

Les écosystèmes

Table des matières

Introduction.....	p.2
I. Les écosystèmes.....	p.3
I.1 Les organismes vivants de l'écosystème = la biocénose.....	p.4
a- les producteurs.....	p.4
b- les consommateurs.....	p.5
c- les décomposeurs.....	p.5
I.2 L'environnement abiotique = le biotope.....	p.6
a- le soleil, l'air et l'eau.....	p.6
b- les composants du sol et de la terre.....	p.6
II. Les chaînes alimentaires & les relations trophiques des flux d'énergie.....	p.11
II.1 Les chaînes alimentaires.....	p.11
II.2 Les flux d'énergie.....	p.12
a- les capteurs d'énergie.....	p.12
b- les convertisseurs d'énergie.....	p.12
c- les récupérateurs d'énergie.....	p.12
II.3 La schématisation de ces flux de matière et d'énergie.....	p.13
a- les pyramides des biomasses et des énergies.....	p.13
b- les cycles de la matière.....	p.15

Introduction

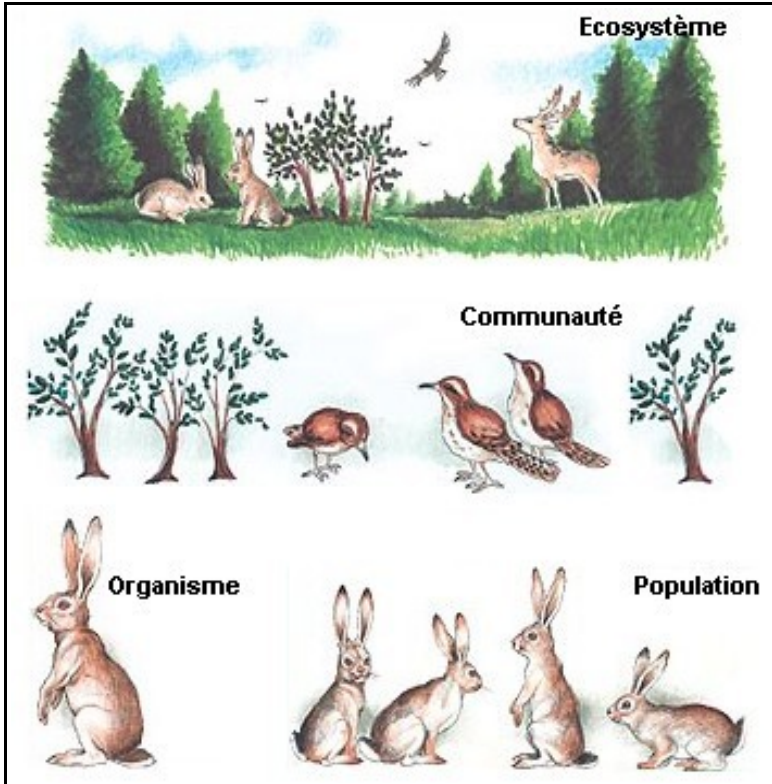
L'écologie est une partie de la biologie qui a pour but d'étudier les relations des êtres vivants entre eux et avec leur environnement. L'écologie est composée de nombreux écosystèmes différents que nous étudierons dans ce chapitre.

Un écosystème regroupe 2 parties importantes : le biotope (paramètres abiotiques) et la biocénose (paramètres biotiques) Ce terme d'écosystème a été utilisé pour la première fois en 1935 par un botaniste britannique (Arthur George TANSLEY) Il désigne le mot ECOSYSTEME comme l'unité de base de la Nature.

La biosphère est l'ensemble des écosystèmes existant sur la planète Terre; c'est à dire l'ensemble des différents milieux naturels où la vie est possible.

Pour étudier un écosystème, il faut comprendre les relations entre les êtres vivants et le milieu physique où ils vivent. Les êtres vivants sont formés de molécules organiques et inorganiques. Pour que ces organismes vivent, grandissent, il faut prendre ou fabriquer des molécules provenant d'autres êtres vivants ou directement de leur environnement (l'eau, l'air, le sol...) Ainsi les atomes passent d'individu à individu pour fabriquer sans cesse de nouvelles molécules qui seront elles-mêmes au final dégradés en atomes.

Tout d'abord, nous définirons ce qu'est un écosystème et son fonctionnement, ensuite nous étudierons les transferts de matière et d'énergie au sein d'un écosystème.



- Qu'est-ce qu'un organisme ?

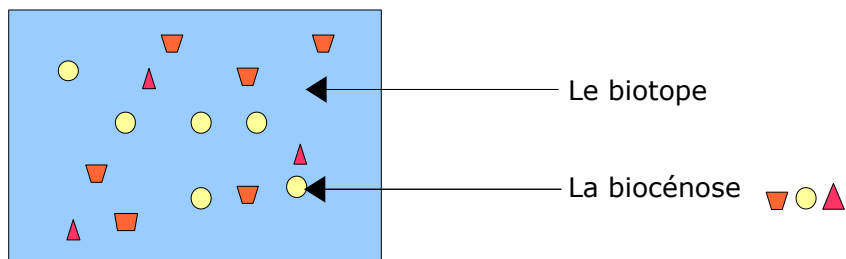
- Qu'est-ce qu'une population ?

- Qu'est-ce qu'une communauté ?

- Qu'est-ce qu'un écosystème ?

I. Les écosystèmes

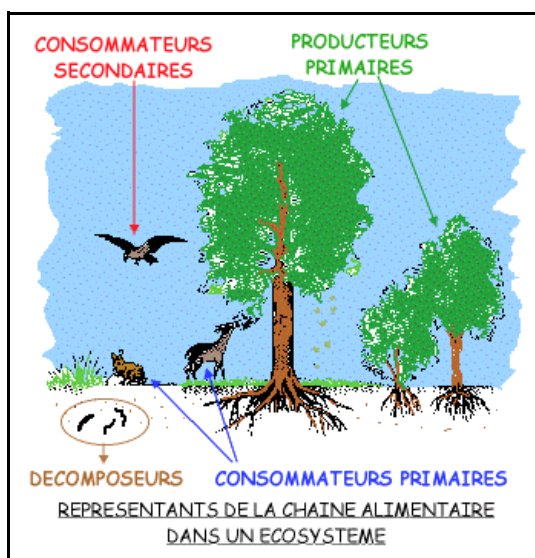
Les biologistes subdivisent la nature en plusieurs écosystèmes. Chaque écosystème consiste à un groupe de populations interagissant entre elles à l'intérieur d'un environnement physique.



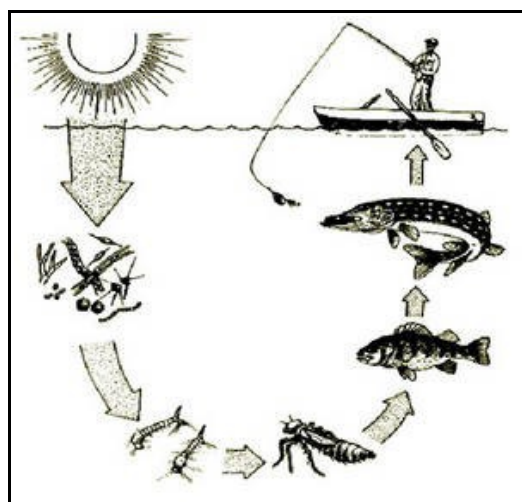
Aucun écosystème n'est isolé des autres, il y a toujours une interaction à cause d'éléments physique comme l'eau, l'air.

En général, un écosystème désigne une **communauté** biotique et son environnement abiotique.

Une communauté est un ensemble des populations d'organismes vivants de différentes espèces. Ils ont tous une relation entre eux dans un écosystème. La communauté correspond à une biocénose particulière (ex. la communauté des herbivores)



L'écosystème de la forêt



L'écosystème de la mer

I.1 Les organismes vivants de l'écosystème = la biocénose

La biocénose est l'ensemble des êtres vivants d'un écosystème (milieu biotique)

Un organisme est constitué de molécules, elles-mêmes, constitués d'atomes. Pour grandir, les organismes utilisent les atomes ou les molécules simples de l'environnement.

Rappels :

- les monomères : molécules simples.
- les polymères : molécules complexes formés de plusieurs monomères.

	Les monomères	Les polymères
Les glucides	Glucoses, fructoses, galactoses...	Amidon, cellulose, glycogène...
Les lipides	Acides gras et glycérol	Les triglycérides
Les protides	Les acides aminés	Les protéines

Le but est de construire des organismes vivants à partir de ces molécules, dont les atomes se retrouvent dans le biotope (environnement physique)

Il faut donc des organismes capables de se construire en utilisant directement les atomes de l'environnement physique. Ce sont les autotrophes. Les organismes qui ne sont pas capables d'utiliser la matière minérale pour la transformer en matière organiques sont hétérotrophes.

a- les producteurs

Ils construisent leur matière organique à partir d'éléments inorganiques. Les producteurs sont capables de fabriquer leurs sucres à partir de la photosynthèse (ou de la chimiosynthèse) :

- les végétaux chlorophylliens
- les algues unicellulaires
- les bactéries photosynthétiques et chimiosynthétiques



A partir de ces sucres produits, les êtres vivants peuvent fabriquer des acides aminés, des acides gras et d'autres monomères.

Tous les monomères organiques sont fabriqués au départ par les producteurs (à partir de molécules inorganiques) Ces molécules organiques permettent de fabriquer la cellule et ses composants (les enzymes, la paroi cellulosique...) Les cellules forment ensuite des tissus puis des organes et au final l'ensemble de l'organisme vivant.

Donc les producteurs sont des êtres vivants qui ne dépendent pas directement des autres vivants pour se nourrir (Nutrition = AUTOTROPHIE) Seuls les éléments du biotope (Eau, lumière, CO₂...) sont utilisés pour se nourrir.

Les organismes autotrophes permettent aussi la libération d'oxygène dans l'environnement (utilisables ensuite par d'autres êtres vivants)

b- les consommateurs

Ces organismes sont hétérotrophes. Ils utilisent des molécules organiques provenant de leur alimentation. Ils dégradent les polymères provenant d'autres êtres vivants.



Les monomères obtenus passent dans les cellules qui les utilisent pour fabriquer d'autres polymères. C'est l'assimilation par les cellules.

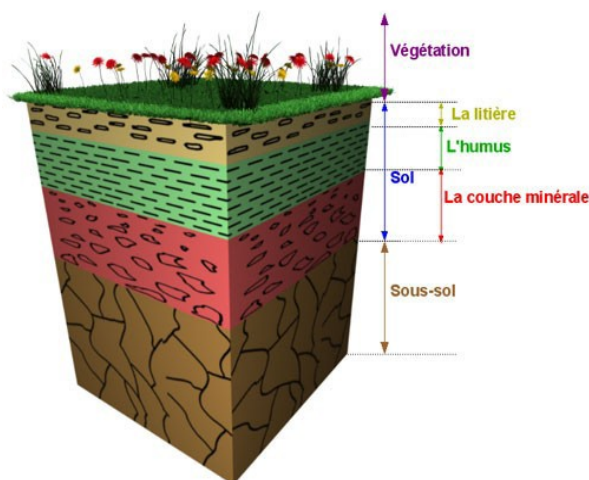
Exemples :

- Les animaux (végétariens ou carnivores)
- Les champignons
- Les protistes animaux (la paramécie, l'amibe)



Il existe plusieurs types de consommateurs (les phytophages ou herbivores, les carnivores et les omnivores)

c- les décomposeurs



Titre: Schéma d'une coupe de sol

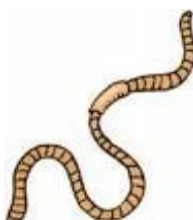
Ce sont les détritivores ou saprophages. Ces organismes se nourrissent de cadavres d'animaux ou de végétaux (des déchets produits par les organismes). Ils dégradent les polymères en monomères. Cela permet de former la litière au niveau du sol.



Il y a aussi les minéralisateurs. Ils permettent la transformation de la matière organique en matière minérale. Cela permet le recyclage de la matière. Les éléments minéraux ainsi formés sont la base de l'alimentation d'autres êtres vivants comme les producteurs...

Exemple :

- Les bactéries
- Les vers de terre
- Les champignons
- Les mouches saprophages



I.2 L'environnement abiotique = le biotope

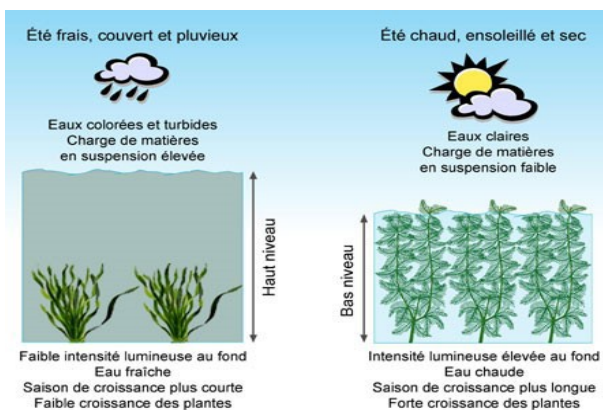
L'environnement physique fournit aux organismes de l'énergie, des atomes nécessaires à leur développement (les radiations solaires, les gaz de l'air, les minéraux du sol...)

a- le soleil, l'air et l'eau

- Les radiations solaires fournissent de la chaleur et de la lumière. La chaleur permet de réchauffer les organismes (et donc permet le fonctionnement de certaines molécules comme les enzymes) La lumière permet de faire la photosynthèse par les végétaux chlorophylliens.
- Les gaz de l'air : le Dioxyde de carbone (production de matières organiques), l'Azote (synthèse d'acides aminés), l'Oxygène (permet la respiration des organismes et donc la production d'ATP), le diazote est utilisable par certaines bactéries pour la synthèse d'acides aminés
- L'eau est une molécule majeure dans la composition des organismes (synthèse des molécules organiques, réalisation de réactions chimiques comme l'hydrolyse...)



Influence de la lumière sur la croissance végétale



b- les composants du sol et de la terre

Beaucoup d'atomes du vivant proviennent des roches de la croûte terrestre. Les atomes, les minéraux constituant la roche se dissolvent dans l'eau et forment des ions dans les océans, les rivières, les lacs...

Le sol se forme de particules minérales, d'ions, d'eau et d'humus (restes d'organismes en décomposition) L'eau et les minéraux retenus dans le sol sont récupérés par les racines des végétaux qui les utilisent ensuite pour leur croissance.

EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES

La croissance des végétaux en relation avec la composition du biotope

Les sels minéraux et la production primaire



La photographie a été prise 6 semaines après la mise en culture des grains de maïs.

Des végétaux (du maïs) sont cultivés dans des milieux qui sont différents dans leurs compositions. Le milieu nutritif le plus connu a été mis au point par Knop en 1860. Il contient des nitrates de calcium et de potassium, du sulfate de magnésium et du phosphate monopotassique.

Dans cette expérience, les différents milieux sont :

- 1- le milieu de Knop
- 2- le milieu de Knop sans phosphore
- 3- le milieu de Knop sans azote
- 4- le milieu de Knop sans potassium
- 5- Eau déminéralisées (sans minéraux)

● **Répondre aux questions sur le cahier de cours.**

a) Observez les résultats de cette expérience.

b) Classez ces 3 minéraux par ordre d'importance pour la croissance du végétal.

c) Expliquez en quoi le milieu de Knop est intéressant pour la culture des végétaux.

d) Donnez le rôle de ces minéraux dans le végétal

e) Observez et analysez le tableau ci-dessous

(Expliquez comment évolue la masse de matière sèche végétal en fonction du milieu nutritif)

	Les milieux de culture				
La masse moyenne de matière sèche (en grammes)	1	2	3	4	5
	0,81	0,58	0,34	0,22	0,19



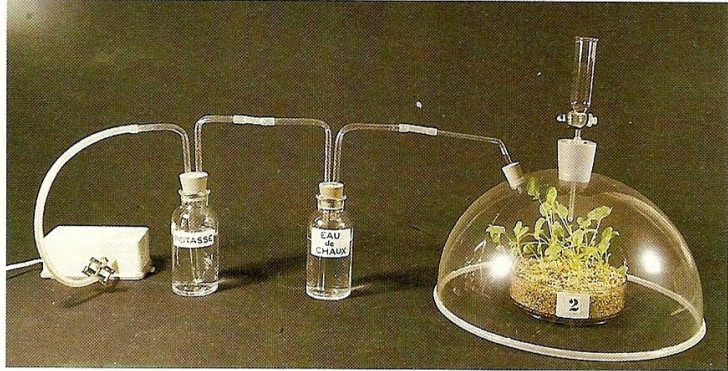
EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES

Le CO₂ et la production primaire

Des expériences ont permis de montrer la relation entre la quantité de dioxyde de carbone d'un milieu et la production primaire de ce milieu.

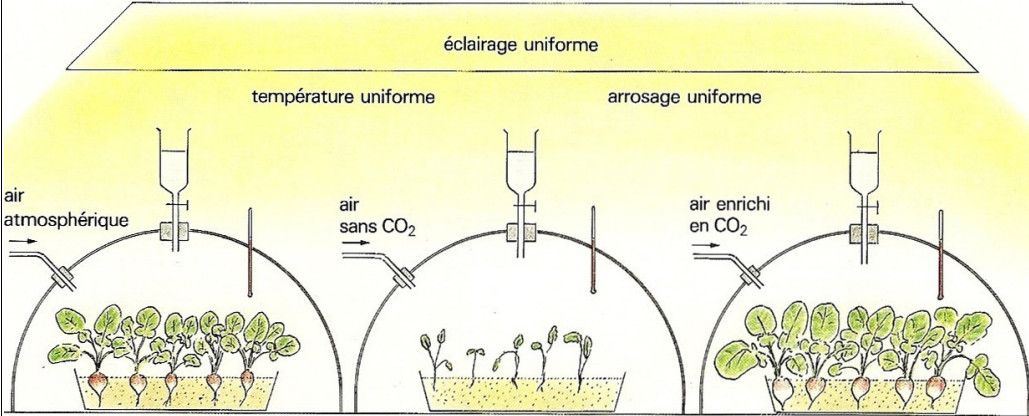
Protocole expérimental

On pèse trois lots de 15 graines de radis avec lesquelles on réalise trois semis aussi identiques que possible. Chacun d'eux est placé dans une enceinte transparente. Les conditions d'éclairage, de température et d'arrosage sont les mêmes dans les trois cas ; seul le taux de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'air de l'enceinte varie.



éclairage uniforme

température uniforme arrosage uniforme



air atmosphérique air sans CO₂ air enrichi en CO₂

taux CO₂ ≈ 0,03% taux CO₂ ≈ 0% taux CO₂ ≈ 3%

B Résultats

Vingt jours plus tard, chaque récolte est déshydratée puis pesée. La valeur de la masse sèche obtenue est comparée à celle de la masse sèche des graines avant semis. La différence correspond à la masse de matière sèche produite.

Numéro des semis	1	2	3
Masse sèche calculée des graines, en grammes (1)	0,14	0,14	0,14
Masse sèche récoltée, en grammes	2,62	0,39	3,10
Masse sèche produite, en grammes	2,48	0,25 (2)	2,96

(1) La masse sèche d'une graine de radis représente 95 % de la masse fraîche de la graine à maturité.
 (2) Le montage expérimental (2) utilisé permet de placer les plantes dans une atmosphère très appauvrie en dioxyde de carbone, sans l'éliminer totalement.

● Répondre aux questions sur votre cahier de cours

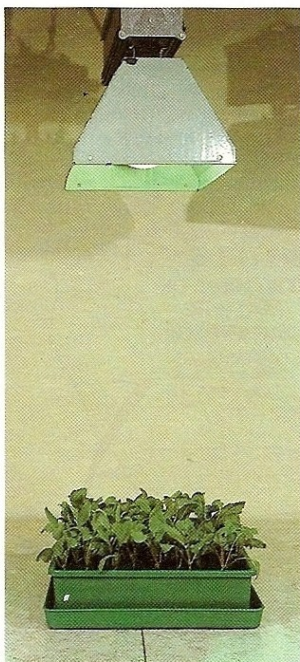
- a) Comment se nomme le végétal utilisé pour cette expérience ?
- b) Quels sont les éléments du biotope qui ne varient pas ?
- c) Quels sont les éléments du biotope qui varient ?
- d) Observez les résultats d'expérience après 20 jours d'après le schéma.
- e) Observez les résultats après 20 jours d'expérience d'après le tableau ci-dessus (sur la matière sèche des graines et la matière produite)
- f) Analysez et concluez

EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES**La lumière et la production primaire**

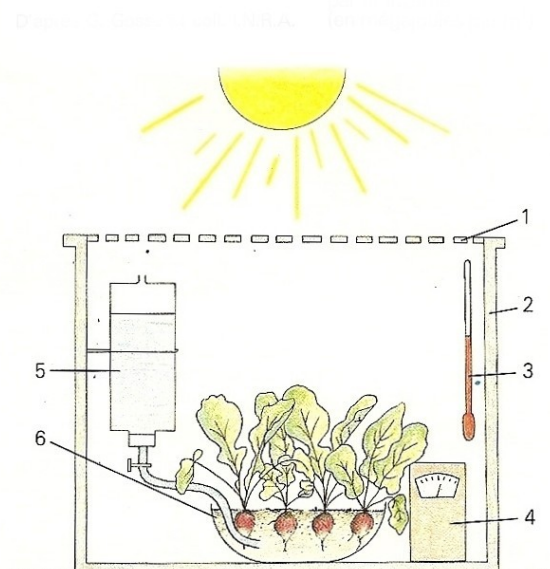
Trois montages analogues à celui présenté sur le dessin ci-contre sont réalisés puis placés au soleil, par exemple sur le rebord de la fenêtre du laboratoire :

- La première boîte n'est pas recouverte d'un couvercle de manière à ce que les plantes reçoivent la lumière solaire totale.
- Les boîtes 2 et 3 sont recouvertes d'un écran semi-opaque (par exemple, plusieurs couches de bas nylon noirs, tendu sur un cadre) de manière à ce que les plantes ne reçoivent que la moitié ou le quart de l'intensité lumineuse solaire, la mesure étant réalisée à l'aide d'un luxmètre.

Dans chacun des cas, on a pesé les graines avant semis et calculé leur masse de matière sèche (95 % de la masse fraîche dans le cas du radis). Vingt jours plus tard, la mesure de la matière sèche de chacune des récoltes permet, par différence avec la matière sèche des graines semées, de calculer la production de matière. Les résultats obtenus avec trois cultures de 15 pieds de radis sont présentés dans le tableau.



La photographie ci-contre présente une culture expérimentale au laboratoire avec un **éclairage contrôlé** en intensité et en durée.



1. Écrans plus ou moins opaques
2. Boîte semi-obscur
3. Thermomètre
4. Luxmètre
5. Solution nutritive
6. Culture de radis

	Éclairage des cultures (en % de la lumière solaire totale)		
	n° 1 : 100 %	n° 2 : 50 %	n° 3 : 25 %
Masse sèche des graines	0,14	0,14	0,14
Masse sèche de la récolte	3,92	3,45	2,30
Production	3,78	3,31	2,16

Les valeurs fournies dans ce tableau sont exprimées en grammes.

● **Répondre aux questions sur votre cahier de cours**

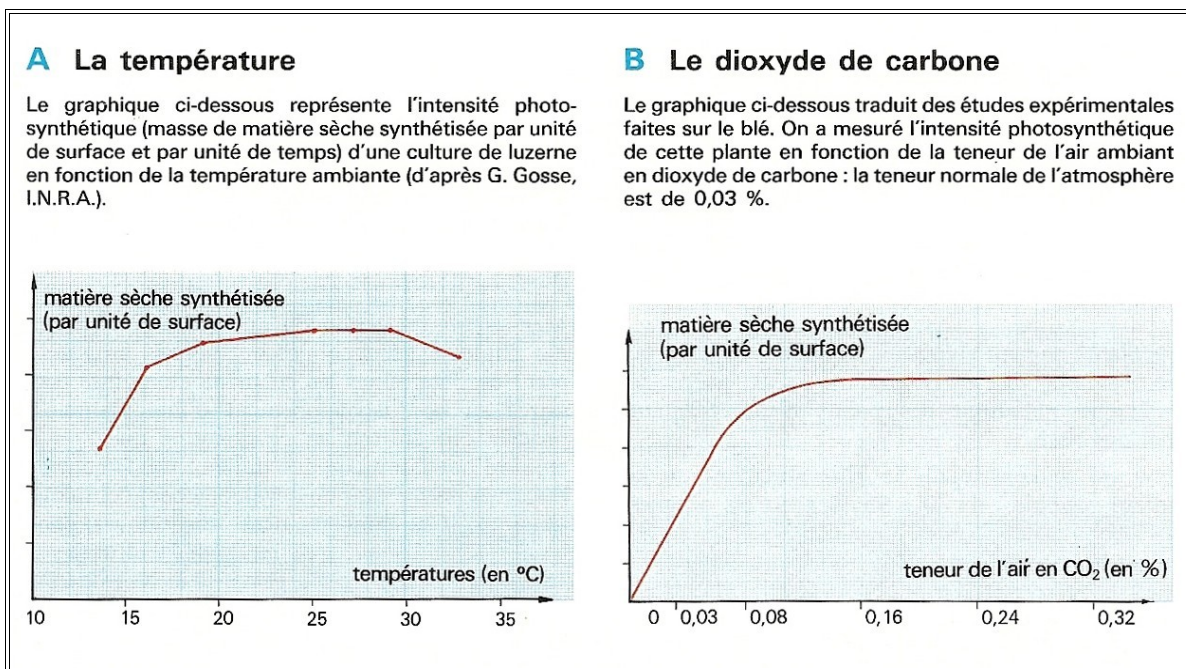
- a) Comment se nomme le végétal utilisé pour cette expérience ?
- b) Quels sont les éléments du biotope qui ne varient pas ?
- c) Quels sont les éléments du biotope qui varient ?
- d) Observez les résultats d'expérience après 20 jours d'après le tableau ci-dessus (sur la matière sèche des graines et la matière produite)
- e) Analysez et concluez.

EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES - EXERCICES

La production primaire et les facteurs limitants

La production primaire est donc influencée par de nombreux facteurs. Pour obtenir une production primaire maximale, il faut placer les végétaux dans des conditions particulières (optimales) mais dans la nature, il n'existe jamais de conditions optimales.

- **Observez les 2 graphiques ci-dessous et répondez aux questions suivantes**



- Que représente le graphique A ?
 - Comment se nomme le végétal utilisé pour l'expérience ?
 - Quel est le paramètre qui varie ?
 - Comment évolue la production de matière sèche en fonction de ces variations ?
 - Que remarquez-vous lorsque le milieu dépasse la température de 29°C ?
 - Quelles sont les conditions optimales alors pour ce premier paramètre ?
- Que représente le graphique B ?
 - Comment se nomme le végétal utilisé pour l'expérience ?
 - Quel est le paramètre qui varie ?
 - Comment évolue la production de matière sèche en fonction de ces variations ?
 - Que remarquez-vous quand le milieu dépasse la quantité en CO₂ de 0,08 % ?
 - Quelle est la quantité moyenne de CO₂ dans l'atmosphère ?
 - Quelles sont les conditions optimales pour ce premier paramètre ?

II. Les chaînes alimentaires et les relations trophiques des flux d'énergie

II.1 Les chaînes alimentaires

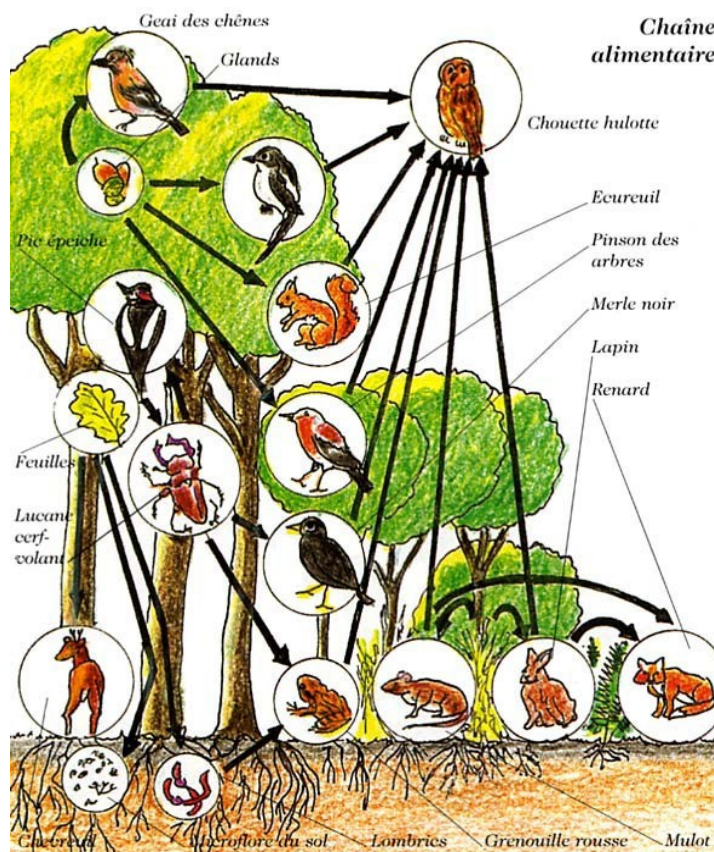
Chaque organisme possède un régime alimentaire particulier déterminé par son évolution, son adaptation à l'environnement.

Exemples de chaînes alimentaires :



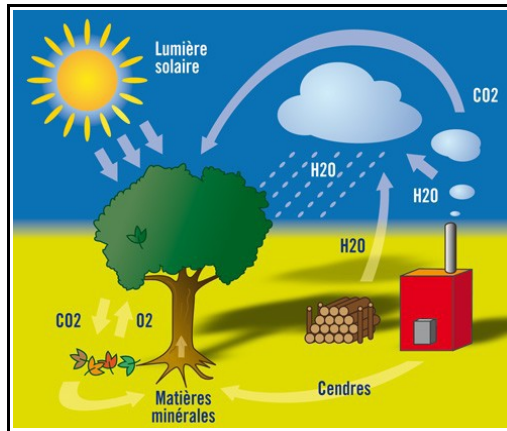
Il existe des interconnexions entre les êtres vivants et leur environnement.

Les molécules organiques sont des molécules d'énergie. Donc le transfert de molécules organiques d'un organisme à un autre est un transfert d'énergie = ce sont les flux d'énergies



II.2 Les flux d'énergie

A chaque étape, il y a une perte d'énergie d'un organisme à un autre. Pourquoi ?



a- les capteurs d'énergie

Les végétaux chlorophylliens captent l'énergie lumineuse grâce à la chlorophylle. La photosynthèse permet de transformer cette énergie lumineuse en énergie chimique (synthèse de molécules organiques)

La molécule organique est une forme de stockage d'énergie.

Les bactéries autotrophes sont aussi des capteurs d'énergie grâce à la photosynthèse ou à la chimiosynthèse.

b- les convertisseurs d'énergie

Les hétérotrophes puisent leur énergie dans les matières organiques synthétisées par les autotrophes.

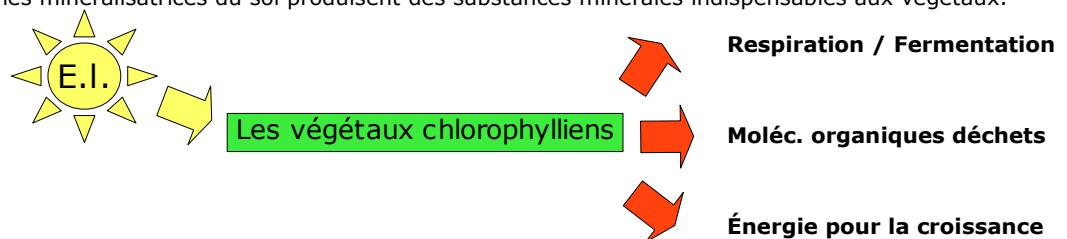
La dégradation de leur aliment par respiration et par fermentation permet la synthèse d'énergie pour construire leur propre matière ou pour d'autres fonctions nécessitant de l'énergie comme la production de mouvement.

L'ensemble du système s'appauvrit du point de vue énergétique, en effet, chaque fois qu'un organisme prend un peu de poids (donc fabrique un peu de substance) il perd en même temps beaucoup d'énergie (dissipée sous forme de chaleur et de molécules déchets comme le CO_2)

c- les récupérateurs d'énergie

Les décomposeurs utilisent les déchets organiques encore riches en énergie et les transforment en molécules minérales beaucoup plus pauvres en énergie.

Exemple : les bactéries minéralisatrices du sol produisent des substances minérales indispensables aux végétaux.



II.3 La schématisation de ces flux de matière et d'énergie

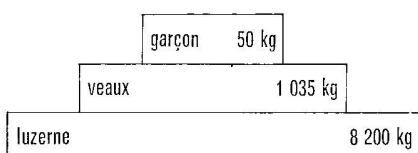
a- les pyramides des biomasses et des énergies

La notion de biomasse : c'est la masse totale des organismes présents dans un écosystème (= masse totale de matière vivante) comme la biomasse des producteurs, la biomasse des consommateurs...

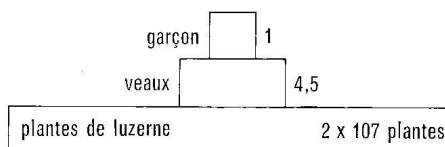
Les pyramides représentent les relations entre les êtres vivants d'un même écosystème. Chaque étage de la pyramide correspond à un niveau trophique.

- Pyramide des biomasses : représente les masses des individus de chaque niveau trophique. Cela indique la quantité de molécules organiques présentes dans chaque niveau et disponibles pour le niveau suivant. Il y a une réduction de la biomasse à chaque niveau supérieur. Le facteur temps n'est pas pris en compte (exemple du lac)

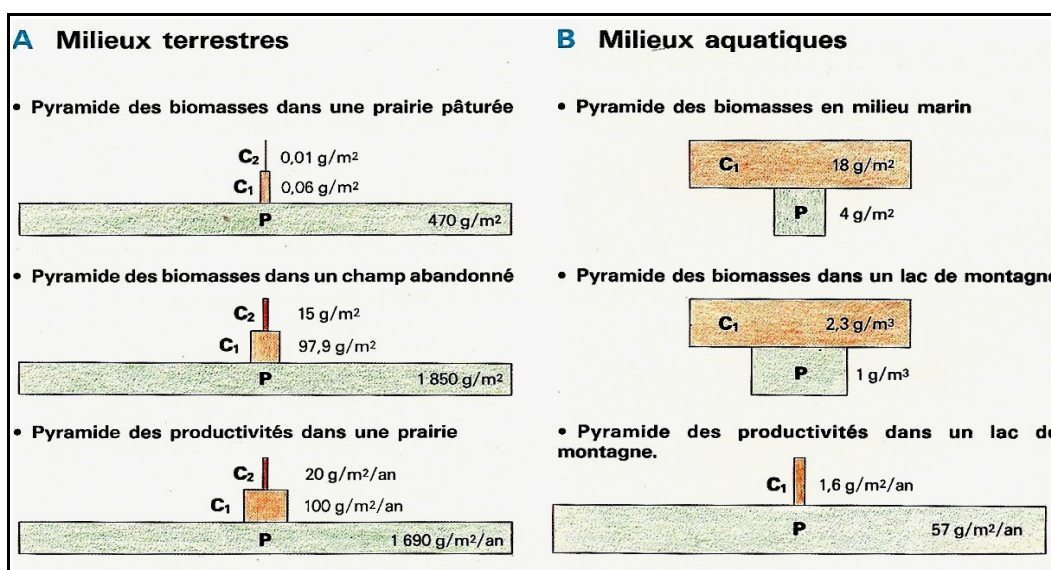
pyramide des masses

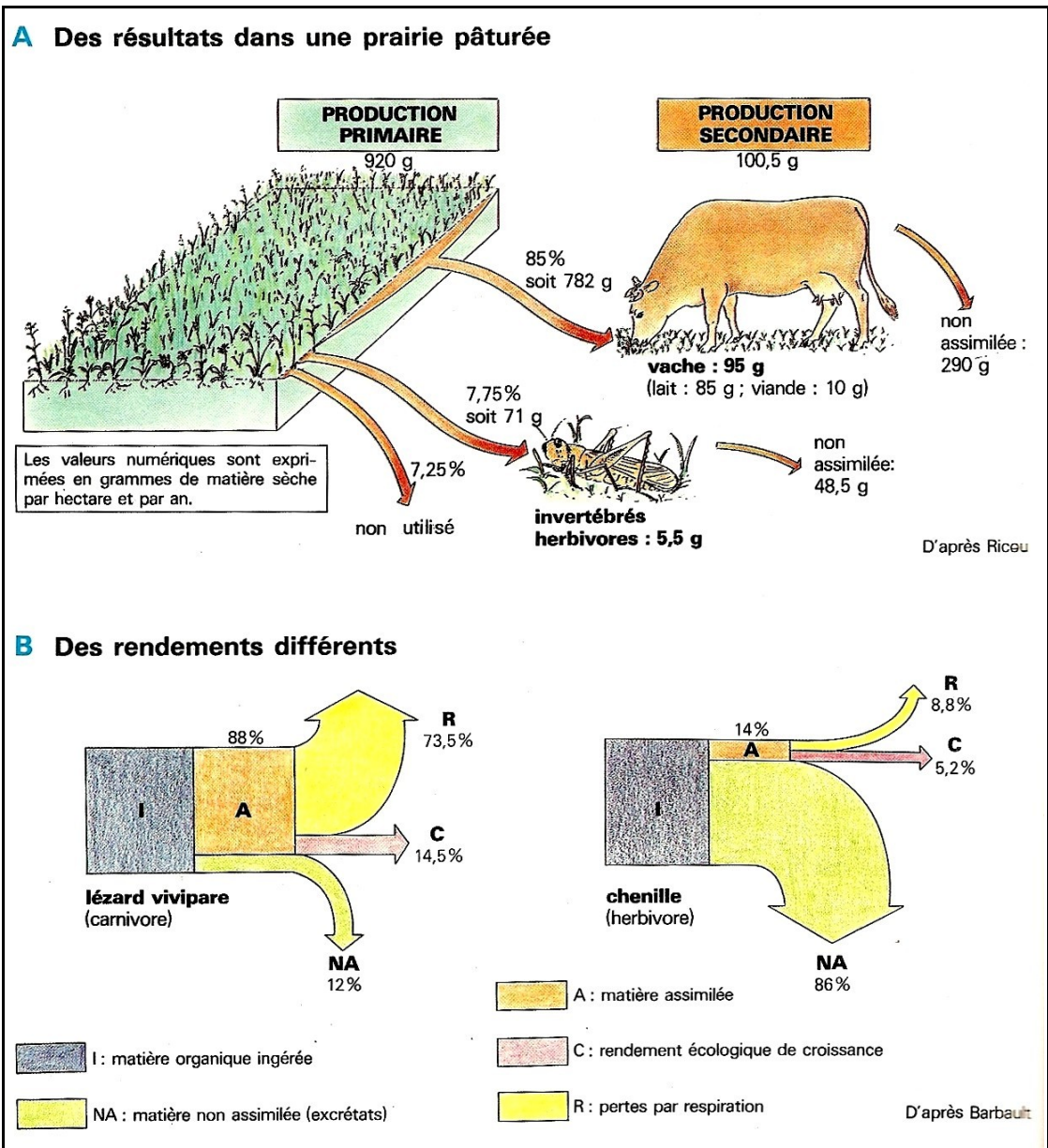


pyramide des nombres

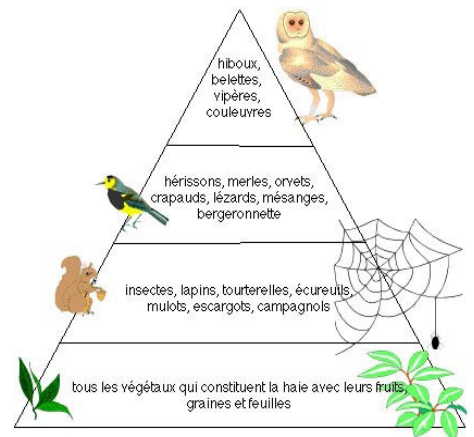


Pyramide des nombres pour la chaîne théorique : luzerne — veaux — garçon de douze ans (d'après ODUM).





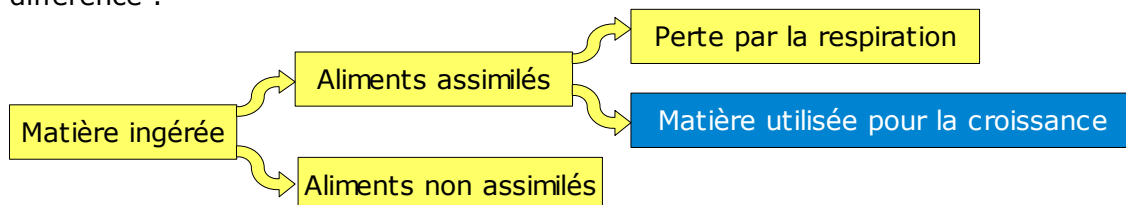
- Pyramide des énergies : cette représentation donne un aspect dynamique de l'écosystème. C'est une représentation plus juste que la pyramide des biomasses. Cela indique pour chaque niveau trophique, la quantité d'énergie accumulée par le temps et par unité de surface.



Pourquoi y a-t-il perte de matières à chaque niveau trophique ?

La matière organique produite par les végétaux chlorophylliens (= production primaire) est utilisée par les consommateurs pour fabriquer leur propre matière (= production secondaire)

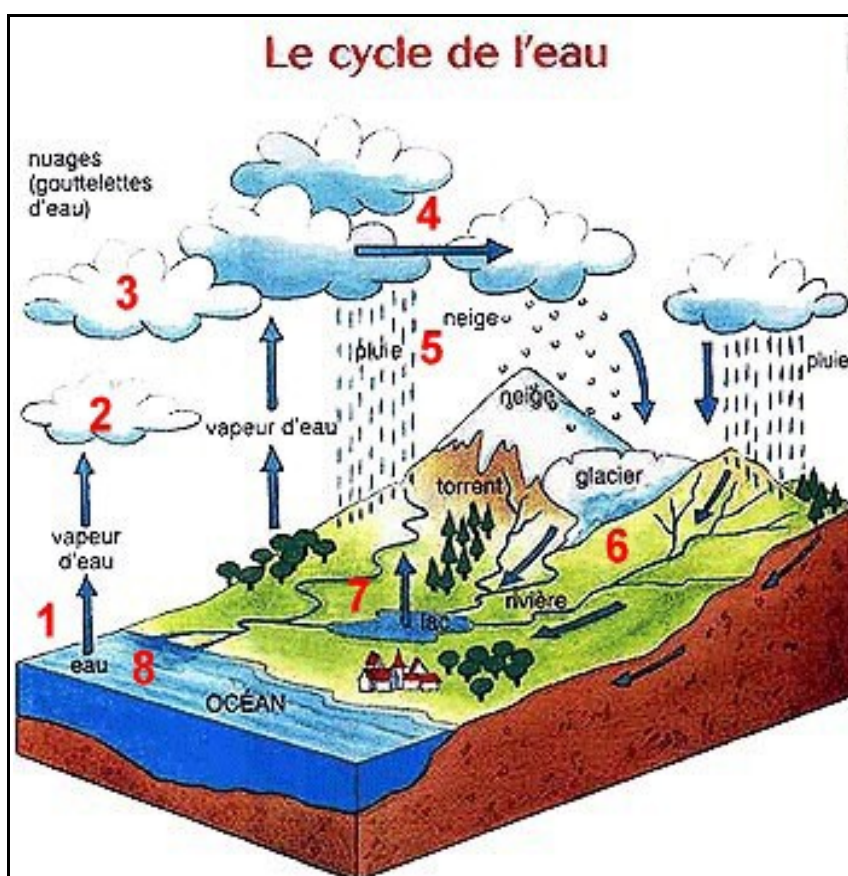
Si on compare la masse de la matière ingérée à celle de la matière produite, on constate une différence :



b- les cycles de la matière

- le cycle de l'eau

Schéma :



- le cycle du carbone

Le monde vivant est caractérisé par les molécules organiques composées essentiellement de Carbone (élément constamment recyclé)

Les végétaux chlorophylliens permettent le stockage et une fossilisation de l'énergie solaire et la photosynthèse est le moteur du cycle du carbone.

Le carbone minéral et le carbone organique :

Dans la nature, on trouve les 2 formes :

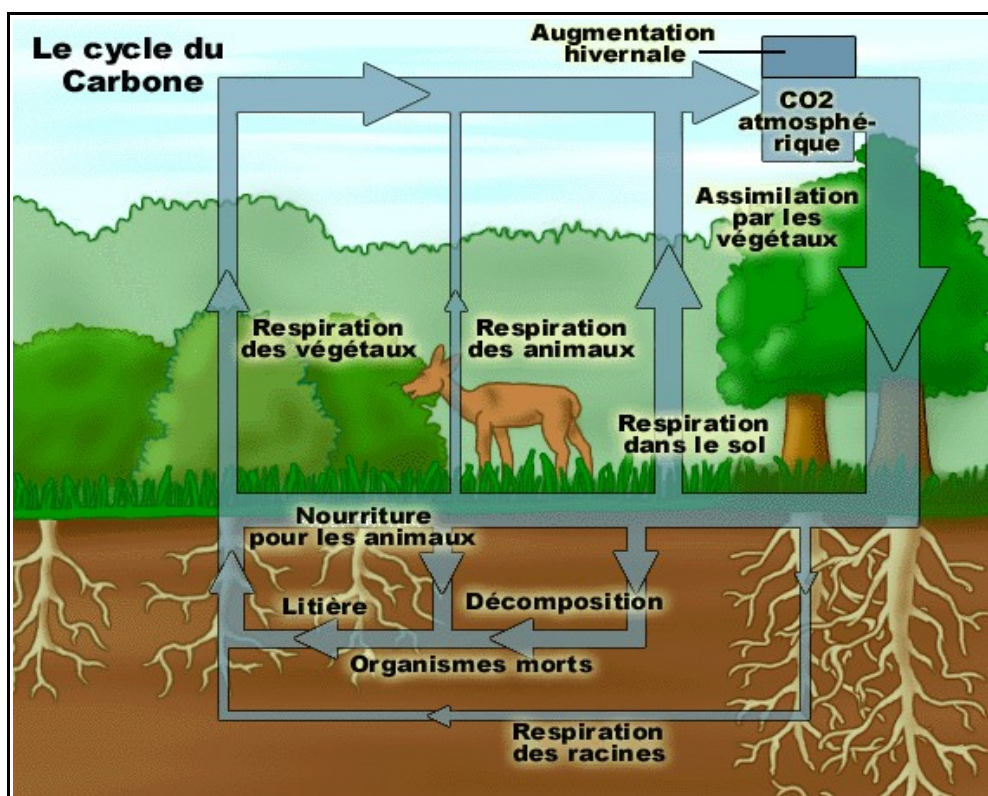
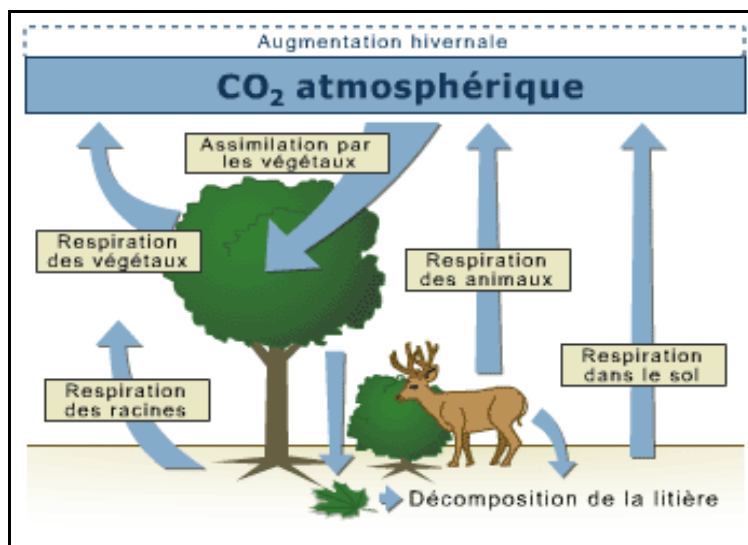
- Les formes minérales :
 - Le dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère
 - Les ions hydrocarbonates (HCO_3^-) dissous dans les océans et dans les eaux douces
 - Les roches carbonatées (CaCO_3)
- La formes organiques :
 - Les molécules organiques (protides, glucides, lipides...)
 - Le carbone des roches carbonées
 - Les hydrocarbures (Charbon, pétrole...)

L'activité des êtres vivants :

Leur activité permet un échange permanent entre la forme minérale et organique du carbone.

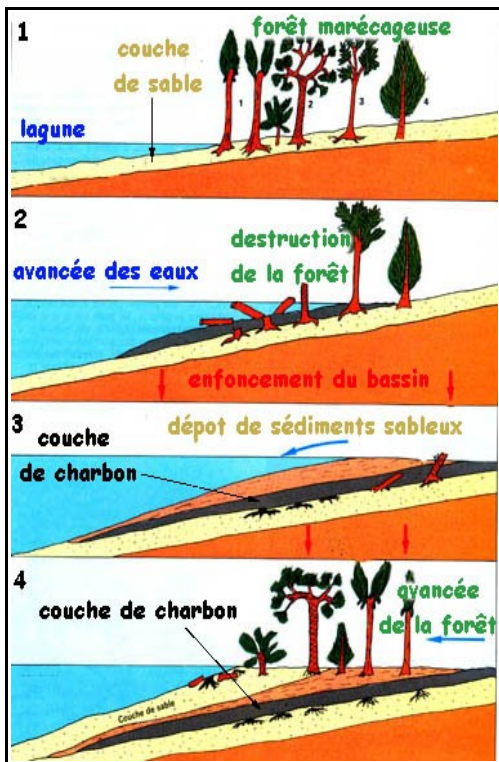
- La photosynthèse et la chimiosynthèse : ces 2 réactions chimiques permettent l'assimilation du carbone minérale et de l'intégrer dans des molécules organiques.
- La respiration et la fermentation : ces 2 réactions chimiques permettent de transformer le carbone organique en carbone minéral. La dégradation permet la libération d'énergie et de CO_2 . Donc, dans un écosystème, tous les êtres vivants sont à leur niveau des minéralisateurs du carbone. Le rôle des champignons, des bactéries, des décomposeurs permettent un minéralisation complète de matière organique morte.
- La fossilisation du carbone organique : Les tourbières sont des environnements où se déroulent la fossilisation du carbone. C'est un milieu froid et humide, privé d'oxygène (l'activité des microorganismes minéralisateurs s'arrêtent) La tourbière est le résidu de la fermentation qui s'accumule dans le sol. Les forêts anciennes par mauvaise dégradation peuvent donner des hydrocarbures (comme le charbon) La mauvaise dégradation d'organismes marins planctoniques permet la naissance de pétrole et de gaz naturels.

Schéma :

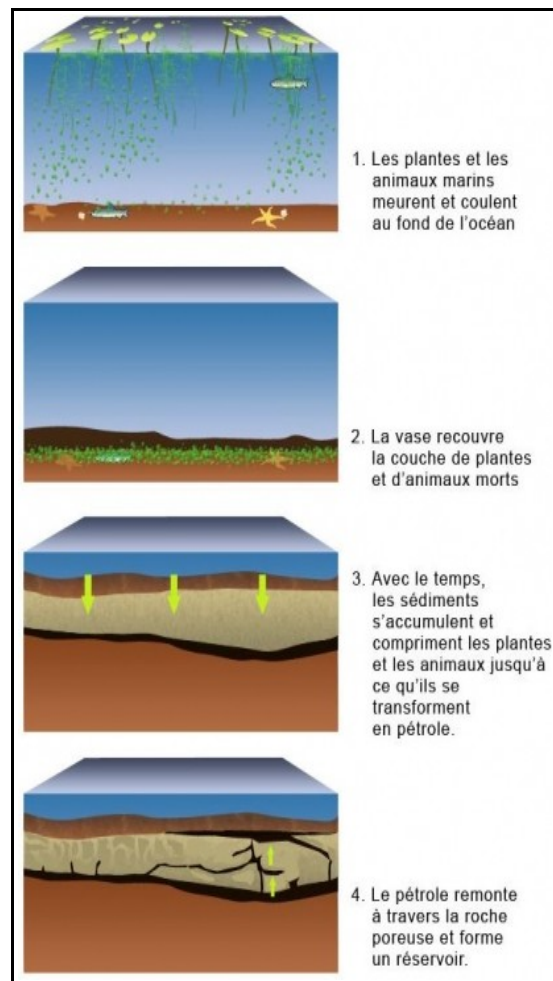


Fossilisation

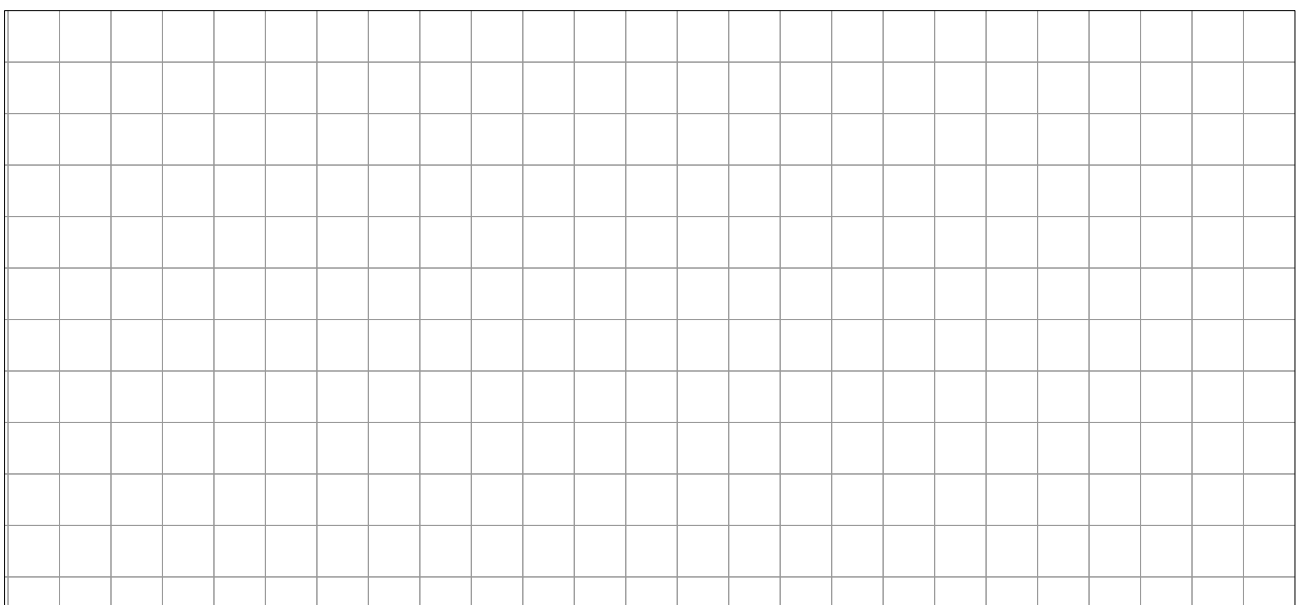
(Formation du charbon, formation du pétrole)



Formation du charbon



Formation du pétrole



- le cycle de l'azote

Ce cycle est important car l'azote participe à la fabrication des protéines, molécules organiques présentes dans chaque organisme.

L'azote minéral et l'azote organique

Il existe 2 états de l'azote dans la nature :

- L'azote minéral qui se trouve dans l'atmosphère et dans le sol
 - l'azote minéral de l'atmosphère est libre, gazeux et très abondant. Mais ni les végétaux chlorophylliens ni les animaux ne sont capables de le fixer directement. L'azote minéral peut se trouver aussi dans le sol associé à d'autres éléments (les sels d'ammonium, les nitrates...)
- L'azote organique qui se trouve dans sous forme de protéines dans les organismes vivants
 - l'azote organique qui est un constituant des êtres vivants se trouve aussi dans l'humus (partie supérieure du sol constituée d'organismes animaux et végétaux morts en décomposition)

De l'azote minéral à l'azote organique

- Les bactéries sont capables d'utiliser l'azote atmosphérique pour la synthèse d'acides aminés. Elles sont donc autotrophes vis à vis de l'azote.
- Au niveau des racines de certains végétaux chlorophylliens, il existe des bactéries aidant les végétaux à utiliser l'azote minéral se trouvant dans le sol. Ainsi ces végétaux sont capables de construire leurs molécules organiques azotées. Ils sont dits autotrophes vis à vis de l'azote.
- Des végétaux chlorophylliens sont capables de synthétiser leurs protéines à partir de l'azote minéral du sol sous forme de **nitrates** (provenant des déchets organiques) L'azote des nitrates permet de fabriquer les acides aminés qui permettront ensuite de construire, par assemblage, les protéines.
- Les champignons sont pour certains autotrophes vis à vis de l'azote (ils savent récupérer l'azote minéral, celui qui se trouve dans la nature), d'autres sont hétérotrophes vis à vis de l'azote (ils sont incapables d'utiliser l'azote minéral et sont donc obligés d'utiliser des molécules organiques azotées déjà construites)
- Les animaux sont hétérotrophes vis à vis de l'azote. Ils ne peuvent pas utiliser l'azote minéral pour synthétiser leurs acides aminés (et donc leurs protéines) Ils utilisent donc des acides aminés provenant de la dégradation d'aliments au cours de la digestion.

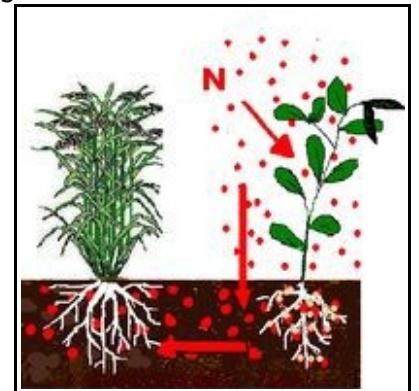
L'azote de l'air peut, grâce aux orages, se retrouver dans le sol et donc être utilisé plus facilement par des bactéries et par les végétaux travaillant en association avec ces bactéries.

De l'azote organique à l'azote minéral

Dans les urines, une molécule déchet (l'urée) est rejetée hors de l'organisme. Cette molécule est une molécule azotée encore sous forme organique. Les cadavres, les excréments sont eux aussi constitués par des molécules organiques azotées. Au niveau du sol, ces molécules organiques azotées vont être dégradées, décomposées par des microorganismes. Ceux-ci sont aussi appelés les décomposeurs.

La transformation des molécules azotées organiques en molécules azotées minérales se fait en plusieurs étapes :

- L'humification (décomposition des molécules organiques azotées en petites molécules)
- L'ammonisation (transformation de ces molécules et apparition d'ammoniac NH_3 et des sels d'ammonium NH_4^{++})
- La nitrification (dégradation des sels d'ammonium en nitrates NO_3^-)



Le rôle capital des microorganismes

Ces microorganismes sont les acteurs principaux du cycle de l'azote.

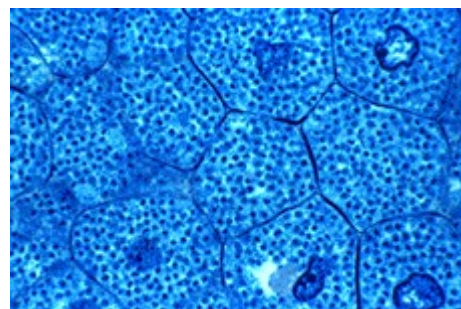
- Il existe donc les bactéries fixatrices d'azote (qui permettent aux végétaux d'utiliser l'azote minéral)
- Il existe d'autres microorganismes, les décomposeurs (qui permettent la transformation d'azote sous forme organique en azote minéral)

Ces microorganismes sont donc essentiels dans le recyclage de l'azote. Sans eux, il n'y aurait pas de cycle.

Schéma :



Nodules sur des racines d'un végétal



Cellules des nodules de racine contenant des bactéries, Rhizobium, visibles sur cette photographie (points noirs)
Elles sont capables d'utiliser directement l'azote de l'air (N_2)

