

# Chapitre II - Le défi énergétique : Les combustibles fossiles (charbon et pétrole)

**Problématique :** Comment approvisionner 9 milliards d'humains en énergie ?

- Que sont les combustibles fossiles et comment se forment-ils
- Quels sont les avantages et inconvénients de l'utilisation des énergies fossiles ?

**DM :** La formation et prospection du pétrole

## I- Nature des combustibles fossiles

### 1- Des composants très riches en carbone.

**Doc 1 :** Composition chimique du pétrole

Symbole de l'élément	Nom de l'élément	Pétrole	Algues
C	carbone	82 à 86,5 %	11,34%
H	hydrogène	10 à 13,6 %	8,75%
O	oxygène	0,01 à 3,50 %	77,90%
N	Azote	0,03 à 1,2 %	0,83%
P	Phosphore	0,02 à 1,0 %	0,71%
S	soufre	0,05 à 5,5 %	0,10%

Les **combustibles fossiles** sont représentés par le charbon, le gaz et le pétrole (et les bitumes). Ce sont des roches sédimentaires très riches en carbone (80%) et riche en hydrogène (> 10%), c'est pourquoi on parle d'hydrocarbures.

*NB1 : Ce terme ne convient pas au charbon qui est composé très majoritairement de C : l'antracite contient 92 à 95% de carbone).*

*NB2 : Cette richesse en carbone est à l'origine de leur capacité énergétique : lors de leur combustion,  $C + O_2 \rightarrow CO_2$  et une grande quantité d'énergie (chaleur pouvant être transformée en électricité).*

### 2- Des composants issus de la matière organique

**Doc 2 :** Les molécules carbonées présentes dans le pétrole

La présence de restes organiques (fossiles ou molécules proches des molécules organiques) dans les combustibles fossiles montre qu'ils sont issus de la biomasse. Les combustibles fossiles sont donc formés à partir d'êtres vivants.

En effet, les charbons sont produits principalement à partir de l'accumulation de **végétaux** des forêts (notamment lors du Carbonifère il y a 345 Ma). Le pétrole est produit à partir du **plancton** marin ou lacustre (êtres vivants de petite taille flottant dans l'eau de mer ou les lacs).

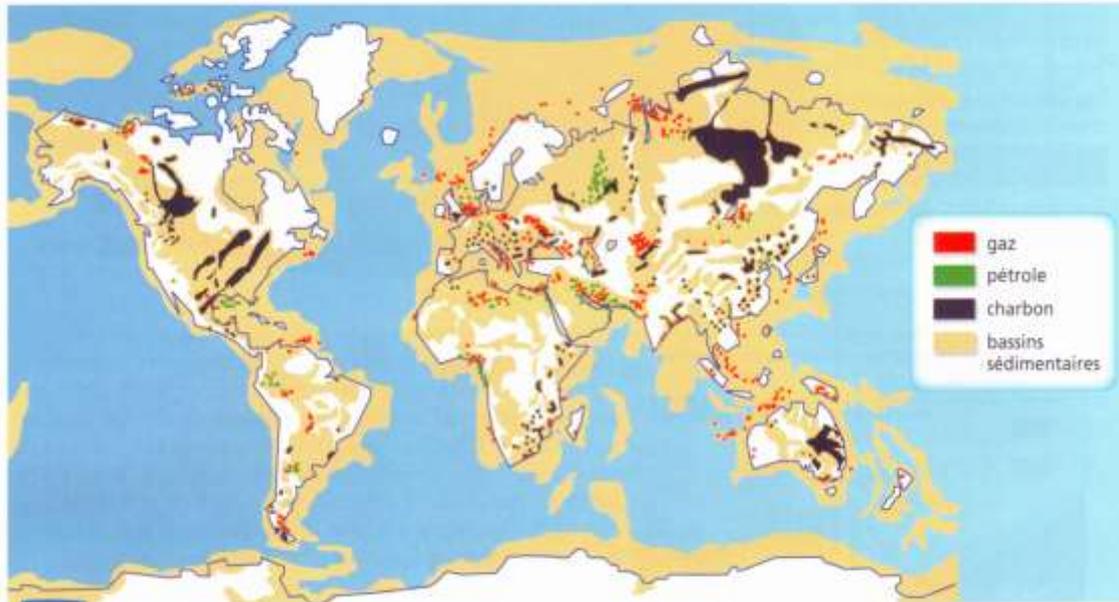
**Conclusion :** Les combustibles fossiles sont donc des roches sédimentaires à fort pouvoir énergétique issus de la biomasse. La **biomasse** est la quantité totale de matière organique produite par l'ensemble des êtres vivants d'un écosystème. La biomasse est formée par la photosynthèse. L'importance de la photosynthèse est quantifiée par la **productivité primaire** : c'est la quantité de matière organique formée au cours du temps par la photosynthèse.

## II- La formation des combustibles fossiles

### 1. Des gisements inégalement répartis dans le monde

#### Doc 3 : des gisements inégalement répartis dans le monde

L'étude des grandes structures géologiques permet de repérer des zones susceptibles de contenir des combustibles fossiles.



Doc. 1 Localisation des bassins sédimentaires, actuels et passés, des gisements de gaz et de pétrole.

La répartition des gisements est très inégale avec des gisements très nombreux (et importants) dans les pays tels que l'Arabie, l'Égypte, la Lybie (pour le pétrole) mais aussi l'Amérique du Nord, la Sibérie, la Chine et l'Australie (pour le charbon). Malgré tout, les combustibles fossiles sont systématiquement présents dans des bassins sédimentaires. Les bassins sédimentaires sont des dépressions (creux) de la croûte continentale qui se remplissent de sédiments (ex : Le bassin parisien, en Seine et Marne : Raffinerie de Grandpuits ...), le bassin Aquitain (ELF Aquitaine)).

### 2. La formation du pétrole

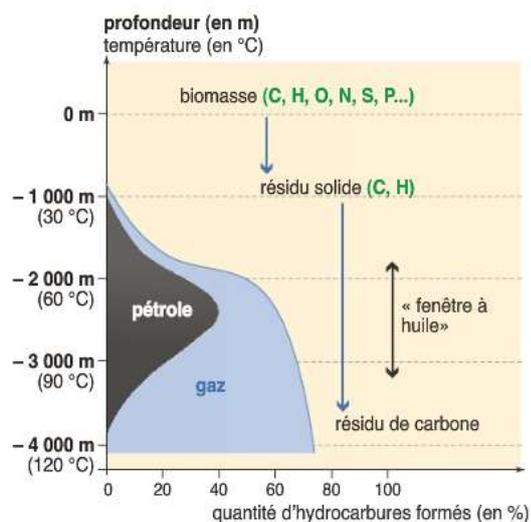
#### Doc 4 : la formation du pétrole

#### A De la matière organique aux gisements de roches carbonées

- Deux conditions préalables sont nécessaires à la formation d'une roche carbonée : la conservation d'une importante biomasse et son enfouissement.

Moins de 1 % de la matière organique produite échappe à la décomposition et au recyclage. Cela se déroule lorsqu'une biomasse est ensevelie rapidement sous de fortes quantités de sédiments. La matière organique se retrouve dans des conditions anoxiques (sans oxygène) et elle est de ce fait soustraite à l'action des décomposeurs.

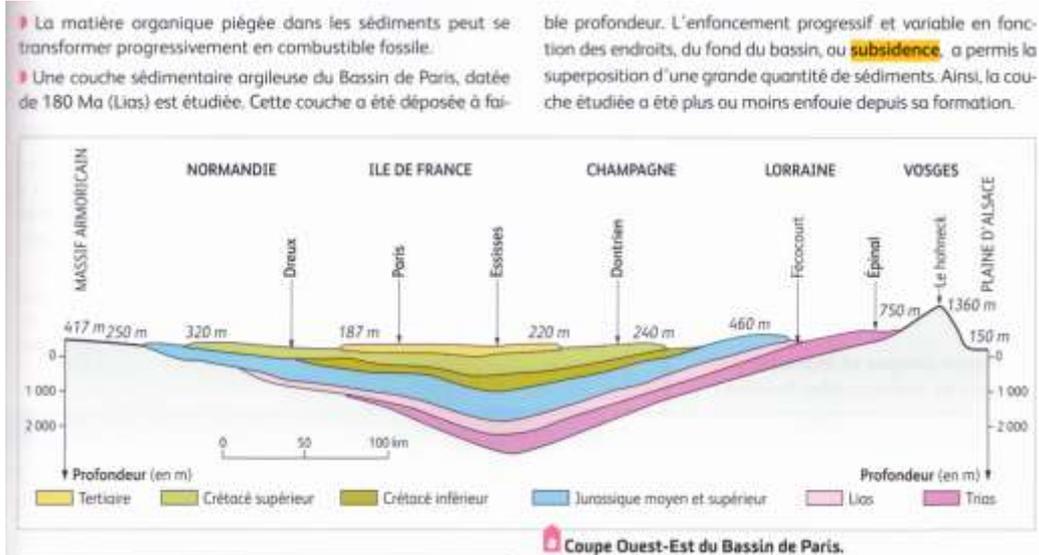
- Si l'enfouissement se poursuit, grâce à des phénomènes tectoniques, la matière organique mal dégradée est amenée en profondeur. Elle subit alors un réchauffement qui entraîne sa simplification moléculaire par cuisson (perte d'oxygène puis d'hydrogène). En fonction de la profondeur de l'enfouissement et de la composition initiale de la matière organique, la cuisson peut conduire à du charbon, de l'huile (pétrole) ou du gaz. On appellera roche mère, la roche contenant initialement de l'huile ou du gaz.



Doc. 1 Une lente transformation de la matière organique liée à l'enfouissement.

La formation du pétrole nécessite les étapes suivantes :

- L'accumulation de matière organique est réalisée au niveau des bassins sédimentaires à forte productivité primaire.
- L'enfouissement de la matière organique permet d'échapper à la décomposition (lombric, champignons ...) et évite que la matière organique disparaisse. Ceci est possible lors de l'enfouissement rapide (coulées de boues, ensevelissement ...).
- L'enfoncement de la matière organique est réalisé par subsidence. En effet, le poids des sédiments contribue à l'enfoncement du bassin sédimentaire.
- La transformation de la matière organique : A des profondeurs comprises entre 1000 et 4000m, la matière organique perd son oxygène et son hydrogène (cuisson) et se transforme en pétrole, en gaz ou en huile. Ces conditions sont assez rares et on estime à 1% la quantité d'hydrocarbures finalement piégés.

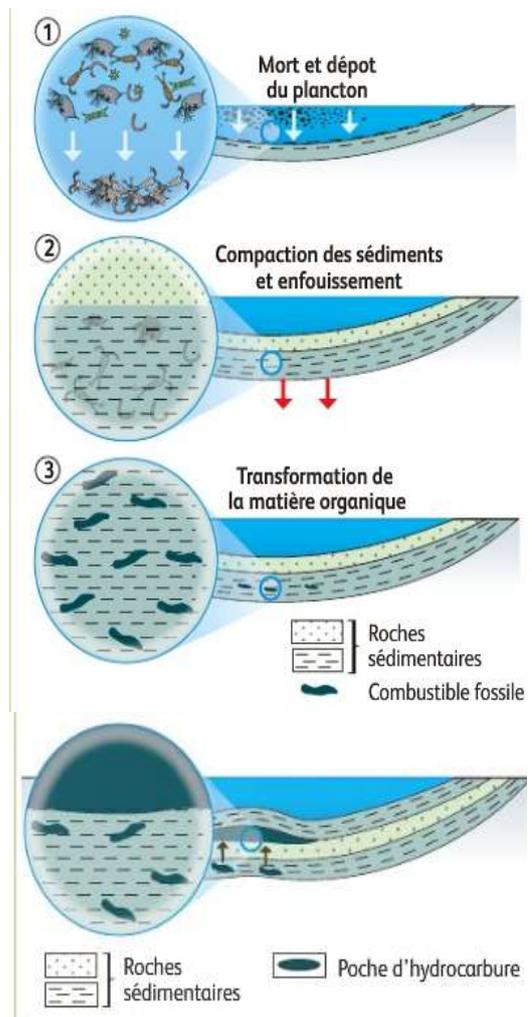


### 3. Le piégeage du pétrole

Le pétrole est d'abord formé de petites gouttelettes qui sont très « légères » et qui vont remonter vers la surface en s'infiltrant à travers les roches. Pour former un gisement, ces combustibles doivent être piégés dans une roche réservoir poreuse recouverte par une couche imperméable (argile).

La connaissance de ces mécanismes permet de découvrir les gisements et de les exploiter par des méthodes adaptées.

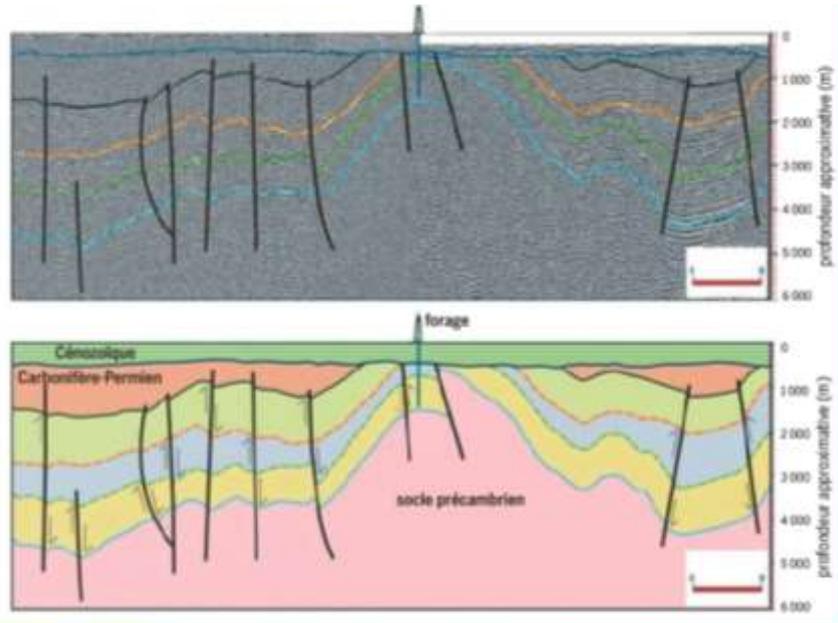
Doc 5 : Les étapes de la formation du pétrole



### III- La prospection du pétrole

Grâce à des explosions réalisées en surface, on peut réaliser une sorte d'échographie du sous-sol en analysant les ondes renvoyées en surface par les différents changements de composition des matériaux du sous-sol. On peut ainsi modéliser la structure de la croûte en profondeur et y déceler d'éventuels pièges à pétrole. Quand un tel piège est repéré, des forages doivent être réalisés pour vérifier le caractère exploitable et rentable du gisement.

Les dessins ci-contre correspondent à une prospection pétrolière dans le sud-est de l'Australie.



**Doc. 3** La prospection par sismique-réflexion et la vérification d'une hypothèse.

#### 1. Identifier la structure du sous-sol : la sismique réflexion

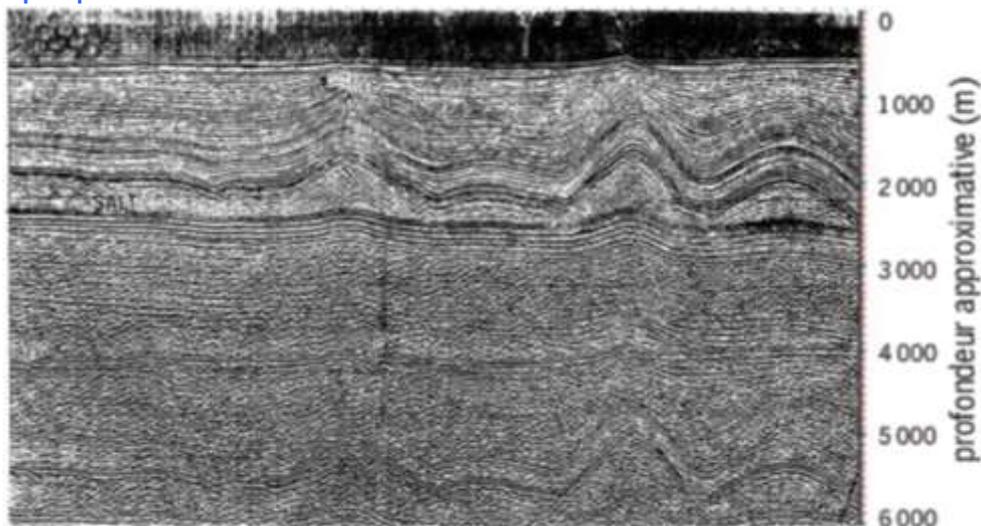
La prospection pétrolière est notamment basée sur la technique de sismique réflexion. Des explosions sont réalisées en surface pour produire des ondes qui traversent les roches. Certaines sont réfléchies lorsqu'elles entrent en contact avec des surfaces (contacts entre différentes couches de roches). Grâce à des capteurs, on peut réaliser un graphique montrant les différentes interfaces.

#### 2. Trouver des pièges à pétrole et réaliser un forage

Lors de la prospection, on recherche des zones « pièges » avant de réaliser d'autres études puis un forage. Ces pièges correspondent à des dômes de roches poreuse (ici du sel « Salt ») surmontée de roches imperméables (roches de type argile présentes au-dessus).

Les forages présentent toutefois des inconvénients : ils sont coûteux (0,5 à 15 MEuros), ils peuvent engendrer des pollutions et parfois dégrader les paysages ou les écosystèmes (artificialisation).

Doc 6 : La prospection



Pour aller plus loin :

<http://www.planete-energies.com/>

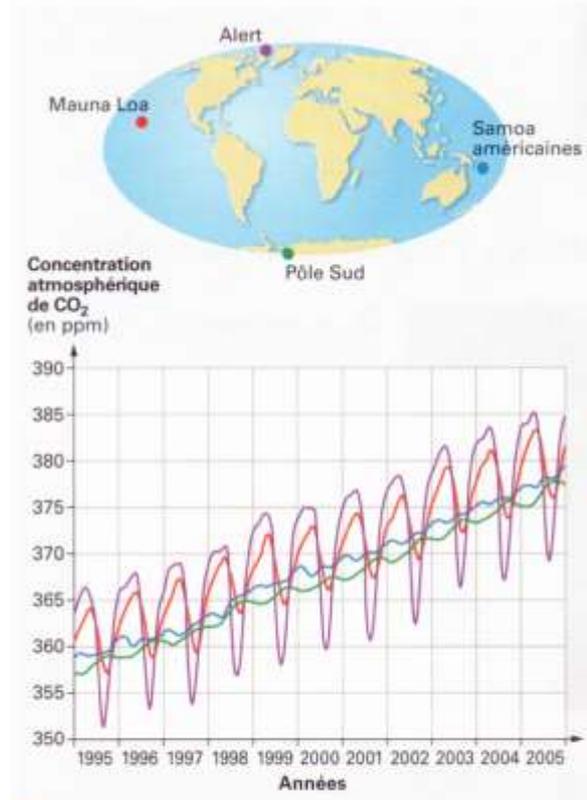
<http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/layout/set/print/content/view/full/174>

# IV- L'utilisation des énergies fossiles et leurs conséquences

## DM le cycle du carbone

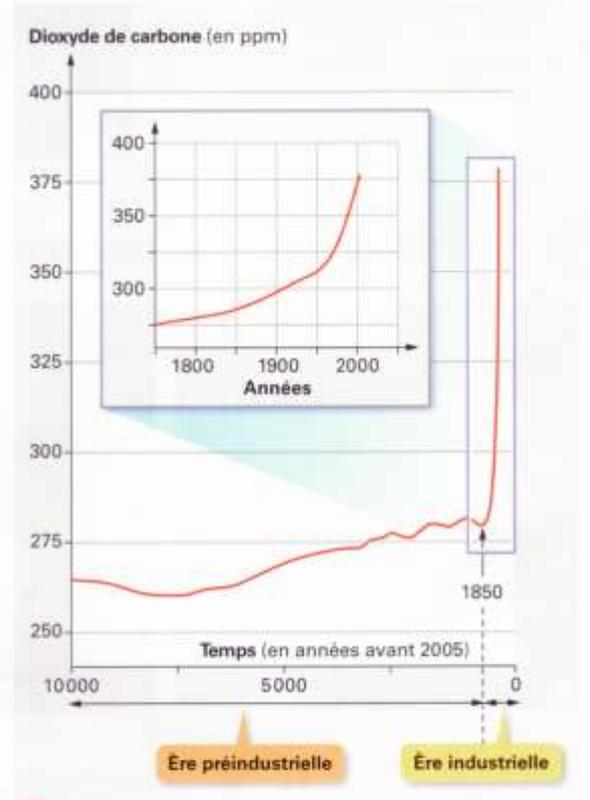
### 1. L'évolution du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique récent

Charles Keeling a commencé à réaliser des mesures mensuelles précises de la concentration de dioxyde de carbone en 1958 au moyen de ballons-sonde. Il fut le premier à le faire systématiquement et ainsi de ses données ont fini par être connues sous le nom "La courbe de Keeling". Les mesures ont ensuite été effectuées à l'observatoire astronomique de Mauna Loa qui est au sommet d'un volcan éteint d'Hawaï (Océan Pacifique). Mauna Loa a été choisi parce qu'il est loin des principales sources ou de puits de dioxyde de carbone (pollutions). **Source :** <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>



#### 1 Cycle saisonnier du dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

Concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub>, en ppm (partie par million, par exemple 280 ppm = 0,028 % dans l'atmosphère), mesurées entre 1995 et 2006 pour quatre stations.



#### 2 Évolution de la concentration en dioxyde de carbone (données issues de l'analyse des bulles de gaz enfermées dans les carottes de glace) et de mesures directes récentes.

- Décrire le document 1 afin de montrer quelles sont les variations de la teneur en CO<sub>2</sub> depuis 1995. Proposer une hypothèse permettant d'expliquer cette variation cyclique obtenue à Mauna Loa et à Alert.
- Décrire le document 2 afin de déterminer les variations du taux de CO<sub>2</sub> depuis -10 000 ans. Proposez une hypothèse explicative.

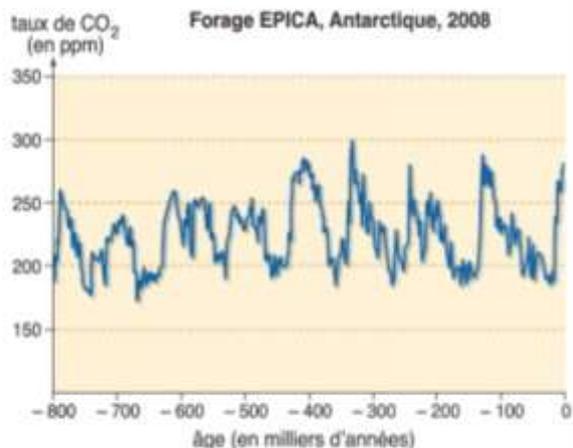
Le taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique varie de façon annuelle. Il diminue lorsque l'hémisphère nord est en été. En effet, la surface des continents est plus grande en hémisphère nord. Lors de l'été, les végétaux sont donc présents en plus grande quantité : la photosynthèse est plus forte (consommation accrue de CO<sub>2</sub>) et le taux de CO<sub>2</sub> diminue.

On remarque également que le taux de CO<sub>2</sub> augmente continuellement depuis les années 1960. Son augmentation est très nette depuis l'ère industrielle (1850).

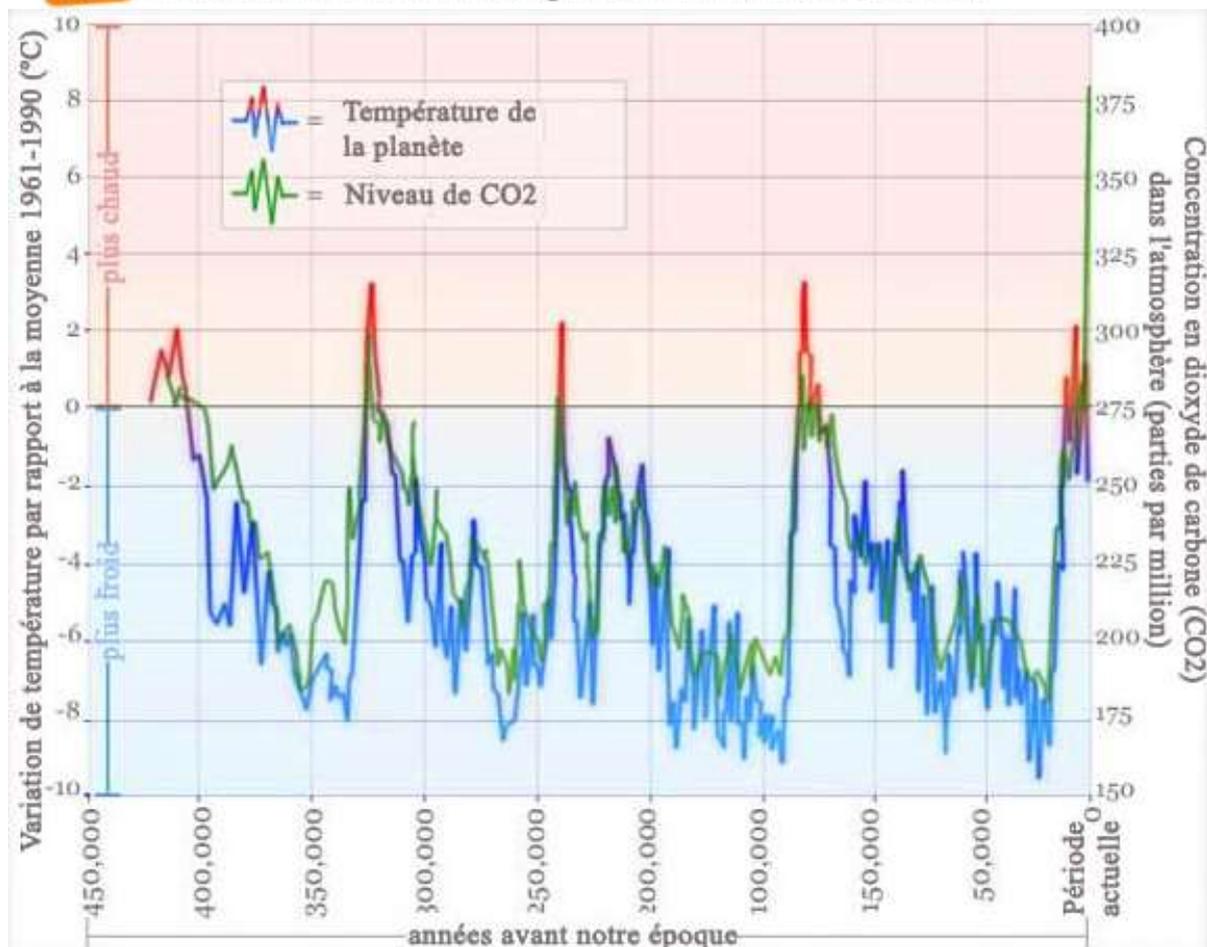
NB : une légère inflexion est visible sur certains graphiques vers le début des années 1990 (éruption du Pinatubo en 1991).

## 2. L'évolution du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique ancien

En forant dans la calotte glaciaire, on peut retrouver des glaces âgées de plus de 500 000 ans. Dans les bulles d'air emprisonnées entre les cristaux de neige lors de leur transformation en glace, les scientifiques mesurent le taux de CO<sub>2</sub> des atmosphères passées.



**Doc. 2** Une variation naturelle du taux de CO<sub>2</sub> inscrite dans les archives géologiques.



On remarque également que le taux de CO<sub>2</sub> suit des cycles d'une durée d'environ 100 000 ans. Ces cycles sont appelés cycle glaciaires. Les périodes froides sont les périodes glaciaires (faible taux de CO<sub>2</sub>) et les périodes chaudes sont appelées périodes interglaciaires (comme actuellement).

Néanmoins, depuis 450 000 ans, aucune période interglaciaire n'a connu un taux de CO<sub>2</sub> aussi élevé.

### 3. Le cycle du carbone

#### a- Les réservoirs de carbone

Le carbone (C) de la Terre est réparti entre 4 enveloppes principales :

- **La biosphère** : c'est l'ensemble des animaux, des végétaux, bactéries et champignons. Le carbone y est présent sous la forme de matière organique (glucose). Ce carbone est dit « réduit » car il est associé à de l'hydrogène et de l'oxygène ( $C_3H_{12}O_6$ ). La biosphère stocke environ 610 milliards de tonnes (Gigatonnes) de carbone.

- **L'atmosphère** : Le carbone de l'atmosphère est dit oxydé et correspond à la matière minérale. Il s'agit principalement du  $CO_2$  (dioxyde de carbone) et du  $CH_4$  (méthane). L'atmosphère stocke environ 770 milliards de tonnes (Gigatonnes : Gt) de carbone.

- **L'hydrosphère** : L'hydrosphère correspond à toute l'eau de la Terre : océan, mers, lacs, fleuves ... C'est un important réservoir de carbone : elle stocke environ 39 000 Gt de carbone. Le carbone est présent dans l'eau sous la forme d'ions carbonates ( $CO_3^-$ ) et d'ions bicarbonates ( $CO_3^{2-}$ ), associé avec des ions tels que le calcium, le magnésium ...

- **La lithosphère et le manteau** : ce sont des enveloppes internes de la Terre. La lithosphère correspond aux 100 premiers kilomètres de profondeur alors que le manteau s'étend de 100 à 2900 km de profondeur. Ce sont les enveloppes qui contiennent la plus grande quantité de carbone. Le carbone est présent sous la forme de roches comme les carbonates (calcaire) mais aussi les roches fossiles telles que le pétrole et le charbon. La lithosphère et le manteau sont les plus gros réservoirs de carbone : ils stockent de l'ordre de 50 000 000 Gt de carbone.

#### b- Les flux de carbone

Il existe des échanges variés entre ces enveloppes :

- **La photosynthèse** : permet aux producteurs primaires (algues, plantes) de consommer le  $CO_2$  pour le transformer en matière organique (glucose  $C_6H_{12}O_6$ ) à raison de 61,9 Gt par an.

- **La respiration** : permet à l'ensemble des êtres vivants de consommer le glucose pour le transformer en matière minérale ( $CO_2$ ) à raison de 61,3 Gt par an.

- **La fossilisation** : La matière organique produite est parfois fossilisée pour produire les charbons, pétroles et gaz. Ces processus contribuent à capter du carbone et à le transférer dans la lithosphère. Ce processus est **TRES LENT** et transfère 0,8 Gt de carbone par an.

- **Le volcanisme** : Les éruptions volcaniques produisent des grandes quantités de  $CO_2$  et de  $CH_4$ , ce qui permet des échanges de la lithosphère vers l'atmosphère à raison de 0,9 Gt par an.

- **La diffusion** : correspond à la diffusion du  $CO_2$  depuis l'atmosphère dans l'eau. Ce processus permet de capter une quantité importante de  $CO_2$ . En effet, le flux est de l'ordre de 91,9 Gt par an.

- **Le relargage** : correspond à la réaction inverse : le  $CO_2$  s'échappe de l'hydrosphère pour aller dans l'atmosphère. Le flux de relargage est de 90,9 Gt par an.

- **La précipitation des carbonates** : correspond à la réaction chimique permettant de former les carbonates ( $CaCO_3$ ) à partir de  $Ca^{2+}$  et de  $HCO_3^-$ . Cette réaction consomme 0,4 Gt par an de carbone.

- **La dissolution des carbonates** : correspond à la réaction chimique permettant de dissoudre les carbonates ( $CaCO_3$ ) pour former  $Ca^{2+}$  et  $HCO_3^-$ . Cette réaction consomme 0,4 Gt par an de carbone. Ces 2 dernières réactions sont très lentes.

#### c- L'impact de l'homme sur le cycle du carbone

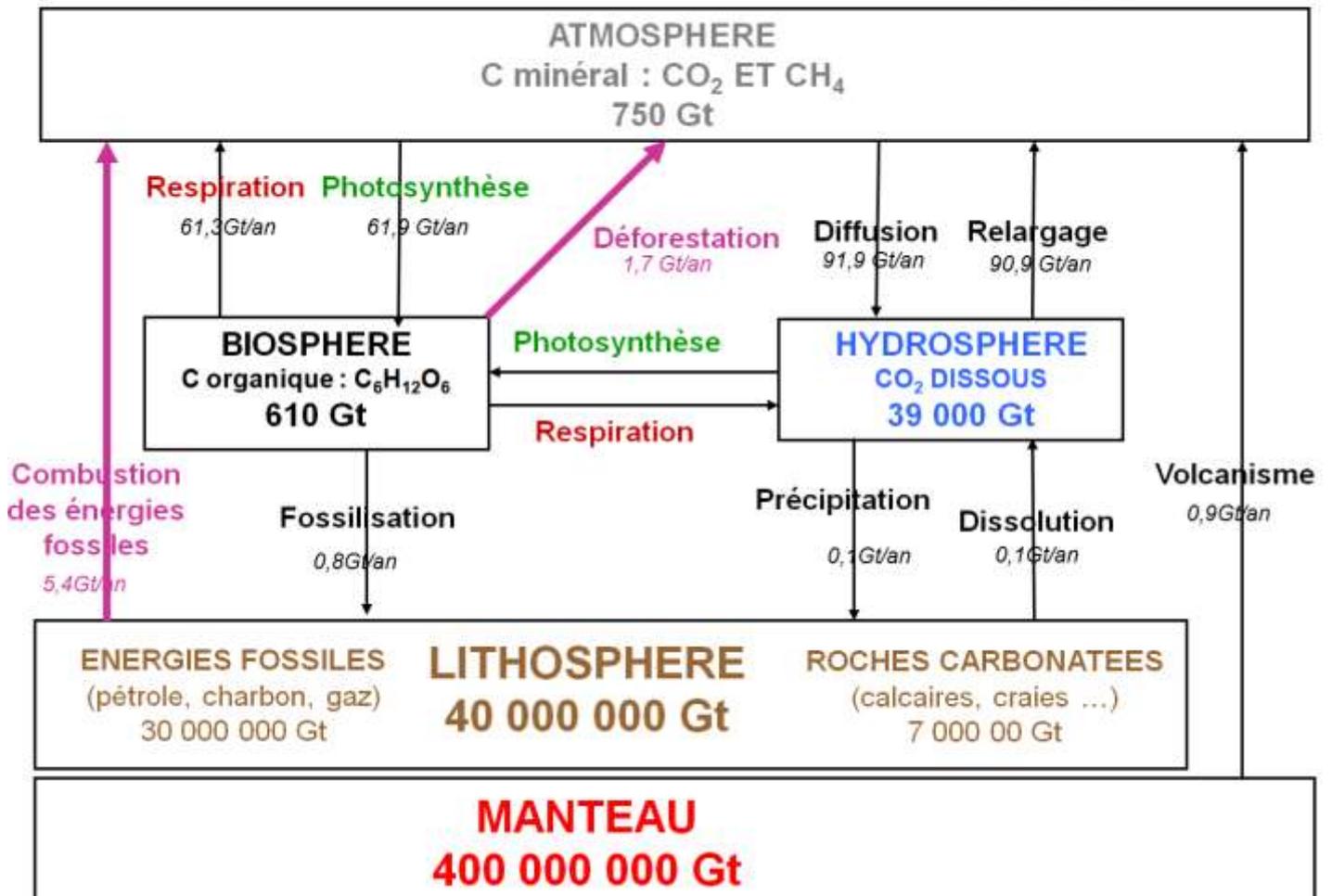
L'Homme interfère avec le cycle du carbone par ses activités en émettant environ 7,1 Gt de carbone par an (principalement sous forme de  $CO_2$ ) :

- **La combustion des énergies fossiles** : consomme principalement des produits pétroliers et le charbon. Ces réactions produisent environ 5,4 Gt de carbone par an. Elles sont réparties pour 26% dans les déplacements (automobiles, avions ...), pour 20% dans les industries (cimenteries, aciéries ...), pour 19% dans le bâtiment et la construction, pour 19% dans l'agriculture, pour 13% dans l'énergie (centrales au charbon) et pour 3% dans le traitement des déchets (recyclage, stations d'épuration).

- **La déforestation** : est réalisée en brûlant les forêts, ce qui produit de grandes quantités de  $CO_2$  (1,7 Gt par an).

# LE CYCLE DU CARBONE SUR TERRE

Action de l'homme →



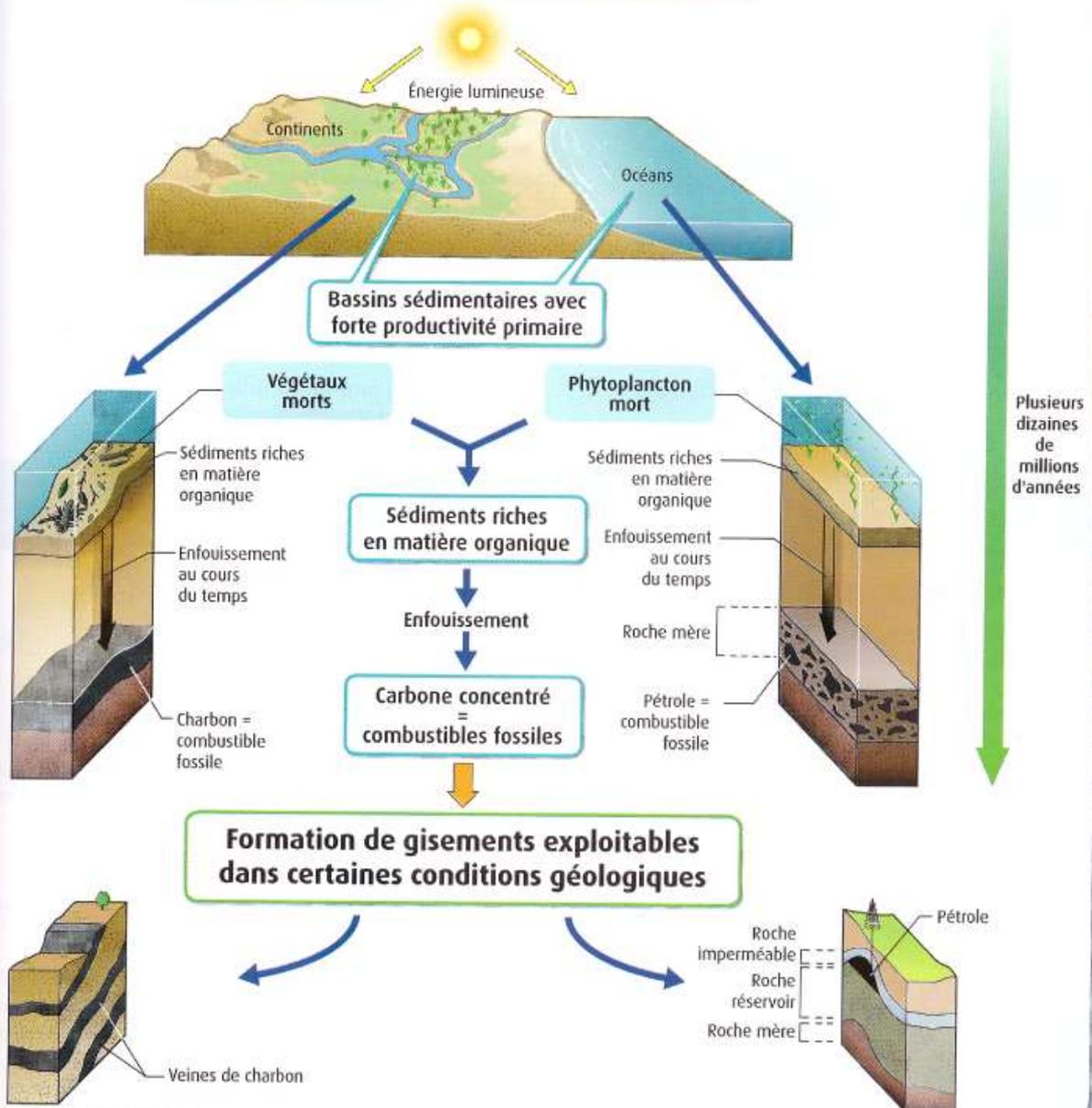
## BILAN :

L'utilisation de combustible fossile restitue rapidement à l'atmosphère du dioxyde de carbone prélevé lentement et piégé depuis longtemps. Brûler un combustible fossile, c'est en réalité utiliser une énergie solaire du passé.

L'augmentation rapide, d'origine humaine de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère interfère avec le cycle naturel du carbone.

## L'essentiel par l'image

### La formation des combustibles fossiles



## L'essentiel par le texte

- > Dans des environnements de haute productivité, une fraction de la matière organique issue des restes d'organismes chlorophylliens échappe à l'action des décomposeurs et se transforme en combustible fossile (pétrole ou charbon) au cours de son enfouissement.
- > La transformation et la conservation de la matière organique à l'origine des combustibles fossiles se déroulent dans des circonstances géologiques particulières.
- > L'extraction des combustibles fossiles a des implications humaines, environnementales et économiques.

## Les capacités et attitudes

### Capacités :

- Analyser, Extraire des informations (analyse de document) – TP4
- Connaître les grandes lignes de la formation des combustibles fossiles
- Connaître les avantages et inconvénients de l'exploitation des combustibles fossiles

### Définitions :

- Combustibles fossiles (charbon / pétrole), hydrocarbures, plancton, gisement, biomasse, productivité primaire, bassin sédimentaire, subsidence, sismique réflexion, piège à pétrole, roche mère, roche réservoir, roche imperméable cycle du carbone, ...