

MODULE I : LE MONDE VIVANT 13 heures

Situation problème contextualité d'entrée de module

- 1- Relevez le problème soulevé dans le texte
- 2- Dégager ces causes
- 3- Donner les conséquences de ce problème
- 4- Quelles sont les solutions à ces problèmes

Famille de situation 1: Couverture des besoins en énergie de l'Homme

Exemple de situation 1: Carence en énergie de l'organisme

Catégorie d'action : Amélioration de la production d'énergie par l'organisme

Action 1: -Sensibiliser (Informé et/ou éduquer) sur les voies de régénération de l'énergie par les organismes

Séquence 1-Quelques voies de régénération d'énergie par les organismes

L'utilisation permanente de matières organiques comme source d'énergie a rendu possible le maintien de la structure et de la physiologie des organismes. La consommation de cette énergie est assurée au niveau de toutes les cellules (unités anatomiques et fonctionnelles de tout être vivant) par l'oxydation des molécules organiques simples issues de la digestion soit par respiration ou soit par fermentation.

Leçon 1-Rappels sur les rôles des aliments, de la digestion, de l'absorption intestinale et de la circulation

Objectif : Expliquer l'importance de la digestion des aliments ingérés

1- Rôles des aliments et de la digestion

Activité

Un aliment est tout matériau (organique ou minéral) que nous consommons pour assurer le bon fonctionnement de l'organisme. L'ensemble des transformations (mécaniques et chimiques) que subissent les aliments ingérés pour devenir nutriments est appelé digestion. Ainsi, un nutriment est un produit issu de la digestion des aliments ingérés.

a- Anatomie de l'appareil digestif **Activité fig 1.1**

On divise les organes du système digestif en deux grands groupes : les organes du tube digestif et les organes digestifs annexes.

a-1) Les organes du tube digestif

Le tube digestif, aussi appelé canal alimentaire est l'ensemble des conduits et des cavités où passent les aliments lors de la digestion. Il comprend : la bouche, l'œsophage, l'estomac, l'intestin grêle et le gros intestin qui se termine par l'anus.

a-2) Les organes digestifs annexes

Ce sont : les glandes salivaires, le foie (et sa vésicule biliaire), le pancréas.

✓ **Les glandes salivaires :** on distingue trois paires de glandes salivaires (glandes sublinguales, les glandes parotides, les glandes parotides). Ces glandes sécrètent la salive dont le rôle est multiple : ramollissement des aliments, contient une enzyme (ptyaline) qui amorce la digestion de l'amidon cuit.

- ✓ **Le foie** : c'est la plus grosse glande digestive. Il sécrète la bile dont le rôle est d'**émulsifier** les graisses alimentaires afin de faciliter leur digestion par la lipase pancréatique. La bile n'est pas considérée comme un suc digestif, car ne contient pas d'enzyme.
- ✓ **Le pancréas** : il sécrète le suc pancréatique riche en enzymes.

b - Les étapes de la digestion dans le tube digestif

Les transformations mécaniques et chimiques se font au même moment et de manière progressive dans le tube digestif. La digestion comprend deux étapes importantes :

- La digestion mécanique ou transformation mécanique : elle est assurée par les dents et les muscles masticateurs de la paroi stomacale.
- La digestion chimique ou transformation chimique qui se situent à plusieurs niveaux du tube digestif :
 - *au niveau de la bouche : l'amylase salivaire transforme l'amidon cuit en maltose
 - *au niveau de l'estomac : le suc gastrique contient le HCl et deux substances : la **présure** qui coagule les protéines et la **pepsine**, une protéase qui transforme les protéines coagule en polypeptides.
 - *au niveau de l'intestin grêle : le suc pancréatique contient quatre enzymes (amylase pancréatique, la maltase pancréatique, la lipase pancréatique, et la trypsine), le suc intestinal contient plusieurs enzymes (la saccharase, la lipase, la lactase), la bile qui ne contient aucune enzyme mais qui rend le milieu intestinal basique favorable à l'action des enzymes pancréatique (la trypsine et la lipase).

c-Utilisation des nutriments

Activité

c-1)Le glucose

C'est le plus important nutriment issu des aliments glucidiques. Son taux sanguin est appelé glycémie. La valeur normale de la glycémie est d'environ 1 g de glucose par L de sang.

Après un repas riche en glucide, le foie stocke le surplus de glucose sous forme de glycogène : on parle de glycogénogenèse.

Pendant le jeûne, le foie libère le glucose dans le sang en dégradant sa réserve de glycogène : on parle de glycogénolyse.

c-2)Les lipides

Après un repas, les nutriments issus de la digestion des lipides (**acides gras et glycérol**) s'associent pour former les graisses. Ces graisses constituent une importante réserve énergétique utilisée en cas de jeûne prolongé.

c-3) Les protides

Les acides aminés issus de la digestion des protides sont stockés dans le tissu musculaire et sont utilisés lors d'un jeûne court. Ils, sont également utilisés pour la synthèse de nouvelles protéines : hormones protidiques, enzymes, protéines plasmiques

2-Rôles de l'absorption intestinale et de la circulation

Activité fig 1.2

La digestion aboutit à la transformation des grosses molécules (aliments) en petites molécules (nutriments) capables de traverser la **villosité intestinale** : c'est la **simplification moléculaire**. L'eau, les sels minéraux et les vitamines ne subissent aucune transformation.

Lors de l'absorption, les nutriments traversent la paroi intestinale au niveau des replis appelées villosités intestinales et empruntent deux voies possibles : la **voie sanguine** empruntée par les nutriments hydrophiles (eau, sels minéraux, vitamine B et C, glucose, fructose, galactose, acides aminés) ; la **voie lymphatique** ou

voie chylifère empruntée par les nutriments hydrophobes (glycérol, acides gras, cholestérol, vitamines A, D, E, K).

Leçon 2-Respiration cellulaire

Objectifs : -Mettre en évidence la respiration cellulaire

- Relever les étapes et expliquer le mécanisme de la dégradation du glucose par les voies de la respiration cellulaire

La respiration cellulaire est la dégradation chimique des métabolites en présence d'oxygène au sein de la cellule. Elle se manifeste à l'échelle de l'organisme par une absorption d'oxygène et un rejet du gaz carbonique.

1- Mise en évidence de la respiration cellulaire **Activité fig 1.3**

Jusqu'en 1870, on considérait la respiration comme un phénomène strictement pulmonaire. C'est le physiologiste français Paul Bert qui a démontré pour la première fois d'un tissu ou un organe pouvait respirer, ie absorber le dioxygène et rejeter le gaz carbonique.

Expérience de Paul Bert (1870)

Paul Bert place des fragments d'organe frais (rein ou muscle) dans une éprouvette renversée sur une cuve de mercure et contenant de l'eau de chaux. Il constate que l'eau de chaux se trouble et que le mercure monte dans l'éprouvette (dénivellation h).

Interprétation

La montée du mercure est due à l'absorption d'un gaz (dioxygène) par le tissu. L'eau de chaux se trouble, preuve que le tissu a rejeté le CO₂ dans l'éprouvette.

NB : Paul Bert a utilisé le mercure parce qu'il ne se mélange pas avec l'eau de chaux.

Conclusion

Un tissu vivant est capable d'absorber l'oxygène et de rejeter le dioxyde de carbone : on dit que le tissu respire. Etant donné qu'un tissu est un assemblage ordonné de cellules, on peut dire que la respiration d'un tissu est la somme des respirations des cellules qui le constituent.

2- Les étapes de la dégradation du métabolite (glycolyse, décarboxylation oxydative, cycle de Krebs

Activité

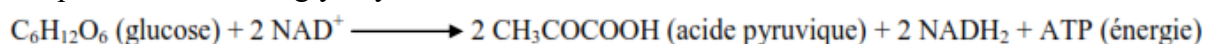
On appelle métabolite, les nutriments résultant de la digestion des aliments et qui entrent dans les réactions du métabolisme.

La dégradation cellulaire du métabolite (glucose) commence dans le hyaloplasme et se poursuit dans la mitochondrie.

a) La glycolyse

C'est la première étape de la dégradation cellulaire du glucose. Elle se déroule dans le cytosol et correspond à la **déshydrogénation** du glucose. C'est une suite de 10 réactions biochimiques qui dégradent une molécule de glucose en deux molécules d'**acide pyruvique** et de deux **transporteurs d'hydrogènes réduits (NADH)** avec libération d'énergie sous forme d'ATP (Adénosine Triphosphate).

L'équation bilan de la glycolyse est :



b) Le cycle de Krebs ou cycle de l'acide citrique ou cycle tricarboxylique

Le cycle de Krebs est une succession de réactions biochimiques qui comprennent la décarboxylation et déshydrogénation, catalysées respectivement par les enzymes appelées décarboxylases et déshydrogénases.

En aérobiose, l'acide pyruvique migre dans la mitochondrie où il va subir une série de **déshydrogénation** et **décarboxylation** (production du CO₂) appelée cycle de Krebs. Il se déroule dans la matrice mitochondriale. Au cours de ces réactions, il y a production de transporteurs d'hydrogène réduits et d'ATP.

c) La chaîne respiratoire

Elle se déroule dans la membrane interne (crêtes) de la mitochondrie. Le dioxygène absorbé accepte les hydrogènes libérés par le NADH₂ pour former les molécules d'eau (H₂O) selon l'équation bilan :



Au cours de ces réactions il y a production d'une grande quantité d'énergie dont une partie seulement est convertie en ATP et le reste est perdu sous forme de chaleur (l'ATP est la seule source d'énergie directement utilisable par les cellules).

Bilan de la respiration cellulaire : cas du glucose :

L'équation chimique globale de la respiration dans le cas d'une dégradation du glucose s'écrit :



NB : le CO₂ et l'H₂O libérés au cours de la respiration seront rejetés par les poumons. La chaleur libérée sert à la régulation de la température corporelle.

3- Rôle des transporteurs et rendement énergétique de la respiration

a- Rôle des transporteurs

Transporteur d'hydrogène : molécule oxydée de type coenzyme capable de fixer et de transporter deux protons et deux électrons

b-rendement énergétique de la respiration

Le **rendement énergétique** d'une voie métabolique est le rapport entre l'énergie qui est effectivement récupérée sous forme d'ATP et l'énergie totale fournie.

Considérons l'équation de dégradation complète du glucose par une cellule :



Etant donné que la respiration produit 38 molécule d'ATP et sachant qu'une molécule d'ATP libère par hydrolyse 30 KJ, le calcul du rendement énergétique de la respiration donne :

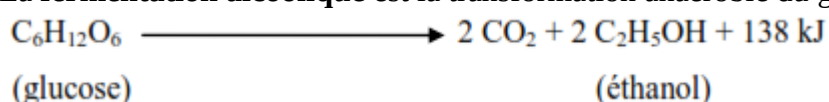
$$\text{RE} = \frac{38 \times 30}{2860} \times 100 \cong 40 \%$$

4 – Quelques exemples de fermentation (fermentation alcoolique, fermentation lactique, fermentation butyrique) **Activité**

Les fermentations sont des **oxydations incomplètes** des métabolites, réalisées pour certaines en présence du dioxygène (aérobiose), pour d'autres en absence du dioxygène (anaérobiose). Ici il y a production des déchets organiques encore riches en énergie chimique potentielle.

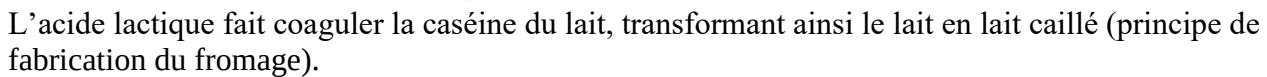
a- La fermentation éthylique ou alcoolique : fig 1.4

La **fermentation alcoolique** est la transformation anaérobie du glucose en éthanol et en dioxyde de carbone.



La réaction est catalysée par des enzymes produites par les **levures de bière** (genre *Saccharomyces*)

La **fermentation lactique** est la transformation anaérobie du lactose en acide lactique (lactate).



c- La fermentation acétique fig 1.5

Elle permet de transformer le vin en vinaigre.

d- La fermentation butyrique

Elle est appliquée pour la fabrication des bâtons de manioc, du tapioca...

4-Rendement énergétique de la fermentation

Etant donné que la fermentation produit deux molécules d'ATP, le calcul du rendement énergétique donne :

5- Comparaison respiration –fermentation : Tableau 1.1

Pour un même métabolite, le rendement énergétique de la respiration est supérieur à celui de la fermentation. Cette différence est due au fait que lors de la respiration, les métabolites sont complètement dégradés (production des déchets minéraux pauvres en énergie chimique potentielle) alors que la fermentation est une dégradation incomplète des métabolites (production des déchets organiques riches en énergie chimique potentielle).

Dans les deux cas, une partie de l'énergie produite est convertie en ATP alors que l'autre partie est perdue sous forme de chaleur (énergie inutilisable par la cellule).

Action : 2-Sensibiliser (Informer et/ou éduquer) sur la permanence de la dépense énergétique

Séquence 2 : Dépense énergétique des organismes

Leçon 1- La permanence de la dépense énergétique et sa variation en fonction des différents facteurs externes et internes

Objectif :- Expliquer que la dépense énergétique d'un organisme est permanente
- Expliquer que la dépense énergétique varie en fonction de plusieurs facteurs

L'organisme dépense de l'énergie fournie par la respiration ou les fermentations pour maintenir sa structure et son fonctionnement (croissance, synthèses, mouvements et déplacements...). Chez l'Homme, les dépenses énergétiques sont permanentes mais variables selon les conditions du milieu.

1 - La permanence de la dépense énergétique chez les Mammifères : le métabolisme de base

Activité fig 2.2

Le **métabolisme basal** ou **métabolisme de repos** est la dépense énergétique minimale permanente d'un organisme, lui permettant d'assurer les fonctions essentielles à la vie.

Le métabolisme de base représente plus de la moitié de la dépense énergétique quotidienne chez un sujet adulte ayant une activité physique modérée

2- de variation des dépenses énergétiques chez les Mammifères

Activité

Chez un individu, la dépense énergétique varie en fonction :

- **Des facteurs internes** : activité physiologique (digestion, croissance, état de grossesse, stress...), âge, sexe, activité physique...

- **Des facteurs externes** : la température, la taille de l'animal

NB : Plus l'animal est petit, plus sa dépense énergétique est grande : c'est la « **loi des tailles** ». Ceci s'explique par le fait que chez les Mammifères, la déperdition (perte) de chaleur par unité de masse augmente lorsque la surface corporelle augmente. Or cette surface est d'autant plus grande que l'animal est petit.

Remarque : Le **métabolisme** est l'ensemble des réactions qui se déroulent dans la cellule. On distingue les réactions de synthèse des molécules appelées **anabolisme** et les réactions de dégradation appelées **catabolisme**. Ainsi, le métabolisme possède deux aspects : l'anabolisme et le catabolisme.

Action 3 : -Evaluer les dépenses énergétiques

Leçon 2- Evaluation de dépenses énergétiques par la mesure de la quantité de dioxygène consommé par un individu

Objectif : -Evaluer la dépense énergétique d'un organisme
- Evaluer le métabolisme basal

L'évaluation de la dépense énergétique est obtenue par la mesure de la consommation de dioxygène. En effet, le dioxygène n'est utilisé dans l'organisme que pour libérer de l'énergie à partir des nutriments.. L'évaluation de la dépense énergétique d'un animal se fait par **calorimétrie**. L'appareil utilisé est un **calorimètre**. Pour évaluer ces dépenses deux (02) méthodes sont utilisées.

1 - La méthode directe (calorimétrie directe)

a) La calorimétrie à glace

On place l'animal dans un **calorimètre à glace**. La chaleur qu'il dégage fait fondre la glace ; à la fin de l'expérience, on recueille une certaine quantité d'eau. Connaissant la masse d'eau recueillie (**m**), et sachant qu'il faut 80 calories pour faire fondre 1 g d'eau, la quantité de chaleur (**Q**) dégagée par l'animal est calculée par la formule : **Q = 80 x m (en cal)**.

b) La chambre calorimétrique

On place l'animal dans une chambre à **paroi adiabatique** (ie ne permettant aucun échange de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur). Cet animal dégage de la chaleur qui sert à échauffer une masse d'eau connue (m). Connaissant la température initiale et la température finale de l'eau, on peut calculer la quantité de chaleur (Q) libérée par l'animal, selon la formule :

$$Q = m \times C \times \Delta t$$

$$= m \times C (t_f - t_i)$$

$$\text{Où : } \begin{cases} C = \text{chaleur massique de l'eau (4,18 Kj/g/°C)} \\ t_i = \text{température initiale de l'eau} \\ t_f = \text{température finale de l'eau} \end{cases}$$

2 - La méthode indirecte (calorimétrie indirecte ou calorimétrie respiratoire) **Activité**

Elle consiste à évaluer la dépense énergétique d'un animal à partir de sa consommation d'oxygène.

a) Comment mesurer la quantité d'oxygène consommée par un animal ? **fig 2.1**

On utilise pour cela un appareil appelé **respiromètre volumétrique** ou **spiromètre**.

Le CO₂ rejeté par l'animal est absorbé par la potasse ou la soude.

La consommation d'O₂ par l'animal entraîne une diminution du volume de gaz contenu dans l'enceinte, et donc une baisse de pression que mesure la dénivellation p dans le manomètre. Le niveau de liquide dans le manomètre est ramené à sa valeur initiale (niveau 0) en injectant un volume V d'eau dans le réservoir d'O₂ pur, grâce à la burette. Ce volume V représente le volume de dioxygène consommé par l'animal.

b) Détermination du coefficient thermique du dioxygène

On appelle **coefficient énergétique** du dioxygène la quantité d'énergie libérée par litre de dioxygène consommé. Si l'on considère que le métabolite utilisé est le glucose, on a l'équation :



$$6 \text{ moles d'O}_2 \begin{matrix} \xrightarrow{\quad\quad\quad} 2840 \text{ Kj} \\ \xrightarrow{\quad\quad\quad} 6 \times 22,4 \text{ L d'O}_2 \end{matrix} \begin{cases} \xrightarrow{\quad\quad\quad} 2840 \text{ Kj} \\ \xrightarrow{\quad\quad\quad} \text{Coefficient thermique} \end{cases}$$

(Rappel : $n = \frac{V}{V_m}$ donc $V = n \times V_m$)

$$\text{Coefficient thermique} = \frac{2840}{6 \times 22,4} = 21,13 \text{ Kj (5,05 kcal)}$$

Le coefficient thermique varie en fonction de la nature des nutriments utilisés. On admet habituellement que, pour un **régime alimentaire mixte (équilibré)** comportant glucides, lipides et protides, la consommation d'un litre de dioxygène correspond à la libération de **20 kilojoules**.

Travail demandé : Calculer le coefficient thermique de l'oxygène dans le cas de l'utilisation : d'un lipide (la trioléine) et d'un protide (l'alanine). On donne les équations de dégradation complète de ces molécules.



NB : 21,13 kJ (5,05 Kcal) est le coefficient thermique du dioxygène lorsque l'organisme utilise du glucose. Dans le cas de l'utilisation des lipides ou des protides, il est inférieur à 20 kJ

c) Calcul de la dépense énergétique de l'animal

Elle se calcule par la formule :

Dépense énergétique = coefficient thermique x volume d'oxygène consommé

3- L'intensité respiratoire (IR) et Le quotient respiratoire (QR) **Activité**

a) L'intensité respiratoire (IR)

L'**intensité respiratoire** est la quantité de dioxygène consommée (V_{O_2}) ou de dioxyde de carbone rejetée (V_{CO_2}) par unité de temps (t) et par unité de masse de l'organisme (m). On l'exprime généralement en **L/Kg/h** ou en **mL/Kg/min**. $IR = \frac{VO_2 \text{ absorbé}}{m \times t} = \frac{VCO_2 \text{ rejeté}}{m \times t}$

b) Le quotient respiratoire (QR)

Le **quotient respiratoire** est le rapport du volume de CO_2 dégagé sur volume d' O_2 consommé pendant le même temps par un organisme. Il n'a pas d'unité. $QR = \frac{VCO_2 \text{ rejeté}}{VO_2 \text{ absorbé}}$

NB : En utilisant le respiromètre volumétrique, on mesure d'abord l'intensité respiratoire de l'animal. On répète ensuite la manipulation en supprimant l'absorbeur de CO_2 . Il se crée une dénivellation dans le manomètre. Après compensation de la dénivellation, on mesure le volume d'eau écoulee de la burette. Il correspond à un **volume différentiel** (Vd).

Vd = V_{O_2} absorbé - V_{CO_2} dégagé. On en tire **V_{CO_2} dégagé = V_{O_2} absorbé - Vd.**

Durant cette mesure, l'animal se trouve en **air confiné** : la mesure ne doit donc pas être prolongée, sinon il mourra par asphyxie.

4-Applications

Une souris de 20 g placée dans un respiromètre volumétrique à 20 °C et sous une pression atmosphérique de 764 mm de mercure consomme 25,6 mL de dioxygène en 12 minutes. En supprimant l'absorbeur de CO_2 , on laisse couler 3,8 mL d'eau de la burette graduée pour ramener la dénivellation dans le manomètre au niveau 0 après 12 minutes d'expérience.

1 - Déterminer :

- la quantité d' O_2 absorbée par l'animal en 12 minutes
- la quantité de CO_2 rejetée par l'animal en 12 minutes

2 - Evaluer le QR de cette souris

3 - Evaluer son IR en L d' O_2 absorbé/h/Kg

NB : On rappelle que la pression normale = 760 mm de mercure, la température normale = 0 °C (soit 273 K) et que la formule des gaz parfaits est $P \cdot V = P_0 \cdot V_0 \left(1 + \frac{\theta}{\theta_0}\right)$

Solution

1 - a) $V_{O_2} = 25,6 \text{ mL} = 25,6 \cdot 10^{-3} \text{ L}$

b) $V_{CO_2} = V_{O_2} - V_d = 25,6 - 3,8 = 21,8 \text{ mL} = 21,8 \cdot 10^{-3} \text{ L}$

2 - $QR = \frac{V_{CO_2}}{V_{O_2}} = \frac{21,8}{25,6} \approx 0,85$

3 - Etant donné que l'expérience ne s'est pas réalisée dans les conditions normales de température et de pression, il convient de ramener le V_{O_2} absorbé dans ces conditions.

On a la relation : $P.V = P_o.V_o (1 + \frac{\theta}{\theta_o})$

$$V_o = \frac{P.V}{P_o. (1 + \frac{\theta}{\theta_o})} \quad \text{où} \quad \begin{cases} P_o = 760 \text{ mm Hg} \\ P = 764 \text{ mm Hg} \\ \theta_o = 273 \text{ K} \\ \theta = 273 + 20 = 293 \text{ K} \end{cases}$$

AN : $V_o (\text{O}_2 \text{ absorbé}) = \frac{764 \times 25,6 \cdot 10^{-3}}{760 \times (1 + \frac{293}{273})} = \underline{12,41 \cdot 10^{-3} \text{ L}}$

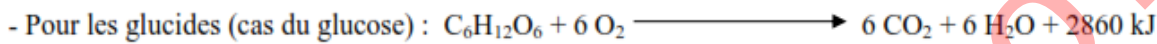
$IR = \frac{V \text{ O}_2 \text{ absorbé}}{\text{masse} \times \text{temps}} \quad \text{où} \quad \begin{cases} V_{\text{O}_2} = 12,41 \cdot 10^{-3} \text{ l} \\ m = 20 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \\ t = 0,2 \text{ h} \end{cases}$

AN : $IR = \underline{3,1025}$ litres d'oxygène absorbé/h/kg

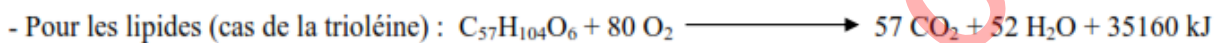
d) Variations de l'IR et du QR

L'intensité respiratoire varie en fonction de l'**activité physique**, de la **température externe** chez les endothermes, de l'**âge**, du **sexe** et de l'**état physiologique**. D'une manière générale, **l'IR est étroitement liée à la libération d'énergie par l'organisme**.

Le quotient respiratoire varie selon les aliments ingérés.



$$QR = \frac{6 \times 22,4}{6 \times 22,4} = 1$$



$$QR = \frac{57 \times 22,4}{80 \times 22,4} = 0,7$$



$$QR = \frac{5 \times 22,4}{6 \times 22,4} = 0,8$$

NB : Pour une alimentation équilibrée (comportant glucides, lipides et protides), il est admis conventionnellement que **QR = 0,85**.

Remarque : connaissant le QR, on peut déduire la nature du métabolite oxydé et donc le coefficient thermique (CT) de l'oxygène pour l'alimentation du sujet, ce qui permet de calculer la dépense énergétique à partir de l'IR. **Dépense énergétique = IR**

5- Evaluation du métabolisme basal par la mesure du volume de dioxygène consommé

L'évaluation du métabolisme de repos chez un Homme s'effectue dans des conditions très précises, à l'aide du **respiromètre de Benedict** :

- L'individu doit être à **jeun depuis 12 heures**, afin d'éliminer les dépenses liées au travail digestif
- Le sujet doit être au **repos intellectuel** (afin de réduire au minimum l'activité des neurones) ; et au **repos physique** (afin de réduire au maximum l'activité musculaire)
- Le sujet doit être placé à la **température de neutralité thermique (18 à 20 °C)**, afin d'éliminer les dépenses énergétiques liées à la **thermorégulation**

MODULE II : L'EDUCATION A LA SANTE 10 heures

Situation problème contextualité d'entrée de module

- 5- Relevez le problème soulevé dans le texte
- 6- Dégager ces causes
- 7- Donner les conséquences de ce problème
- 8- Quelles sont les solutions à ces problèmes

Famille de situation 1 : Récurrence des AVC, et des problèmes liés aux perturbations du système immunitaire et à la santé reproductive

Exemple de situation 1 : Prévalence des accidents cardiovasculaires

Catégorie d'action 1 : Lutte contre les accidents cardiovasculaires

Actions 1 : -Sensibiliser (Informer et/ou éduquer) sur les accidents cardiovasculaires

- Appliquer des pratiques qui favorisent une bonne circulation sanguine
- Contrôler son alimentation

Séquence 3-Les accidents cardiovasculaires

Leçon 1- Crise cardiaque et accident vasculaire cérébral(AVC)

Objectif :

L'infarctus un myocarde ou crise cardiaque : C'est une maladie due à un arrêt de la circulation dans les vaisseaux sanguins coronariens c'est-à-dire les vaisseaux sanguins qui irriguent le myocarde

Les accidents vasculaires cérébraux : c'est une lésion du cerveau due à un ralentissement du flux sanguin ou à une hémorragie. Il peut être due à une rupture d'anévrisme, une thrombose ou une hypertension artérielle ;

Leçon 2- les moyens de lutte contre l'AVC et la crise cardiaque

Pour éviter les maladies cardio-vasculaires ou du moins amoindrir leurs effets, il faut assurer une bonne hygiène de l'appareil circulatoire :

- en évitant une alimentation trop riche en lipides d'origine animale, sources de cholestérol ;
- en effectuant des exercices physiques réguliers et modérés ;
- en évitant d'abuser du tabac et de l'alcool.

Exemple de situation 2 : Prévalence du VIH/sida

Catégorie d'action 2 : Lutte contre le VIH/sida

Action 2 :-Sensibiliser (éduquer et/ou informer) sur les perturbations du système immunitaire

Séquence 2- Immunologie

L'immunologie est la science qui étudie le système de défense de l'organisme ou système immunitaire.

Leçon 1- Le soi et le non –soi

Objectifs : - Identifier les déterminants moléculaires du soi ;

- Définir le soi ;
- Identifier les éléments du Non-soi ;
- Définir le Non-soi ;

1- Les déterminants moléculaires du soi

Activité

Certaines molécules s'expriment sur les membranes et constituent des marqueurs de l'identité biologique d'un individu. Ce sont les déterminants moléculaires du soi.

Ce sont :

-les molécules qui forment le Complexe majeur d'Histocompatibilité (CMH) ou **Human Leucocyte**

Antigen chez l'homme(**HLA**)

-les molécules qui déterminent les groupes sanguins

1.1-Le Complexe majeur d'Histocompatibilité (CMH)

C'est un ensemble de protéines qui se trouvent sur la membrane plasmique de toutes les cellules nucléées du corps.

Le HLA est codé par un ensemble de gènes liés très polymorphes portés par le chromosome N° 6. Chaque gène est très polymorphe : A (24 allèles), B (52 allèles), C (11 allèles), DP (6 allèles), DQ (9 allèles) et DR (46 allèles).

Ces gènes codent pour des protéines membranaires divisés en deux classes :

- **les molécules de classe I** (A , B, C) sont présentes à la surface de toutes les cellules nucléées de l'organisme et constituent une véritable **carte d'identité moléculaire** de chaque individu.
- **les molécules de classe II** (DP DQ et DR) n'existent qu'à la surface des membranes des cellules du système immunitaire. Elles interviennent dans les phénomènes de reconnaissance antigénique (identification du non-soi).

NB : Les molécules du système HLA sont responsables du rejet précoce des greffes

1.2- Les groupes sanguins (ABO et Rhésus)

a-le système ABO

Il existe 04 groupes sanguins A, B, AB et O. La transfusion sanguine d'un donneur à un receveur peut entraîner chez ce dernier des troubles graves. Le tableau suivant montre les transfusions entre les groupes :

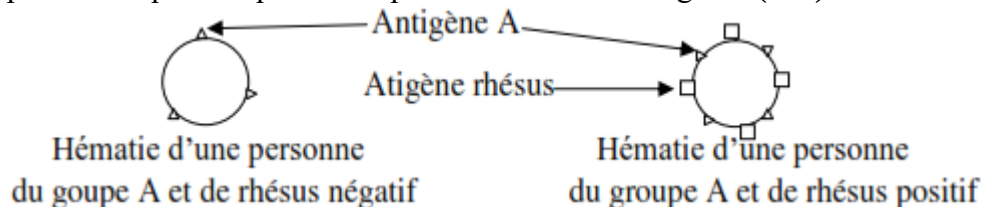
receveur donneur	A	B	AB	O
A	+	-	+	-
B	-	+	+	-
AB	-	-	+	-
O	+	+	+	+

Deux cas sont possibles :

- Le sang du donneur est accepté : il est compatible, on dit que l'organisme a reconnu le soi ;
 - Le sang du donneur n'est pas accepté : il est incompatible, c'est-à-dire qu'il y a agglutination ;
- Ces faits impliquent l'existence des marqueurs du soi. Ces marqueurs sont des molécules appelés antigènes portés par la membrane des hématies. Ces antigènes sont appelés agglutinogènes parce qu'ils provoquent l'agglutination des hématies quand ils se trouvent en présence de l'anticorps correspondant. En effet, le plasma renferme des anticorps appelés agglutinines : ce sont des anti-A et anti-B.

b-le système rhésus

Certaines hématies possèdent des antigènes rhésus sur leurs membranes. *Ce facteur est déterminé par un allèle dominant noté Rh+ porté par le chromosome 1.* Les personnes qui en ont sont dits : rhésus positif (Rh+) et les personnes qui n'en possèdent pas sont dits rhésus négatifs (Rh-).



Si l'individu Rh- reçoit par transfusion du sang Rh+, il synthétise des anticorps anti-rhésus ou une mère Rh- à la suite d'une grossesse d'un père Rh+ synthétise les anti-rhésus.

Les transfusions possibles sont :
A diagram showing a horizontal arrow pointing from 'Rh-' on the left to 'Rh+' on the right. A small curved arrow points from the 'Rh-' side back towards the left.

Parce que l'organisme reconnaît le soi.

NB : Les molécules du système ABO et Rhésus sont responsables du rejet tardif des greffes

1-3-Definition du soi

Le **soi** d'un individu s'exprime par l'ensemble des molécules propres à cet individu et résultant de l'expression de son génome. *La plupart des molécules du soi ne sont pas des acteurs de la réponse immunitaire (sauf cas de maladie auto-immune).*

Ces molécules sont :

- **intracellulaires** : (exemple : les enzymes du cytosol, ...) ;
- **extracellulaires** (exemple : hormones et protéines plasmatiques, ...) ;
- **membranaires** (exemple : **marqueurs mineurs** tels que les marqueurs des groupes sanguins ABO, rhésus, ... et les **marqueurs majeurs** tels que les marqueurs des groupes tissulaires c'est-à-dire les antigènes du CMH).

2- Le Non soi

2-1- Les éléments du non-soi

Tout élément qui n'appartient pas à un organisme vivant fait partie de son non-soi. On dit qu'il est un antigène à cet organisme. On distingue :

- **le non-soi exogène** : c'est l'ensemble des éléments venant du milieu extérieur à un organisme. Ex : les microorganismes pathogènes ou non, les greffons incompatibles, les hématies du groupe sanguin différent, les allergènes...

- **le non-soi endogène** ou **soi modifié** : sous l'action des facteurs externes (virus, microorganismes, radiations...), les glycoprotéines du CMH peuvent être modifiées et ne plus être identiques au soi : c'est le soi modifié. Ce soi modifié sera également reconnu comme étranger par le système immunitaire.

On appelle **antigène** une molécule susceptible d'être reconnue comme étrangère par le système immunitaire d'un individu et de déclencher une réponse de défense spécifique contre elle (production d'anticorps spécifiques).

2-2 - Définition du terme non soi

Le **non soi** correspond à toutes les molécules différentes du soi c'est-à-dire à toutes les molécules ne résultant pas de l'expression du génome d'un individu. Le système immunitaire développe contre le non soi des réactions ayant pour objectifs son élimination. L'homéostasie est ainsi assurée.

Leçon 2- Les bases de l'immunologie : les principales cellules immunitaires

Objectif : identifier et nommer les différents types de cellules immunitaires

La défense de l'organisme contre les agents étrangers nécessite l'intervention des cellules spécialisées (cellules immunitaires). La capacité de ces cellules à reconnaître le non-soi et à induire une réponse visant à l'éliminer s'appelle l'**immunocompétence**.

Les cellules qui assurent la défense de l'organisme contre les agents étrangers sont appelées leucocytes ou globules blancs.

Activité fig 3.1

En fonction du rôle joué dans l'organisme et de leur aspect microscopique, on distingue :

1 - Les granulocytes ou polynucléaires



Ils possèdent un noyau polylobé et un cytoplasme abondant et riche en granulation. On en distingue trois types :

- **les éosinophiles ou acidophiles** : ils sont colorés par des colorants acides tels que l'éosine. Ils jouent un rôle dans la réaction antiparasitaire.
- **les basophiles** : ils sont colorés par des colorants basiques. Ils jouent un rôle dans les réactions allergiques et inflammatoires.
- **les neutrophiles** : ils fixent les colorants neutres. Leur rôle est de phagocyter les corps étrangers.

NB : Lors de l'infection d'une plaie, certains polylobés sont capables de traverser la paroi des capillaires pour rejoindre le lieu d'infection et détruire l'antigène : ce mouvement s'appelle la **diapédèse**.

2 - Les lymphocytes



Ils ont un noyau volumineux, arrondi et un cytoplasme réduit. On distingue :

- Les **lymphocytes T** : ils comprennent les **lymphocytes T4** (T auxiliaires ou T helper) et les **lymphocytes T8** (T cytotoxique, T tueuse ou cellules tueuses).
- Les **lymphocytes B** : ils se transforment en **plasmocytes** sécréteurs d'anticorps, après activation antigénique.

3 - Les monocytes



Ils ont un noyau arrondi (ou réniforme) et un cytoplasme abondant sans granulation. Ils prennent le nom de **macrophage** dans les tissus. Ils ont un rôle de phagocytose des antigènes.

NB : L'ensemble des monocytes sanguins et de macrophages tissulaires constituent le système de phagocytes mononucléaires (SPM).

Leçon 3 : Les déficiences : le VIH/sida

1-la contamination par le VIH (différentes voies, dépistage du VIH)

Le SIDA ou syndrome d'immunodéficience acquise est une maladie due à un virus. L'agent infectieux est le VIH (virus de l'immunodéficience humaine). Le VIH a été découvert en France en 1983. C'est un rétrovirus (virus à ARN). Ce virus est fragile car ne résiste ni à la chaleur, ni aux antiseptiques courants. Il est détruit par le milieu acide et ne vit pas longtemps à l'air libre.

a) les différentes voies de contamination par le VIH/SIDA

Les modes de transmission du VIH d'une personne à une autre sont :

- la **transmission lors des rapports sexuels** : c'est la plus fréquente (80 % des cas dans le monde) ;
- la **contamination par le sang** : transfusion de sang contaminé, utilisation des seringues, des aiguilles, des rasoirs non stérilisés ;
- la **transmission de la femme enceinte à son enfant au cours de la grossesse**, au cours de l'accouchement ou par l'allaitement (30% des cas en Afrique).

b) Le dépistage du VIH

Le dépistage du VIH se fait par le test ELISA, la PCR, le Western Blott, le test le plus utilisé est ELISA.

2-Mécanisme d'action **Activités fig 3.1et 3.2**

Le VIH a pour cible les LT4, les macrophages et certaines cellules nerveuses et intestinales. Il infecte essentiellement les LT4, cellules possédant une protéine membranaire appelée CD4, qui est reconnue par la gp120 (glycoprotéine 120) située sur la membrane du VIH. Le cycle du VIH est le suivant :

- la liaison entre le VIH et sa cellule cible : cette liaison se fait par reconnaissance entre la gp120 et le CD4
- libération du matériel génétique du VIH dans la cellule cible
- retro-transcription de l'ARN viral en ADN double brin qui va incorporer l'ADN de la cellule cible.
- transcription de l'ADN viral en ARN, puis synthèse des protéines virales
- assemblage de la particule virale qui ressort de la cellule

3-les différentes phases de la maladie **Activité fig.3.4**

Le SIDA est une maladie mortelle qui évolue pendant plusieurs années. Malgré les variations importantes d'un individu à l'autre, on peut distinguer plusieurs phases : primo-infection ; phase silencieuse ou asymptomatique et la phase majeur ou Sida

a) la Primo-infection

Après l'infection, une première **phase aigüe** est caractérisée par une prolifération du virus et un abaissement significatif de la population de LT4 ; elle se traduit par des signes analogues à celles d'une maladie virale bénigne comme la grippe, la fièvre gonflement des ganglions lymphatiques (car ils sont le siège de la multiplication des leucocytes et l'initiation de la réponse immunitaire), éruption cutanée ; douleurs musculaires et céphalées. Elle peut aussi passer inaperçue. La réaction du système immunitaire se matérialise dans les premières semaines par la production des anticorps anti-VIH et l'augmentation du taux de LT8, ce qui contribue à diminuer la charge virale vers la fin de cette phase. Toutefois, le virus n'est pas totalement éliminé car les cellules infectées notamment les macrophages constituent des véritables réservoirs à virus. Les premiers signes décelables du démarrage d'une réponse immunitaire est la séroconversion : présence des anticorps anti-vih dans le sang, le sujet infecté devient séropositif.

b) La phase silencieuse ou asymptomatique

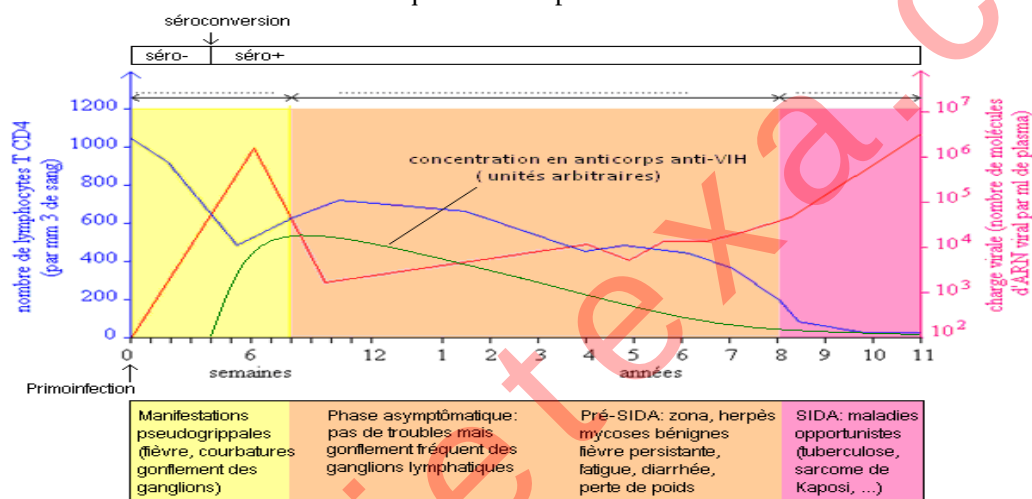
Elle est essentiellement **asymptomatique**. Pendant toute cette période pouvant durer de quelques à plusieurs années, le sujet ne présentant peu ou pas de symptômes, est apparemment en bonne santé. L'organisme fabrique en masse les cellules (lymphocytes spécifiques du vih, LT8) et des molécules (anticorps anti-vih) immunitaires qui visent à limiter la prolifération du virus et à empêcher l'élévation de la charge virale qui reste stable quelques années. En effet, un équilibre s'établit entre les mécanismes de production et d'élimination des virus d'une part, entre la destruction et le renouvellement des LT4 d'autre part.

Les LT cytotoxiques dirigés spécifiquement contre les cellules infectées par le vih et tuent ces cellules qui sont surtout les LT4. Ces LT4 sont peu à peu détruits et leur concentration baisse inéluctablement.

c) La phase majeur ou SIDA

Cette phase est la conséquence de l'affaiblissement considérable des défenses immunitaires de l'organisme d'où le terme SIDA. En absence de traitement médical, la baisse de l'effectif des lymphocytes T4 s'accroît au fil des années et entraîne un affaiblissement de plus en plus marqué du système immunitaire se traduisant par les symptômes suivants : fièvre persistante, diarrhée, perte de poids, fatigue, zona, herpès...

Le taux de LT4 passe en dessous de 200 cellules par mm^3 de sang. On observe parallèlement une élévation de la charge virale. Des **maladies opportunistes** se déclarent, profitant de l'effondrement des défenses immunitaires. La maladie entre dans sa **phase symptomatique**. Cela signifie que des symptômes variés se manifestent, l'ensemble constituant un **syndrome**. Ce sont la tuberculose, les salmonelloses, le sarcome de Kaposi, l'herpès, les candidoses...Ce sont ces maladies qui finissent par entraîner le décès du malade.



4- la prévention et le traitement

a) La prévention du sida

La lutte contre le VIH/SIDA passe par la prévention. Ces moyens de prévention sont :

- L'abstinence périodique ;
- La fidélité à un seul partenaire ;
- L'usage du préservatif ;
- L'utilisation des seringues à usage unique et stériles ;
- Le contrôle du sang avant toute transfusion sanguine ;
- La désinfection et la stérilisation systématique du matériel médical après chaque utilisation ;
- Le développement du matériel à usage unique ;
- L'adoption des comportements responsables visant à éviter la contamination ;
- La sensibilisation et l'éducation des populations ;
- La pratique du dépistage volontaire.

b) Le traitement du SIDA

Pour limiter la progression de la pandémie et d'améliorer nettement l'espérance et la qualité de la vie des malades. On procède :

- Aux traitements antirétroviraux (car leur;
- La trithérapie.

Les traitements visent à :

*empêcher les virus de pénétrer dans les lymphocytes T4 en injectant des anticorps spécifiques de la partie de la protéine du virus qui reconnaît la molécule de CD4

*bloquer la rétrotranscription par l'AZT (azidothymidine) qui bloque le fonctionnement de la transcriptase inverse

*empêcher l'intégration du provirus dans l'ADN de la cellule cible

*empêcher la formation des virus par une anti-protéase : elle bloque la maturation des protéines virales d'où la formation des virus défectueux.

*détruire ou inhiber les ARN viraux par les interférons.

NB : l'emploi de ces molécules est parfois difficile en raison de leur toxicité

Sujetexa.com

MODULE III : L'EDUCATION A L'ENVIRONNEMENT ET AU DEVELOPPEMENT DURABLE

24 heures

Situation problème contextualité d'entrée de module

- 1-Relevez le problème soulevé dans le texte
- 2-Dégager ces causes
- 3-Donner les conséquences de ce problème
- 4-Quelles sont les solutions à ces problèmes

Famille de situation 1: Les problèmes liés aux transferts d'énergie à l'extérieur et à l'intérieur du globe terrestre

Exemple de situation 1: Récurrence de catastrophes liées aux mouvements atmosphériques et océaniques

Catégorie d'action 1: Lutte contre les dégâts causés par les grands mouvements de l'atmosphère et de l'hydrosphère

Action 1: -Informier et/ou éduquer sur le rayonnement solaire et ses influences à la surface de la terre

Séquence 4-Le rayonnement solaire et ses influences à la surface de la terre

Leçon 1-Les mouvements atmosphériques et les mouvements océaniques

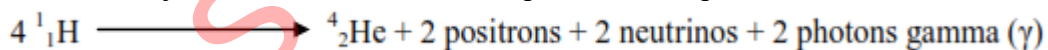
Objectif : Déterminer l'influence du rayonnement solaire sur les enveloppes externes de la Terre

La Terre, planète du système solaire, s'est formée il y a environ 4,6 Ga en même temps que le Soleil. Elle est constituée de plusieurs couches dont les plus externes (atmosphère et hydrosphère) sont influencées par le rayonnement solaire. La Géodynamique externe étudie l'ensemble des forces mises en jeu et les mouvements qui résultent de l'action de ces forces sur les enveloppes externes de la Terre.

1-L'origine de l'énergie reçue par la planète Terre : fig 4.1

La Terre reçoit du Soleil la totalité de son énergie externe. Des analyses chimiques ont montré que le Soleil est une étoile constituée essentiellement du dihydrogène (92%) et de l'hélium (7,8%). Les astrophysiciens pensent aujourd'hui que le rayonnement solaire provient des **réactions de fusion thermonucléaires** qui se déroulent au cœur du Soleil. En effet dans les conditions extrêmes de température et de pression, les noyaux d'hydrogènes peuvent fusionner pour donner des noyaux d'hélium.

Cette nucléosynthèse se déroule selon l'équation chimique suivante :



2-Le devenir du rayonnement solaire que reçoit la planète Terre

a - La notion de constance solaire (flux solaire)

La **constance solaire** est la puissance du rayonnement solaire reçue en moyenne par m² à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre. Sa **valeur théorique (flux solaire théorique)** est d'environ 1400W/m² pour un rayonnement solaire arrivant perpendiculairement sur une surface plane (Surface = pi r²). Or la Terre a une forme sphérique de surface quatre fois supérieure à la surface plane (Surface = 4 pi r²) ; on en déduit que la **constance solaire réelle** est quatre fois plus petite que la constance solaire apparente :

$$\frac{1400}{4} = 350\ \text{W.m}^{-2}.$$

b - La Terre ne reçoit qu'une partie de l'énergie émise par le Soleil : fig 4.2

Toute interface entre deux milieux réfléchit une partie du rayonnement incident. Le rayonnement absorbé par une matière est transformé en chaleur (infrarouge).

Lors de sa traversée dans l'atmosphère, le rayonnement solaire subit plusieurs modifications :

- Dans la haute atmosphère (stratosphère), une grande partie des rayons ultraviolets (UV) du Soleil est **absorbée** par la couche d'ozone (O) qui va la transformer en rayons infrarouges (IR).
- Le rayonnement solaire est **réfléchi** au niveau : de la troposphère, du sol, des océans et des végétaux.
- Les radiations non réfléchies sont transmises par l'atmosphère et rencontrent généralement les petites particules qui les réémettent dans toutes les directions : c'est le phénomène de **diffusion** dont l'importance est inversement proportionnelle à la longueur d'onde.
- Enfin, le flux solaire incident subit une **absorption**, faible au niveau de l'atmosphère, forte au niveau de l'océan des végétaux et des continents qui s'échauffent.

c-La notion d'albédo (calcul de l'albédo)

L'albédo est le rapport entre la quantité d'énergie réfléchie par une surface et la quantité d'énergie reçue (incidente) par cette même surface.

$$\text{Albédo} = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie reçue}}$$

Sa valeur varie selon la nature de la surface réfléchissante. **Exemples :** pour la neige, l'albédo est 0,8 ; pour l'océan, sa valeur est de 0,1.

L'albédo global de la Terre est de 0,3 (30%) ; cela signifie que 70% du rayonnement solaire reçue par la Terre sont retenues (absorbées).

Application : Dans une région, l'énergie incidente moyenne est de 160 W/m^2 . L'énergie réfléchie dans la même région sur différente surface est :

Surface	Sol sableux	Savane herbeuse	Eau de mer
Energie réfléchie	56 W/m^2	$35,2 \text{ W/m}^2$	$74,4 \text{ W/m}^2$

1 - calculer l'albédo dans les trois milieux

2 - quel est le milieu qui absorbe le plus d'énergie ?

Solution :

1 - albédo = ER/EI

- sol sableux : albédo = $\frac{56}{160} = 0,35 = 35\%$

- savane herbeuse : albédo = $\frac{35,2}{160} = 0,22 = 22\%$

- eau de mer : albédo = $\frac{74,4}{160} = 0,46 = 46\%$

2 - plus l'albédo est petit, plus le milieu absorbe de l'énergie plus d'énergie.

La savane herbeuse absorbe

d- La Terre émet un rayonnement infrarouge

Lorsque la Terre reçoit de l'énergie solaire, elle s'échauffe, puis réémet cette énergie sous forme de chaleur (IR). Une grande partie de ce rayonnement infrarouge réémit par la Terre est retenu par les gaz atmosphérique à effet de serre et renvoyé vers le sol pour son réchauffement : c'est

l'**effet de serre** (réchauffement de la Terre par son propre rayonnement infrarouge).

En utilisant le flux solaire qui arrive sur la Terre, on peut estimer la température théorique de la Terre à $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$; or la température moyenne réelle sur la Terre est de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cette élévation de la température terrestre par rapport à la température théorique est l'œuvre de l'effet de serre. En effet, la température moyenne de la Terre égale à $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ correspond à une énergie émise de 390 W/m^2 alors qu'en dehors de l'atmosphère, on enregistre une énergie globale émise par la Terre de 240 W/m^2 . La différence entre les deux valeurs ($390 - 240$) est la conséquence de l'effet de serre.

Certains gaz de l'atmosphère sont capables de retenir le rayonnement infrarouge réémis par la Terre et d'assurer ainsi son réchauffement : ce sont les **gaz à effet de serre**. On peut citer : le CO_2 , la vapeur d'eau, le méthane, le CFC (chlorofluorocarbène).

NB : L'arrivée du rayonnement solaire à la surface de la Terre a deux conséquences :

- Elle crée des différences de température importantes entre les régions polaires (froides) et les régions équatoriales (chaudes). Ce qui provoque les grands mouvements atmosphériques et océaniques.
- Elle est le moteur du **cycle de l'eau**.

5- Les causes de l'inégale répartition de l'énergie solaire

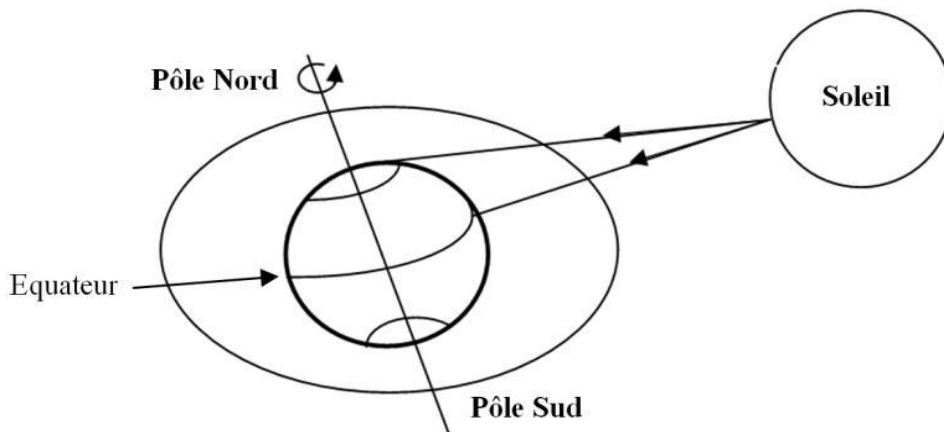
Activité: fig 4.3

L'existence des climats et des saisons montre que tous les points de la planète Terre ne reçoivent pas la même quantité d'énergie solaire moyenne. Cette inégale répartition a plusieurs causes : rotondité (forme sphérique) de la Terre ; rotation de la Terre

a) La rotondité de la Terre

Le rayonnement solaire frappe la surface terrestre de façon perpendiculaire au niveau de l'équateur (se répartit ainsi sur une petite surface) et de façon oblique au niveau des hautes latitudes (se répartit sur une surface beaucoup plus grande). Ainsi, de l'équateur aux pôles, l'épaisseur de l'atmosphère traversée augmente, entraînant une augmentation de la quantité d'énergie absorbée. Il y'a donc diminution de l'énergie reçue de l'équateur aux pôles, ce qui explique la répartition des climats.

La terre étant sphérique, un même rayonnement solaire incident se répartit sur une plus grande surface au niveau des pôles qu'au niveau de l'équateur. En effet, à l'équateur, l'angle d'incidence est de 90 ° alors qu'aux pôles, les rayons solaires arrivent de manière oblique. Cela explique le fait que la quantité d'énergie reçue par une surface (flux solaire) diminue de l'équateur vers les pôles.



b) La rotation de la Terre (l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre au cours de sa révolution)

L'axe de rotation de la terre est incliné de $23,5^\circ$ par rapport au plan de l'écliptique (plan dans lequel la Terre se déplace). Si cet axe était perpendiculaire, au plan de l'écliptique, la durée du jour serait la même en tous les points des globes. Etant oblique, elle est à l'origine des variations annuelles de la durée du jour et de la nuit. Ce qui explique l'existence des saisons.

La terre tourne autour d'elle-même selon un axe de rotation qui est incliné de $23,5^\circ$ par rapport à la perpendiculaire au plan de l'écliptique (plan de révolution autour du Soleil). Cette inclinaison de l'axe de rotation de la Terre est à l'origine de l'inégale répartition des jours et des nuits, facteur responsable de l'inégale répartition de l'énergie solaire à la surface de la Terre.

NB : L'énergie solaire reçue par la Terre au niveau d'une surface donnée varie donc:

- selon l'épaisseur de l'atmosphère traversée
- selon la latitude : il y a diminution de l'ensoleillement moyen de l'équateur vers les pôles
- de la période de la journée (elle est plus grande le jour que la nuit)
- des périodes de l'année (elle est plus grande en été (ou en saison sèche) qu'en hivers (ou en saison pluvieuse))

Ainsi, les régions polaires recevant beaucoup d'énergies sont chaudes avec un bilan radiatif excédentaire alors que les régions polaires recevant moins d'énergie sont plutôt froides avec un bilan radiatif déficitaire. Ce déséquilibre d'énergie sera compensé par des mouvements de l'atmosphère et des océans qui vont transporter l'énergie des régions à bilan radiatif excédentaires vers les régions à bilan radiatif déficitaire.

Action 2- Emettre des hypothèses sur l'origine des mouvements atmosphériques et océaniques

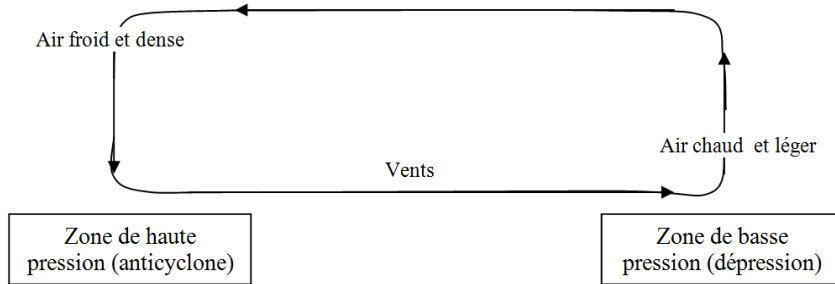
6- Les mouvements atmosphériques

Activité fig 4.4 et 4.5

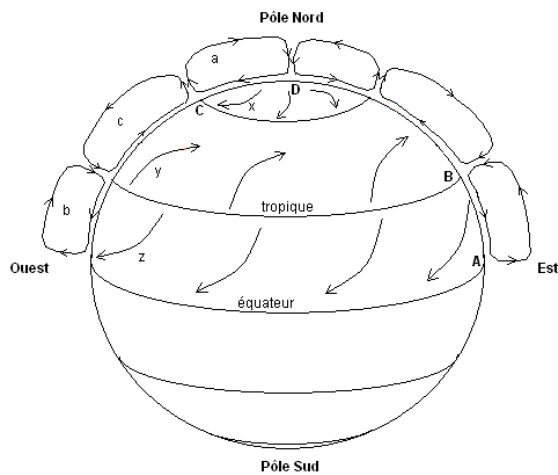
Les masses d'air sont animées par deux types de mouvements :

- Les mouvements verticaux engendrés par des différences de densité créées par la différence de température.
- Les mouvements horizontaux engendrés par les différences de pression : les masses d'air se déplacent des zones de hautes (anticyclones) vers les zones de basse pression (dépressions). Les différences de température entre les zones chaudes et froides créent une circulation des masses d'air selon un circuit appelé **cellule de convection**.

La pression atmosphérique est le poids de l'air de section unitaire situé au-dessus d'un lieu donné.



Une cellule de convection



Document II : Circulation atmosphérique de l'hémisphère Nord

Travail demandé :

- 1 - Déterminer la pression au sol aux points A, B, C et D.
- 2 - Nommer les cellules a, b et c, ainsi que les vents x, y et z.

On distingue les **cellules de Hadley** (cellules équatoriales) à l'équateur, les **cellules polaires** aux pôles et les **cellules intermédiaires** (**cellules de Ferrel**) entre les deux. C'est le fonctionnement coordonné des différentes cellules de convection qui aboutit à la circulation de l'atmosphère de l'équateur aux pôles.

La rotation de la Terre sur elle-même engendre une force dite **force de Coriolis** (force déviante produit par l'accélération due à la rotation de la terre) qui dévie le trajet des vents **vers la droite** quand on va vers le Nord et **vers la gauche** quand on va vers le Sud. Aux latitudes moyennes, les vents dominants sont les **vents d'Ouest**. Aux hautes latitudes les vents soufflent de l'**Est** et aux très basses latitudes règnent les **alizés (vents du Nord-Est)**.

NB : La force de Coriolis varie avec la latitude : nulle au niveau de l'équateur, elle est maximale au niveau des pôles. La vitesse de rotation du vent se détermine à l'aide d'un anémomètre et la direction du vent à l'aide de la girouette ou d'un manchon à vent.

7- Les mouvements océaniques Activité fig. 4.6

Il est à noter que :

- Les différences de densité de l'eau de mer et de l'eau douce dépendent de la température et de la salinité. A la même température, l'eau de mer est plus dense que l'eau douce. La densité de l'eau salée augmente lorsque la température diminue alors que la densité de l'eau douce diminue lorsque la température diminue.

- Les mouvements océaniques sont le résultat des actions combinées de la force de Coriolis, de l'énergie solaire, des vents (pour les courants superficiels), de la place des continents, de la différence de salinité et de température de l'eau.

On distingue deux types de mouvements océaniques

a- La circulation océanique de surface ou circulation océaniques superficiels

Ils ont pour moteur les vents et la force de Coriolis. Ils sont moins rapides que les mouvements atmosphériques. On distingue les courants océaniques chauds (Gulf Stream, Kuro Shivo) et des courants océaniques froids (Labrador, Benguela, Humbolt).

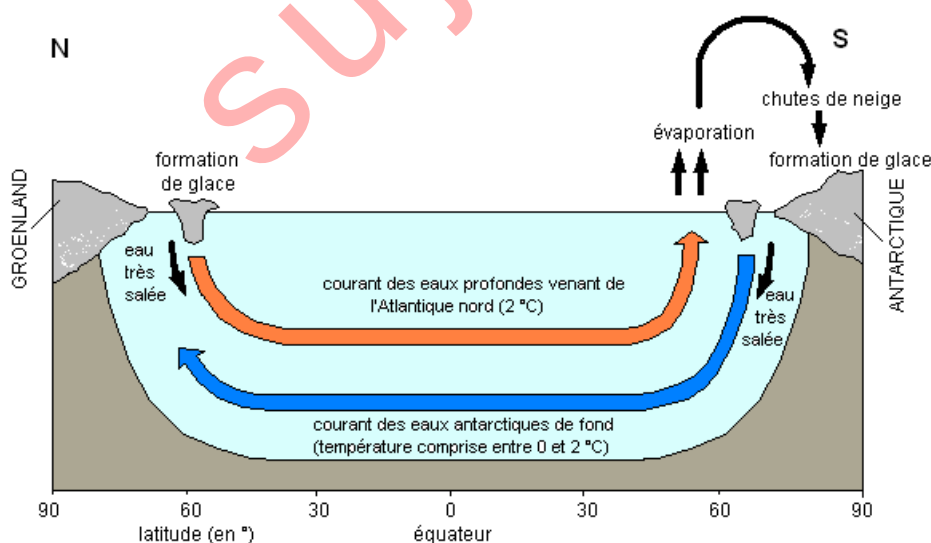
b- La circulation thermo haline ou mouvements océaniques profonds

A une profondeur de 100 à 200 m, la température des eaux océaniques chute brutalement séparant les eaux superficielles moins denses des eaux profondes plus denses.

Les courants océaniques profonds ont pour moteur la différence de densité liée à la température et à la salinité.

A l'équateur, les eaux s'échauffent, se dilatent, deviennent moins denses et s'écoulent vers les pôles. Au niveau des pôles, les eaux se refroidissent, deviennent plus salées et plus denses (après formation de la glace) et descendent sous les eaux plus chaudes et moins denses pour s'écouler vers l'équateur.

NB : Alors que la circulation des eaux superficielles nécessite quelques dizaines d'années pour aller d'un pôle à l'autre, celle des eaux profondes nécessite 500 à 1000 ans pour faire le même trajet.



Conclusion

L'énergie reçue par la Terre provient des réactions de fusion thermonucléaires qui se déroulent au cœur du Soleil. Cette énergie est inégalement répartie à la surface de la Terre, ce qui entraîne des phénomènes de déplacement des océans et de l'air. Cette énergie est en outre la source de la vie sur la planète Terre et le moteur du cycle de l'eau.

Exemple de situation 2: Dégradation des roches du continent

Catégorie d'action 2 : Lutte contre l'érosion

Action 3: - Lire ou traduire les informations contenues dans les roches sédimentaires

Séquence 5-Le phénomène d'altération des roches

Leçon 1- Altération et érosion des roches

Objectif : Expliquer les mécanismes responsables de la dégradation des roches

Une roche est un matériau constitutif de l'écorce terrestre. Dès qu'elles se trouvent en contact de l'hydrosphère et de l'atmosphère, les roches subissent des transformations et les produits issus de l'érosion participent à la formation des sédiments.

1-- L'altération des roches **Activité fig 5.1**

L'altération est la dégradation des roches sous l'action des agents chimiques, physiques ou biologiques.

Exemple : altération du granite

On observe sur un massif granitique des fissures ou diaclases qui sont des zones d'attaque des eaux de pluie et d'infiltration.

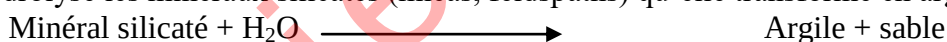
Il se désagrège et les minéraux qui le constituent (quartz, mica, feldspaths) se séparent : les micas et les feldspaths se décomposent les premiers pour donner l'argile, le quartz très dur résiste et donnera le sable.

Il existe une altération physique ou mécanique et une altération chimique.

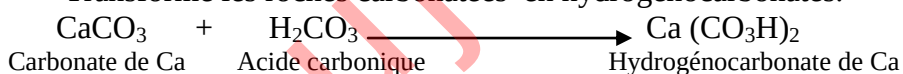
a) – L'altération chimique (minéralogique) : c'est la modification de la composition minéralogique d'une roche

L'action de l'eau sur le massif granitique est à la fois mécanique par l'effet de gel et de dégel, chimique due à son enrichissement en CO_2 . L'eau chargée de CO_2 :

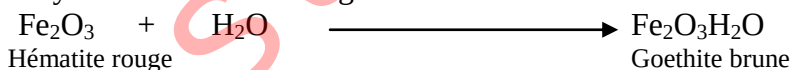
- hydrolyse les minéraux silicatés (micas, feldspaths) qu'elle transforme en argile et oxydes.



- Transforme les roches carbonatées en hydrogénocarbonates.



- hydrate les roches ferrugineuses



Les racines des arbres au cours de leur croissance élargissent les diaclases et secrètent des substances acides qui peuvent hydrolyser les minéraux

Les lichens et les bactéries décomposent directement les roches.

b) – L'altération mécanique (physique) : c'est la fragmentation de la roche sans modification de sa composition chimique

Les roches peuvent être attaquées par les écarts thermiques, les eaux de ruissellement, le vent et la foudre, gel et de dégel.

2- L'érosion

L'érosion est le processus qui est responsable du déplacement des matériaux résultant de l'altération des roches. C'est un processus essentiellement physique, d'arrachement des matériaux à la roche-mère. Il succède à l'altération. Les agents de l'érosion sont : l'eau, le vent, l'action du gel et degel.

Leçon 2-Transport et dépôt des produits d'altération et d'érosion

Objectif : expliquer le processus de transport et de dépôt des sédiments

Les produits d'altération et d'érosion sont transportés sous forme de particules solides (galets, sable, graviers,...) ou sous forme d'ions en solution.

1- Transport et dépôt des particules solides *Activité fig.5.2*

La granulométrie et la vitesse du courant d'eau contrôlent le transport et le dépôt des particules solides.

a) – La granulométrie

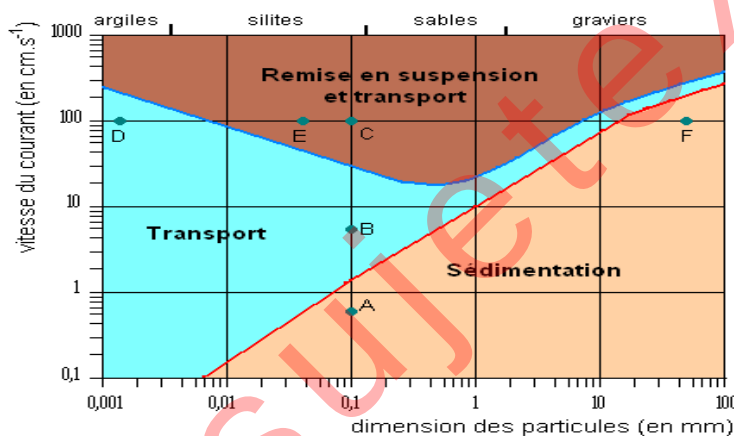
C'est la répartition selon leur taille des éléments d'une roche. Elle permet de fournir des renseignements sur le mode de transport des matériaux, la durée et les conditions de transport de ces matériaux. : Dans une rivière, un courant de 100 cm/s par exemple, emporte les cailloux de la taille du poing, seuls les gros blocs peuvent rester sur place.

b) – La vitesse du courant

Elle permet de constater que lorsque la vitesse du courant diminue, les particules se déposent dans un ordre régulier : gros blocs, graviers, sables, limons.

c) – Etude du diagramme : 'Erosion-transport-sédimentation' (d'après Hjulotröm)

Vitesse du courant en cm.s^{-1}



Comportement des particules sédimentaires en fonction de la vitesse du courant et de leur granulométrie

Analyse du diagramme : prenons les particules de 0,1 mm

-En A, l'eau qui circule à une vitesse de 100 cm.s^{-1} sépare les particules, les transporte et les entraîne vers le bas-fond : il y a érosion.

-En B, l'eau peut transporter ces mêmes particules si on les jette dans le courant, mais ne peut les arracher du fond : il y a exclusivement transport.

-En C, l'eau ne peut pas transporter ces particules même si on les jette dans le courant : il y a sédimentation.

d) – Les agents de transport

Les agents de transport des matériaux solides sont : l'eau de ruissellement (cours d'eau), les vents, la gravité et les glaciers.

2 - transport et précipitation des ions en solution

a) – Transport des ions en solution

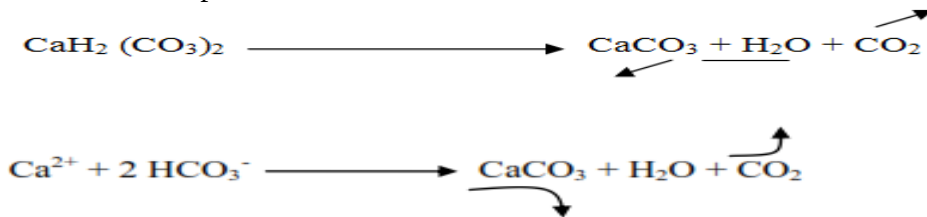
Les principaux ions transportés sont : Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- (hydrogénocarbonate).

Les ions en solution sont transportés quel que soit la vitesse du courant. Dans une eau stagnante, ces éléments dissous ne se déposent que s'ils deviennent insolubles.

b)– précipitation des ions en solution

La précipitation est un phénomène qui s'opère quand un corps insoluble se forme dans un liquide et tombe au fond du récipient. Elle est due à la variation de la t° , du PH et de la diminution de la teneur en CO_2 dissout.

Exemple: La précipitation du carbonate de calcium dans les eaux chargées d'hydrogénocarbonate de calcium est déclenchée par une diminution de la teneur en CO_2 dissout.



Le départ du CO_2 peut être dû à plusieurs phénomènes : élévation de la t° , variation des concentrations salines liées à une évaporation, lorsque les organismes photosynthétiques prélèvent le CO_2 ou lorsque la teneur de l'atmosphère en CO_2 s'appauvrit.

Ce phénomène permet d'expliquer pourquoi c'est dans les mers chaudes actuelles qu'on voit se déposer une grande quantité de calcaire

Leçon 3 : Sédimentation

Objectif :- expliquer la notion de sédimentation

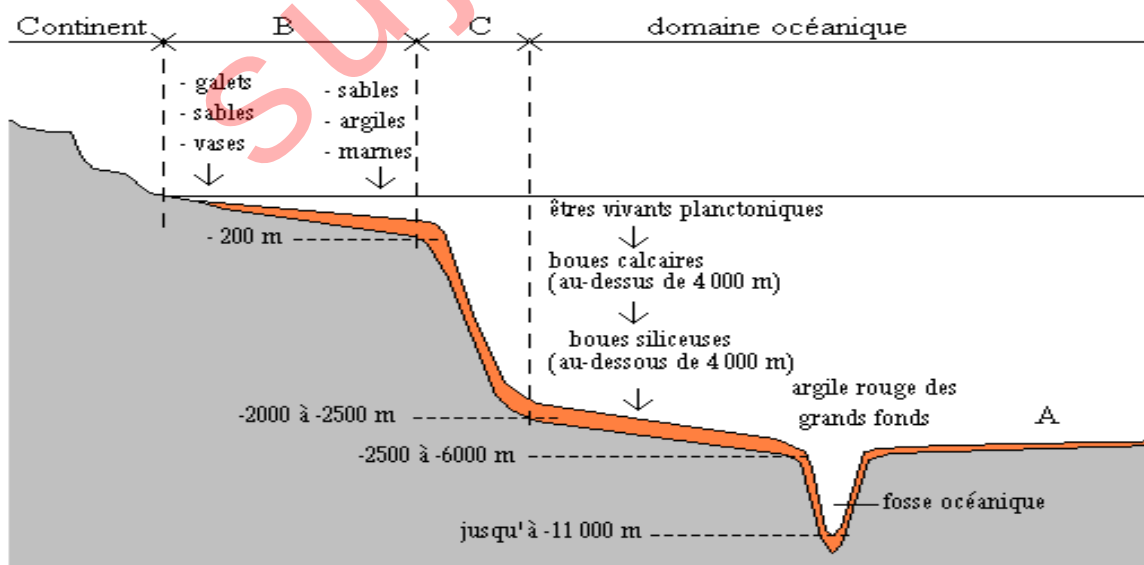
-Expliquer la diagénèse

Activité fig. 5.3

La sédimentation est l'ensemble des phénomènes au cours desquels les matériaux transportés se déposent dans un bassin.

Les **sédiments** sont des matériaux meubles laissés par les eaux, les vents et les autres agents d'érosion

Certaines zones sont favorables au dépôt des sédiments : mer, lac, zone littorale... ce sont les **pièges à sédiments**.



On distingue :

a- La sédimentation littorale : les estuaires et les embouchures des fleuves sont des zones d'accumulation des sédiments. L'accumulation des sédiments est ordonnée

b- La sédimentation littorale : les estuaires et les embouchures des fleuves sont des zones d'accumulation des sédiments. L'accumulation des sédiments est ordonnée

c- La sédimentation de la plate-forme continentale (plateau continentale) : C'est une partie submergée du continent avec fluctuation du niveau de la mer à cause de la transgression et de la régression. Les sédiments détritiques se déposent en séquences. L'épaisseur des sédiments y est considérable alors que la profondeur de la mer reste faible. Ce paradoxe s'explique par la **subsidence** du bassin sédimentaire, c'est-à-dire l'affaissement progressif du fond océanique à la limite océan- continent. Les sédiments se déposent en couches ou strates.

d- La sédimentation profonde (domaine océanique) : les particules les plus fines (argiles, boues calcaires ou siliceuses) sont emportées et se déposent au large. Cependant, aux grandes profondeurs, les calcaires sont dissous avec l'enrichissement du milieu en dioxyde de carbone.

NB : au niveau du talus continental(pente plus forte que le plateau), il y a écoulement gravitaire des sédiments détritiques du plateau continental vers la plaine abyssale : cet écoulement qui constitue le courant de turbidité.

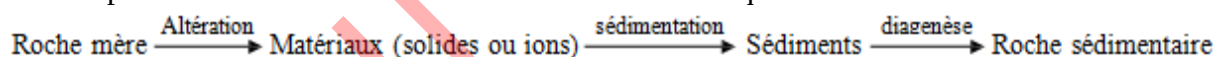
Les sédiments déposés dans la plaine abyssale constituent les turbidites ; l'empilement des turbidites constitue les **flysch**.

L'ensemble des phénomènes qui assurent la formation des roches sédimentaires à partir des sédiments issus de l'altération est appelé **diagenèse**.

Elle comprend plusieurs étapes :

- La compaction : les sédiments qui s'accumulent dans un bas-fond subissent après plusieurs années une pression due au poids des nouveaux sédiments. Ceci crée une diminution de la porosité et de la perméabilité.
- la déshydratation : les sédiments perdent l'eau
- la dissolution : la porosité secondaire apparaît aboutissant à des réservoirs d'hydrocarbure.
- La recristallisation : certains minéraux sont remplacés par des minéraux plus stables.
- La cimentation : la silice et la calcite précipitent pour boucher les vides entre les grains : c'est la phase de la néoformation ou d'authigénèse.

Les étapes de formation d'une roche sédimentaire détritique se résument comme suit :



Leçon 4-Les roches sédimentaires et leur importance géologique

Objectif :- indiquer les différentes origines des roches sédimentaires
-dégager l'importance géologique des roches sédimentaires

1-Les roches sédimentaires

Les roches sédimentaires sont formées à partir des matériaux appelés sédiments provenant de la décomposition des roches préexistantes.

a)Roches sédimentaires détritiques ou terrigènes

Les sédiments détritiques résultent de l'altération et de l'érosion des roches préexistantes. Elles ont classées en trois groupes :

- les roches siliceuses : sable, grés, galets, conglomérats
- Roches argileuses : argile plastique, kaolin, marne, ardoise
- Roches calcaires : calcaires lithographiques

b – Roches sédimentaires d'origine chimique :

Elles proviennent de la précipitation des ions transportés sous forme dissouts. Ces ions passent à l'état solide et tombent au fond après saturation et évaporation.

- Exemple** :-calcites (calcaires cristallisés), les travertins (calcaires contenant des empreintes de feuilles),
-les évaporites :association de chlorure, sulfates et carbonates (sel gemme, potasse, halite, gypse),
résultat de la précipitation des ions due à l'évaporation de l'eau.
-le calcaire oolithique, résultat de la précipitation du carbonate de calcium

c- Les roches sédimentaires d'origine biologique (organique) :

Elles se forment par accumulation et transformation des débris d'animaux ou de végétaux.

Exemples : * les récifs coralliens résultent de l'activité des coraux

- * les boues foraminifères contiennent des débris d'algues
- * les boues siliceuses résultent de l'accumulation des tests (squelettes) siliceux d'organismes planctoniques (radiolaires, diatomées)
- * le pétrole, la tourbe, les charbons (lignite, houille)
- * la craie, roche carbonatée riche en coquille de foraminifères

d) Classification des roches sédimentaires

Origine	Famille	Eléments essentiels	Exemples
Détritique	Roches siliceuses	Silice (SiO ₃)	Sable, grès, silice, diatomites, conglomérats
	Roches argileuses	Silicate d'alumine hydraté	Argile, latérite, bauxite
	Calcaires détritiques	Calcaire	Calcaires détritiques, coraux
Chimique	Calcaires chimiques	CaCO ₃ (calcite)	Calcaire détritique
	Roches salines	NaCl	Gypse, sel gemme, argiles
Organique	Roches carbonées	Carbone	Pétrole, charbon, gaz naturel, houille, tourbe

2-importance géologique des roches sédimentaires

Action 4-Sensibiliser ou éduquer sur les moyens de lutte contre l'érosion

Leçon 5- Moyens de lutte contre l'altération et l'érosion

Objectif : dégager les moyens de lutte contre l'altération et l'érosion

Famille de situation 1 : Les problèmes liés aux transferts d'énergie à l'extérieur et à l'intérieur du globe terrestre

Exemple de situation 3 : Diverses représentations controversées de la structure interne du globe terrestre

Catégorie d'action 3 : Conception d'un modèle de la structure interne de la Terre et de sa composition chimique

Actions 5 : Reconstituer la structure interne du globe terrestre

Séquence 6-La structure et l'énergie interne de la terre

Leçon 1- La propagation des ondes sismiques

La Terre est constituée d'enveloppes d'épaisseurs et de consistances variables. Parmi ces enveloppes, la lithosphère est découpée en morceaux appelés plaques lithosphériques, qui se déplacent sur le manteau moyen.

La position de la Terre dans le système solaire lui permet de recevoir en surface une quantité d'énergie solaire à l'origine de nombreuses manifestations de son activité externe (érosion, vents, cycle de l'eau...). Cependant, des manifestations telles que les séismes, les éruptions volcaniques ou la formation lente des chaînes de montagnes témoignent de l'existence d'une énergie interne à la terre(géothermie).

1 - Quelques définitions

- **La sismologie** est la science qui étudie les séismes
- **Un séisme (tremblement de terre)** est une libération soudaine d'énergie en profondeur, provoquant à la surface des secousses. On distingue :
 - * **Des séismes tectoniques** causés par les cassures de la lithosphère (failles) liées à leur déplacement les uns par rapport aux autres
 - * **Des séismes volcaniques** provoqués par la remontée et la sortie de magma
 - * **Des séismes d'effondrement** résultant de l'écroulement d'une couche souterraine
- **L'hypocentre (foyer sismique)** est le point de la profondeur où naît le séisme. Il correspond au point de cassure des couches de terrain en profondeur.
- Le point de la surface se trouvant à la verticale du foyer est l'**épicerentre** du séisme. Il correspond au point où l'intensité du séisme est maximale.
- NB :** Plus on s'éloigne de l'épicentre, plus l'intensité sismique diminue
- **Le sismomètre (sismographe)** est l'appareil utilisé pour enregistrer les variations des mouvements du sol lors d'un séisme.
- Les enregistrements des mouvements du sol obtenus lors d'un séisme sont appelés **sismogrammes**

2 - Comment naissent les séismes ?

Sous l'effet des forces internes de sens contraire, les couches de terrains élastiques se déforment en accumulant de l'énergie. Lorsque le seuil d'élasticité de ces couches est dépassé, on assiste à leur brusque rupture, avec libération d'énergie. Les terrains retournent alors à une position d'équilibre. L'énergie libérée lors de la rupture est libérée :

- Sous forme de **chaleur** (environ 70 %)
- Sous forme d'**ondes élastiques** (environ 30 %) qui se propagent dans toutes les directions et sont responsables des mouvements de la surface terrestre.



3 - Les ondes sismiques et leur propagation dans un milieu

a) Enregistrement des ondes sismiques : fig 6.1

L'appareil utilisé à cet effet est appelé **sismographe** et le tracé obtenu est un **sismogramme**.

b) Les différents types d'ondes sismiques : fig 6.2

Un sismogramme est constitué de trois types d'ondes : P, S et L.

- Les ondes primaires (ondes P)

Ce sont des ondes longitudinales de **compression-décompression**, capables de se propager dans les **solides** et les **fluides** y compris l'**atmosphère**. Elles sont les plus rapides et donc les premières à s'inscrire sur le sismogramme. Elles sont responsables du grondement sourd que l'on peut entendre au début d'un séisme. Le déplacement des particules affectées est parallèle à la direction de propagation de l'onde.

- Les ondes secondaires (ondes S)

Ce sont des ondes transversales de **cisaillement** par rapport à la direction de propagation des rais sismiques. Elles ne sont transmises que par les **solides** car les fluides n'offrent aucune résistance au cisaillement. Les particules ébranlées se déplacent perpendiculairement à la direction de propagation de l'onde.

NB : Les ondes P et S se propagent à l'intérieur du globe terrestre : ce sont des **ondes de volume**

- Les ondes longues (ondes L)

Elles ont une **amplitude grande** par rapport aux ondes P et S. Elles déterminent des mouvements complexes de **torsion du sol**. Les ondes L sont les **moins rapides** et proviennent de la réflexion des ondes de volume sur la surface du globe. . Elles comprennent :

- *les ondes de Love qui entraînent une agitation horizontale du sol et causent des dégâts dans les bâtiments ;

- *les ondes Rayleigh qui entraînent un déplacement horizontal et vertical

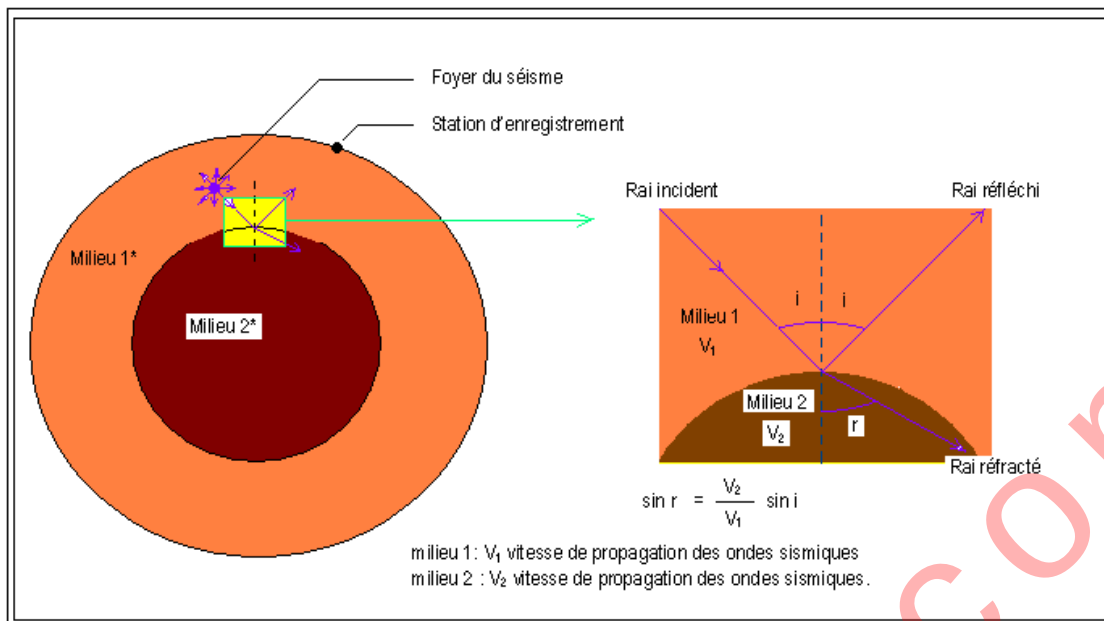
Contrairement aux ondes P et S, les ondes L (ondes de Love et de Rayleigh) ne se propagent que dans les **couches superficielles** de la croûte : ce sont des **ondes de surface**.

NB : Les ondes L et S sont les plus destructrices

c) La propagation des ondes sismiques en profondeur : fig 6.3

Un **rai sismique** est le trajet d'une onde sismique en profondeur. Lorsqu'un rai sismique arrive sur une surface séparant deux milieux de nature différente, il se comporte comme un rayon lumineux,

c'est-à-dire qu'il subit une **réflexion** (fait remonter vers la surface) et une **réfraction** (changer de direction et continuer leur avancée en profondeur). Les lois de Descartes étudiées en optiques s'appliquent pour calculer les modifications de trajectoire du rai sismique.



A l'intérieur de la Terre, les ondes sismiques se déplacent avec une vitesse qui dépend de :

- **La densité du milieu** : plus le milieu est dense, plus la vitesse de propagation de l'onde est grande
- **La température du milieu** : la vitesse des ondes sismiques est grande lorsque la température est faible
- **La pression** : à forte pression, la vitesse des ondes sismiques augmente

Leçon 2-Les enveloppes internes du globe terrestre : fig 6.4 et 6.5

Objectif : Décrire les caractéristiques physiques et chimiques des différentes enveloppes internes du globe

L'exploration directe des zones profondes du globe est impossible : les forages les plus profonds ne dépassent pas 13 km alors que le rayon de la terre est d'environ 6350 km. Seules les méthodes indirectes telles que l'étude de la propagation des ondes sismiques ou l'étude des météorites permettent de réaliser une "échographie" du globe terrestre.

Dans le cas de la reconstitution de la structure de la terre à partir de la propagation des ondes sismiques, on parle d'**échographie sismique**.

1-Les discontinuités à l'intérieur du globe

L'analyse du diagramme des vitesses des ondes P et S en fonction de la profondeur du globe montre des variations de ces vitesses avec la profondeur. Ces variations s'expliquent par l'existence des **surfaces de discontinuités** à l'intérieur du globe terrestre.

Une surface de discontinuité est une zone qui délimite deux milieux de nature physique et/ou chimique différente.

On distingue quatre discontinuités dans le globe terrestre.

a) La discontinuité de Mohorovicic (Moho)

Elle a été mise en évidence en 1909 par Mohorovicic. Elle sépare la croûte terrestre du manteau supérieur. Cette discontinuité sépare deux couches de même nature physique, mais de composition chimique différente : on dit alors qu'elle est de **nature chimique**. Sa profondeur est variable : 7 à 12 Km sous les océans, 30 à 40 Km sous les continents et jusqu'à 70 Km sous les montagnes. Le Moho est marquée par une brusque accélération de la vitesse des ondes P et S lors de leur passage dans le manteau.

b) La L.V.Z (Low velocity zone), entre 100 et 200 km de profondeur : Elle marque la limite inférieure de la lithosphère rigide et l'asthénosphère.

c) La discontinuité de Gutenberg

Située à 2900 Km de profondeur, elle sépare le manteau inférieur et le noyau externe. Ces deux enveloppes terrestres sont différentes tant physiquement que chimiquement : on dit que la discontinuité de Gutenberg est de **nature physique et chimique**.

Cette discontinuité est marquée par le brusque ralentissement des ondes P et la disparition des ondes S.

d) La discontinuité de Lehmann

Elle est située à 5100 Km de profondeur et sépare le noyau externe et le noyau interne. Elle est de nature physique, car les deux noyaux diffèrent par leur nature physique. Cette discontinuité est marquée par la réapparition des ondes S et une nouvelle accélération de la vitesse des ondes P.

2-Les propriétés physicochimiques des différentes enveloppes du globe terrestre Tableau 6.1

a) La croûte terrestre (écorce terrestre)

C'est la partie superficielle de la Terre de consistance solide. Elle est constituée des roches riches en silice (Si) et en aluminium (Al) ; d'où son appellation **SiAl**.

On distingue :

- **La croûte océanique** : elle est située au fond des océans avec une épaisseur d'environ 7 Km. Elle est riche en **basalte** et **gabbro**. Sa densité est égale à 2,9.

- **La croûte continentale** : elle constitue les continents avec une épaisseur d'environ 70 Km. Elle est essentiellement constituée de granite, mais aussi de roches métamorphiques et sédimentaires. Sa densité est de 2,7.

b) Le manteau

Il se trouve sous la croûte et est constitué de **péridotites**, roches riches en silice (Si) et en magnésium (Ma) ; d'où son appellation **SiMa**.

On distingue :

- **Le manteau supérieur** : de nature solide, il constitue la partie externe du manteau (manteau

externe)

- **Le manteau moyen (Asthénosphère) :** c'est une **zone visqueuse (ductile ou plastique)**. Il correspond à une zone de ralentissement des ondes sismique appelée **Low Velocity Zone (LVZ)**.

- **Le manteau inférieur (Mésosphère) :** il est de nature solide (malgré la température élevée, on a forte pression qui maintient la péridotite solide).

NB : La **lithosphère** est l'ensemble constitué de la croûte terrestre et du manteau supérieur. On distingue alors la **lithosphère océanique** (manteau supérieur + croûte océanique) et la **lithosphère continentale** (manteau supérieur + croûte continentale).

c) Le noyau (rhéosphère ou barysphère)

Avec une densité de 9,8 à 12, son épaisseur est de 3500 Km environ. Il est riche en nickel (Ni) et en fer (Fe) ; d'où son appellation **NiFe**.

On distingue :

- **Le noyau externe :** de nature liquide, c'est la source du champ magnétique terrestre (à cause des courants de convection qui y circulent).

- **Le noyau interne ou graine :** il est de nature solide.

3- La composition chimique des enveloppes internes du globe terrestre

La composition chimique des différentes enveloppes de la Terre peut être déterminée par différentes manières (directe et indirecte)

a) par les méthodes directes :

La composition de la croûte est connue à partir des échantillons des roches de la croûte continentale (granite et gneiss), de la croûte océanique (basalte et gabbro), la composition du manteau est connue à partir des roches témoins qui sont des péridotites ramenées en surface par volcanisme ou par charriage des ophiolites.

b) par les méthodes indirectes :

La composition chimique du noyau ne peut être connue que par l'étude des météorites sont des roches célestes ou extraterrestres très anciens (âge supérieur à 4,5 Ma) qui parviennent à la surface du globe après avoir traversé l'atmosphère. Ils ont la même constitution géologique que le noyau terrestre. Les météorites proviennent de la collision d'astéroïdes ou de comètes gravitant sur une orbite situé entre Mars et Jupiter. Il existe trois types de météorites :

- **Les météorites pierreuses (aérolites ou chondrites) :** formées surtout de silicates (90 %), elles sont de faible densité (comparable aux roches de la croûte terrestre). Elles proviennent de l'écorce des astéroïdes.

- **Les météorites ferreuses (sidérites) :** formées **d'alliage fer nickel**, elles ont une densité élevée et proviennent du centre des astéroïdes. Elles seraient équivalentes au noyau terrestre.

- **Les météorites ferro-pierreuses (sidérolites) :** elles contiennent à la fois des **silicates** et des **éléments métalliques**. Elles sont semblables aux péridotites du manteau.

Conclusion partielle : fig 6.6

Puisque l'analyse chimique des météorites met en évidence une identité de composition entre les plus anciennes d'entre elles et la Terre prise dans son ensemble, on conclut que la Terre, le Soleil, les météorites... ont une origine commune à partir d'une **nébuleuse primitive**. C'est par **phénomène d'accrétion** que cette nébuleuse s'est individualisée en planètes, en Soleil, en

astéroïdes...

Au cours des chocs successifs, l'énergie mécanique des particules a été convertie en énergie thermique, ce qui a permis la **fusion complète** de la **proto-terre** à des températures voisines de 2000 °C.

Cette fusion a été suivie d'une différenciation :

- Le fer, élément lourd, a gagné le cœur de la Terre où il a cristallisé pour donner la graine.
- Les autres éléments plus légers comme le silicium, le magnésium et l'oxygène se sont associés pour former les minéraux des péridotites d'un manteau qui a cristallisé plus rapidement
- Enfin en surface, le silicium, l'aluminium et l'oxygène se sont associés pour former les minéraux du granite et du basalte qui constituent la croûte.

Leçon 3- Origine de l'énergie interne du globe terrestre et sa dissipation

La géothermie

Objectif : Déterminer et expliquer l'origine de l'énergie interne de la Terre et sa dissipation

Les séismes, le volcanisme et l'existence d'un gradient géothermique, la formation des chaînes de Montagnes sont une preuve de la présence de matériaux à haute température à l'intérieur du globe terrestre.

1 - L'origine de la chaleur interne du globe **Activité**

La chaleur interne du globe a deux origines :

- La **chaleur initiale** stockée lors de la formation de la terre
- La **chaleur libérée par la désintégration des isotopes radioactifs**

a) La chaleur initiale (chaleur d'accrétion)

(Accrétion=croissance d'un objet géologique par apport successif de matière)

Une quantité considérable d'énergie a été stockée à l'intérieur de la terre au moment de sa formation. Le noyau externe liquide contient une partie de cette énergie thermique initiale et la restitue progressivement au fur et à mesure qu'il cristallise pour donner la graine (chaleur de changement d'état). La Terre refroidit donc progressivement en dissipant son énergie initiale sous forme de chaleur.

Il a été démontré que si cette énergie initiale était la seule en cause, l'âge de la Terre ne pouvait atteindre 25 Ma pour le flux géothermique puisse arriver à la valeur actuelle. Or nous savons que la Terre est âgée de 4,6 Ga.

b) La radioactivité du globe

La plus grande partie de la chaleur interne du globe provient de la désintégration des isotopes radioactifs de certains éléments (**Uranium, Thorium et Potassium**) avec libération des quantités importantes d'énergie.

2- La dissipation de l'énergie Interne **Activité**

La planète Terre évacue à sa surface son énergie interne de deux façons :

- **De façon brutale et localisée** lors des **éruptions volcaniques** et des **séismes**
- **De façon continue et calme** sous la forme d'un **flux de chaleur** ou **flux géothermique**. Dans ce

2^{ème} cas, la dissipation se fait :

* **Soit par conduction thermique** : diffusion de la chaleur de proche en proche, des roches les plus chaudes vers les roches les plus froides.

* **Soit par convection thermique** : circulation de chaleur dans l'asthénosphère, des zones les plus chaudes vers les zones les moins chaudes.

Le **flux géothermique** est la quantité de chaleur qui sort du sol par unité de surface. On le mesure en général en Watt/cm^2 . Sa valeur moyenne est de 5 w/cm^2 . Il est plus élevé dans les zones de dorsales et autres zones volcaniques.

Le **gradient géothermique** est l'augmentation de la température avec la profondeur. Il est de 20 à 30 °C par km dans la croûte continentale, 0,5 °C par km dans le manteau.

*Une convection est un transfert de chaleur d'une zone chaude vers une zone froide grâce à un déplacement de matériaux fluides.

Sujetexa.com

Exemple de situation 4 : -Naissance des fonds océaniques

Catégorie d'action 4 : Reconstitution chronologique de l'histoire des fonds océaniques

Actions 6 : Reconstituer les événements qui président à la naissance du plancher océanique

Séquence 7- Les mouvements des plaques lithosphériques

Contrairement à d'autres planètes du système solaire, la Terre est une planète géologiquement active. Volcanisme, sismicité, magnétisme fournissent des témoignages de cette activité. Ils signent la présence d'une énergie interne qui se dissipe à l'extérieur. L'étude des séismes a permis de mettre en évidence diverses enveloppes concentriques. L'enveloppe rigide la plus externe, la lithosphère est placée sur une couche fluide, l'asthénosphère qui est le siège des mouvements de convection à l'origine de toute la

dynamique de ladite lithosphère. Les mouvements lithosphériques sont d'une grande importance dans la compréhension de la dynamique du globe terrestre.

Leçon 1- La dérive des continents : les preuves de la dérive des continents

Objectif : citer les preuves de la dérive des continents ;

La dérive des continents est une théorie selon laquelle les continents se déplacent les uns par rapport aux autres. Au fil du temps, plusieurs arguments ont été successivement développés :

1 - Définition : fig 7.1

Les différentes observations ont révélés que les continents étaient autrefois soudés en un seul bloc (super continent) appelé **Pangée**, il y a 270 Ma environ. L'Amérique du Sud, l'Afrique, la péninsule Arabique, l'Antarctique, l'Inde et l'Australie formaient au début du Jurassique la partie Sud de la Pangée appelée le **Gondwana** ; l'Amérique du Nord, l'Europe et l'Asie formaient à la même époque la partie Nord appelée la **Laurasie**. Ce super continent était entouré d'un unique océan appelé **Panthalassa**.

Les forces tectoniques diverses ont cassé cette Pangée et les différents blocs résultant se sont éloignés les uns des autres au cours des temps géologiques : on parle de **dérive des continents**.

2 - Preuves de la dérive des continents : fig 7.2

Le géophysicien **Alfred Wegener** (1915) avance plusieurs arguments pour justifier sa théorie de la dérive des continents :

- **Argument morphologique** ou géographiques : complémentarité des contours côtiers de l'Afrique et de l'Amérique du Sud, ou de l'Afrique et de l'Arabie.
- **Argument paléontologique** : continuité de la flore et de la faune fossile de part et d'autre des limites continentales africaines et américaine. Exemple : on retrouve au Brésil et en Afrique du Sud (et uniquement dans ces zones) des fossiles de **Mesosaurus** (petit reptile datant du primaire).
- **Argument pétrographique ou géologique** : continuité parfaite des ensembles géologiques d'Amérique du Sud et d'Afrique de l'Ouest.
- **Argument climatiques** : présence des traces de glaciers de part et d'autre de l'atlantique Sud
- **Les arguments paléomagnétiques** : Les roches éruptives à oxyde de fer présentent des particules magnétisées qui s'orientent parallèlement au champ magnétique terrestre lors de leur cristallisation à partir du magma. Cette mémorisation par les roches de la direction du champ magnétique terrestre permet aux Géologues de reconstituer les positions antérieures des pôles magnétiques. Ainsi, on a noté que de Précambrien au Trias, les positions du pôle magnétique se confondent comme pour un même continent et des migrations d'un pôle concordent pour une même période géologique : on peut dire que ces continents étaient réunis jusqu'au Trias.

NB : Malgré ces arguments, l'idée de la mobilité des continents ne sera pas admise pendant longtemps par les géologues. La mise en évidence des courants de convection par Arthur Holmes (1945) et de l'expansion du plancher océanique (double tapis roulant) par Harry Hess (1960) conduisent à la reconnaissance des travaux de Wegener et l'élaboration d'une nouvelle théorie qui va révolutionner les sciences de la Terre : la théorie de la tectonique des plaques.

Leçon 2- La plaque lithosphérique

Objectif: Définir plaque lithosphérique et citer les types de plaques

1- Définition fig 7.3

Une plaque lithosphérique est un fragment de la lithosphérique en mouvement, constituée par la croûte à laquelle s'adjoint la partie supérieure du manteau supérieure. C'est également un secteur indéformable et aisé de la lithosphère délimité par d'étroites zones mobiles. Ces plaques "glissent" tels des radeaux sur une couche visqueuse : l'asthénosphère.

L'ensemble des mouvements des plaques lithosphériques constitue la **tectonique des plaques**. La **théorie de la tectonique des plaques** stipule donc que la lithosphère est morcelée en plusieurs plaques qui flottent et se déplacent sur l'asthénosphère moins rigide.

2-Types et exemples de plaques

La lithosphère est découpée en une douzaine de plaques dont 7 grandes (la plaque Africaine, Pacifique, Antarctique, Eurasienne ou Eurasiatique, Australienne, Nord-Américaine, Sud-Américaine) et les autres petites (la plaque Arabique, Nazca, Antillaise, Cocos, la plaque des Caraïbes).

Suivant leur constitution, on distingue trois types de plaques lithosphériques :

- **Les plaques océaniques** : elles sont formées du manteau supérieur et de croûte océanique. **Exemple** : la plaque Nazca, la plaque Philippine

- **la plaque entièrement continentale**, ne comportant que la lithosphère océanique ; c'est le cas de la plaque turque

- **Les plaques mixtes** : elles sont formées du manteau supérieur, de la croûte océanique et de la croûte continentale. **Exemple** : La plaque Nord-américaine, la plaque des Caraïbes, la plaque des Cocos, la plaque Pacifique, la plaque Sud-américaine, la plaque antarctique, la plaque Indo-australienne, la plaque Africaine, la plaque Eurasiatique, la plaque Arabique.

3-Quel est le moteur de la mobilité des plaques ?

Les **courants de convection mantelliques** constituent le moteur de la mobilité des plaques. Dans l'asthénosphère, la montée de **matière chaude** se fait au niveau de l'axe de la dorsale qui est la zone de confluence de deux cellules de convection. La **matière froide** descend et est enfouie au niveau des zones de subduction (**voir exercice 39**).

NB : La tectonique des plaques est un modèle de fonctionnement de la planète Terre. Ce modèle intègre et explique les phénomènes très divers et étroitement liés qui se compensent mutuellement : **séismes, volcanisme, orogénèse, plutonisme, métamorphisme, dérive des continents, formation, expansion et mort des océans,...** Pour cette raison, la tectonique des plaques est aussi appelée **tectonique globale** ou **théorie unificatrice**.

Action 7-Identifier les marqueurs et les phénomènes associés de l'expansion océanique

Leçon 3- Les mouvements des plaques

Objectif : Expliquer la formation de la croûte océanique

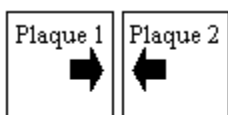
1- Les limites des plaques **Activité**

La **lithosphère** est l'ensemble constitué de la croûte terrestre et du manteau supérieur. Elle est fragmentée en une douzaine de plaques qui se déplacent les unes par rapport aux autres en flottant sur une asthénosphère plastique (visqueuse ou ductile). Cette mobilité perpétuelle des plaques lithosphériques a plusieurs conséquences. Ainsi aux frontières des plaques, il existe trois types de mouvements :

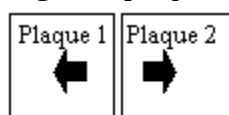
- **Les mouvements de divergence** ou d'**éloignement** des plaques (accrétion ou mise en place d'un rift ou d'un plancher océanique)

- **Les mouvements de convergence** ou d'**affrontement** des plaques (subduction, obduction et collision)

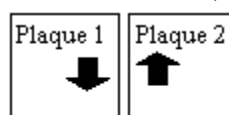
- **Les mouvements de coulissage** des plaques (failles transformantes).



Mouvement A



Mouvement B



Mouvement C

Figure : Différents types de mouvements des plaques lithosphériques

Ces mouvements permettent de distinguer trois types de limites ou frontières entre les plaques :

✓ les limites divergentes au niveau desquelles deux plaques s'éloignent l'une de l'autre produisant une nouvelle croûte océanique ;

✓ les limites convergentes au niveau desquelles deux plaques entrent en collision ;

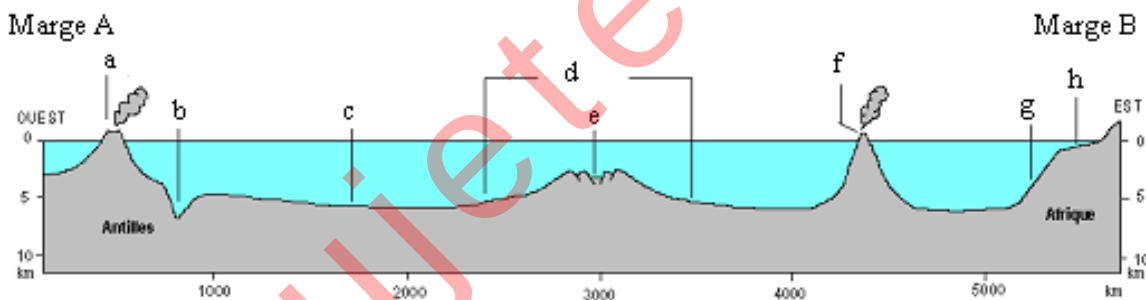
✓ les limites transformantes au niveau desquelles deux plaques glissent latéralement l'une contre l'autre le long de la faille. Ce type de frontière permet de constater la différence de vitesse du déplacement des plaques les unes par rapport aux autres ou même l'inversion du sens de déplacement entre les plaques.

2- Naissance du plancher océanique

2-1 - Morphologie des fonds océaniques Activité fig 7.4

La topographie est la description détaillée des reliefs. Les observations faites au fond des océans à l'aide des navires équipés des sonars (écho sondes) montrent que les fonds océaniques présentent les reliefs suivants :

- **Le plateau continental** : c'est la bordure immergée du continent avec une faible pente (1 m par km)
- **Le talus continental** : c'est la zone de transition entre le continent et l'océan proprement dit. Sa pente est forte (15 % en moyenne).
- **La plaine abyssale** : c'est une surface presque plane formant plus de la moitié de la surface du fond océanique.
- **La dorsale océanique** : c'est une véritable chaîne de montagnes sous-marine, à pentes symétriques et dont l'axe médian est souvent occupé par un **fossé d'effondrement** ou **rift**.
- **La fosse océanique** : c'est une dépression allongée du fond des océans et dont la profondeur est supérieure à celle des plaines abyssales. Elle se situe le long des continents et des **arcs insulaires** (îles volcaniques émergées).
- **Les îles volcaniques** : on les retrouve soit en bordure des océans, soit le long des dorsales, soit au milieu des plaines abyssales.



2-2) La formation du plancher océanique

a- La formation d'un rift : Activité fig 7.5

Un **rift** est une déchirure de la croûte terrestre qui se matérialise par un fossé d'effondrement parcouru par de nombreuses fissures éruptives.

Une élévation de la température, due à la remontée du magma issue du manteau entraîne un bombement et un amincissement de la croûte continentale. Ensuite, celle-ci se fracture en de nombreuses failles (témoins des forces de distension). La partie centrale de ces failles s'affaisse, créant ainsi un fossé d'effondrement appelé rift continental caractérisé par une activité sismique et volcanique intense.

Si les forces de distension continuent, au niveau du rift, la croûte continentale finit par se rompre et les laves volcaniques parviennent en surface, se cristallisent, formant ainsi la croûte océanique qui marque le stade de rift océanique

Les rifts peuvent donc être **continentaux** (rift rhénan, rifts est-africains) ou **océaniques** (dorsale médio-atlantique, dorsale pacifique, ride médio-indienne).

b- La formation et la nature de la croûte océanique

b-1) Formation de la croûte océanique

Elle se fait en deux étapes : - Fusion des péridotites du manteau
- Cristallisation fractionnée

Suite à des mouvements de **convection mantelliques** (déplacement lent de matériaux sous l'effet de différences de température et de densité dans le manteau), les péridotites remontent vers la surface au niveau de la dorsale. Cette remontée provoque la diminution de la pression, ce qui cause une **fusion partielle** de la péridotite ; on obtient alors un **magma**.

Le magma ainsi formé se concentre dans une chambre magmatique et aura deux destinées :

- Une partie s'échappe par des fissures et solidifie rapidement au contact de l'eau de mer pour former les basaltes en coussin.
- Une partie cristallise en profondeur pour former les gabbros.

Le résidu de fusion (péridotite n'ayant pas fusionné) forme la partie supérieure du manteau, c'est-à-dire la base de la lithosphère océanique

L'ordre de superposition des roches correspond à peu près à l'ordre de leur formation.

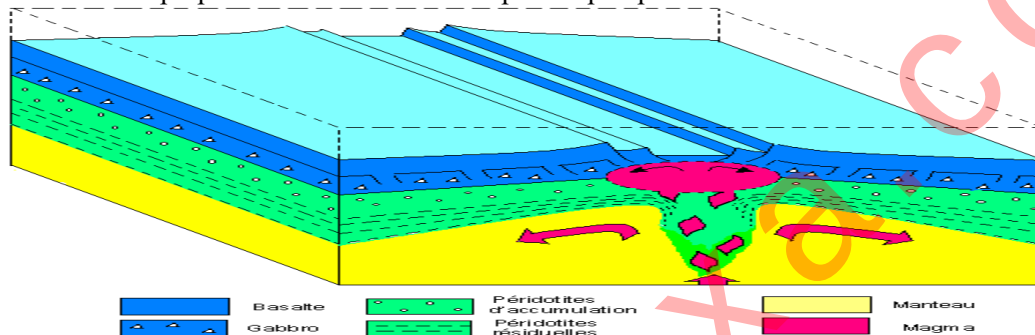
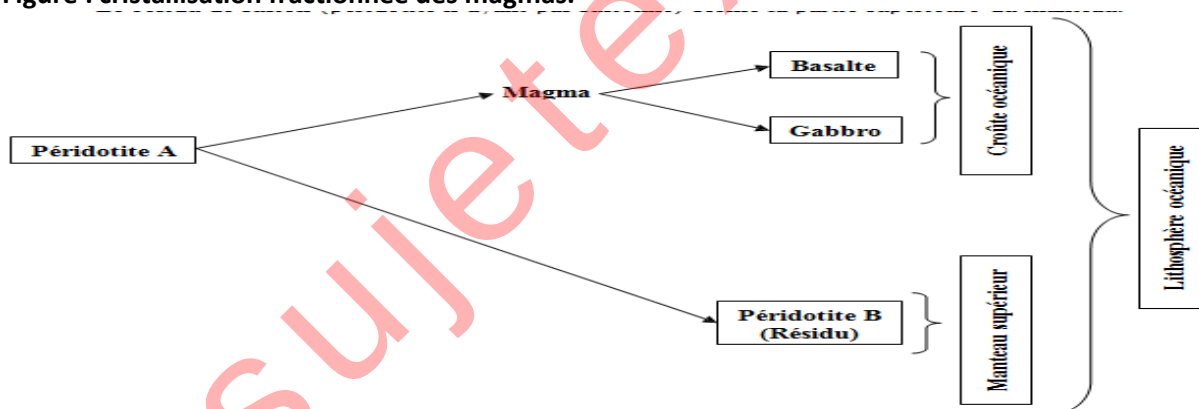


Figure : cristallisation fractionnée des magmas.



b- La nature de la croûte océanique Activité fig 7.6

Grâce aux navires foreurs (travail dans le forage) et aux submersibles pouvant atteindre 11 km de profondeur, des échantillons de roches ont pu être récoltés par **carottage** (opération consistant à prélever un cylindre de quelques cm de diamètre et de longueur variable dans les roches) dans le plancher océanique.

coupe géologique	roche	éléments minéraux	Texture
	sédiments divers	quartz, argile (pélite), calcaire, boue	meuble
	basalte en coussin ou pillow lavas	phénocristaux, olivine, pyroxène	microlitique (hémicristalline)
	basalte en filon (orgue basaltique)		cristalline cristalline
	gabbro		
	péridotite ou serpentinite		

Figure 3 : Nature du plancher océanique

Les résultats de ces forages montrent que le plancher océanique est constitué de **basaltes** (roches volcaniques ou magmatique de structure microlithique) et de **gabbros** (roches plutoniques de structure cristalline, formée par refroidissement lent du magma en profondeur) et une couche de péridotites (roche grenue, verte, principal constituant du manteau et très riche en olivine). On y trouve par endroit des **sédiments** marins.

Remarque : le gabbro et le basalte ont la même composition chimique mais de structures différentes

L'analyse poussée des carottes prélevées montre les caractéristiques du plancher océanique. Plus les forages sont éloignés de la dorsale :

- Plus l'épaisseur des séries sédimentaires augmentent
- Plus l'âge des sédiments les plus profonds, reposant directement sur le basalte augmente
- Plus l'âge des basaltes surmontés par ces sédiments est lui-même important
- Plus la densité et la profondeur de la couche basaltique augmentent

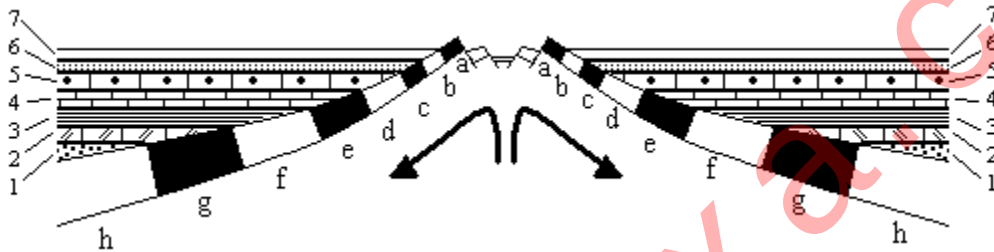


Figure 4 : Quelques caractéristiques de la dorsale

NB : Le basalte est une roche volcanique, de **structure microlithique**, formée de gros cristaux ou phénocristaux (olivine et pyroxène) et de cristaux minuscules ou microlites (plagioclase), l'ensemble noyé dans une pâte amorphe ou verre noir. C'est une roche noire pauvre en silice, donc basique.

3-Expansion du plancher océanique et phénomènes associés

a- la subduction et ses conséquences

La subduction est le plongement d'une lithosphère océanique plus dense sous une lithosphère continentale moins dense. Elle explique le volume constant de la Terre ainsi que la jeunesse de la croûte océanique par rapport à la croûte continentale.

La zone de subduction se caractérise par l'existence :

- D'une sismicité importante
- D'un magmatisme avec un volcanisme du type explosif
- D'une fosse océanique
- D'une chaîne de montagne en arrière de la fosse
- D'un plutonisme avec formation des granodiorites

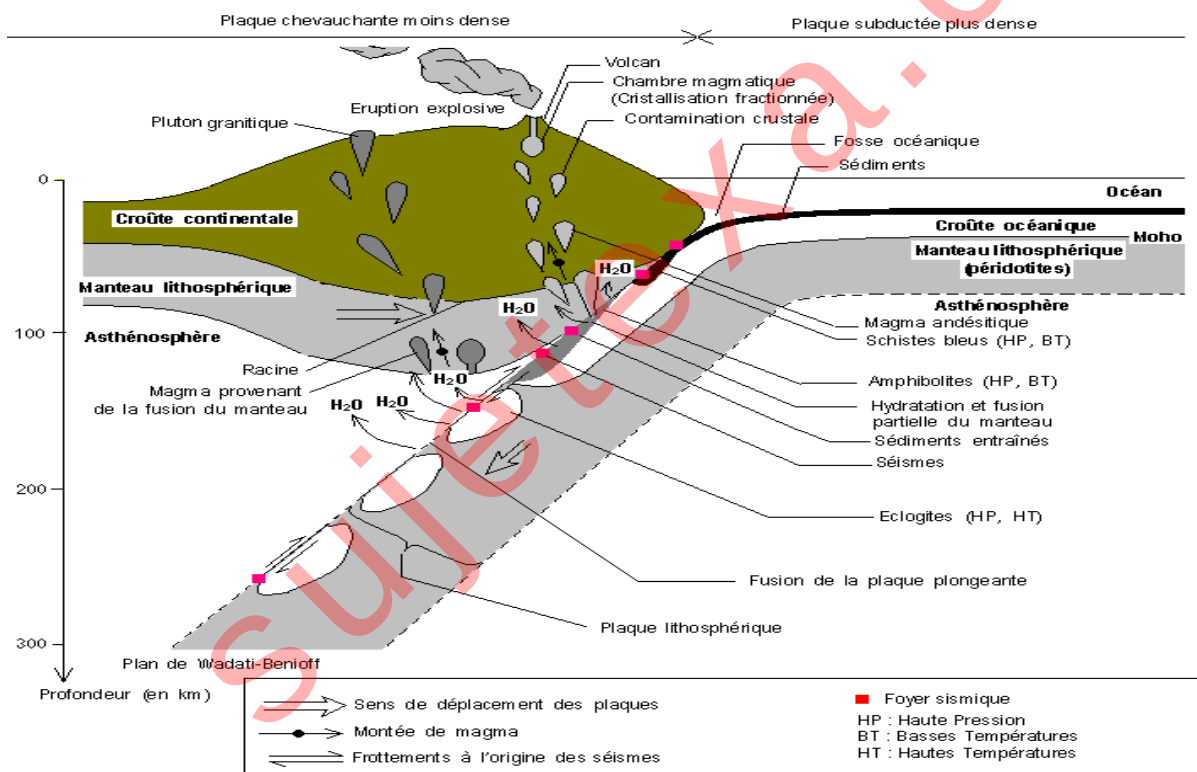
- D'un métamorphisme

a-1) Les séismes associés aux zones de subduction Activité fig 7.7

On distingue en fonction de la profondeur du foyer trois types de séismes :

- **Les séismes superficiels** : profondeur du foyer comprise entre 0 et 70 km.
- **Les séismes intermédiaires** : foyers compris entre 71 et 300 km de profondeur.
- **Les séismes profonds** dont les foyers se trouvent à une profondeur supérieure à 300 km. Ils sont rares et leurs épicentres se situent loin de la marge active à l'intérieur de la plaque chevauchante.

Les foyers des séismes sont localisés généralement sur une surface plane plus ou moins inclinée par rapport à l'horizontal matérialisant l'angle de plongée de la plaque subductée : c'est le plan de **Wadati-benioff**. En effet, la plaque subductée est soumise à des contraintes considérables (frottements avec la lithosphère chevauchante, compression lors de l'enfoncement dans l'asthénosphère ...). Tant que la plaque plongeante n'est pas suffisamment réchauffée et que ses matériaux restent solides, les contraintes résultant de ces frottements et compressions se libèrent de façon brutale, causant les séismes.



a-2) Un volcanisme intense et explosif : fig 7.7

Le volcanisme des zones de subduction dont les éruptions sont explosives et où les laves éjectées sont plus ou moins riches en silice est qualifié de **volcanisme andésitique**. Les roches volcaniques formées, les **andésites**, sont composées de **plagioclases** (feldspaths sodi-calciques), de **biotite** (mica noir) et de **pyroxènes**.

Les andésites (et les rhyolites) se forment à partir d'un magma issu de la **fusion partielle** de la

péridotite. En effet lorsque la plaque plongeante s'enfonce, elle se déshydrate et libère de l'eau dans le manteau sus-jacent. L'hydratation de la péridotite de la plaque chevauchante provoque sa fusion partielle à des températures relativement faibles (1000 °C).

Le magma ainsi formé s'enrichit en silice et devient plus visqueux, d'où le **caractère très explosif** du volcanisme des zones de subduction.

NB : La **crystallisation fractionnée** est le processus responsable de la différenciation du magma dans une chambre magmatique à cause des différentes températures de cristallisation des divers minéraux présents dans le mélange. On obtiendra alors des roches différentes à partir d'un même magma : andésites, rhyolites, granodiorites.

Exemples de volcans explosifs : - La montagne Pelée en Martinique ;

- Le mont Saint Helens aux USA ;

- Le Krakatau en Indonésie

TRAVAIL DEMANDE : Repérer sur une mappemonde les trois volcans ci-dessus cités et indiquer pour chaque volcan les plaques lithosphériques chevauchantes et subductées.

a-3) plutonisme associé aux zones de subduction. Fig :

Vers 100 – 300 km c'est-à-dire à la base du manteau lithosphérique de la plaque chevauchante, une fusion partielle du plancher océanique est à l'origine des magmas **riches en silice**, comme le prouve la présence fréquente de quartz, dans les roches grenues produites. Ces roches ont la même variété et les mêmes compositions chimiques que les laves andésitiques puisqu'elles ont la même histoire : elles appartiennent à la grande famille des **diorites** (roches grenues composées de plagioclases, d'amphiboles mais pas de quartz).

Parfois, la remontée des magmas provoque une fusion partielle des roches de la croûte continentale. Le liquide résultant a la composition d'un granite. Ces magmas, moins denses, migrent vers la surface sous forme de bulles de magmas (**diapirs**), mais l'ascension est inachevée. Les diapirs cristallisent en profondeur formant les **plutons granitiques** quand ils sont dégagés par l'érosion.

Ces roches participent à la formation de la croûte continentale. Ainsi, **les continents se forment en partie à partir du manteau par le magmatisme des zones de subduction.**

a-4) Anomalie géothermique Un flux géothermique anormal **Activité fig 7.8**

Une anomalie thermique est la variation du flux géothermique en fonction des régions du globe terrestre. Le flux de chaleur d'origine interne, relativement constant à la surface du globe, présente une forte **anomalie positive** au niveau des dorsales (valeur supérieure à la normale). Au niveau des marges actives, la situation est beaucoup plus complexe :

- **anomalie négative** entre la fosse et la zone volcanique, due à l'enfoncement de la plaque subductée relativement froide par rapport à l'asthénosphère chaude

- **anomalie positive** au niveau de la Cordillère ou de l'arc insulaire volcanique, à cause de la remontée de magma andésitique.

***Le flux géothermique est la quantité de chaleur traversant une unité de surface du sol par seconde**

a-5) Notion de marges océaniques actives : fig 4.1

Certaines bordures continentales ne présentent aucune activité sismique ou volcanique notable : ce sont des **marges océaniques passives**. C'est le cas de la marge africaine de l'Océan atlantique.

D'autres bordures par contre sont le siège d'une intense activité sismique et volcanique : ce sont des **marges océaniques actives**. C'est le cas des bordures américaines de l'Océan Pacifique. Ces marges présentent des fosses océaniques profondes bordées de volcans (arc insulaire).

b- la collision et l'orogénèse: Activité fig 7.9

La collision est la confrontation de deux masses continentales à la suite de la fermeture d'un océan. C'est le terme ultime du phénomène de subduction. La collision donne naissance à une chaîne de montagne intra continentale.

b-1) L'orogénèse liée à la collision

L'orogénèse est la formation des chaînes de montagnes. On observe sur une chaîne de montagnes des plissements, des failles inverses, des nappes de charriage (ensemble de terrain déplacé par des forces tectoniques recouvrant un autre terrain).

Ces observations prouvent que les matériaux des chaînes de montagnes ont été soumis à des **forces compressives** (mouvements horizontaux) occasionnant un raccourcissement de l'écorce terrestre. De telles forces compressives ont pour origine la collision entre deux plaques continentales.

NB : Les mouvements verticaux peuvent aussi être mis en évidence au niveau d'une chaîne de montagnes. Ils expliquent la présence à haute altitude des roches sédimentaires, des ophiolites et des basaltes en coussinets.

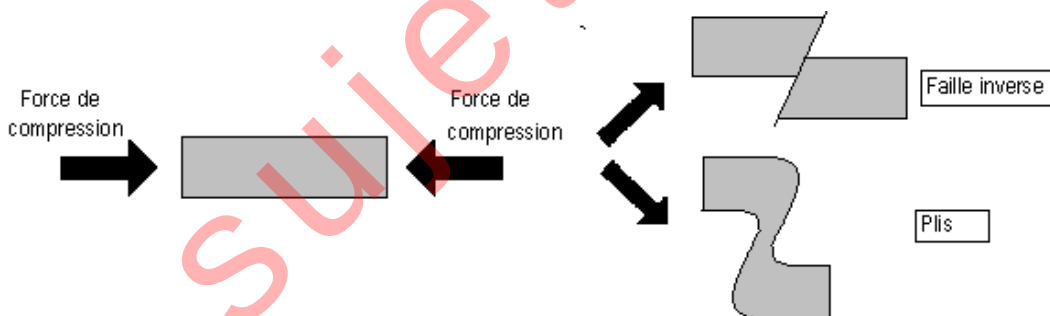
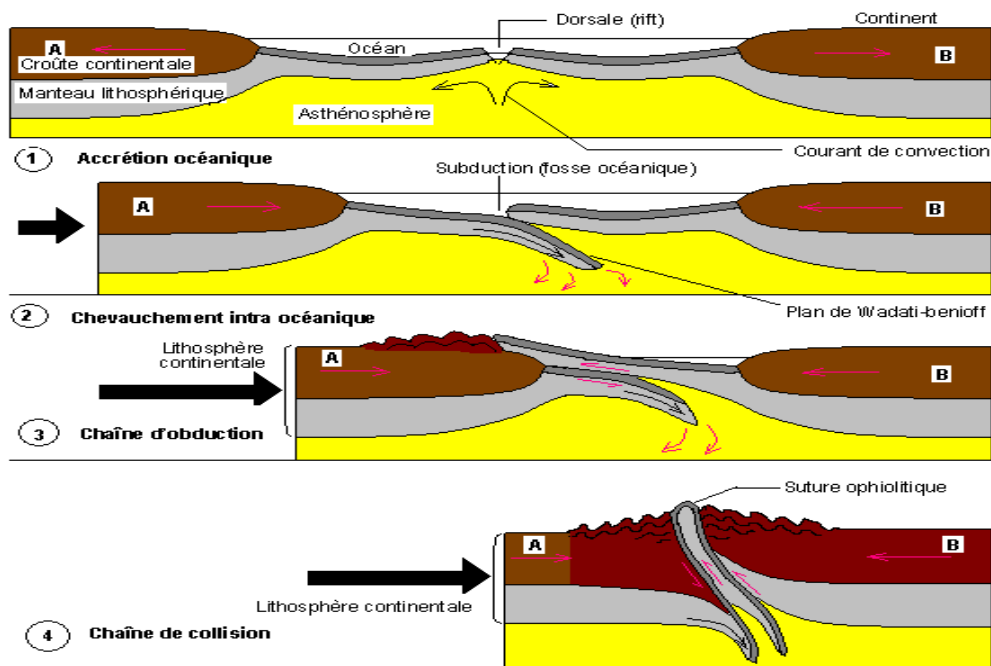


Figure : Comportement d'une roche soumise aux forces compressives

Les étapes de l'orogénèse sont :

- Fermeture progressive d'un océan par subduction
- Blocage de la subduction suivie de l'obduction
- Collision continentale : les masses continentales entrent finalement en contact, la croûte s'épaissit progressivement pour former en surface le relief de la chaîne et en profondeur la racine de la montagne. C'est cette compression progressive qui occasionne les plis, les failles inverses et les nappes de charriage.



Exemple de chaîne de collision :

- **La chaîne alpine (Alpes)** : formée par collision entre les plaques africaine et eurasienne. Cette collision est liée à la disparition de l'océan alpin.
- **La chaîne Himalayenne (Himalaya)** : formée par collision entre les plaques indienne et eurasienne. On note sur cette chaîne de jeunes montagnes qui continuent à s'élever, preuve que ces deux plaques continuent à se rapprocher.

* Evolution d'une chaîne de montagne

Après sa formation, la chaîne de montagne se détruit progressivement par l'érosion en surface ; mais cette action est compensée par une remontée progressive de la racine repoussée vers le haut par l'asthénosphère plus dense : on parle de **réajustement isostatique**. Par ce mécanisme, les roches les plus profondes parviennent en surface et sont détruits par l'érosion. On aboutit finalement à une **pénéplaine** c'est-à-dire une surface plane obtenue lorsque l'importance de l'érosion est supérieure à l'augmentation du relief due au réajustement isostatique.

Exemple : La chaîne hercynienne (Massif Central) est une ancienne chaîne de montagnes érodée qui s'est formée au primaire (du Dévonien au Permien).

b-2) Métamorphisme (associé à l'orogénèse)

Le **métamorphisme** est la transformation à l'état solide d'une roche qui se trouve placée dans les conditions de température et/ou de pression différentes de celles de sa formation.

- Les transformations des roches au cours du métamorphisme

Dans les zones de subduction et de collision, les roches, enfouies à des profondeurs importantes, sont soumises à des températures et/ou pressions élevées qui entraînent leur transformation en **roche métamorphique**.

Condition de température et de pression	Type de roche métamorphique obtenue	Caractéristiques de la roche
Basse température, haute pression	Schistes bleus	Schistosité : aptitude au débitage plus ou moins facile en feuillets due aux fractures (schistosité de fracture) ou à la réorientation de certains minéraux comme les micas (schistosité de flux).
Haute température, basse pression	Cornéennes	Absence de schistosité, aspect compact, dureté, fine granulation et texture massive.
Haute température, haute pression	Eclogites	Cristaux de grenats rose et de pyroxènes verts

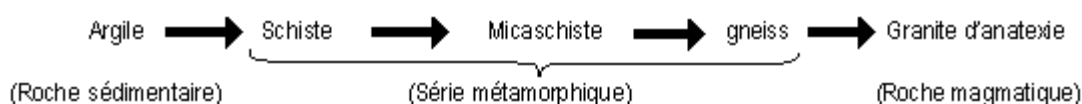
Les roches métamorphiques ont un aspect feuilleté (**foliation**) résultant de la disposition des minéraux en bandes parallèles ; on parle d'une structure cristallophyllienne. Ces bandes peuvent se débiter : on parle de **clivage** ou **schistosité** (propriété que possède une roche de se débiter en feuillets). La schistosité est due à l'augmentation de la P° et, elle est d'autant plus marquée que les micas sont abondants. Elles sont aussi **plissées** à toutes les échelles (roche et minéral), preuve qu'elles ont subies des contraintes tectoniques énormes au cours de leur formation.

- Les 'lois' de la chimie du métamorphisme

L'étude expérimentale des réactions de métamorphisme et les observations faites sur le terrain permettent de préciser les lois les plus importantes de la chimie du métamorphisme :

- * Les modifications minéralogiques du métamorphisme ne débutent qu'au-delà d'une certaine température (300 à 350 °C), jamais à froid.
- * Ces réactions sont **réversibles** : une variation de pression et/ou de température déplace l'équilibre dans un sens ; les minéraux se transforment en d'autres ;
- * Les réactions s'effectuent sans modification sensible de la **composition chimique globale** des roches : on dit que le métamorphisme est **isochimique** (seuls les minéraux changent) ; on peut ainsi avoir une succession de roches différentes à partir d'une seule mais ayant toutes une même composition chimique, formant une **série métamorphique**.

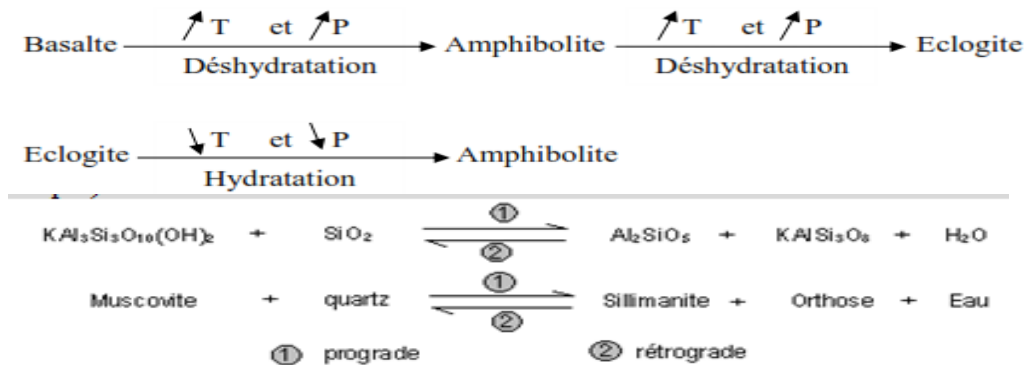
Exemple :



* Lorsque **les fluides** (CO₂ et H₂O surtout) sont libérés par ces réactions, ils **quittent le site de la réaction**

* Les différents minéraux se forment dans **un ordre précis** au cours de ces réactions.

NB : Lorsque les réactions du métamorphisme se déroulent dans le sens de température et de pression croissante, on qualifie le métamorphisme de **prograde** (c'est le cas lors de l'enfouissement au cours de la subduction ou de la collision). Dans le sens opposé, on parle d'un métamorphisme **rétrograde** ou métamorphisme **inverse** (c'est le cas lors du réajustement isostatique).



- Le climat du métamorphisme.

Certains minéraux du métamorphisme se forment à des températures et pressions si précises que leur présence permet de déterminer les conditions de formation de cette roche : ce sont les **minéraux repères** ou **minéraux index**. Ils précisent alors les marges de température et de pression qui régnaient dans la zone où la roche métamorphique s'est formée : ce sont donc des véritables **thermobaromètres naturels** (géothermomètre et géobaromètre).

Exemple : Le **silicate d'alumine** (SiAl_2O_5) donne du **disthène** pour des pressions élevées et des températures moyennes alors qu'il donne de la **sillimanite** pour des pressions élevées et des températures élevées ; dans les conditions de basse pression pour une gamme de température étendue, le silicate d'alumine cristallise en **andalousite**

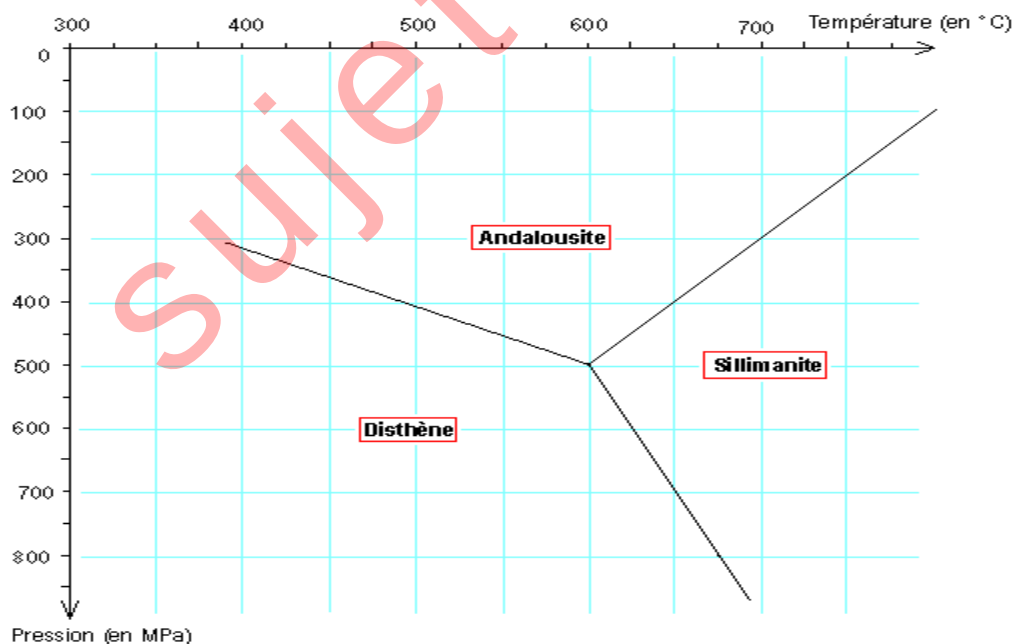


Figure : Champ de stabilité des trois silicates d'alumine

NB : Si l'on porte sur un diagramme l'ensemble des couples de conditions pression / température pour lesquelles un minéral apparaît ou disparaît, on obtient des courbes d'équilibres qui délimitent le champ de stabilité de ce minéral. Les champs de stabilité des différents minéraux repères permettent de construire la grille de métamorphisme suivante :

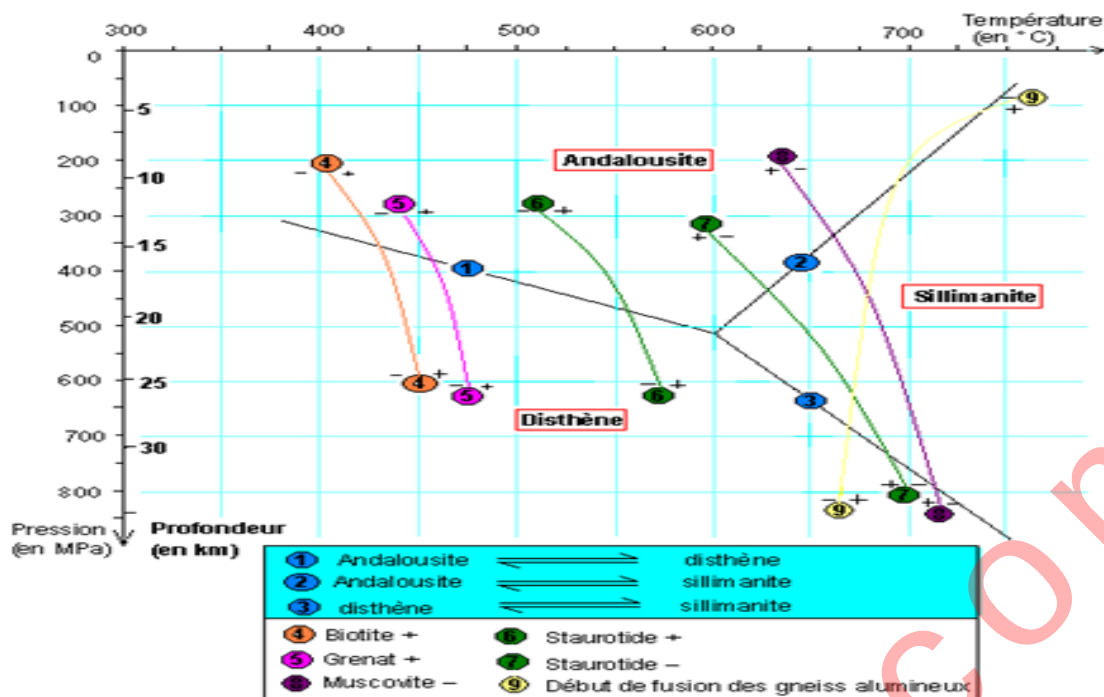


Figure : Grille de métamorphisme.

Conclusion

En général, on distingue deux grands types de métamorphismes :

-Le métamorphisme de contact ou d'auréole

Le magma très chaud vient s'installer au milieu des roches sédimentaires dites encaissantes. La chaleur du magma amène ces roches dites encaissantes à se transformer à l'état solide et on obtient une auréole des roches métamorphiques. Au fur et mesure qu'on s'éloigne du pluton, granitique, on rencontre :

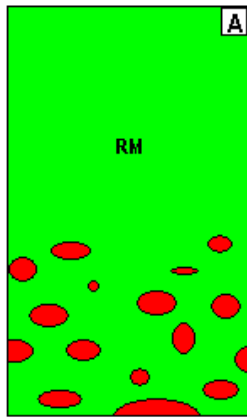
- Des cornéennes
- Des schistes noduleux
- Des schistes tachetés ou cordiérites

-Le métamorphisme général

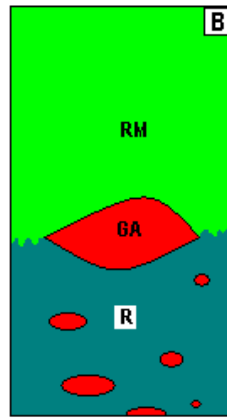
Il affecte de puissantes séries sédimentaires, d'où le nom de métamorphisme régional qu'on lui attribue. Ce métamorphisme est dit dynamo thermique (métamorphisme qui se produit au niveau d'intenses déformations tectoniques) et a comme facteurs la température, la pression et les contraintes tectoniques. Ses principales roches pour des degrés de métamorphisme de plus en plus croissant sont : schistes, micaschistes, gneiss.

b-3) Plutonisme calco-alcalin

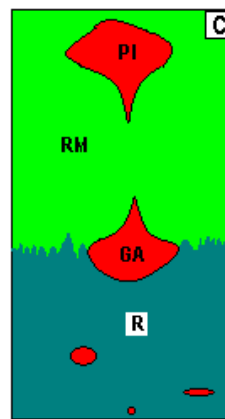
Au cours de la collision, la croûte continentale soumise à des conditions de température et de pression suffisantes entre en fusion partielle : c'est le processus d'**anatexie**. On obtient un **magma granitique**.



Fusion partielle des roches métamorphiques (RM) portées à des grandes profondeurs.



Rassemblement des gouttes de magma granitique au dessus du résidu (R) pour donner le granite d'anatexie (GA).



Réchauffement du GA, puis ascension du magma pour former le pluton intrusif (PI).

Ce magma se rassemble par migration ascensionnelle au-dessus du résidu solide. Ils se refroidissent pour donner un granite appelé **granite d'anatexie**. A la suite d'un réchauffement, une partie de ce granite fond et le nouveau magma remonte dans la croûte et s'y solidifie en un massif granitique à bords nets appelé **massif** ou **pluton intrusif**.

NB : La fusion partielle des gneiss donne une phase liquide (magma) et une phase solide. La phase liquide se refroidit en un granite. On obtient une roche ayant une partie gneissique et une partie granitique appelée **migmatite**. Tout comme le gneiss, cette migmatite peut fondre totalement et se refroidir pour donner un granite d'anatexie.

c- L'obduction (un cas rare de l'expansion, cas des plaques mixtes) et la formation des ophiolites

L'obduction est le chevauchement anormal du plancher océanique sur une croûte continentale. Elle se produit à la suite d'une subduction entre deux croûtes océaniques.



On rencontre fréquemment au sein de certaines chaînes de montagnes (Alpes, Himalaya) des roches constituées essentiellement de basaltes, de gabbro et de péridotites plus ou moins transformées : ce sont les ophiolites (vestiges de planchers océaniques charriés sur le continent).

Les ophiolites sont les témoins de l'existence d'un océan aujourd'hui disparu. Il en est de même des pillow lavas trouvés en altitude.

Exemple de situation 5: Dégradation permanente des ressources naturelles

Catégorie d'action 5: Réduction des conséquences néfastes des activités humaines sur les ressources naturelles

Actions 8: - Décrire les flux de carbone sous diverses formes entre les êtres vivants et leur biotope
- Construire le cycle du carbone

Séquence 8- Flux d'énergie et cycle du carbone dans les écosystèmes

Leçon 1- La dissipation de l'énergie des écosystèmes

Objectif : expliquer la dissipation progressive de l'énergie le long de la chaîne alimentaire

L'**écosystème** est un système fonctionnel constitué d'un **biotope** (milieu de vie) et d'une **biocénose** (êtres vivants). C'est l'unité d'organisation de la biosphère.

Il existe une grande variété d'écosystème : la forêt, la savane, l'étang... Dans ces écosystèmes, les êtres vivants entretiennent entre eux des relations alimentaires. On dit qu'il existe une **interdépendance alimentaire** entre les êtres vivants d'un écosystème.

1-Notions d'écosystème, de chaîne alimentaire et de niveaux trophiques

a - L'écosystème : un système thermodissipatif

L'écosystème est un système d'équilibre dynamique formé par l'ensemble des êtres vivants (biocénose) et le milieu physique dans lequel ils vivent (biotope). L'écosystème se maintient par l'intermédiaire d'un flux d'énergie et de matière entre les différentes composantes en interaction permanente.

La source d'énergie pour l'ensemble des écosystèmes est représentée par le soleil. La lumière solaire captée permet la production de l'énergie chimique au cours de la photosynthèse ; c'est ce qu'on appelle la **production primaire**. Dans tout écosystème, le bilan énergétique est équilibré car l'énergie fixée initialement par les autotrophes est égale à l'énergie perdue lors de la respiration plus l'énergie exportée : on dit que l'écosystème est un **système thermodissipatif**

b - Notion de chaîne alimentaire

Une chaîne alimentaire ou trophique est un processus de régulation dans lequel les êtres vivants mangent ceux qui les précèdent avant d'être mangés par ceux qui les suivent. L'ensemble de plusieurs chaînes alimentaires forme un réseau trophique.

3 - Les niveaux trophiques

Le niveau trophique indique la place qu'occupe une espèce dans une chaîne alimentaire. On distingue trois niveaux trophiques : les producteurs primaires, les consommateurs et les décomposeurs.

On appelle maillon, le niveau de position d'un être vivant dans une chaîne alimentaire. Les êtres vivants autotrophes qui sont les producteurs primaires constituent le 1^{er} maillon de la chaîne alimentaire.

La production primaire brute désigne l'ensemble de la matière organique produite par la photosynthèse. La production primaire nette correspond à la production primaire brute diminuée de la matière organique utilisée pour la respiration du producteur.

La productivité secondaire correspond à la production de la matière organique par l'ensemble des consommateurs appelés encore producteurs secondaires.

Les décomposeurs sont toujours les derniers maillons de la chaîne alimentaire. Ils transforment les substances organiques en substances minérales : ce sont des minéralisateurs.

2-la dissipation d'énergie dans un écosystème : fig 8.1

A chaque niveau d'une chaîne alimentaire, il existe des pertes d'énergie et de matière. De l'énergie du soleil, seules certaines longueurs d'onde sont utilisées pour la photosynthèse. Plus de la moitié des rayons est réfléchi et non utilisée. Les végétaux verts dégagent par respiration une partie de ses composés organiques pour en extraire l'énergie dont ils ont besoin. Il existe de ce fait deux (02) types de production :

- ✓ la production primaire brute (PB) qui est l'ensemble de la matière organique produite par photosynthèse ;
- ✓ la production primaire nette (PN) qui est la quantité de matière réellement disponible pour le consommateur du 1^{er} ordre.

PN : production primaire nette.

PN = PB - RP avec PB : production primaire brute.

RP : respiration des producteurs.

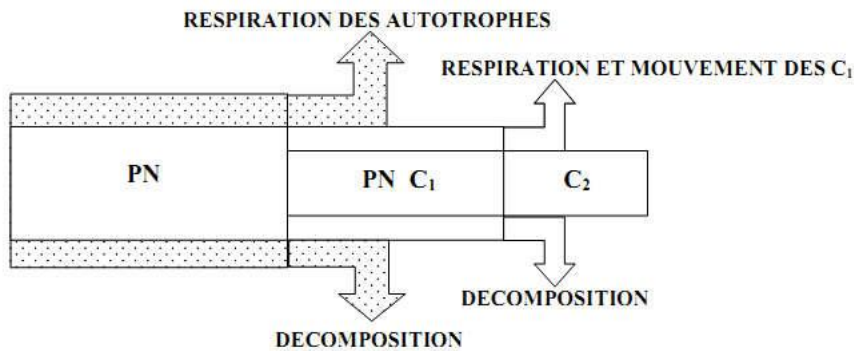


DIAGRAMME SIMPLIFIE DU FLUX D'ENERGIE DANS UN ECOSYSTEME

On constate de ce diagramme que les consommateurs n'utilisent qu'une partie de la matière disponible offerte par le niveau trophique précédent. Une importante partie est utilisée pour la respiration, les mouvements, la croissance... Une quantité non négligeable et non utilisée (excréments) est disponible pour les décomposeurs. C'est donc le reste (production nette : PN) qui est disponible pour le niveau trophique suivant.

Pour chaque catégorie de consommateur, on peut apprécier l'efficacité de l'utilisation des aliments en mesurant les rendements écologiques suivants :

⇒ le rendement d'assimilation (RA) qui traduit l'efficacité avec laquelle les aliments sont digérés et absorbés par un organisme :

$$RA = \frac{A}{I} \times 100$$

⇒ le rendement de production (RP) qui montre quelle part des aliments absorbés est effectivement intégrée dans la matière vivante :

$$RP = \frac{P}{A} \times 100 \quad \text{avec } P = \text{quantité de matières organiques produites}$$

⇒ le rendement écologique de croissance (REC) qui traduit l'efficacité d'un organisme à synthétiser sa propre matière organique à partir de ses aliments. Le REC est donc le rapport entre la quantité de matière produite et la quantité de matière ingérée :

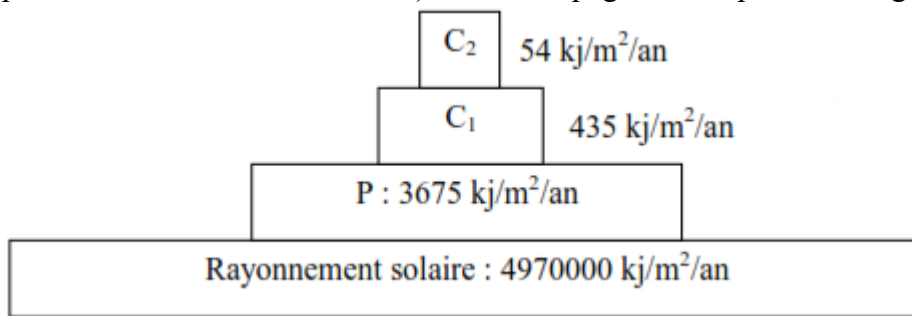
$$REC = \frac{P}{I} \times 100 \quad \text{avec } P = \text{quantité de matières organiques produites.}$$

NB : Le rendement écologique de croissance est plus faible chez les animaux homéothermes que chez les hétéothermes, car les homéothermes perdent plus d'énergie par respiration pour maintenir leur température corporelle.

1- Notion de pyramide des énergies : fig 8.2

L'énergie qui traverse l'écosystème dépend de la quantité d'énergie solaire fixée sous forme chimique par les autotrophes.

Il est possible d'évaluer, pour chaque niveau trophique, la quantité d'énergie produite par unité de temps et par unité de surface. La représentation schématique des résultats a la forme de **pyramide**, ce qui signifie que le transfert d'énergie dans un écosystème s'accompagne d'une perte irréversible d'énergie. Dans les conditions normales, le transfert d'énergie au sein d'un écosystème se fait dans un seul sens (des producteurs aux consommateurs) et s'accompagne d'une perte d'énergie.



Ainsi, au cours du transfert de la matière dans un réseau trophique, il existe de nombreuses pertes à l'origine de la diminution de la quantité de matière et d'énergie à transmettre d'un niveau trophique à un autre de la chaîne alimentaire.

Leçon 2- Les modifications du réservoir du carbone

Objectif : déterminer les facteurs à l'origine de la modification du cycle de carbone

1 - Les activités humaines

Avant l'intervention de l'homme, les flux de carbone entre biosphère et atmosphère d'une part, océan et atmosphère d'autre part, étaient équilibrés.

Les activités anthropiques (feux de brousse, utilisation des appareils ménagers à CFC, calcination des roches calcaires pour obtenir le ciment et la chaux, combustions industrielles) perturbent considérablement le cycle biogéochimique du carbone. La concentration de CO₂

atmosphérique a augmentée de 25% environ depuis le début du 19^{ème} siècle.

Les conséquences de l'augmentation de la concentration du CO₂ atmosphériques sont multiples :

- Intensification de l'effet de serre (forçage radiatif) : augmentation de la température sur Terre
- Changement climatique général : apparition des déserts, déstabilisation des écosystèmes
- Fonte des calottes polaires : ce qui provoque l'élévation du niveau de la mer et la disparition de certaines zones littorales

2 - Les phénomènes naturels

Bien que l'Homme soit le principal acteur de l'augmentation du taux de CO₂ atmosphérique, il est à noter que les phénomènes naturels perturbent le cycle du carbone.

Par exemple,

- lors d'une transgression marine, le niveau des mers augmente et réduit la surface des terres émergées : la végétation diminue et le taux de CO₂ atmosphérique tend à augmenter
- lors d'une régression marine, le niveau des mers diminue et la surface des terres émergées augmente : la végétation s'accroît, piège le CO₂ par photosynthèse et par conséquent son taux tend à diminuer.

Action 9-Construire le cycle du carbone

Leçon 3- Le cycle du carbone

Objectif : - Expliquer le cycle biogéochimique du carbone

- mettre en évidence l'influence du flux d'énergie sur le cycle de carbone ou sur celui de l'azote

1 - le cycle du carbone.

a) Les formes de carbone dans l'écosystème

Il existe deux formes de carbones dans la nature :

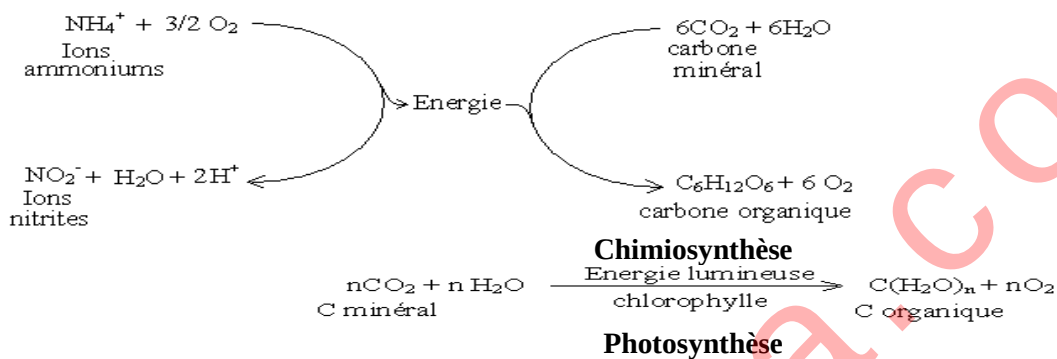
- **Le carbone minéral** : il se présente sous forme de CO_2 atmosphérique, d'ions hydrogénocarbonate dissout dans l'eau et dans les roches carbonatées.

- **Le carbone organique** : il se retrouve dans les molécules organiques constitutives des êtres vivants et dans les roches carbonées.

b) Les transformations du carbone dans un écosystème

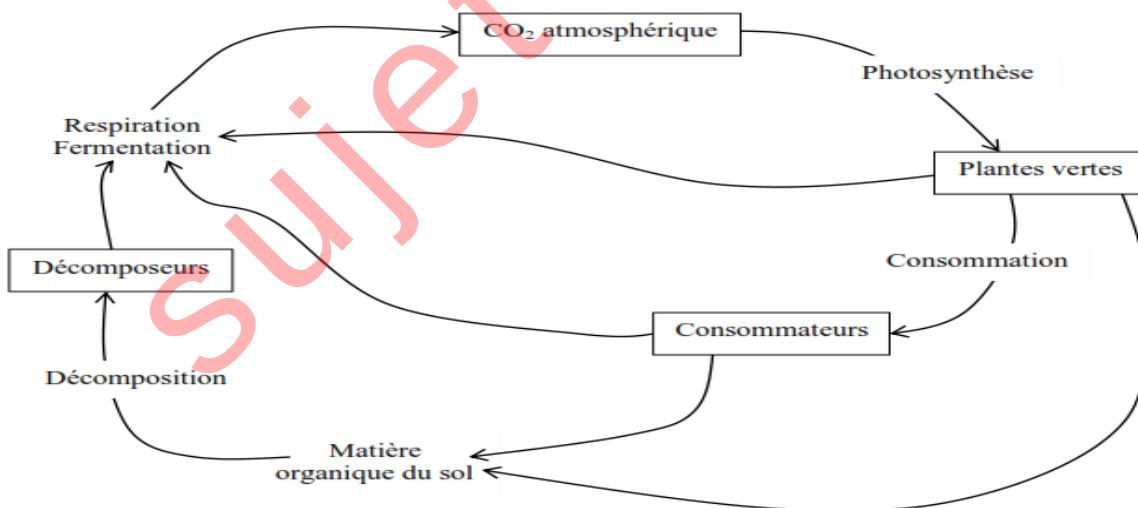
b-1) Passage du carbone minérale au carbone organique

Par photosynthèse ou par chimiosynthèse, les plantes chlorophylliennes incorporent le carbone minéral à la matière organique. Cette incorporation est un phénomène qui nécessite de l'énergie lumineuse.



b-2) Passage du carbone organique au carbone minéral

Tous les êtres vivants dégradent la matière organique par respiration ou fermentation. Au cours de cette dégradation, il y a libération de CO_2 : c'est la **minéralisation** du carbone.



Cycle du carbone dans un écosystème

NB : Le moteur du cycle du carbone dans un écosystème est l'énergie solaire.

c - Le cycle biogéochimique du carbone Activité fig 8.3

C'est l'ensemble des échanges complémentaires, faisant passer le carbone successivement de sa forme minérale à sa forme organique et de sa forme organique à sa forme minérale.

L'élément carbone est contenu dans quatre grands réservoirs du globe terrestre : l'**atmosphère** (CO₂), l'**hydrosphère** (hydrogénocarbonate), la **lithosphère** (roches carbonées et roches carbonatées), la **biosphère** (êtres vivants). Des échanges de carbone se déroulent entre ces réservoirs grâce à deux processus :

- **Les processus physicochimiques** : diffusion, dissolution, précipitation. Ceci entre le carbone atmosphérique et le carbone de l'hydrosphère.
- **Les processus biochimiques** : photosynthèse, respiration, fermentation. Ceci entre le carbone atmosphérique et la biosphère.

2- Influence du flux d'énergie sur le cycle de carbone

Au sein d'un écosystème, le flux d'énergie entretient les cycles de la matière et en particulier celui du carbone et celui de l'azote.

Si l'on considère uniquement le cycle du carbone, toute biomasse perdue à chaque niveau trophique est recyclée sous forme de dioxyde de carbone. En revanche, la chaleur libérée par les réactions d'oxydation de cette biomasse est perdue pour l'écosystème car elle n'est pas récupérable. Le recyclage du carbone nécessite donc une entrée permanente d'énergie dans l'écosystème : c'est l'énergie lumineuse piégée par les végétaux chlorophylliens ou bien l'énergie provenant de l'oxydation de certaines molécules par les bactéries.

Le même raisonnement s'applique à l'élément azote.

L'énergie solaire est finalement le moteur du cycle du carbone.

Exemple de situation 6: Réchauffement climatique

Catégorie d'action 6: Lutte contre l'effet de serre

Actions 10: -Eduquer et/ou informer sur les conséquences de l'effet de serre et le rôle de la couche d'ozone

Séquence 9- Education environnementale

Leçon 2-L'effet de serre

Objectifs :- Définir l'effet de serre et son importance et ses conséquences

-Dégager le rôle de la couche d'ozone

1- La notion d'effet de serre

Activité

L'**effet de serre** est le processus par lequel les gaz des couches les plus basses de l'atmosphère absorbent le rayonnement infrarouge produit par la Terre et le renvoient vers la surface du sol, provoquant ainsi le réchauffement de la planète Terre. Ces gaz sont : le **dioxyde de carbone** (CO₂), le **protoxyde d'azote** (N₂O), le **méthane** (CH₄), l'**ozone**(O₃), la **vapeur d'eau** (H₂O), l'**oxyde nitreux** (NO), les **chlorofluorocarbones** (CFC)...

*La température de l'air est alors supérieure à ce qu'elle devrait être si les basses couches de l'atmosphère ne contenaient pas de gaz tel que le **dioxyde de carbone** (CO₂), le **protoxyde d'azote** (N₂O), le **méthane** (CH₄), l'**ozone**(O₃), la **vapeur d'eau** (H₂O), l'**oxyde nitreux** (NO), les **chlorofluorocarbones** (CFC)... Ces gaz sont dits à **effet de serre** car ils se comportent de la même manière que les vitres d'une serre qui empêchent une partie de l'énergie accumulée derrière elle durant le jour, de s'échapper durant la nuit.*

2- L'importance et les conséquences de l'augmentation des gaz à effet de serre

a) l'importance de l'augmentation des gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre ont contribué à augmenter la température à la surface de la Terre et à maintenir la vie sur Terre.

C'est grâce à l'effet de serre qu'on a l'eau sous trois états : solide, liquide et gazeux.

En l'absence de l'effet de serre, la température à la surface de la Terre serait d'environ - 20°C, ce qui rendrait la vie impossible.

b) les conséquences de l'augmentation des gaz à effet de serre

-Fonte des calottes glaciaires polaires, ce qui entraînerait l'élévation du niveau de la mer et la disparition des certaines zones littorales.

- Réchauffement climatique, qui augmente l'évaporation des océans, entraînant davantage la production de vapeur d'eau, qui est lui-même un gaz à effet de serre.
- diminution du pouvoir réfléchissant de la surface de la Terre due à la fonte des neiges
- Apparition des déserts, des maladies, déstabilisation des écosystèmes

3-Rôle de la couche d'ozone

a - Formation de la couche d'ozone

Au niveau de la stratosphère (entre 12 et 50 km), le O_2 se scinde en deux atomes d'oxygène par les rayons ultraviolets du Soleil. Ces atomes se combinent avec une molécule de O_2 pour former l'ozone (O_3).

b - Importance de la couche d'ozone

La couche d'ozone agit comme un véritable parasol à l'égard du rayonnement ultraviolet responsable des cancers de la peau, de perturbations du système immunitaire, de réduction de la croissance végétale, des modifications d'ADN (mutations). En définitive, la couche d'ozone protège la vie sur Terre en absorbant la grande partie des rayons UV du Soleil

c - Destruction de la couche d'ozone et conséquences

Un trou d'ozone a été découvert en 1956 au-dessus de l'antarctique. Ce trou est dû à l'augmentation de la teneur des gaz tels que le CFC.

Les conséquences de cette destruction sont : multiplication des cancers de la peau, des cataractes (une cause majeure de la cécité)...