

Thème 2 : Le Soleil, notre source d'énergie

Classe : Première ES

Durée envisagée : 5 semaines

Nombre d'activités : 3

En rouge : Bilans à faire noter aux élèves

En bleu : Activités pratiques

En vert : Problématique et hypothèses



Chapitre 2 La photosynthèse et la conversion de l'énergie solaire

Intro : La Terre possède une vie très abondante étant donné les conditions optimales de sa surface (température et pression atmosphérique compatibles avec la vie) mais aussi grâce à la présence d'**eau liquide**. L'ensemble des êtres vivants sont reliés entre eux par des relations alimentaires (relations trophiques) qui fondent les écosystèmes et la chaîne alimentaire.

Problématique : Comment la photosynthèse permet-elle la transformation de l'énergie solaire en matière organique, composant principal des êtres vivants ?

I- La capture de l'énergie lumineuse par les pigments

Activité 1 - La photosynthèse et les pigments

1. Fonctionnement général de la photosynthèse (p101)

La lumière du Soleil permet la photosynthèse au niveau des parties vertes des végétaux (parties chlorophylliennes). La photosynthèse a lieu dans les chloroplastes des cellules végétales chlorophylliennes. Elle est résumée par l'équation suivante :



Les molécules organiques produites seront ensuite transformées ou stockées, notamment sous forme d'**amidon** ou d'autres **glucides** (fruits comme les abricots, cerises, banane ..., graines comme la noix, tubercules comme la pomme de terre, ...). Ainsi, la photosynthèse produit de la matière organique qui permet de nourrir les humains qui utilisent 24% de la photosynthèse mondiale.

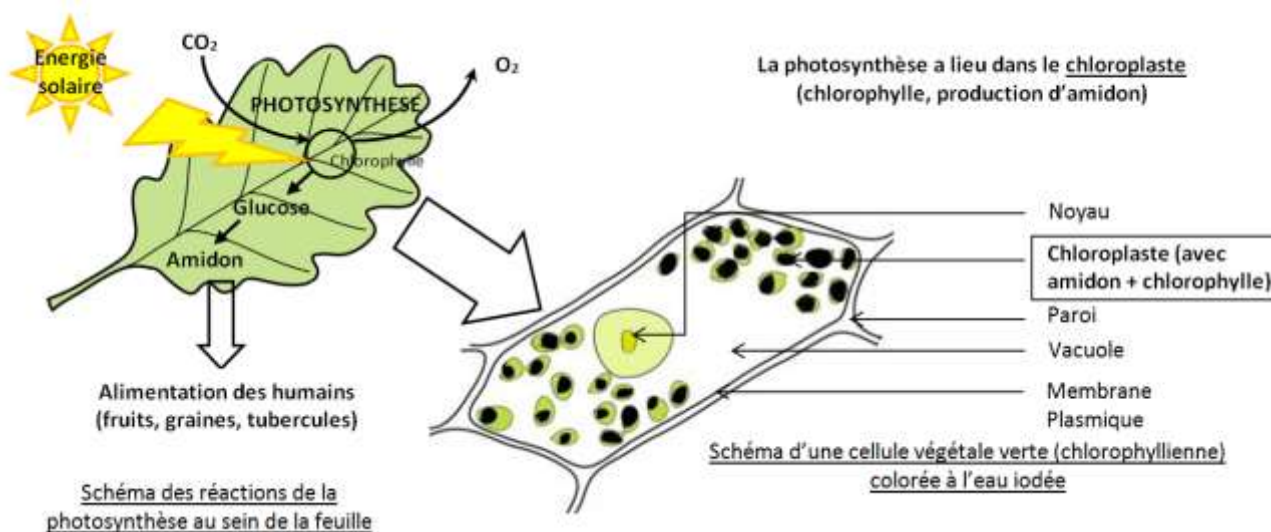


Schéma du déroulement et de localisation cellulaire de la photosynthèse

2. L'identification des pigments (p101)

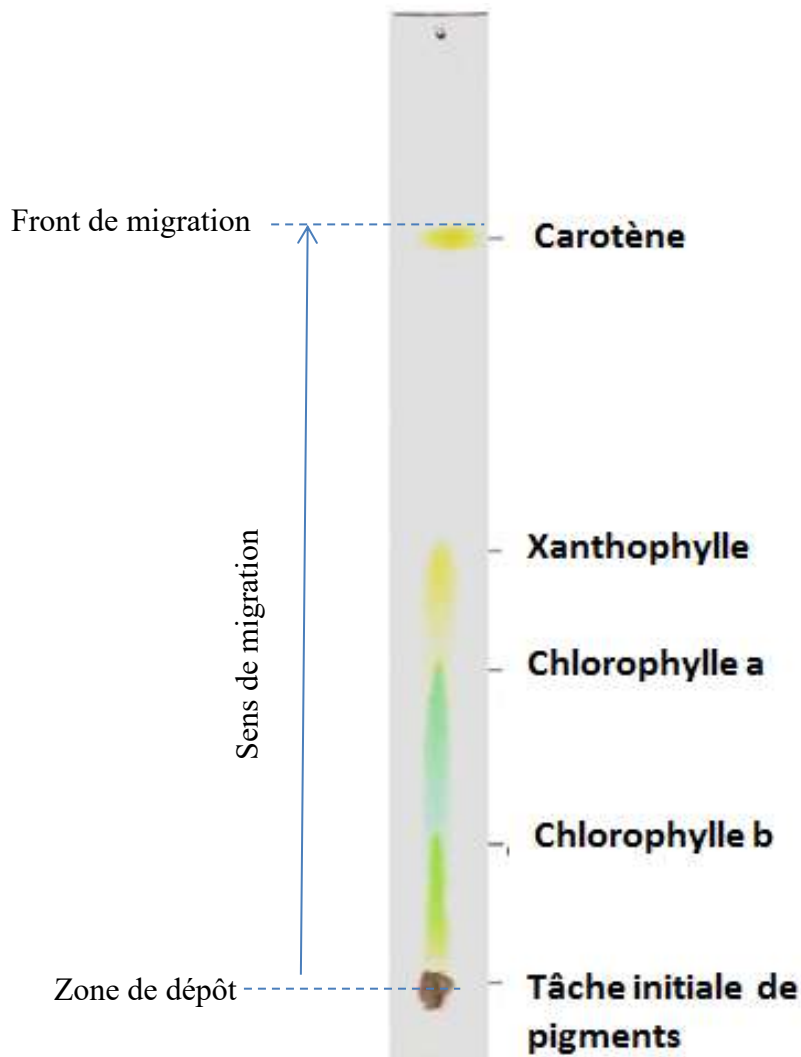
Les pigments sont des molécules colorées capables d'absorber certaines radiations visibles et de renvoyer d'autres longueurs d'ondes, ce qui leur donne leur couleur. Les pigments photosynthétiques absorbent environ 1% de l'énergie solaire arrivant sur une feuille. Le reste est soit diffusé, soit transmis, soit absorbé (échauffement et évapo-transpiration).

On peut identifier les différents pigments d'une feuille végétale en réalisant une chromatographie. Pour cela, on écrase des fragments de feuilles pour former une tâche de pigment puis on plonge le papier à chromatographie dans un solvant (hydrophobe) qui solubilise les pigments. Le solvant s'imprègne dans le papier à chromatographie et remonte en entraînant les pigments selon leur solubilité.

La chromatographie permet d'identifier 4 pigments :

- la chlorophylle b (vert pomme)
- la chlorophylle a (vert émeraude)
- les xanthophylles (jaunes)
- les carotènes (carotène) : orangés voire rouges ou même jaunes.

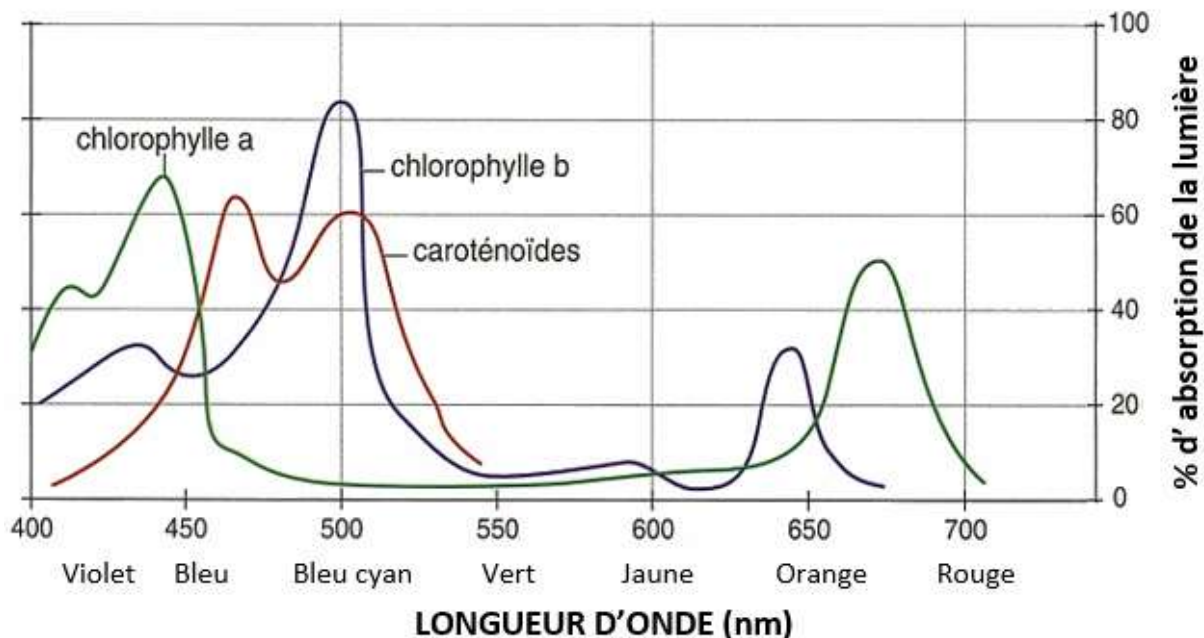
Remarque : il existe d'autres pigments végétaux qui n'ont pas d'action sur la photosynthèse. Par exemple, les flavonoïdes : jaunes/orangés ou violets/bleues qui sont notamment présents dans les pétales des fleurs.



Photographie annotée d'une chromatographie de pigments de feuille rouge (Prunus)

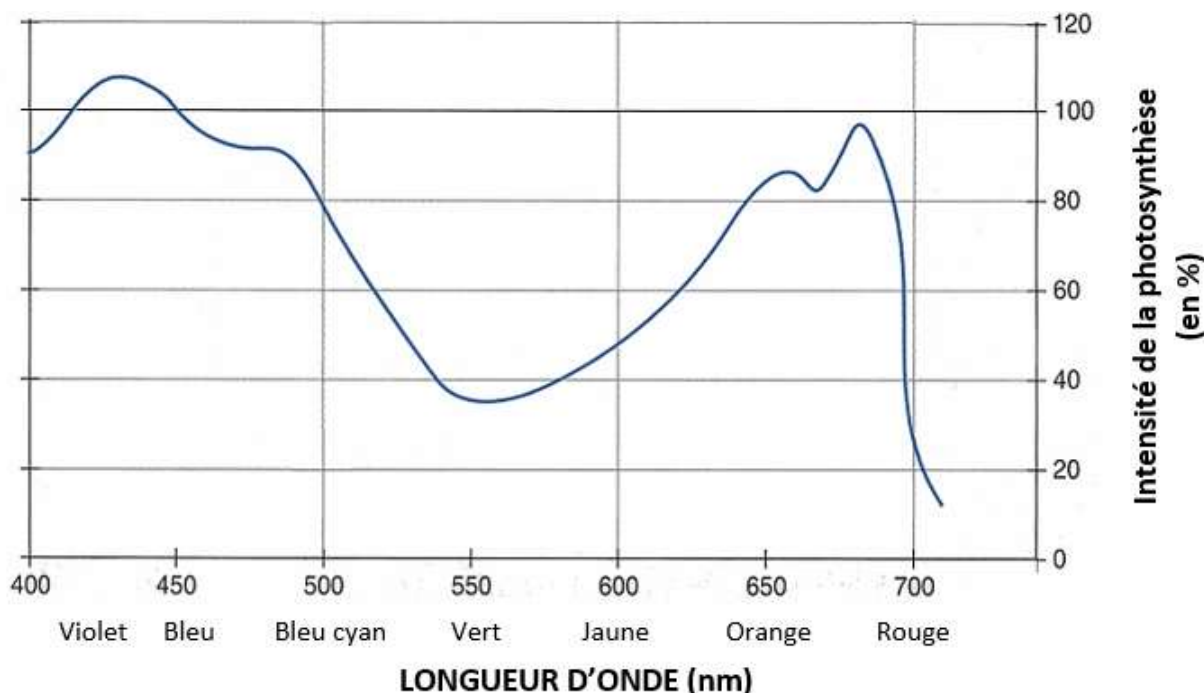
3. Le rôle des pigments dans l'absorption de la lumière (p100)

Pour déterminer le rôle des pigments, on étudie leur capacité à absorber la lumière au moyen d'un spectroscope (ou spectrophotomètre). Ceci permet de réaliser un graphique montrant l'intensité de l'absorption selon les différentes longueurs d'ondes : on parle de spectre d'absorption. L'analyse des spectres d'absorption des pigments montre qu'ils absorbent majoritairement le bleu (400 à 550 nm) et le rouge (625 à 700 nm). Ainsi, seul le vert n'est pas absorbé, ce qui donne sa couleur à la feuille.



Spectre d'action de la lumière et spectre d'absorption des pigments chlorophylliens

En parallèle, on peut étudier un spectre d'action : c'est un graphique qui montre l'important d'un phénomène en fonction des longueurs d'ondes. Le spectre d'action de la photosynthèse montre une très forte efficacité dans le domaine du bleu (400 à 550 nm) et du rouge (625 à 700 nm). La concordance entre l'absorption des radiations et l'efficacité de la photosynthèse permet de dire que les pigments absorbent la lumière, ce qui permet la photosynthèse.



Spectre d'action de la lumière et spectre d'absorption des pigments chlorophylliens

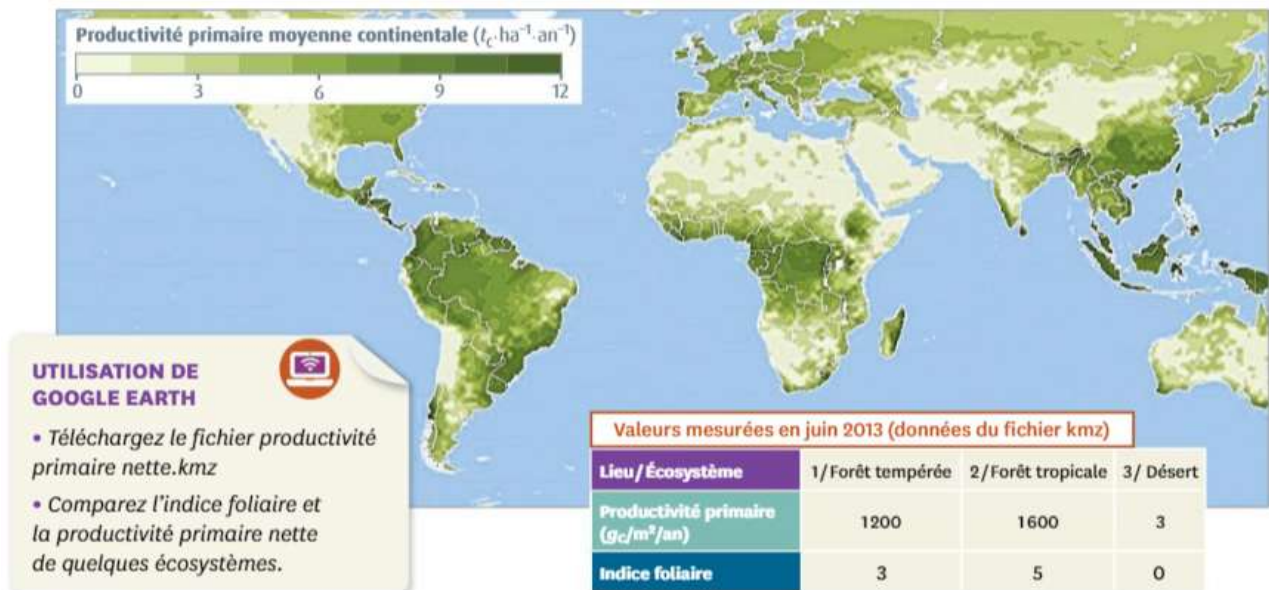
II- L'importance planétaire de la photosynthèse

DM - La photosynthèse à l'échelle planétaire

1. La productivité primaire et la biomasse

La productivité primaire correspond à la quantité de matière organique produite par les êtres vivants grâce à la photosynthèse. Elle se mesure en Gtc/an (Giga Tonne de carbone par an). Les zones de forte productivité primaire sont celles où la photosynthèse est maximale grâce à des paramètres qui facilitent cette réaction : température (25°C), humidité (pas dans les déserts) et lumière.

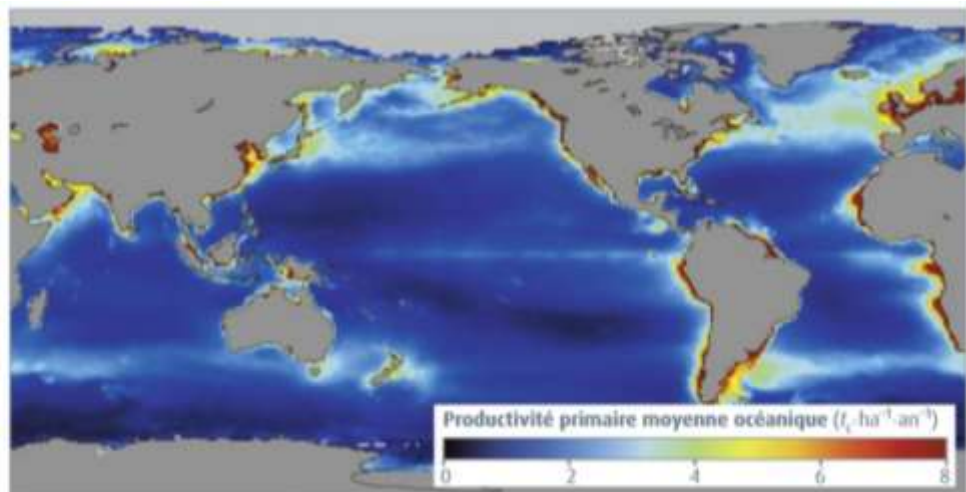
La biomasse correspond à la quantité de matière organique présente dans les êtres vivants d'un niveau trophique (= un étage de la pyramide écologique, ex : 1000 kg de producteurs primaires). L'ensemble de la biomasse des écosystèmes provient directement ou indirectement de la photosynthèse.



DOC 1 Carte de la productivité primaire moyenne continentale. La productivité primaire est la somme des biomasses, en g ou en tonnes de carbone (t_c), fabriquées par les organismes chlorophylliens en un lieu donné pendant un temps donné. Elle vaut en moyenne $53 \cdot 10^9 t_c \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ sur les continents.

DOC 5 Carte de la productivité primaire moyenne océanique.

Elle vaut en moyenne $25 \cdot 10^9 t_c/ha/an$ sur les océans et elle est principalement due au phytoplancton. Dans les zones d'upwelling, les eaux profondes chargées en sels minéraux remontent vers la surface. À leur embouchure, les fleuves apportent à l'océan des sels minéraux qu'ils ont transportés durant leur trajet continental.



- **Remarque :** la productivité primaire des océans est importante sur les côtes car il existe une zone peu profonde (max 200m) appelée plateau continental. Les apports continentaux sont également nutritifs pour la vie marine.
- **Remarque :** A l'échelle du globe, la photosynthèse capte près de 0,1% de la puissance solaire. C'est une quantité d'énergie très importante qui représente 134 GTep/an (tonne équivalent pétrole) soit 7 fois la consommation d'énergie totale des humains (environ 20 GTep/an).

2- Les chaînes alimentaires et le rendement

Les chaînes alimentaires correspondent à l'ensemble des interactions trophiques (= alimentaires) entre les êtres vivants. Dans tous les écosystèmes, les êtres vivants s'organisent selon une pyramide écologique qui présente 4 niveaux trophiques (alimentaires) :

- les producteurs primaires (PI) : plantes vertes capables de produire la matière organique grâce à la photosynthèse.
- Les consommateurs primaires (CI : herbivores) qui consomment la matière organique produite par les végétaux.
- Les consommateurs secondaires sont les carnivores qui consomment les herbivores.
- les décomposeurs (lombrics, bactéries) qui dégradent la matière organique pour la transformer en matière minérale.

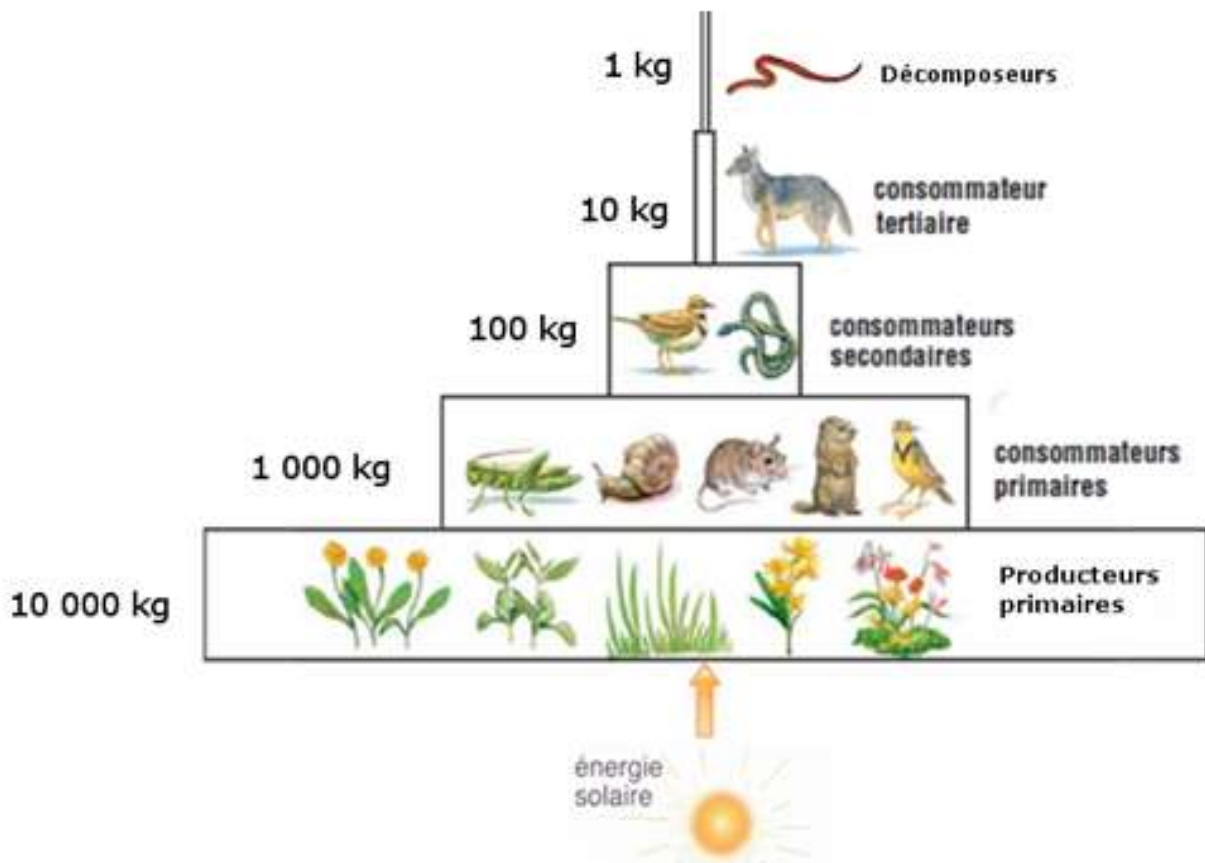


Schéma de l'importance de la photosynthèse dans la pyramide écologique

Le rendement correspond au pourcentage de matière organique qui passe d'un niveau trophique au niveau trophique supérieur (100 kg d'herbivores pour 1000 kg de producteurs primaires. Le rendement est de l'ordre de 10%. En effet, la majeure partie (90%) de la matière organique consommée par les êtres vivants est utilisée pour produire de l'énergie (respiration cellulaire). Cette énergie permet le fonctionnement des organismes (production de chaleur, contraction musculaire, réalisation des réactions du métabolisme ...).

Remarque : On parle parfois de « règle du 10 », ce qui permet de comprendre qu'une alimentation humaine riche en viande impose une pression importante sur la photosynthèse. En effet, un végétarien de 70 kg a besoin de 700 kg de végétaux alors qu'un humain qui ne mangerait que de la viande aurait besoin de 700 kg de viande (soit 7000 kg de végétaux). C'est pourquoi, certaines personnes proposent de réduire notre consommation de viande afin de limiter notre pression sur la photosynthèse (la consommation d'eau et de combustibles fossiles serait également réduite par une telle stratégie).

Remarque : il convient également de lutter contre le gaspillage (qui est plus important sur les produits carnés avec un plus fort risque sanitaire).

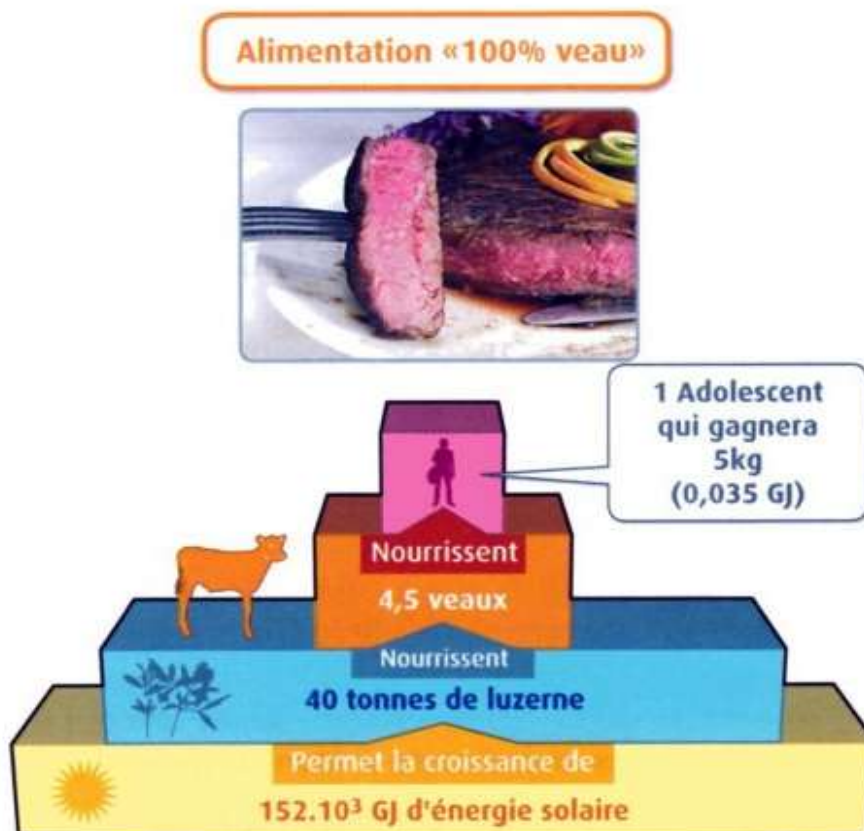
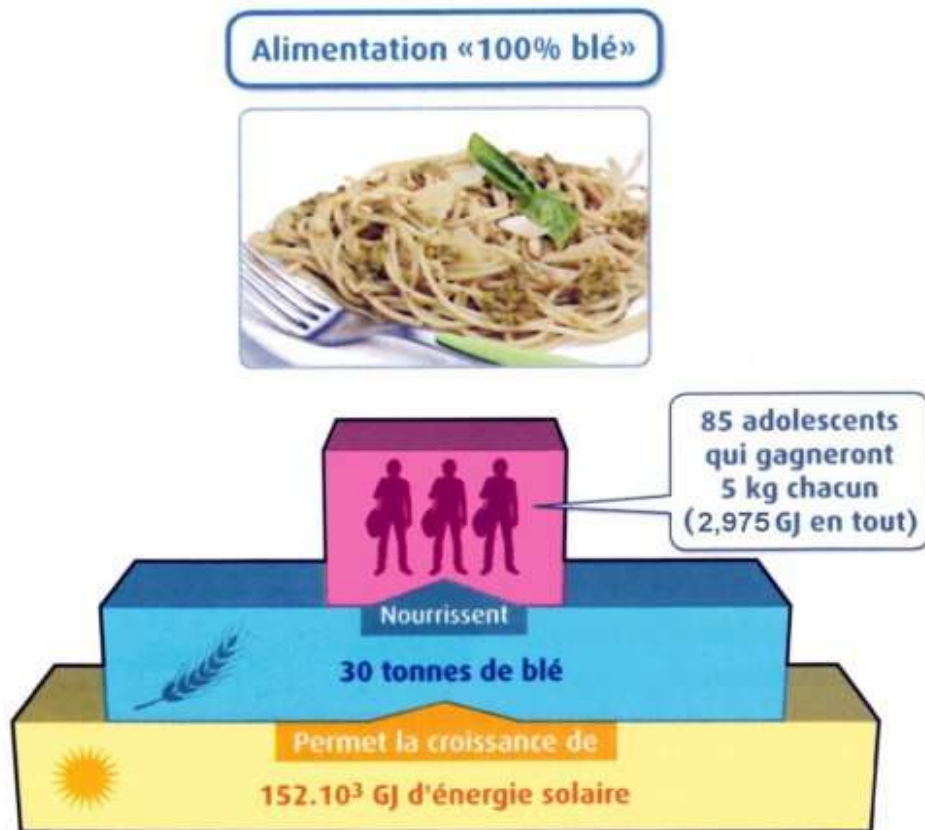


Schéma de pyramides trophiques comparant l'impact d'une alimentation purement végétale ou purement animale chez l'Homme

III- La photosynthèse et l'équilibre alimentaire

Activité 2 - Marathon Challenge

1. Les réserves et l'alimentation humaine

La photosynthèse produit majoritairement du glucose (voir équation Partie I) mais les plantes peuvent le transformer en une grande diversité de molécules, comme des glucides simples (saccharose), des glucides complexes (amidon), des lipides ou des protéines. Ces molécules sont mises en réserve par les plantes dans les fruits, graines et les tubercules.

Chaque organe de réserve est catégorisé en 3 grands groupes selon la molécule de réserve principale :

- Fruits/graines amylacées ; ex maïs, blé, banane, pomme de terre (tubercule)
- Fruits/graines protéagineuses ; ex : lentilles, petit pois, lupin...
- Fruits et graines oléagineuses ; ex : noix, tournesol, colza, arachide...

Grain de maïs (ou de blé)

Graine de tournesol (ou de colza)

Graine de lupin (ou de pois)

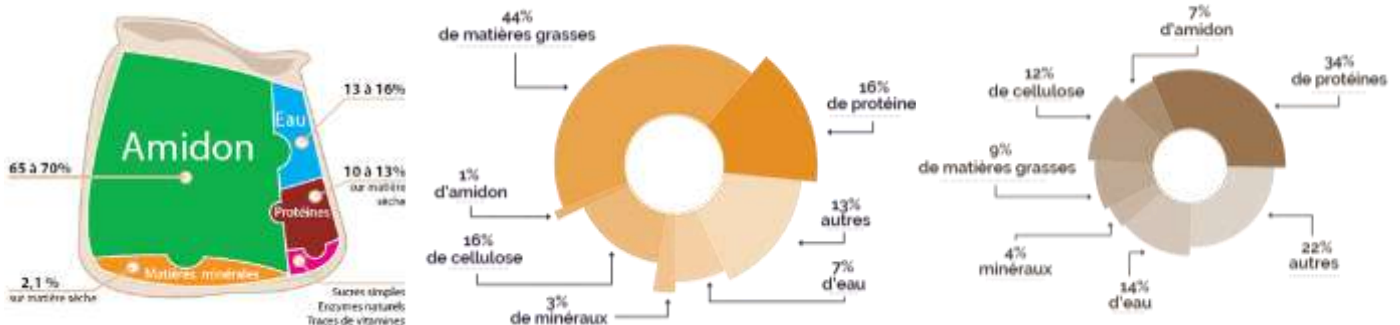
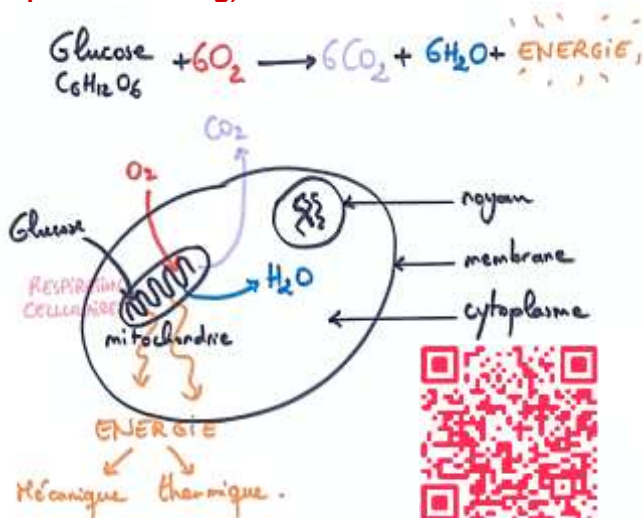


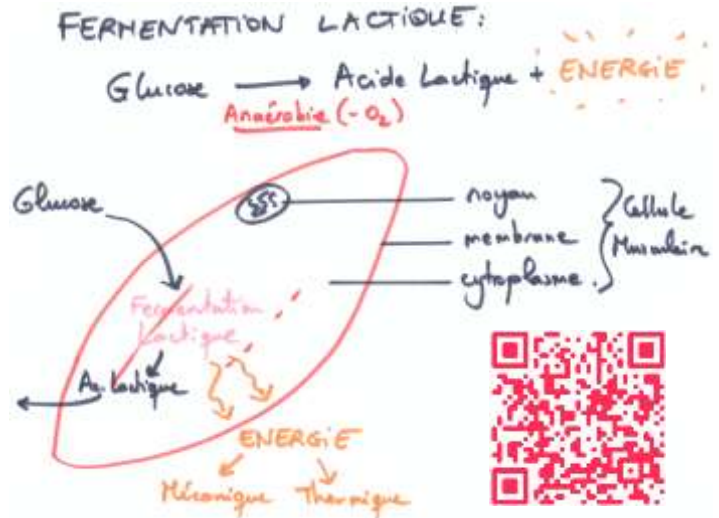
Schéma montrant les pourcentages des différentes molécules stockées dans 3 graines/fruits

2- Les apports nutritifs et l'équilibre alimentaire (en quantité)

L'alimentation humaine se base sur l'ingestion des aliments qui apporte des molécules complexes qui sont transformées en nutriments par la digestion. Les nutriments sont des molécules de petite taille absorbées par l'intestin et permettant le fonctionnement des cellules. Ex : glucides, lipides, protides. Les nutriments sont transportés par le sang et utilisés pour renouveler les constituants (protéines et muscles), pour apporter de l'énergie (respiration cellulaire et fermentation lactique) et permettre le stockage de réserve (lipides, glycogène du foie). Chaque type de nutriment a une valeur énergétique spécifique (ex : glucose : 17 kJ/g, lipides : 37 kJ/g).



Equation bilan et schéma simplifié de la réaction de la respiration cellulaire

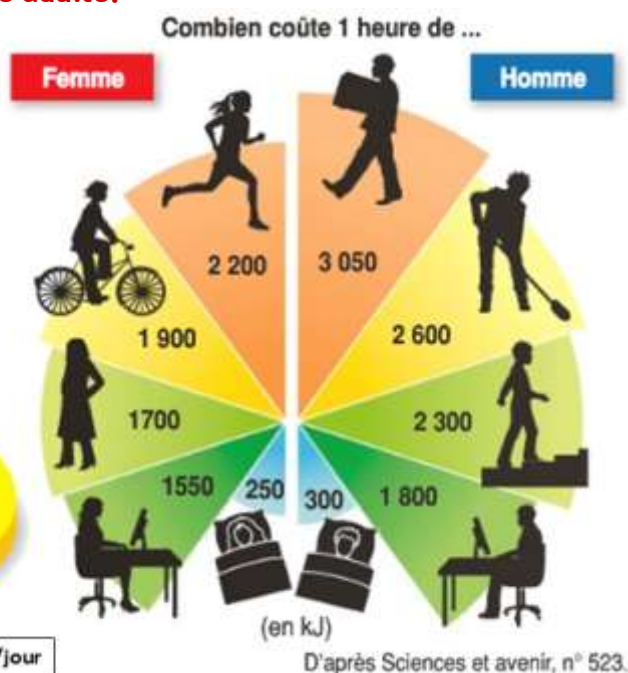
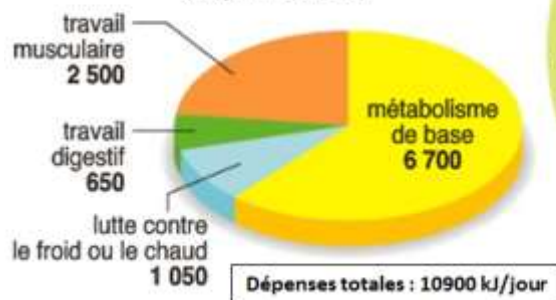


Equation bilan et schéma simplifié de la réaction de la fermentation lactique

Pour déterminer quelle quantité d'aliments est nécessaire à un individu, on définit le métabolisme de base qui correspond aux dépenses énergétiques incompressibles (vitales). Il est de l'ordre de 6800 kJ/jour pour un adulte. La dépense énergétique totale dépendra des activités de l'individu (sport, port de charges lourdes, monter les escaliers...). Les dépenses totales sont de l'ordre de 10 700 kJ/jour pour un homme adulte.

- L'énergie produite permet de maintenir les **fonctions vitales** (cœur, poumon, maintien de la température corporelle) : on parle de **métabolisme de base (MB)**.
- Le **métabolisme de base** est de l'ordre de 6700 kJ (kiloJoules) soit 1600 kcal (kilocalories).
- Le métabolisme de base dépend de la taille et corpulence, de l'âge, du sexe, de l'entraînement physique.

Les besoins énergétiques d'une journée
(moyennes en kJ)



Graphiques montrant le bilan énergétique moyen chez un individu adulte

Remarque : l'apport énergétique des aliments peut également être déterminé en calories. Une calorie correspond à 4,18 Joules. Il est fréquent de voir le terme « calorie » sur des aliments alors que l'unité est en fait des « kilo-calories » (1000 calories).

3- Equilibre alimentaire et qualité nutritionnelle des aliments

Le bilan quantitatif ne suffit pas à avoir une alimentation équilibrée. De nombreux éléments sont apportés en faibles quantités mais sont nécessaires au fonctionnement cellulaire :

- Les vitamines (Vitamine C : vitalité ; Vitamine D : ossification, bronzage...)
- Les acides aminés essentiels (non produits par l'organisme) : phénylalanine, tryptophane...
- Les lipides essentiels : on parle d'oméga 3 ou oméga 6 (lipides insaturés). Ce sont des lipides qui ne peuvent pas être produits par l'humain. Ils sont présents dans les fruits/graines oléagineuses et dans les poissons.
- Les oligo-éléments : Calcium (Ca^{2+}), Magnésium (Mg^{2+}), Sodium (Na^+) qui sont des ions nécessaires à la formation des os mais aussi au fonctionnement des cellules nerveuses.

4- Quelques exemples de déséquilibres alimentaires

Certaines formes d'alimentation peuvent causer des problèmes de santé. C'est le cas d'une alimentation trop riche (glucides/lipides) telle que celle apportée par la restauration rapide (Mc Do, KFC, ...). Ce type d'alimentation augmente le risque d'obésité et de diabète.

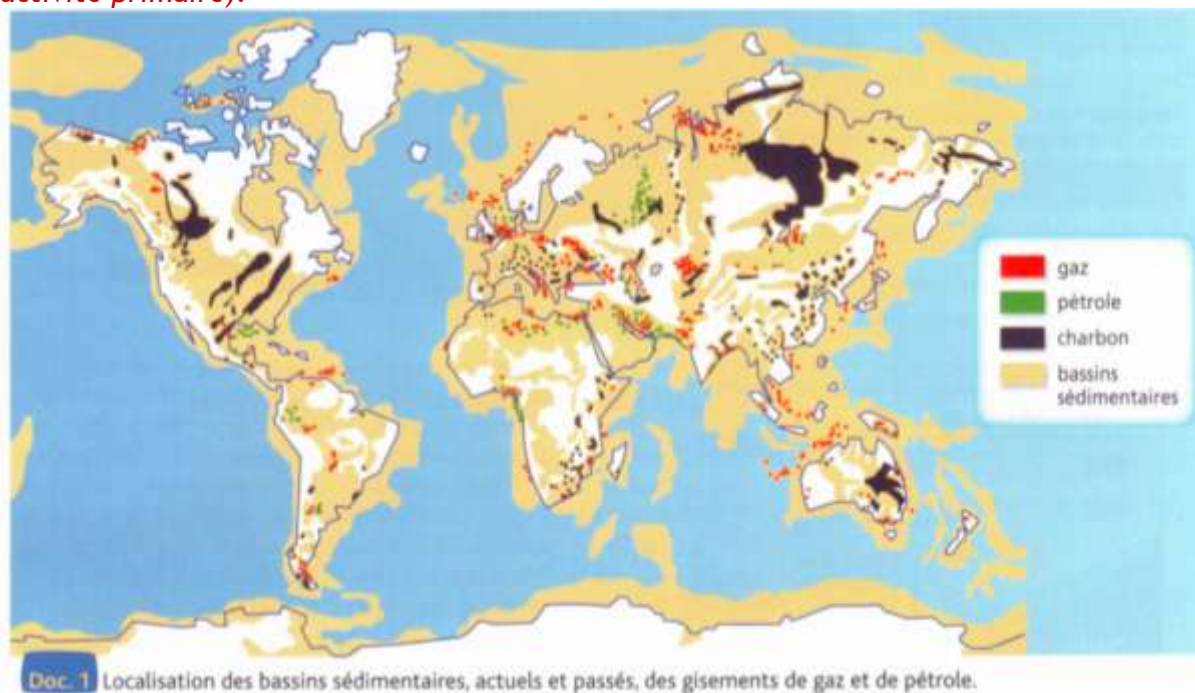
A l'inverse, certains individus ont une alimentation trop pauvre ou lacunaire = carencée. Par exemple, une trop faible consommation de fruits et légumes peut induire une maladie appelée scorbut (carence en vitamine C). En Afrique, on connaît également des maladies causées par une alimentation trop pauvre en protéine. Par exemple, le kwashiorkor est causé par une nutrition à base de manioc qui ne contient pas de protéine.

IV- La photosynthèse et la formation des combustibles fossiles

1- Des gisements inégalement répartis dans le monde

Les **combustibles fossiles** (pétrole, gaz et charbon) sont des roches sédimentaires riches en carbone et hydrogène (hydrocarbures) qui se forment à partir de la dégradation des êtres vivants. Ils se forment par accumulation de matière organique (ressemblance des hydrocarbures et des molécules organiques) donc dans des zones de forte productivité primaire (photosynthèse).

Remarque : la tectonique des plaques déplace les continents qui ont pu être placés à des latitudes plus faibles (ex : Russie qui est très riche en charbon mais présente actuellement une faible productivité primaire).



Carte de la répartition des gisements de combustibles fossiles dans le monde

La répartition des gisements est très inégale (Arabie, l'Égypte, la Lybie, mais aussi l'Amérique du Nord, la Sibérie, la Chine et l'Australie). Malgré tout, les combustibles fossiles sont systématiquement présents dans des **bassins sédimentaires** : ce sont des dépressions (creux) de la croûte continentale qui se remplissent de sédiments (ex : Le bassin parisien, le bassin Aquitain ...).

La **combustion** ($C + O_2 \rightarrow CO_2 + \text{ENERGIE}$) des énergies fossiles produit **beaucoup d'énergie à faible coût**. Pourtant, l'exploitation des gisements est souvent polluante (marées noires ...) et contribue à **restituer le CO_2** qui avait été fixé par la photosynthèse réalisée il y a des millions d'années. Ceci implique un réchauffement climatique (d'origine humaine = anthropique).

2- La formation des combustibles fossiles

La formation des combustibles fossiles est très lente (plusieurs millions d'années) et se forme en 4 étapes principales :

- Accumulation de matière organique (MO) dans le bassin sédimentaire par dépôt de cadavres d'êtres vivants
- Enfouissement rapide sous les sédiments (éboulement, coulée de boue).
- Enfoncement lent des sédiments (et MO) par un phénomène de subsidence
- Transformation de la matière organique en matière minérale (Cuisson) par augmentation de température et de pression (entre 1000 et 4000m), qui permet d'éliminer l'oxygène et de couper les molécules.

Remarque : seule une petite partie (environ 1%) de la matière organique des êtres vivants produite par la photosynthèse peut échapper à la décomposition (action des décomposeurs qui transforme la MO en CO_2) et se transformer en pétrole.

3- La formation des gisements et la prospection pétrolière

Les combustibles sont produits sous forme de gouttelettes au sein de la roche mère, soit ils restent en place (charbon), soit ils sont piégés dans des roches poreuses (roche réservoir), recouvertes de roches imperméables (roche couverture) ce qui permet de former un gisement.

La prospection pétrolière se base sur la sismique réflexion, une technique qui utilise des ondes sismiques artificielles (camions sismiques, explosions). Les ondes sismiques sont réfléchies par les structures du sous-sol, ce qui permet de déterminer la structure du sous-sol. Les gisements sont généralement présents au niveau de bombements du sous-sol (piège à pétrole).

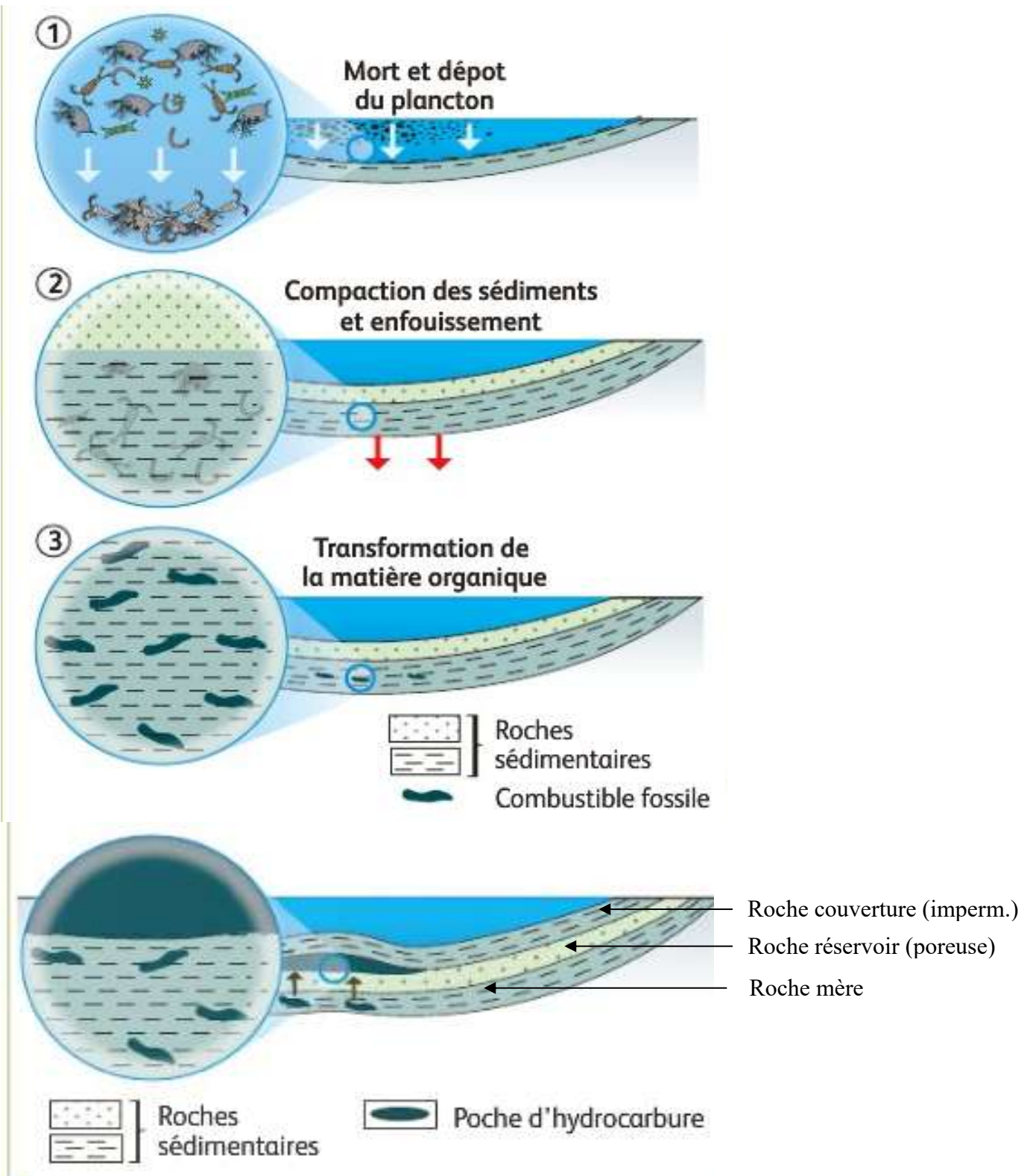
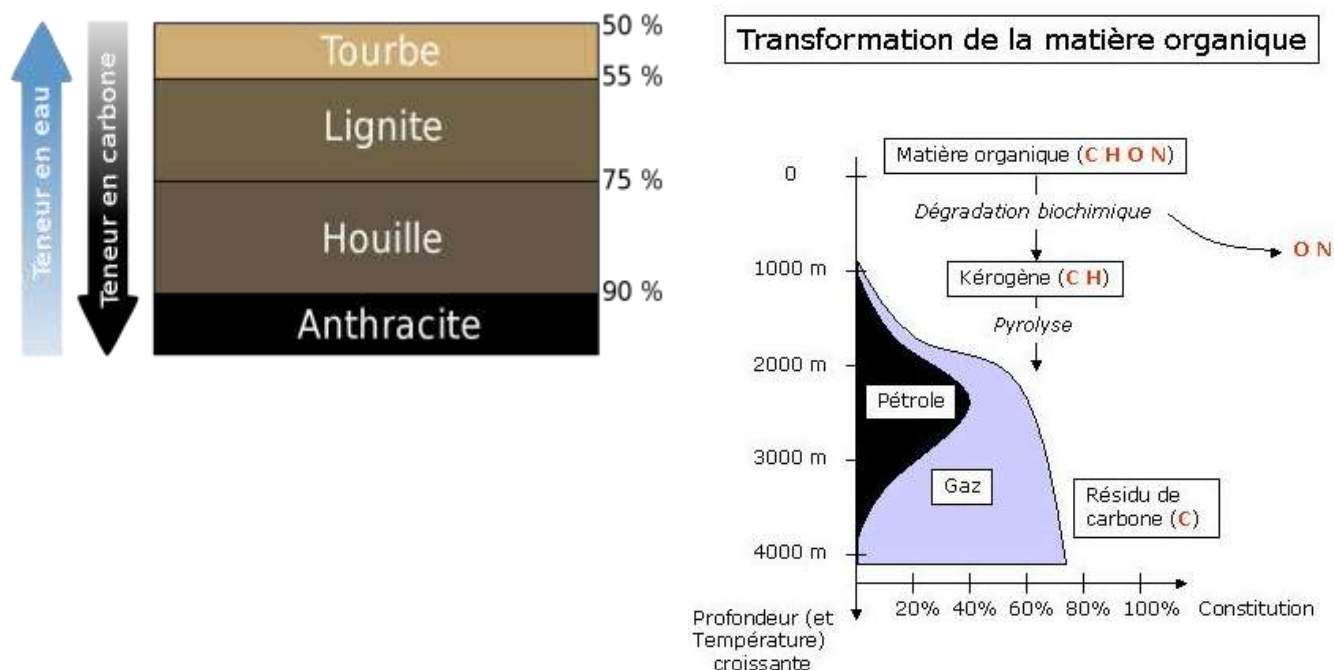


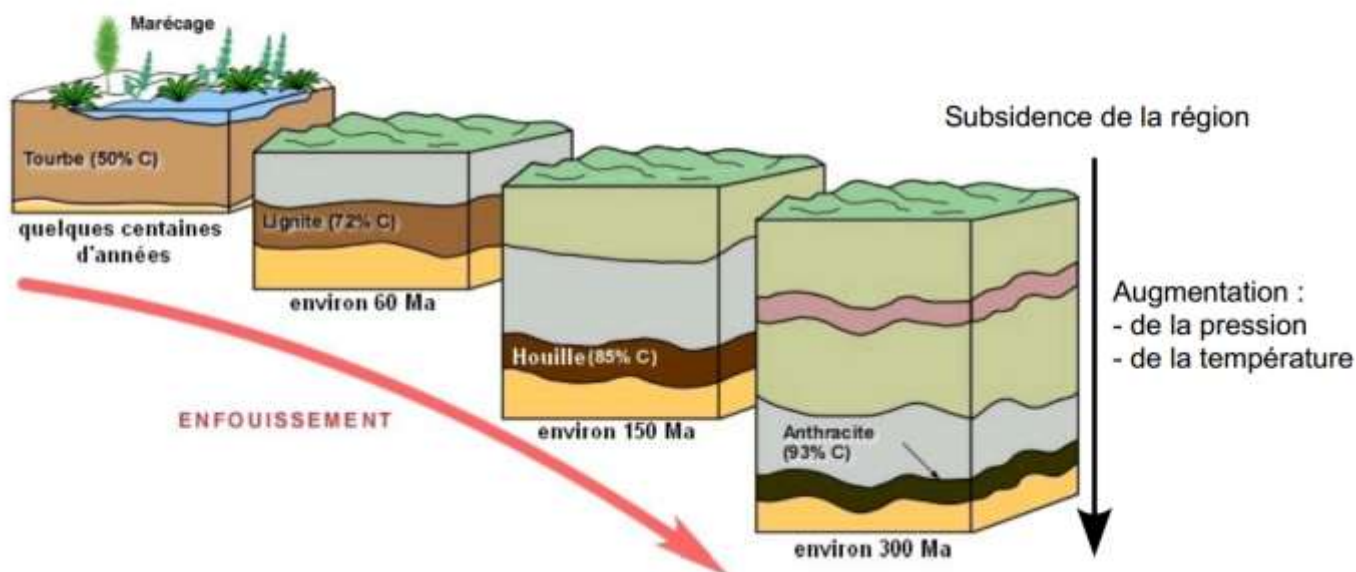
Schéma simplifié des étapes de la formation d'un gisement de pétrole

ANNEXE : Le charbon et sa formation

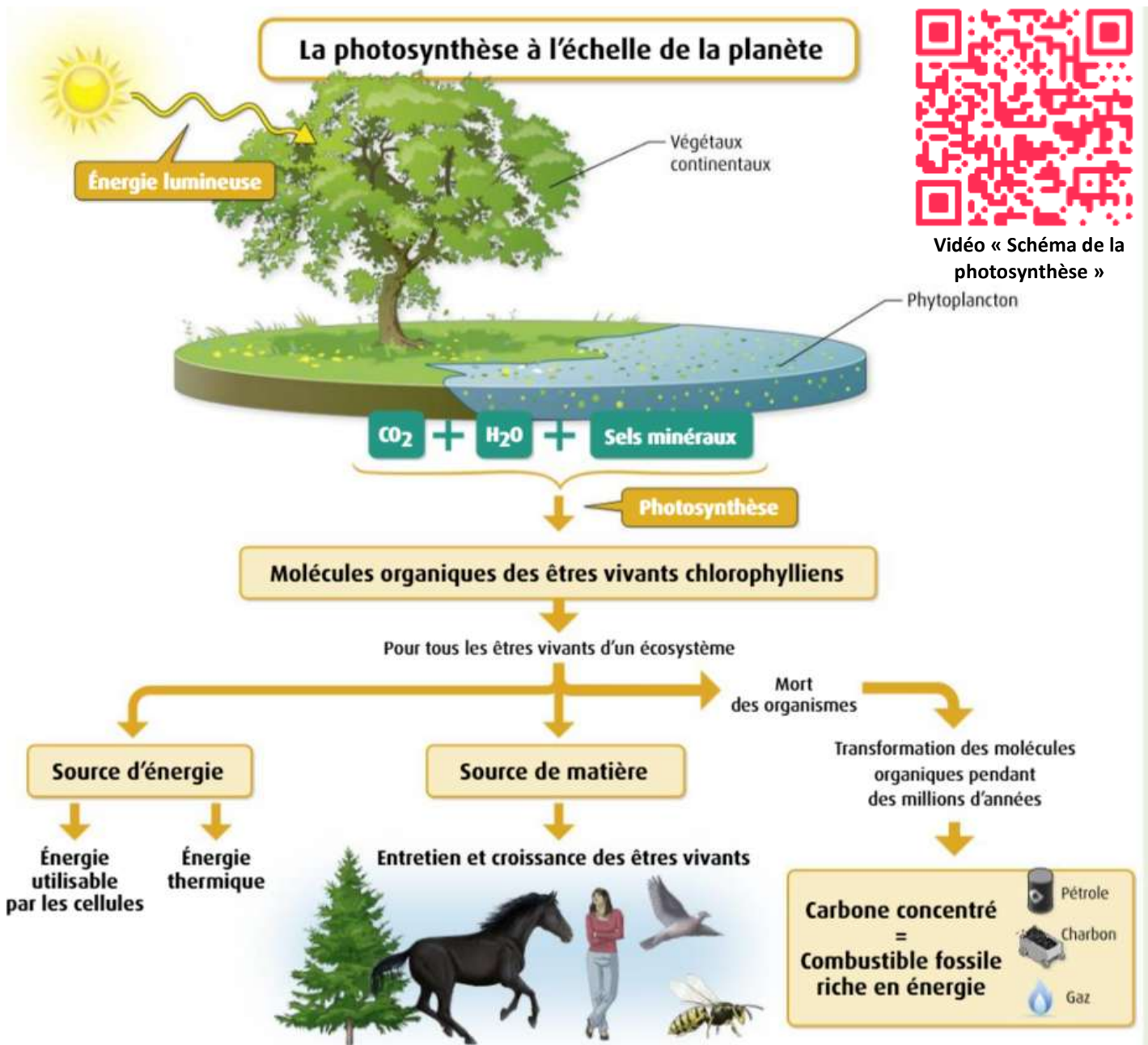
Le charbon est une variété particulière de kérogène formée à partir de matière organique de végétaux supérieurs (arbres, fougères...). Sa pyrolyse va conduire à des composés de plus en plus riches en carbone (le bois est constitué d'environ 50% de carbone) : la tourbe (50 à 55%), le lignite (55 à 75%), la houille (75 à 90%) et l'anthracite (> 95%) qui est le charbon proprement dit (voir la figure suivante). Comme pour les autres kérogènes, la pyrolyse du charbon génère du pétrole et du gaz naturel. C'est ce dernier qui est responsable du « coup de grisou » dans les mines de charbon.



Progressivement, avec l'empilement et l'enfouissement sous les sédiments, sous l'effet de la pression et de la température, les éléments volatiles du kérogène (oxygène, hydrogène et azote) sont libérés et le carbone se concentre. A la phase de formation où le dépôt contient 50% de carbone, on a la tourbe. Avec la poursuite de l'enfouissement, le dépôt se tasse, les volatiles s'échappent et le carbone se concentre de plus en plus. A 72% de carbone, on a la lignite, à 85% la houille, puis à 93% l'anthracite, le charbon proprement dit.



La photosynthèse à l'échelle de la planète



Vidéo « Schéma de la photosynthèse »

La photosynthèse à l'échelle de la feuille

