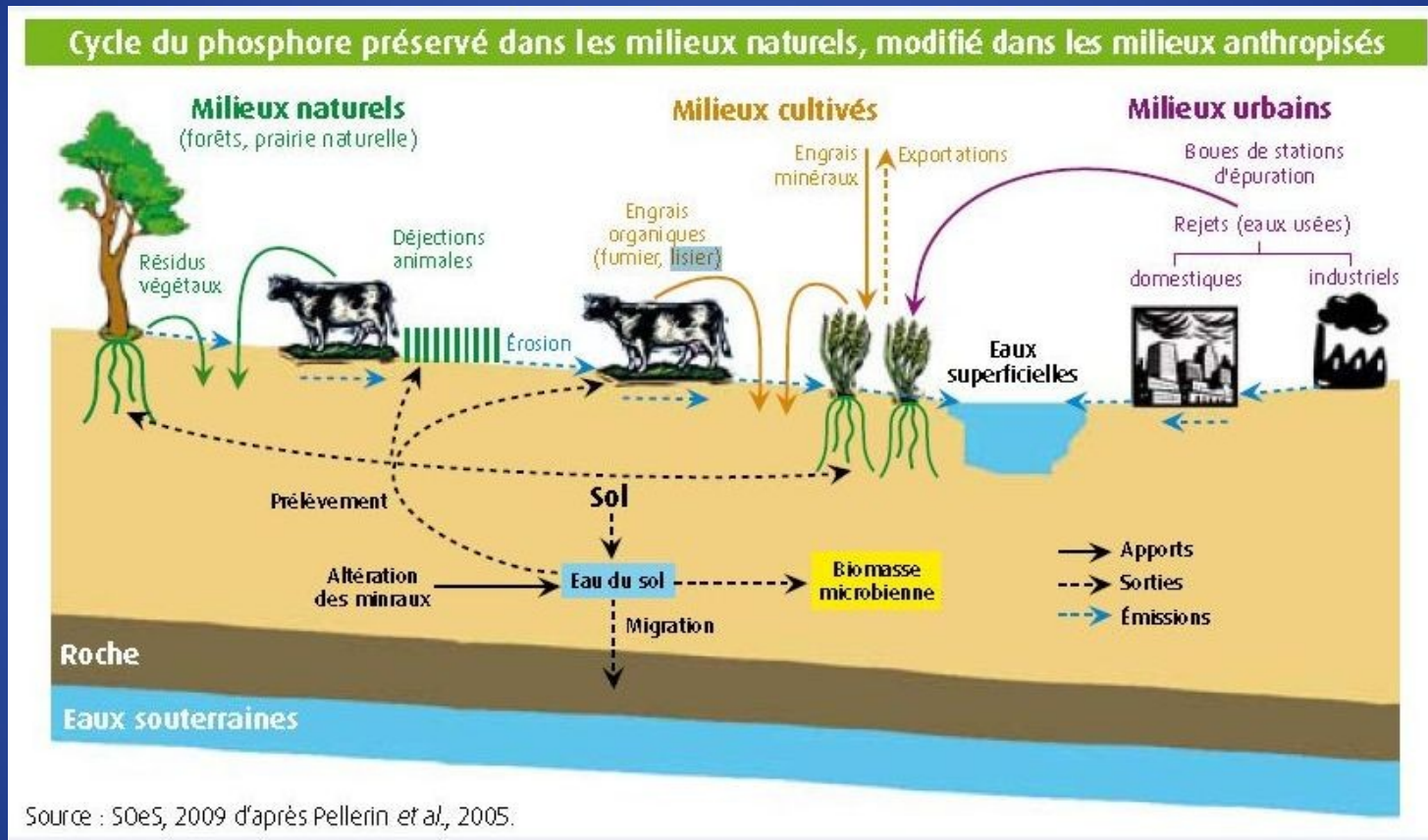


► Les orthophosphates ( $PO_4$ ) sont la forme la plus simple et la plus répandue des phosphates dans l'eau. Le  $Ca_3(PO_4)_2$  des roches calcaires est peu soluble et n'est pas responsable de la pollution des eaux.

La plus grande part du P que l'on retrouve dans les eaux des cours d'eau provient : (1) des rejets d'eaux résiduares, (2) des déjections humaines, (3) des matières organiques en décomposition, des lessives, (4) des activités agricoles (engrais phosphatés utilisés en agriculture) et (5) des ruissellements d'effluents agricoles .

► Entraîné dans les eaux, cet élément s'y retrouve essentiellement sous forme de phosphore organique (résidu de la matière vivante) ou de phosphore minéral (ou phosphate inorganique) représenté essentiellement par les orthophosphates

► Sa présence dans la milieu aquatique est responsable du phénomène d'EUTROPHISATION.



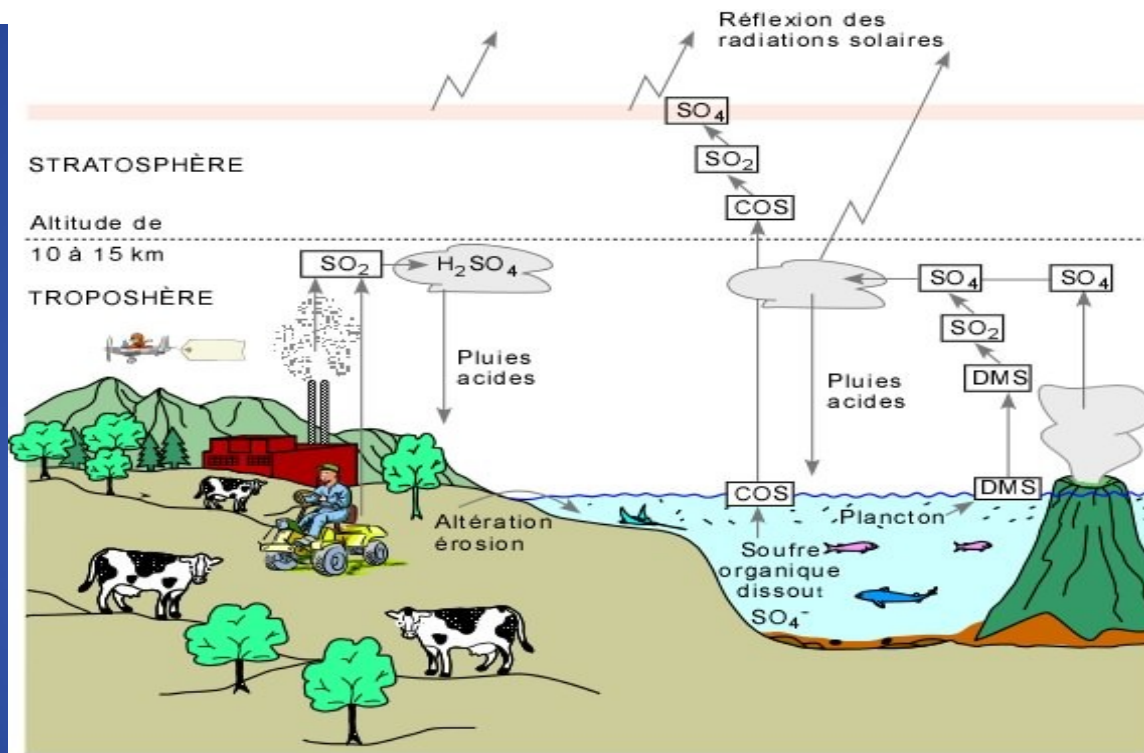


## II.4.1.f)- Le cycle du Soufre:

Le cycle biogéochimique le du soufre traverse tous les compartiments du globe terrestre. En effet, le soufre est présent partout sur Terre, atmosphère , océans, continents, mais aussi chez tous les êtres vivants sous forme de molécules organiques : **les acides aminés soufrés constituants de protéines** (méthionine et cystéine).

► Dans l'atmosphère, on rencontre le **S** sous forme de gaz : dioxyde de soufre (**SO<sub>2</sub>**), hydrogène sulfuré(**H<sub>2</sub>S**) ; de soufre réduit (Diméthyl sulfure (**DMS= CH<sub>3</sub>SCH<sub>3</sub>** ) et Carbonyle sulfure (**COS**) ; ainsi que dans les sulfates volatils (**SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>**). Les volcans participent au cycle en produisant des sulfates (**SO<sub>4</sub>**) qui viennent s'ajouter aux sulfates issus du **COS**.

► Dans l'océan, le **S** rencontre en majorité sous forme de **SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** dissous<sup>-</sup>, qui seront assimilés par des organismes, et entreront dans la composition de molécules organiques, ou sédimenteront sur les fonds. Le **COS** est produit en partie par l'érosion continentale, et s'échappe dans l'atmosphère par la surface des océans

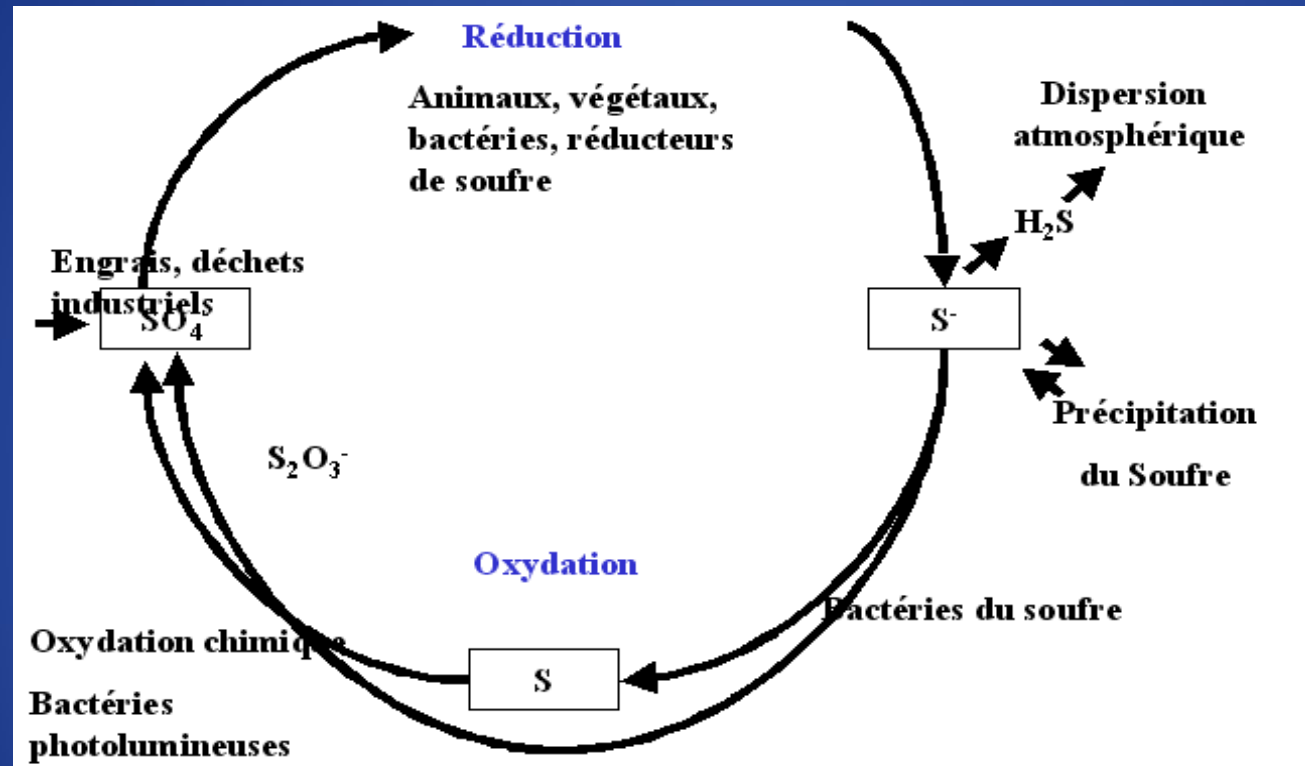




Les principales étapes du cycle du soufre sont :

- La **minéralisation** du soufre organique en une forme inorganique : le **sulfure d'hydrogène** ( $\text{H}_2\text{S}$ ).
- **L'oxydation du sulfure**, du soufre élémentaire ( $\text{S}$ ) et de ses composés connexes en **sulfates** ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).
- La **réduction** des sulfates en sulfures. &
- **L'immobilisation microbienne** des composés soufrés et leur incorporation dans une forme organique.

► Le  $\text{SO}_2$  et l' $\text{H}_2\text{S}$  proviennent de la minéralisation de la matière organique selon le pH du milieu ou du métabolisme de certaines bactéries



### II.4.1.f)- Les cycles des métaux:

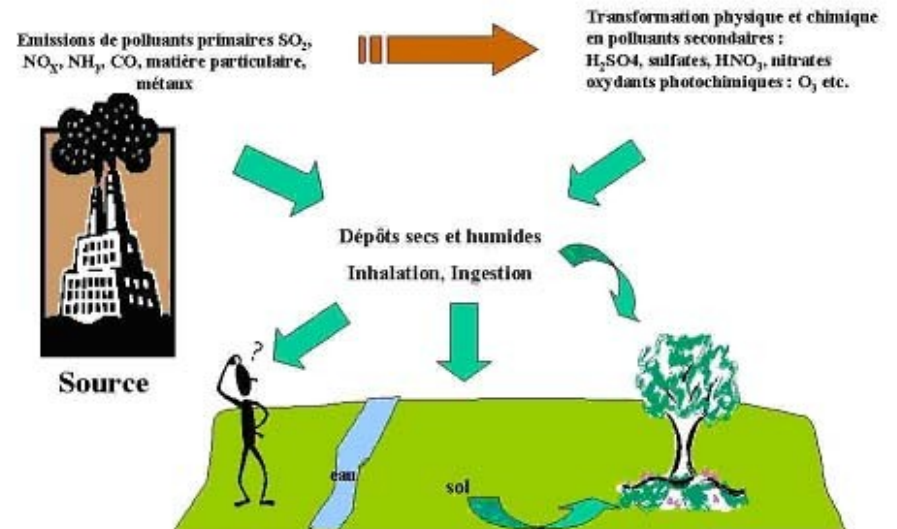
Les métaux ont des caractéristiques originales qui interviennent à un niveau ou un autre de leur cycle. Ils sont susceptibles d'établir des liens réversibles avec une grande quantité de composés, organiques ou inorganiques.

► En l'absence d'activité humaine, les métaux sont relâchés dans l'environnement au rythme auquel l'érosion les libérait (**Cu, Zn, Fe, Al, Mn**, etc...). Dans les conditions naturelles, ils se déposent lorsque le milieu ne permet plus leur mobilité.

► Les activités humaines perturbent donc une fois encore les cycles biogéochimiques en modifiant les flux de métaux entre les différents réservoirs et en changeant la forme chimique sous laquelle ces éléments étaient déposés.

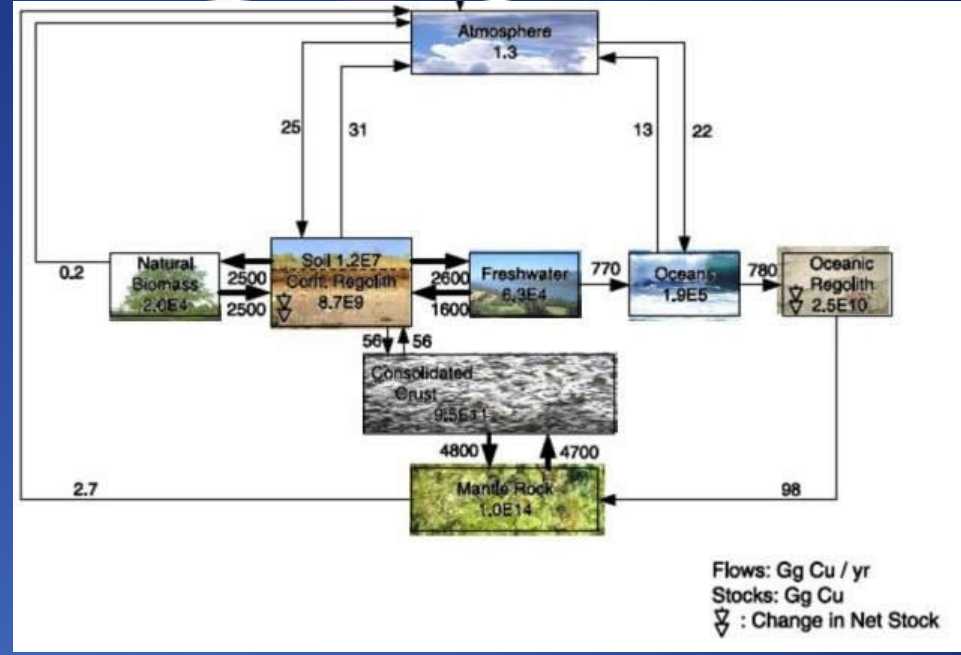
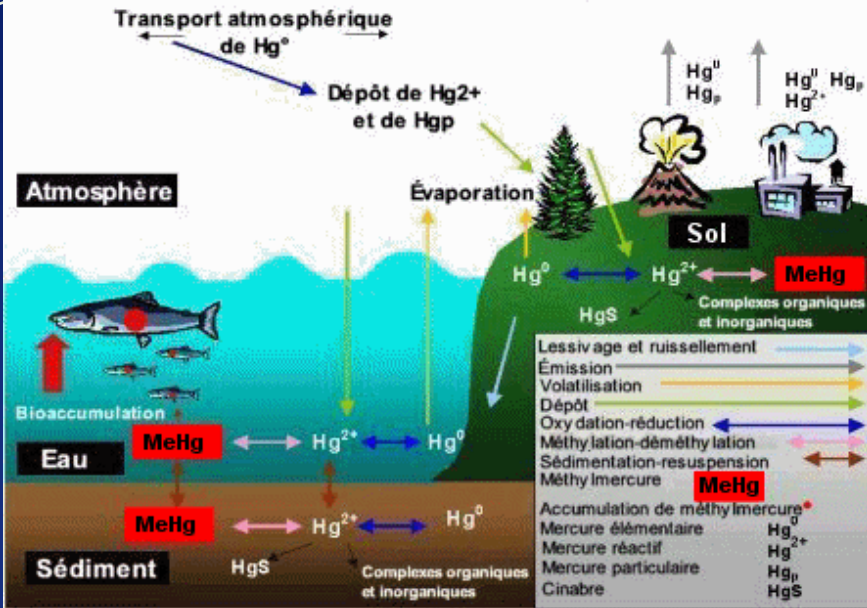
**Si les métaux ont fait la civilisation, ils peuvent aussi la défaire. Car les métaux lourds sont aussi des toxiques puissants.**

L'activité volcanique contribue aussi à mobiliser les métaux les plus volatils (**Pb, Cd, As, Hg**), en extrayant les métaux des réservoirs profonds et en les injectant dans l'atmosphère.



# Exemples de quelques cycles biogéochimiques des métaux lourds:

## Cycle biogéochimique conceptuel du mercure





### III.- Interactions entre les cycles biogéochimiques:

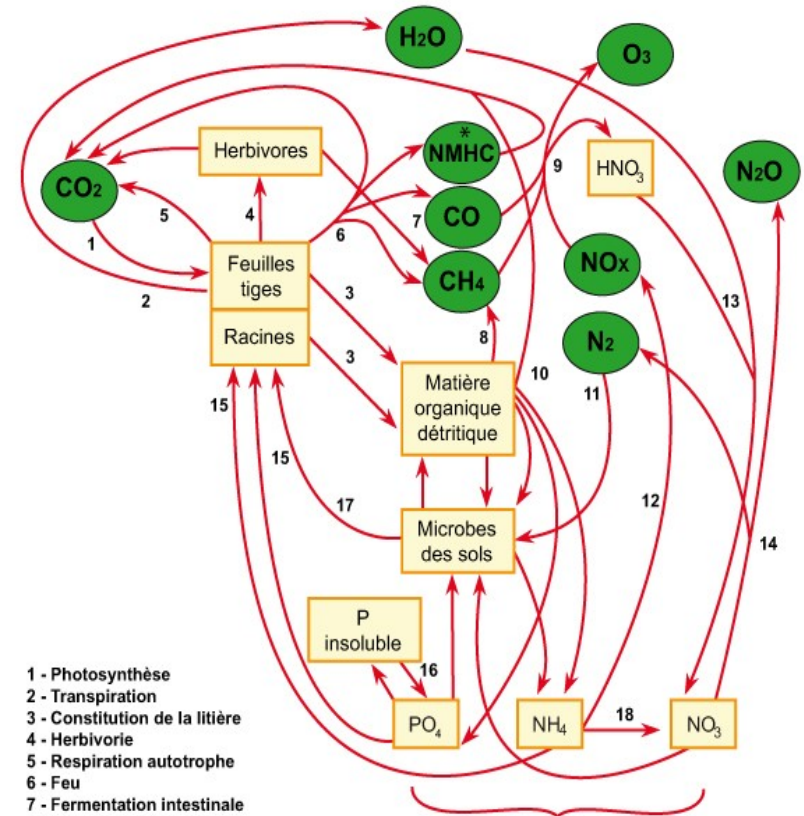
Les différents cycles **ne sont pas indépendants** les uns des autres (**Figure ci-joint**). Certains éléments jouant un rôle limitant dans la croissance des organismes, ils vont contrôler certaines parties d'un autre cycle. Par exemple:

► le **phosphore** peut limiter la croissance d'organismes, et donc l'utilisation des autres nutriments par ces mêmes organismes.

► D'autres réactions sont directement liées comme celles du **carbone** et de l'**oxygène** ou des nitrates dans les couplages de réactions avec la matière organique.

Le monde vivant fonctionne ainsi dans un ensemble complexe de **réactions qui interagissent les unes avec les autres**. Cet ensemble complexe procure au monde vivant une grande plasticité et une forte capacité à réagir aux variations de son environnement.

*Par analogie avec les systèmes organiques, on parle d'**homéostasie des écosystèmes**. A l'échelle globale, ce concept a conduit James Lovelock à proposer la théorie Gaïa qui généralise le principe à l'écosystème planétaire, l'homme y étant inclus.*



- 1 - Photosynthèse
- 2 - Transpiration
- 3 - Constitution de la litière
- 4 - Herbivorie
- 5 - Respiration autotrophe
- 6 - Feu
- 7 - Fermentation intestinale
- 8 - Décomposition anaérobie
- 9 - Synthèse d'ozone
- 10 - Décomposition/minéralisation/respiration du sol
- 11 - Fixation biologique du sol
- 12 - Dénitrification aérobie
- 13 - Dépôt de nitrate
- 14 - Dénitrification anaérobie
- 15 - Assimilation par les racines
- 16 - Solubilisation
- 17 - Assimilation par les mycorhizes
- 18 - Nitrification
- 19 - Lessivage

\* NMHC : Hydrocarbure non méthanique

## Interactions entre les cycles biogéochimiques (suite) :

► A l'interface avec le sous-sol, la biosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère, le **sol** est traversé de flux de matières et d'énergie, liés aux grands cycles biogéochimiques. Les principaux flux traversant le sol sont figurés ci-dessous.

