

TP3 la formation du charbon

2.3- Une conversion biologique de l'énergie solaire : la
photosynthèse



Quelques définitions

- **Hydrocarbure**: littéralement molécule contenant de l'hydrogène et du carbone, donc molécule organique issue du vivant, donc molécule combustible... d'où son utilisation par l'Homme à des fins énergétiques (charbon, pétrole, gaz naturel). Il s'agit donc d'une énergie indirectement apportée par le soleil, mais à grande échelle de temps.
- **Charbon**: vient de carbone... (*carbo*, latin : *braise*)
- **Carbonifère**: période géologique qui s'étend de -358 à -300 millions d'années. Son nom provient de vastes couches de charbon qu'il a laissées en Europe de l'Ouest.

Origine du charbon: Echantillon de schiste (roche) prélevé dans une ancienne mine de charbon



Des traces de végétaux fossilisés dans les mines de charbon



Ancienne exploitation houillère à
Glasgow (Ecosse)

http://www.scran.ac.uk/packs/exhibitions/learning_materials/webs/43/graphics/fossilgrove.htm



mine in
southwestern
Indiana, the
Jenlin Mine

Calamites

Sigillaria

http://nmnh.typepad.com/smithsonian_fossils/2013/09/

Reconstitution du paléo-
environnement avec les
arbres **Sigillaria** et les
Calamites (âge: Carbonifère
-360 -295 Ma)



Molécules présentes dans le pétrole

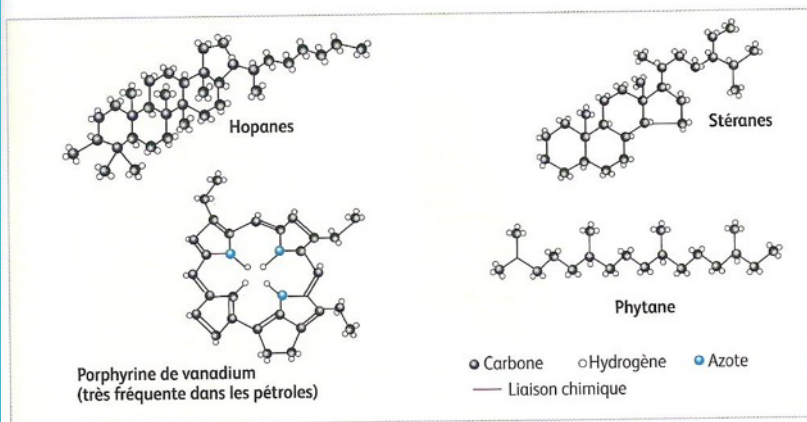
2 Des molécules fossiles dans les pétroles

► D'abord considéré par les alchimistes du Moyen-Âge comme issu de « la condensation du mercure et du soufre », le pétrole fut jusqu'à la fin du XIX^e siècle considéré comme un produit sans rapport avec la conservation de molécules héritées du vivant.

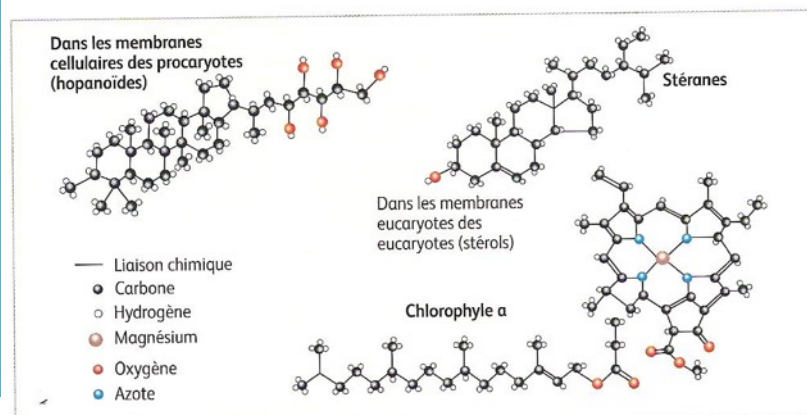
► Depuis cette époque, l'essor de la biochimie et de la géochimie a permis d'imposer l'idée que les molécules constitutives des pétroles sont d'origine biologique.

Élément chimique	Quantité (en % de la masse)
C	82,0 à 86,5
H	10,0 à 13,6
O	0,01 à 3,50
N	0,03 à 1,20
S	0,06 à 5,50

a Composition élémentaire des pétroles.

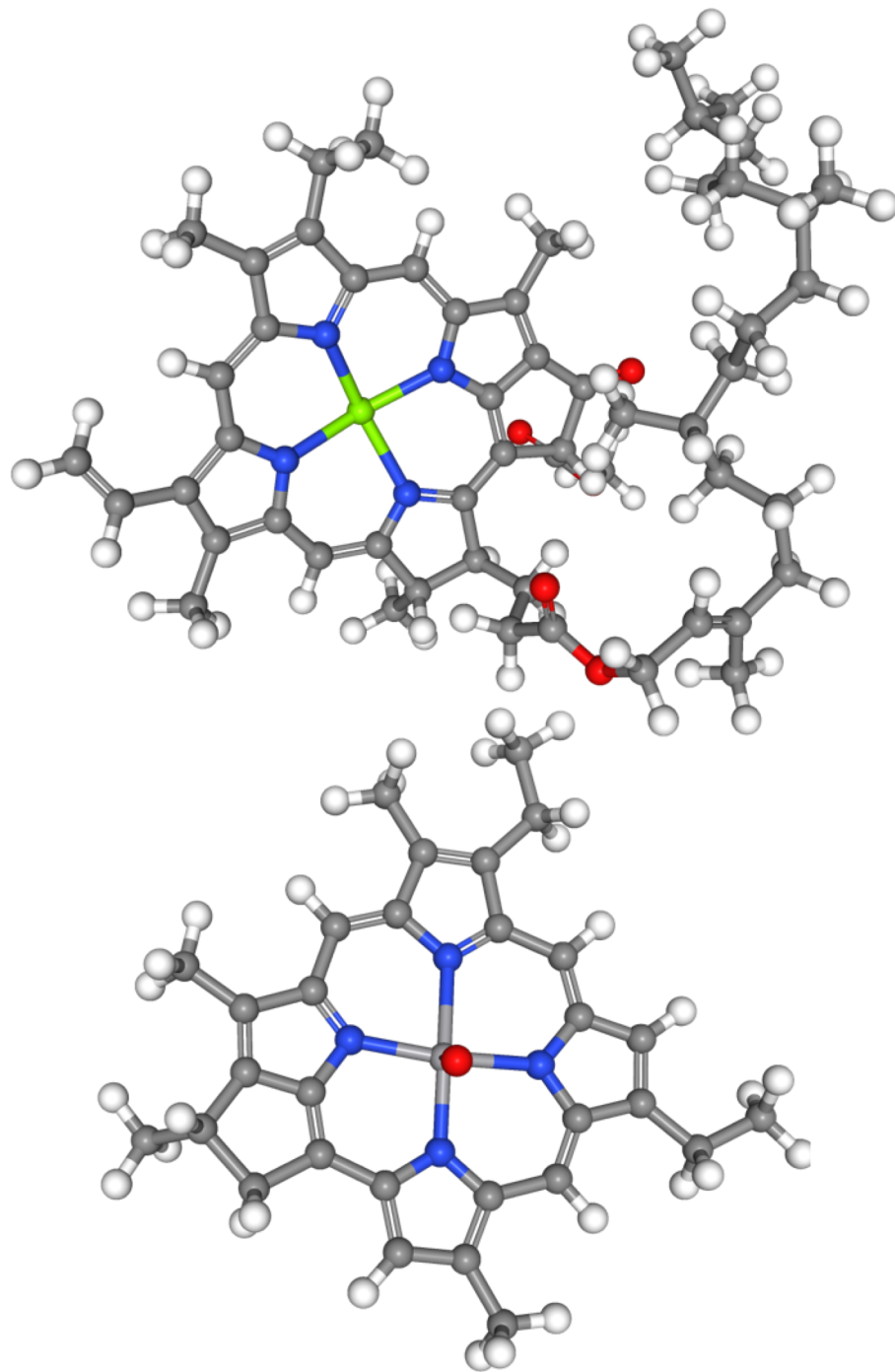


b Structures moléculaires de quelques hydrocarbures trouvés dans les pétroles.



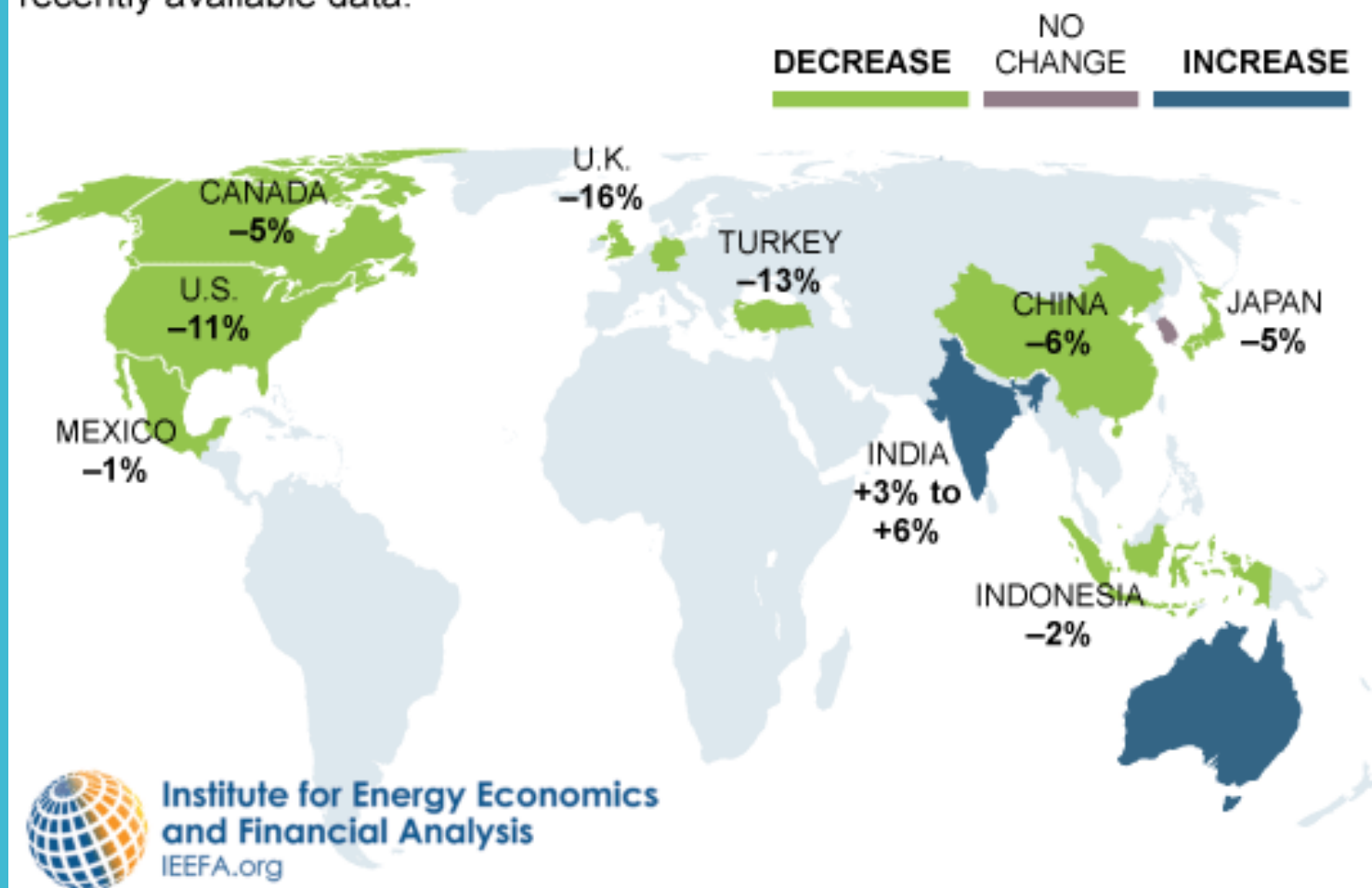
b Structures de quelques molécules constitutives du vivant.

Comparaison
d'une
molécule
organique très
présente chez
les végétaux et
du porphyrine
de Vanadium très
présent
dans les
hydrocarbures

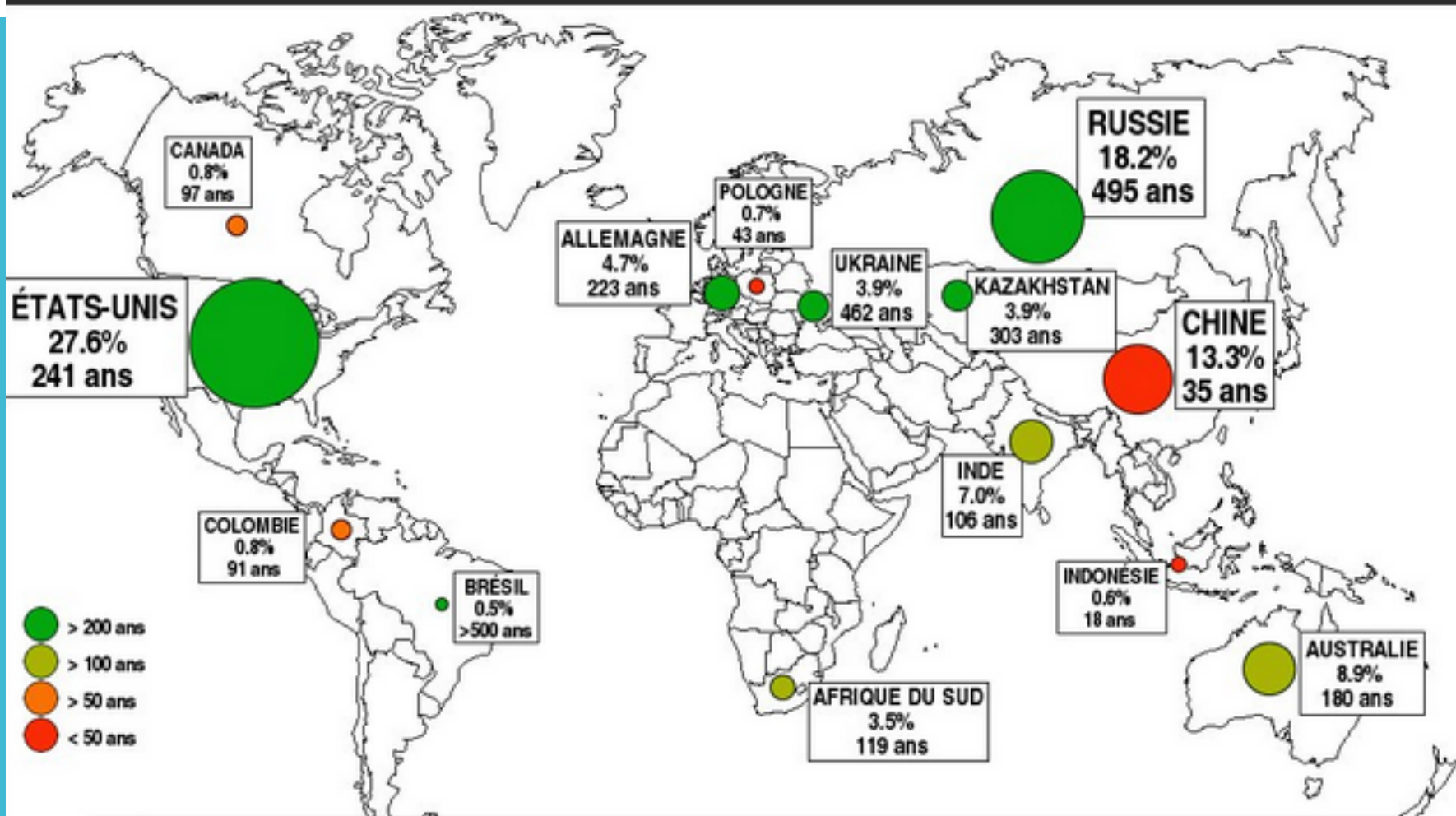


Change in Coal Consumption So Far This Year

IEEFA forecasts an overall 2% to 4% decline in global consumption in 2015. Here are the changes in key countries, based on the most recently available data.



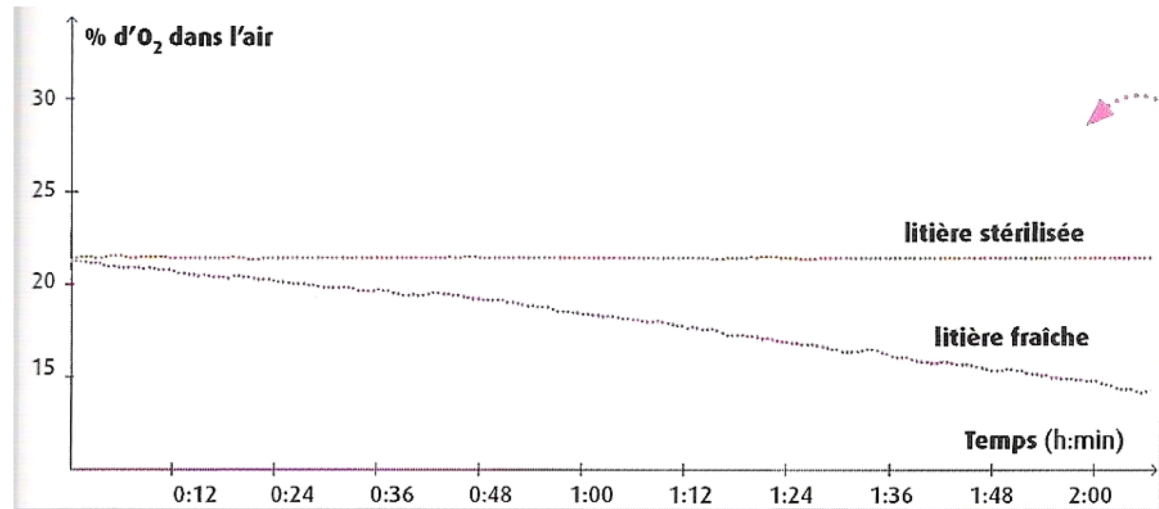
Sources: Government figures from individual countries; International Energy Agency



RÉSERVES DE CHARBON EN 2010 (en % mondial et ratio production/ réserves en années)

Dégradation de la matière organique vs conservation

La nécessité de conserver la matière organique, passe par l'évolution des débris végétaux dans un milieu anoxique évitant l'action des décomposeurs



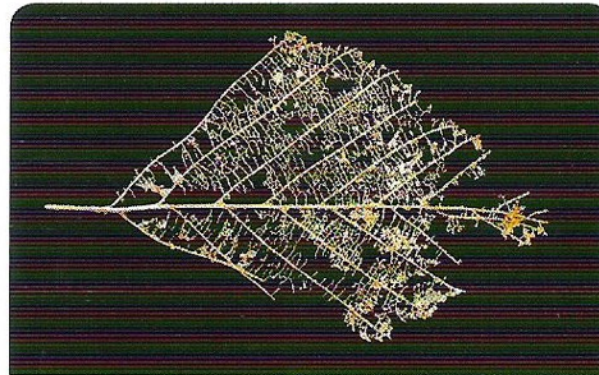
On place 100g de litière* fraîche dans une enceinte hermétique ExAO et on enregistre l'évolution du taux de dioxygène dans l'enceinte. On réalise le même enregistrement mais sur de la litière stérilisée (c'est-à-dire portée à très hautes températures afin de détruire toute forme de vie).

* litière: ensemble de feuilles mortes et débris végétaux en décomposition qui recouvrent le sol

Analyse des résultats ExAO

- **On constate** une diminution du taux de dioxygène dans l'enceinte dans le cas d'une litière fraîche: la vitesse de disparition du dioxygène est de $3,5\%.h^{-1}$
- Or dans le cas d'une litière stérilisée on n'observe aucune variation du % de dioxygène.
- **On en déduit** que la litière fraîche contient des microorganismes (non visibles à l'œil nu) capables de consommer le dioxygène. On connaît une réaction chimique consommant du dioxygène: la respiration qui consomme également des nutriments organiques. Il est donc fort probable que ces microorganismes du sol consomment la matière organique du sol en respirant.

Les microorganismes qui décomposent la matière organique du sol (débris de végétaux), entre autres par respiration, sont appelés des décomposeurs.

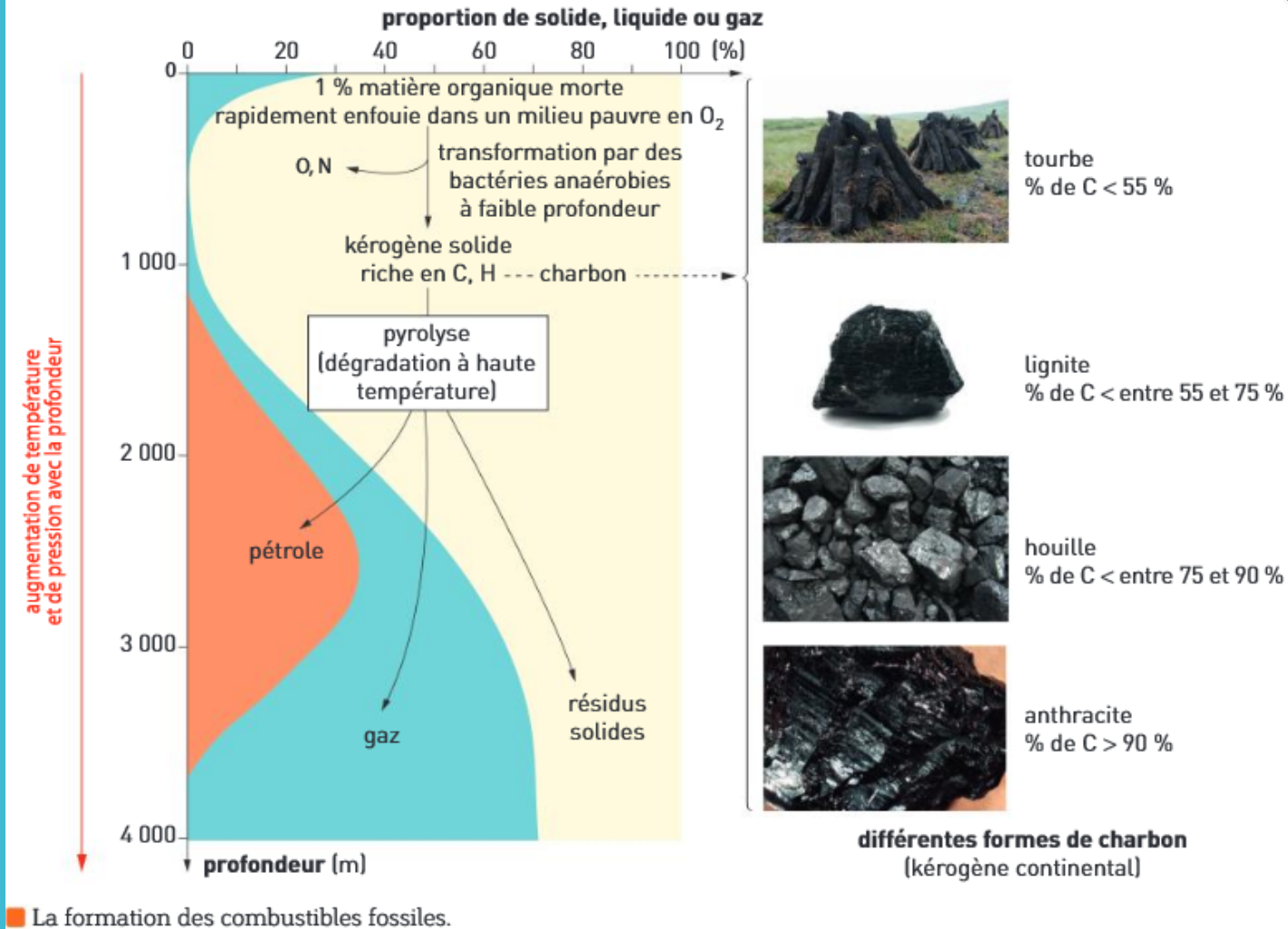


5 Une feuille prélevée dans la litière.

Faune	Abondance	Rôle écologique
Macrofaune (taille > 2 mm) : annélides (lombrics), araignées, insectes, mollusques, myriapodes, etc.	10 à 10 ³ individus par m ² de sol	<ul style="list-style-type: none"> • Aération du sol • Brassage de la matière organique avec la matière minérale • Enrichissement du sol en matière minérale par les excréments (lombrics)
Mésafaune (0,1 < taille < 2 mm) : collembolles, acariens, nématodes (vers), etc.	2.10 ⁴ à 4.10 ⁵ individus par m ² de sol	<ul style="list-style-type: none"> • Fragmentation des débris végétaux
Champignons microscopiques	10 ⁴ à 4.10 ⁶ par g de sol	<ul style="list-style-type: none"> • Dégradation de la matière organique végétale (prépare la production d'humus)
Bactéries	10 ⁴ à 4.10 ⁹ bactéries par g de sol	<ul style="list-style-type: none"> • Dégradation de la matière organique végétale en divers composés de l'humus • Décomposition de la matière organique en matière minérale

7 Qui fait quoi dans le sol ?

La nécessité de micro-organismes dans la transformation du bois en charbon



Lorsque les organismes meurent, leur biomasse est décomposée sauf si elle est rapidement enfouie dans des sédiments pauvres en O₂. Elle subira alors une dégradation par des bactéries anaérobies*, la transformant en un résidu solide enrichi en C et H appelé kérogène*. On estime que moins de 1 % de la biomasse totale subit ce phénomène. Lorsque l'enfouissement se poursuit, les molécules du kérogène sont fragmentées sous l'effet de l'augmentation de la température (pyrolyse) ce qui cause la formation d'hydrocarbures* à l'état liquide (pétrole) puis à l'état gazeux (gaz naturel) (document ci-dessous).

– Si la biomasse est d'origine continentale (forêts, marécages), ce kérogène formera essentiellement différentes formes de charbon (que l'on distingue en fonction de leur teneur en carbone).

– Si elle est d'origine océanique (phytoplancton), le kérogène formera davantage de pétrole et de gaz naturel.

Ces phénomènes sont très lents ce qui explique que les gisements actuels de charbon, pétrole et gaz datent de plusieurs millions d'années.

Bilan partiel

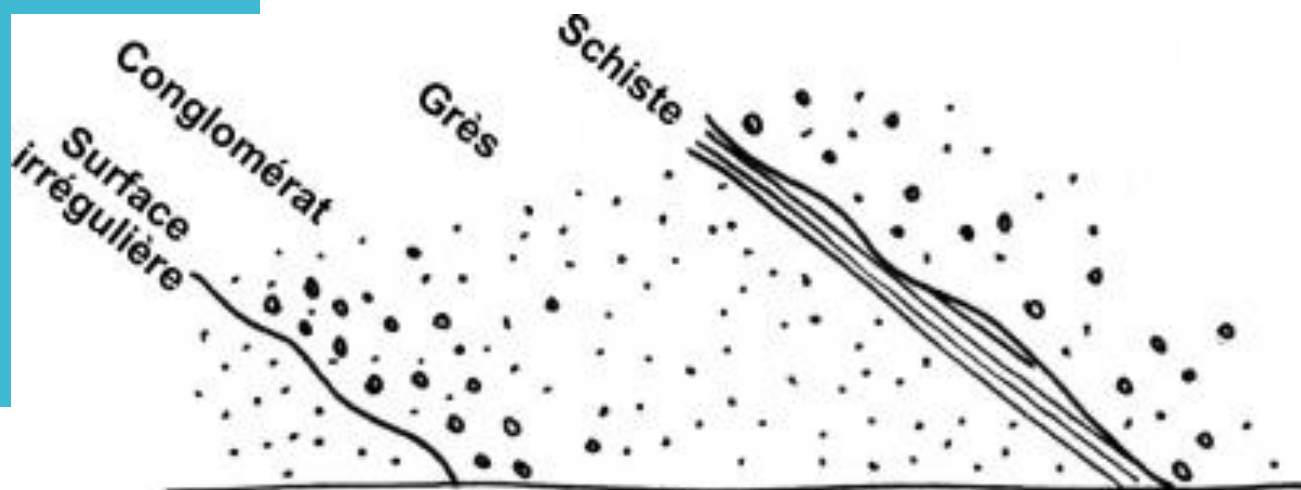
- La production importante de biomasse est nécessaire et non suffisante pour créer des hydrocarbures, tels que le charbon. Il faut un environnement pauvre en dioxygène pour conserver cette dernière, autrement elle est dégradée par les microorganismes (les décomposeurs) à la surface du sol qui réalisent la respiration.

Conditions environnementales pour enfouir de la matière organique dans un milieu pauvre en O₂



Analyse de roches associées au charbon

Alternance de schistes, veine de charbon, conglomérat, grès, schistes, veine de charbon...



D'après CBGA

Les paléoenvironnements favorables à la formation de charbon

Le charbon provient de l'accumulation de végétaux sans que cette matière organique ait le temps d'être décomposée. Cette accumulation peut intervenir en bord de mer ou dans une zone marécageuse.

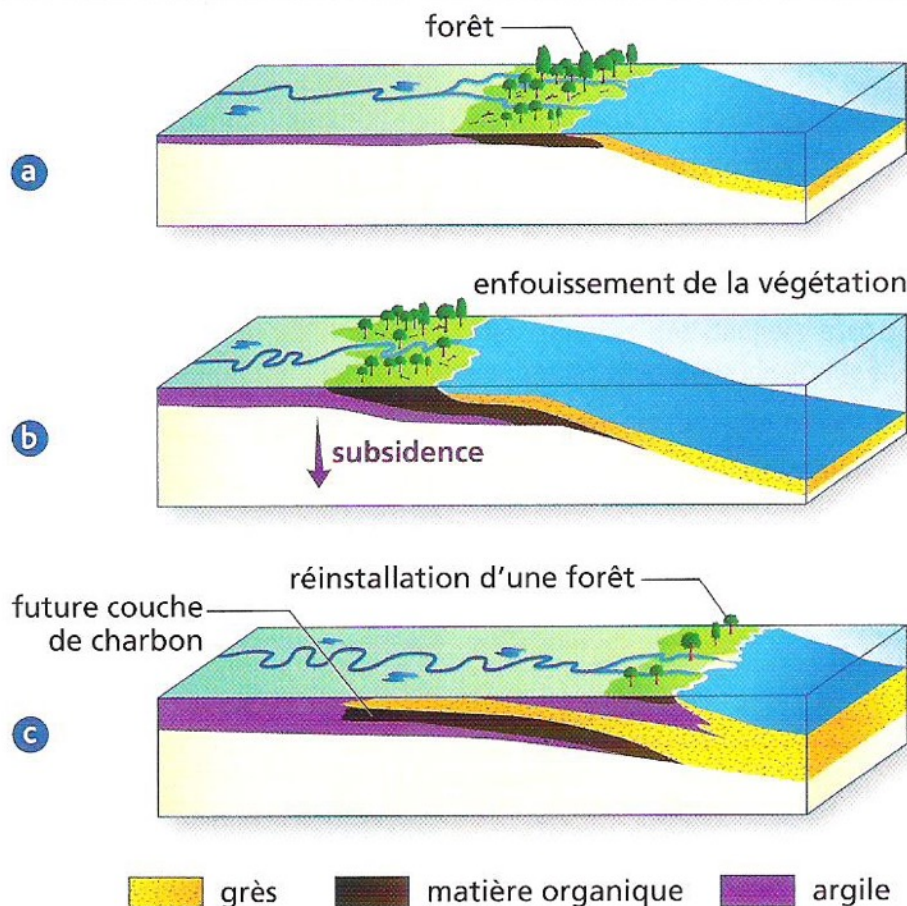
a Dans un premier temps, les végétaux se déposent dans des **bassins sédimentaires**.

b La **subsidence** de cette zone provoque l'enfouissement de la végétation, ce qui empêche sa décomposition.

c Un ralentissement de la subsidence favorise le retour de la végétation.

Ce phénomène, qui se produit sur une durée d'environ 400 000 ans, se répète, expliquant ainsi l'alternance dans le sous-sol des couches de charbon avec des couches d'argiles ou de grès.

Les sédiments et les couches de végétaux morts se transforment progressivement (en plusieurs dizaines de millions d'années) en roches sous l'effet de bactéries puis de la pression et de la température qui augmentent. Cette transformation aboutit à la formation de charbon.



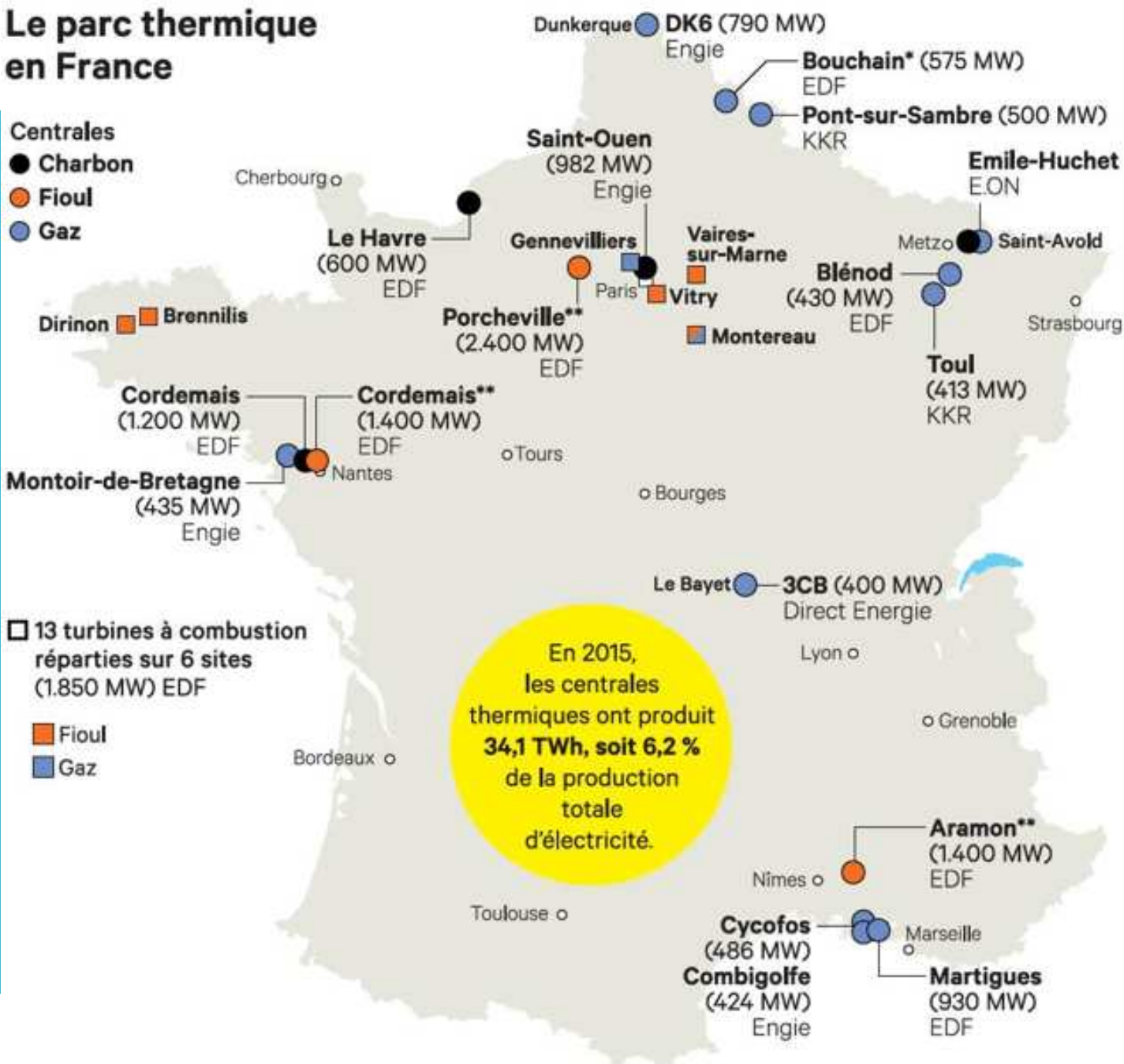
Doc. 4 La formation du charbon.

Le parc thermique en France

- Centrales
- Charbon
 - Fioul
 - Gaz

□ 13 turbines à combustion réparties sur 6 sites (1.850 MW) EDF

- Fioul
- Gaz



*mise en service mi 2016. **fermeture en 2016, 2017 ou 2018.

•LES ÉCHOS• / SOURCES : EDF, ENGIE, DIRECT ENERGIE, SIEMENS, RTE

La production française d'électricité par combustion est faible

IV. les combustibles fossiles, énergie solaire du passé

A. L'origine biologique des combustibles fossiles (charbon et pétrole)

1°) Mise en évidence, à l'échelle macroscopique

La présence de restes organiques dans les schistes, roches présentes dans les mines au contact du charbon, montre qu'ils sont issus de matière organique végétale.

2°) A l'échelle moléculaire : Des molécules organiques du charbon proches des molécules végétales

Les molécules des hydrocarbures montrent une grande similitude avec celles des végétaux chlorophylliens, donc réalisant la photosynthèse : par exemple le porphyrine de vanadium ressemble à une molécule simplifiée de chlorophylle a. On en déduit que les hydrocarbures sont des roches issues de la transformation de matière organique synthétisée par photosynthèse.

B. Du végétal aux hydrocarbures, les conditions nécessaires aux processus de transformations

1°) Une nécessaire conservation de la matière organique

Il existe donc dans la litière (ensemble de feuilles mortes et débris végétaux en décomposition qui recouvrent le sol), des organismes microscopiques, consommateurs de dioxygène et des molécules organiques de cette litière, réalisant la respiration. La matière organique est donc décomposée par ces microorganismes, les décomposeurs, notamment par la réaction de respiration. Ainsi, pour conserver cette matière organique afin qu'elle soit transformée en hydrocarbures, il faut que lors du dépôt, le milieu soit anoxique.

Ainsi, la production importante de biomasse est nécessaire et non suffisante pour créer des hydrocarbures.

Traces écrites (fin)

2°) Réactions chimiques permettant la transformation de la matière organique en hydrocarbures

La transformation de matière organique en hydrocarbure nécessite l'intervention de microorganismes dans un milieu sans dioxygène et d'une augmentation de température, donc en profondeur.

Le principe d'enfouissement rapide de la matière organique vaut pour la formation de tous les hydrocarbures.

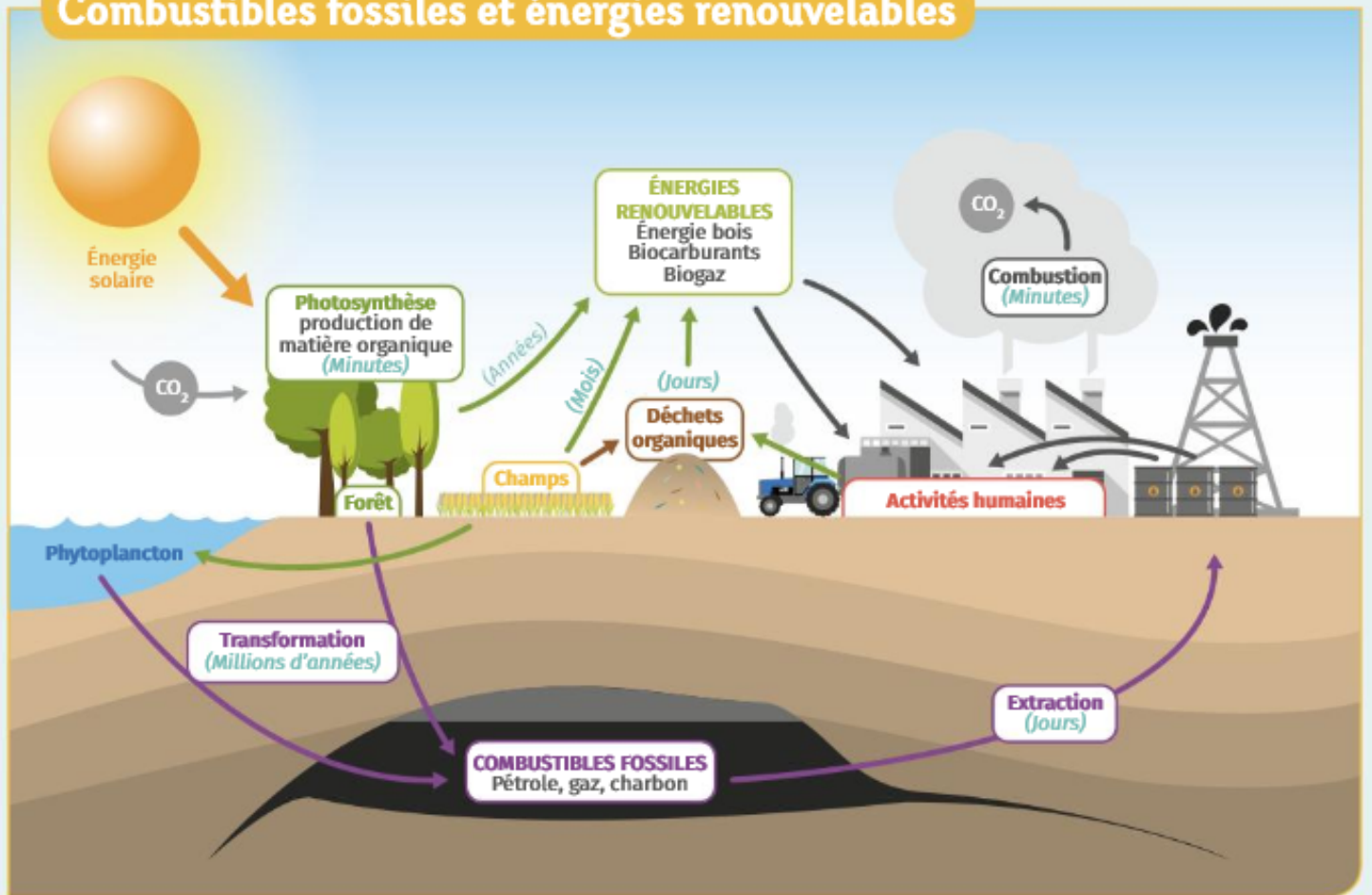
Le pétrole provient de la transformation du phytoplancton marin (conditions environnementales : mer, océan).

Le charbon provient de la transformation de débris de plantes terrestres (conditions environnementales : delta, fleuve).

Dans les deux cas (pétrole, charbon), la transformation de matière organique en hydrocarbures nécessite plusieurs dizaines de millions d'années.

À l'échelle des temps géologiques (plusieurs millions d'années), une partie de la matière organique s'accumule dans les sédiments puis se transforme en donnant des combustibles fossiles : gaz, charbon, pétrole.

Combustibles fossiles et énergies renouvelables

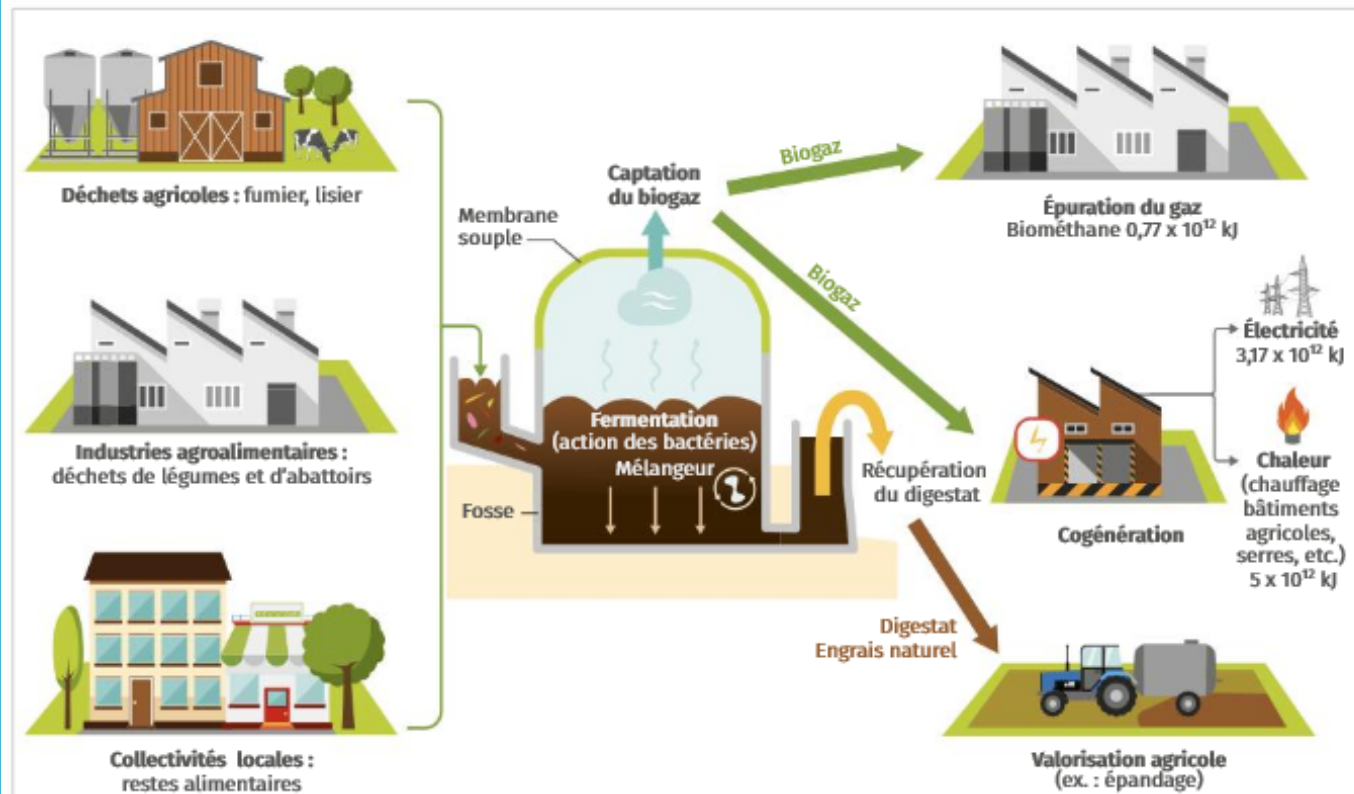


La méthanisation

Doc. 4 Le circuit de la méthanisation en France

Dans un méthaniseur, en l'absence d'oxygène et sous l'effet de la chaleur (38 °C), des bactéries transforment en quelques dizaines de jours la matière organique en biogaz, principalement du méthane, et en un résidu appelé le digestat.

Le biogaz contient de 18×10^3 à $25 \times 10^3 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-3}$.



En 2016, il y avait 514 installations de méthanisation opérationnelles en France, et l'objectif est d'en installer plus de 1 700 installations d'ici 2023. Les valeurs sont les énergies produites durant l'année 2016. L'énergie contenue dans 1 m^3 de méthane est de $32,4 \times 10^3 \text{ kJ}$.

Nature de la roche permettant de stocker les hydrocarbures

1 Mise au point du dispositif expérimental (doc. 1)

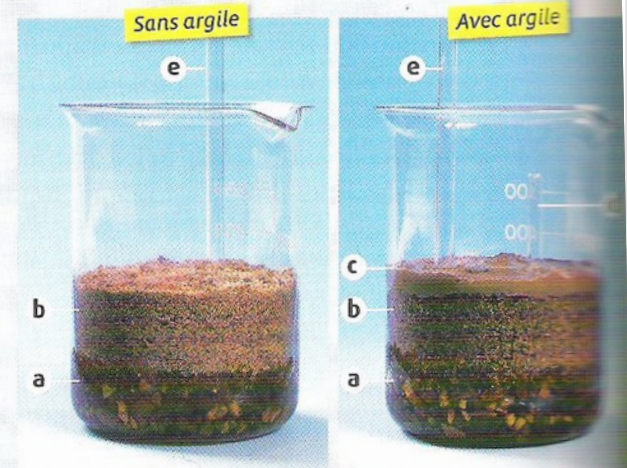
- Au fond de deux béchers, on dépose une couche de petits graviers (a), sur laquelle on verse jusqu'à ras-bord de l'huile colorée, qui modélise le pétrole.
- On ajoute une couche de sable (b), puis, dans l'un des béchers, une couche d'argile (c). Dans ce dernier, on enfonce un petit tube de verre qui doit traverser la couche d'argile, sans s'obturer (d).
- Dans les 2 béchers, on enfonce un tube (e) jusque dans la couche de graviers, que l'on reliera à une grosse seringue pour injecter de l'eau.

2 Piégeage et exploitation du pétrole (doc. 2)

Pour simuler le piégeage du pétrole dans le sous-sol, injectez lentement de l'eau directement dans les graviers via les tubes (e). Observez le tube de dégagement (d) dans le bécher avec argile.

ACTIVITÉS

- 1 Dans ce dispositif expérimental, repérez la roche-mère du pétrole, puis, dans l'un des deux béchers, le piège à pétrole.
- 2 Décrivez le comportement du pétrole dans les deux modèles (avec ou sans argile), et expliquez-le en vous fondant sur les propriétés des trois types de roche utilisés (a, b et c).
- 3 Résumez les conditions géologiques nécessaires au piégeage du pétrole dans le sous-sol.

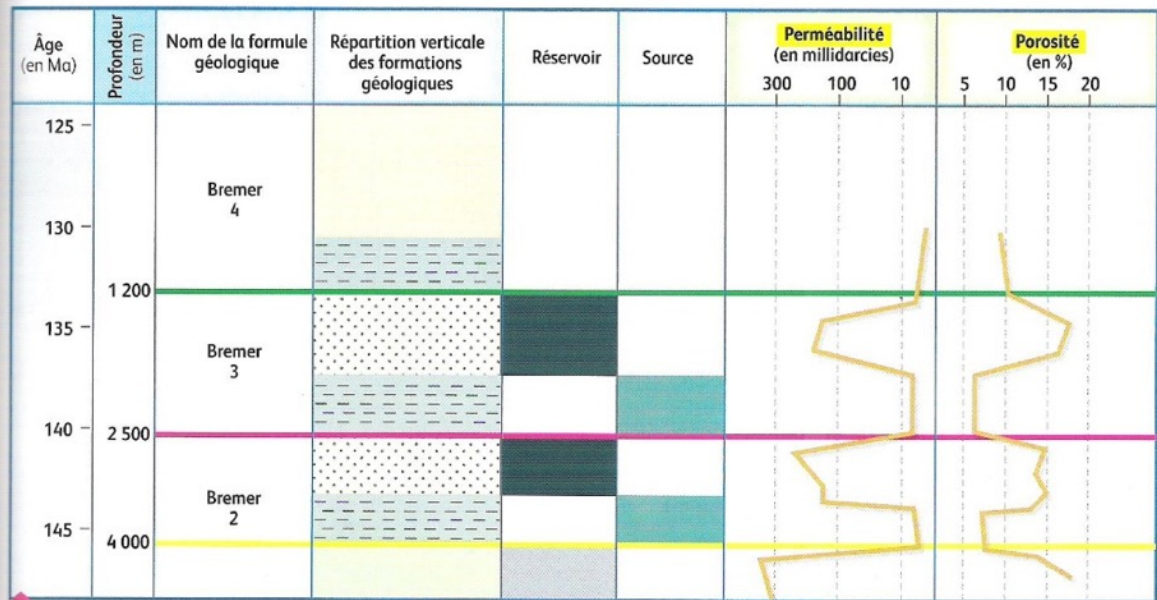


Doc. 1. Dispositif expérimental avant mouillage.



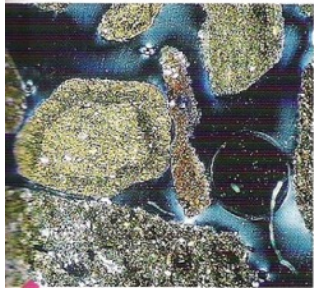
Doc. 2. Extraction de l'huile après mouillage.

Nature de la roche permettant de stocker les hydrocarbures



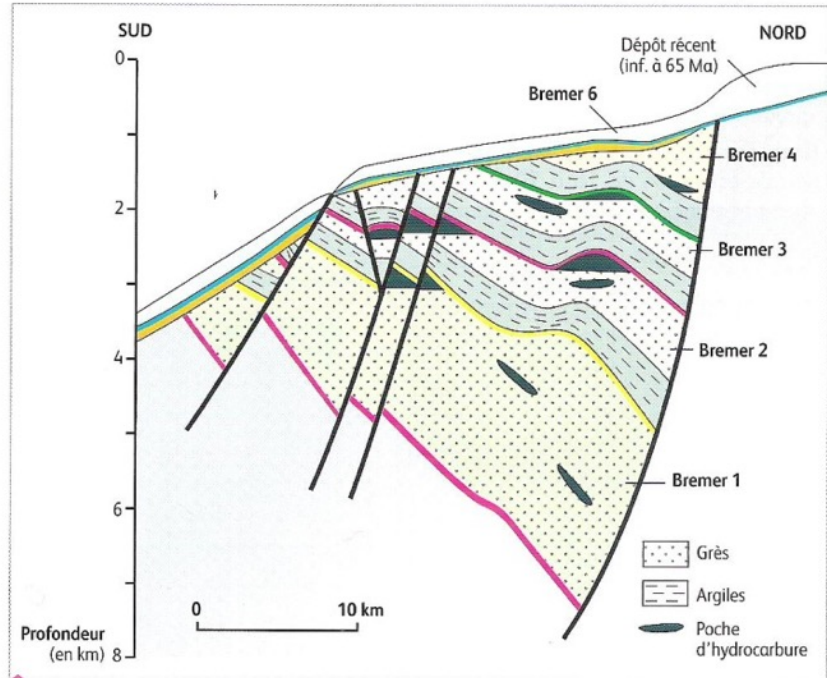
a Carottage de la zone ayant livré des indices pétroliers.

Grès Argiles



b Observation au microscope d'une roche réservoir : le pétrole imprègne la roche.

- La disposition des différentes formations géologiques est précisée.
- Au cours de leur enfouissement, les argiles subissent une compaction qui entraîne l'expulsion des fluides qu'elles contiennent (dont les hydrocarbures) et deviennent ainsi progressivement imperméables.



c Coupe géologique de la marge australienne.

Le gaz de schiste

Le projet de loi examiné par l'Assemblée nationale

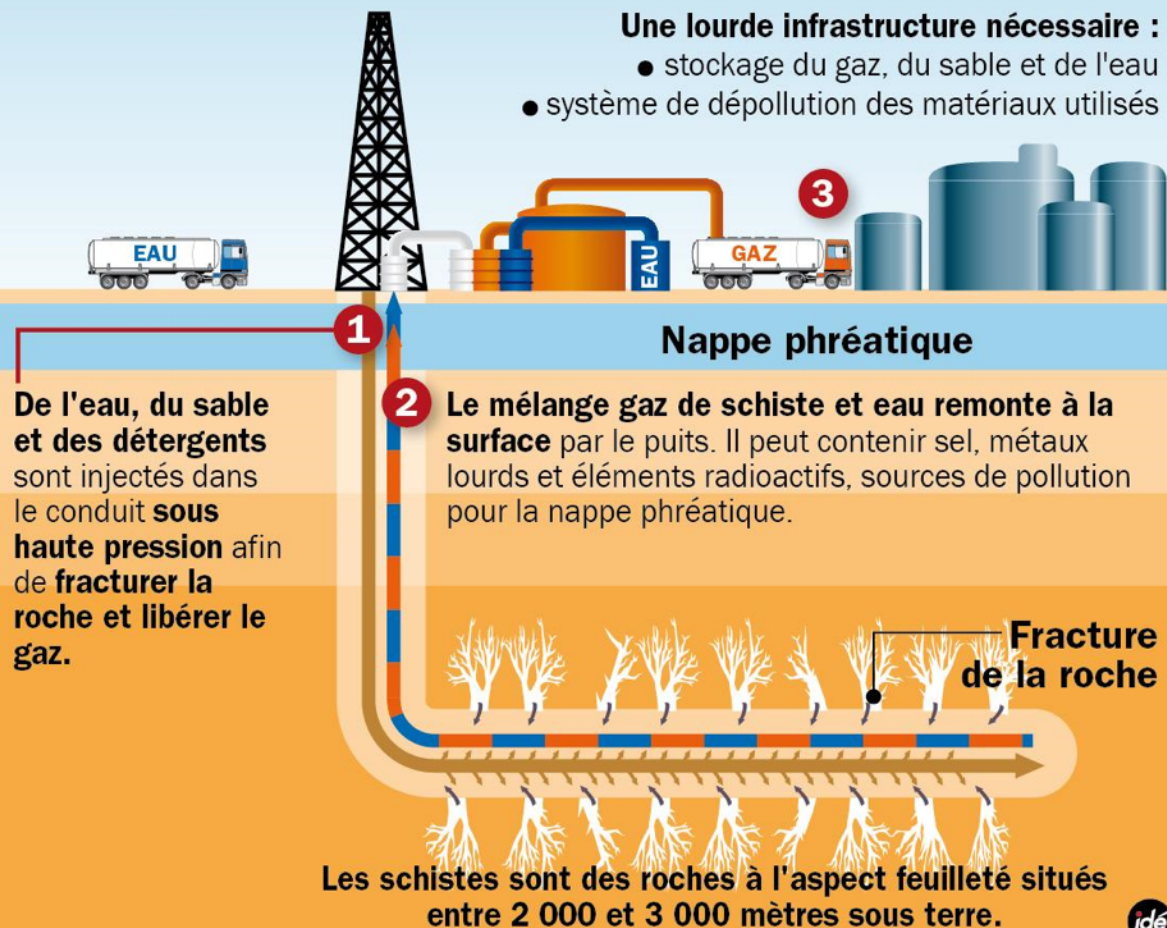
- ▶ Interdiction d'utiliser la **fracturation hydraulique** pour exploiter les gaz et huiles de schiste.
- ▶ **Les permis en cours** (3 pour le gaz dans le Sud, 3 pour l'huile dans le bassin parisien) **seront abrogés** si cette technique est utilisée.
- ▶ Les titulaires de ces permis ont **2 mois** pour préciser leur méthode d'exploration.



La technique de la fracturation hydraulique interdite ?

Une lourde infrastructure nécessaire :

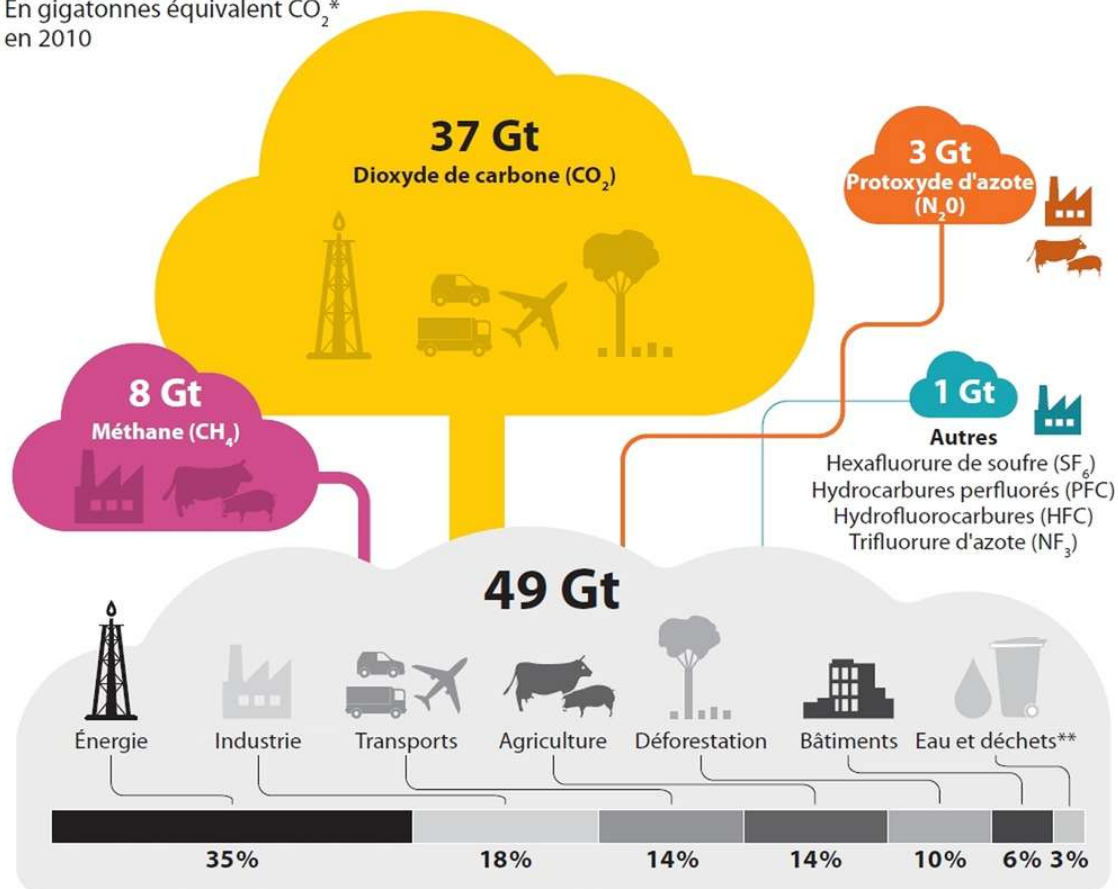
- stockage du gaz, du sable et de l'eau
- système de dépollution des matériaux utilisés



Bilan sur l'impact de la combustion des hydrocarbures dans l'évolution du taux de CO₂ atmosphérique

Les gaz à effet de serre dans le monde

En gigatonnes équivalent CO₂* en 2010

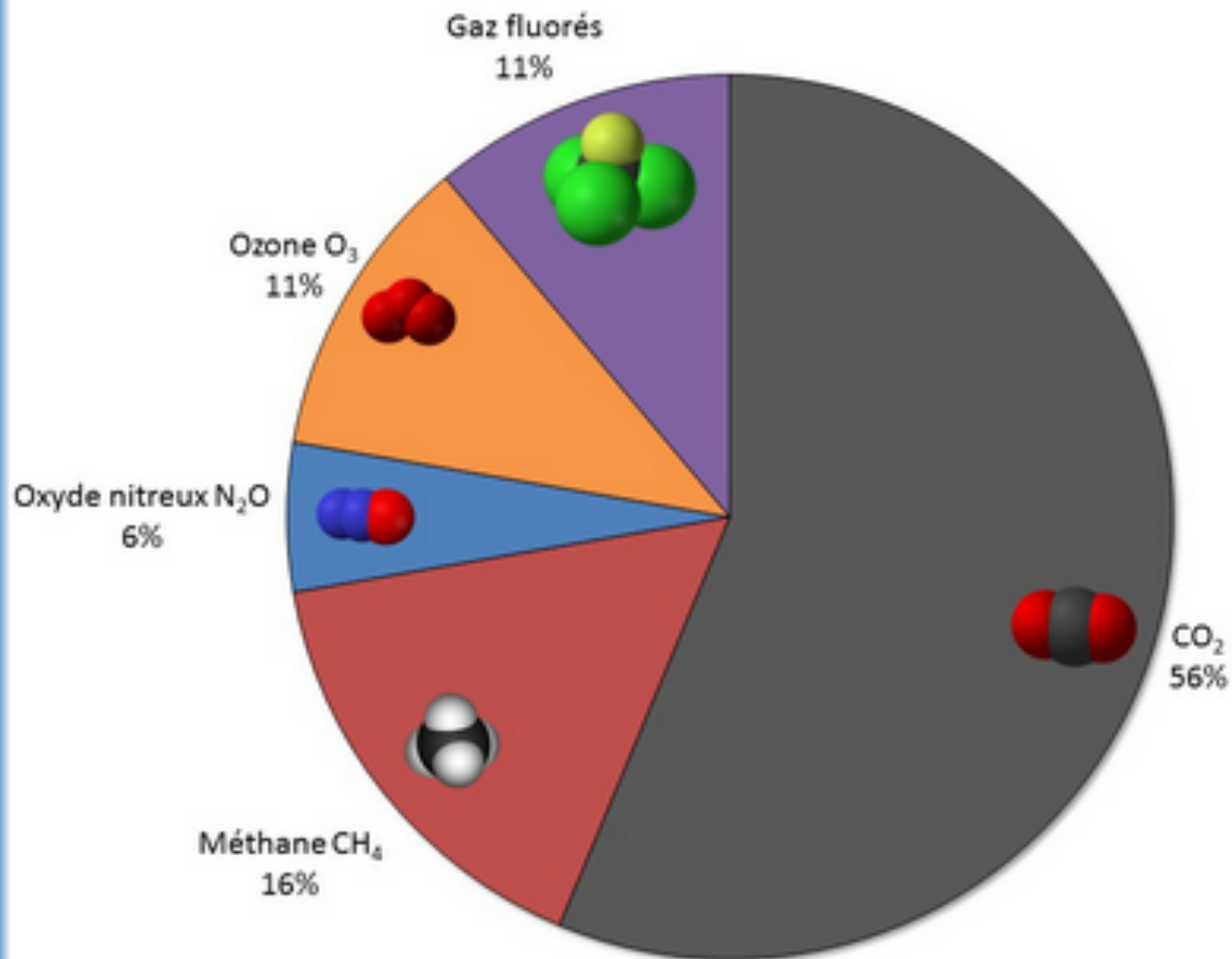


*La valeur en millions de tonnes équivalent CO₂ est calculée en fonction du potentiel de réchauffement global (PRG) de chaque gaz, par rapport à un kilo de CO₂ (1 kg de CH₄ = 28-30 kg de CO₂, 1 kg de N₂O = 265 kg de CO₂, etc.)

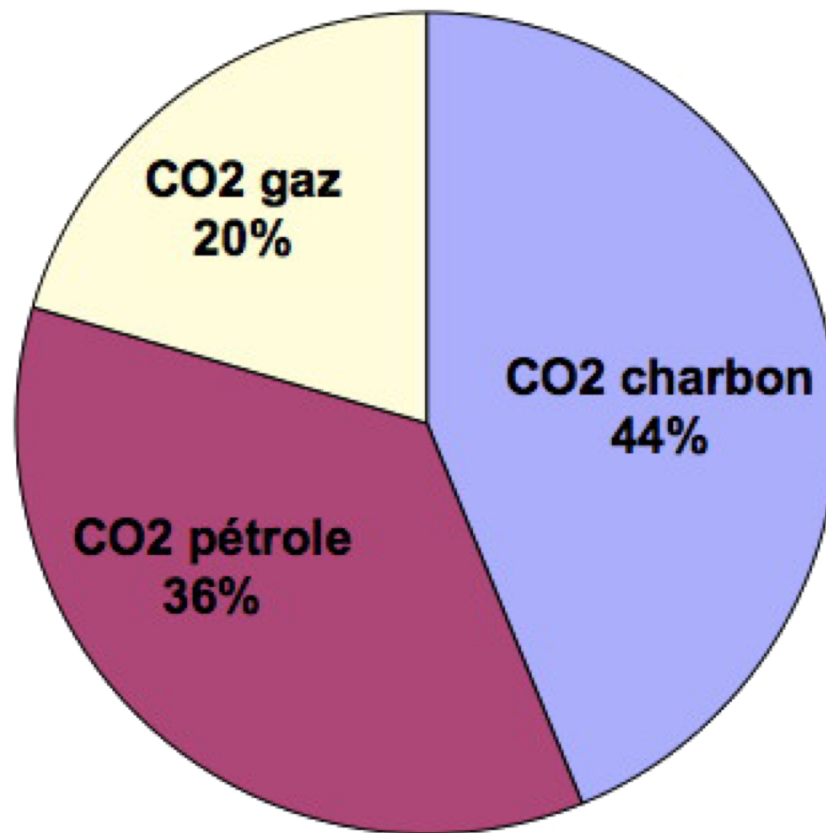
**Traitement

Sources : GIEC, cop21.gouv.fr, ministère de l'Écologie

Contributions de différents gaz à effet de serre au réchauffement global d'origine humaine en 2010 (en %) (Source : CDIAC)



*Contribution
de chaque
combustible
fossile aux
émissions
mondiales de
CO₂ en 2015.*



Gaz de schistes et environnement...

- ▶ l'exploitation des gaz de schiste a posé des problèmes d'environnement, il convient de s'assurer raisonnablement qu'il n'en serait pas de même dans des régions peuplées, où les ressources en eaux sont fragiles et peu abondantes particulièrement sensibles à la pollution.
- ▶ les problèmes posés sont loin de se limiter à la fracturation hydraulique ou au risque d'accident. Le paysage et donc l'économie touristique, les accès routiers, le trafic de camions-citernes, le besoin de bassins de rétentions des eaux polluées de forages et de fracturation... l'analyse doit porter sur l'ensemble des risques et doit prendre le temps nécessaire avant toute autorisation et recourir aux expertises contradictoires, en particulier de chercheurs et d'universitaires.
- ▶ il ne faut pas nier le besoin de gaz dont la société française fait une consommation importante. Tant pour ses industries que pour la vie quotidienne, en ville et à la campagne.
- ▶ Pour l'avenir, il faut suivre deux pistes. D'une part développer des solutions énergétiques sans gaz. Et d'autre part conserver le gaz de nos territoires pour les générations futures. Peut-être seront-elles obligées d'y puiser une ressource devenue indispensable, mais le temps gagné peut permettre de l'éviter ou de trouver des solutions techniques moins risquées pour l'environnement et la santé.

Entraînement

10 Le futur épuisement des réserves de combustibles fossiles

Les quantités d'énergie fournies par la combustion des mêmes quantités de charbon, de pétrole ou de gaz naturel ne sont pas identiques.

Par exemple, la combustion d'une tonne de pétrole libère environ 2 GJ (milliards de joules) alors qu'une tonne de charbon en libère 2,9 GJ. Il faut donc 0,7 tonne de charbon pour fournir la même quantité d'énergie qu'une tonne de pétrole.

On dit qu'une tonne de charbon vaut 0,7 tonne équivalent pétrole (noté tep).

1. Calculer la consommation moyenne annuelle de chaque combustible fossile pour la période 1860-1998 (a).
2. Comparer les valeurs obtenues à celles données pour l'année 2017 (a).

Combustible fossile	Consommation mondiale de 1860 à 1998 (Gtep)	Consommation annuelle mondiale en 2017 (Gtep)	Réserves prouvées (Gtep)
Pétrole	123	4,62	218
Charbon	143	3,73	724
Gaz naturel	57	3,16	166

a Consommation des combustibles fossiles et estimation des réserves (exprimées en milliards de tep).

3. Formuler quelques hypothèses expliquant ce constat.
4. Calculer, sur la base de la consommation annuelle de 2017, le nombre d'années restantes de consommation de pétrole, charbon et de gaz naturel.
5. Rechercher quelques facteurs qui peuvent retarder ou précipiter l'épuisement des réserves mondiales.