

III. L'importance de la couche d'ozone

Problème posé : comment la couche d'ozone se forme-t-elle et quel est son rôle?

**→ Activité 4 : répondez aux questions
p 27**

1. Localisez précisément la couche d'ozone dans l'atmosphère.

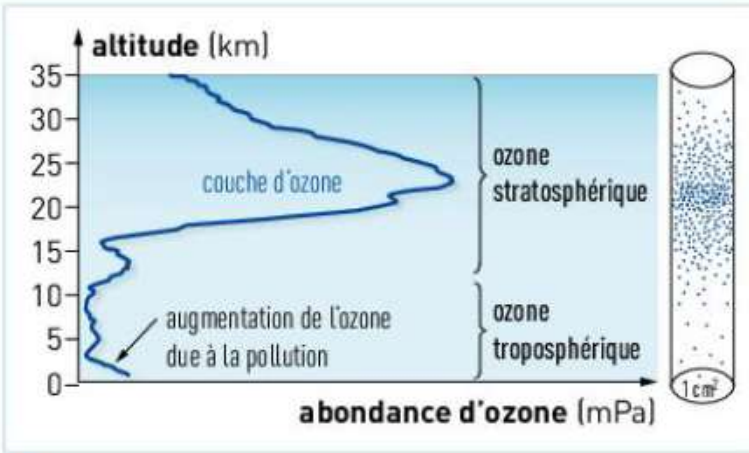
1 Localisation de la couche d'ozone

Aux conditions du sol, l'ozone (O_3) est un gaz bleu très pâle voire incolore, à l'odeur « piquante ».

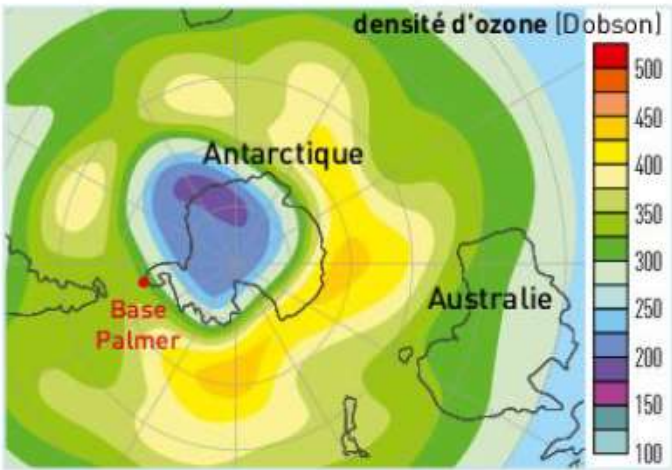
Il est présent dans la basse atmosphère (appelée troposphère) mais 90 % de l'ozone atmosphérique est localisé au niveau supérieur où il forme une couche permanente : la **couche d'ozone** (a).

Ce terme traduit mal la réalité car les molécules d'ozone ne sont pas réparties de manière homogène. Une colonne atmosphérique théorique de 1 cm^2 de section contient en moyenne 8×10^{18} molécules d'ozone. En comprimant cette colonne sous une température de 0 °C et à la pression au sol de $1\,013\text{ hPa}$, l'épaisseur de la couche d'ozone obtenue ne serait que de 3 mm soit 300 unités Dobson.

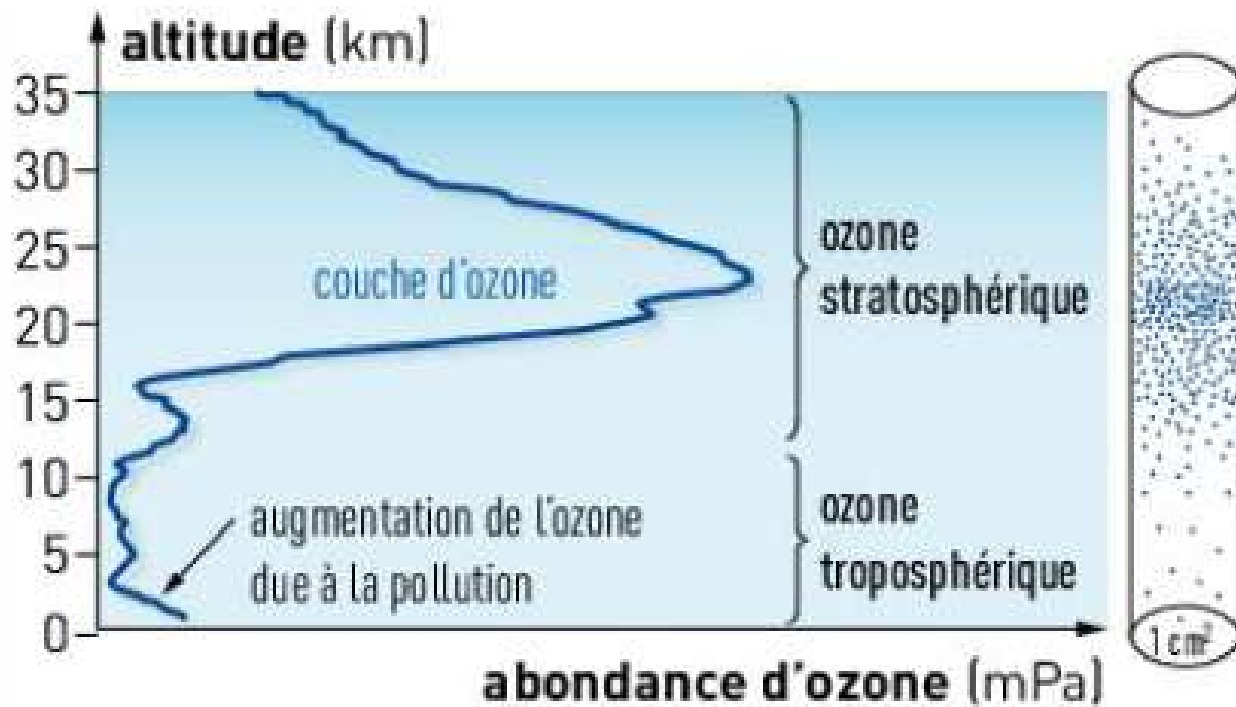
Au-dessus du pôle Sud, l'épaisseur de la couche d'ozone est inférieure à 220 unités Dobson : on parle de « trou » dans la couche d'ozone (b). Certains polluants atmosphériques, nommés CFC (chlorofluorocarbures), sont principalement à l'origine de la destruction de l'ozone ; leur utilisation a été interdite dès 1987.




a Abondance d'ozone en fonction de l'altitude et modélisation de sa répartition.



b Le « trou » de la couche d'ozone en octobre 2010. ➤



La couche d'ozone est localisée dans la stratosphère entre 15 et 35 km d'altitude avec une abondance maximale vers 25 km.

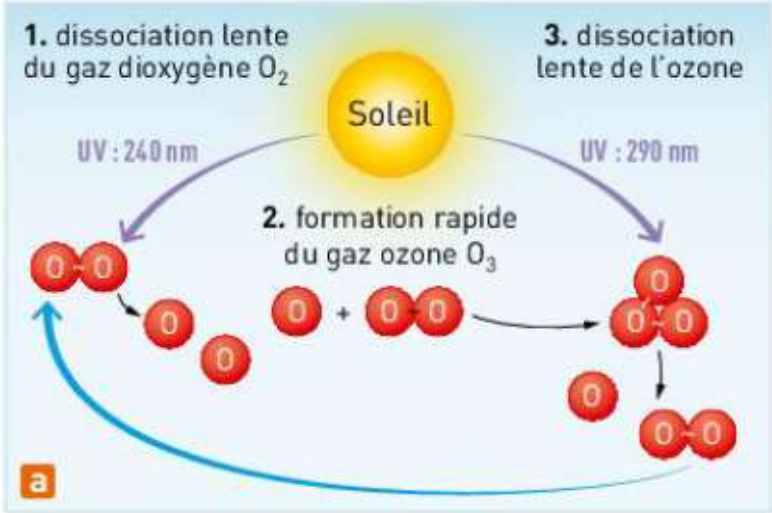
 Abondance d'ozone en fonction de l'altitude et modélisation de sa répartition.

2. Montrez que, bien que permanente, la couche d’ozone fait l’objet d’un recyclage.

DOC
2

La formation d’ozone

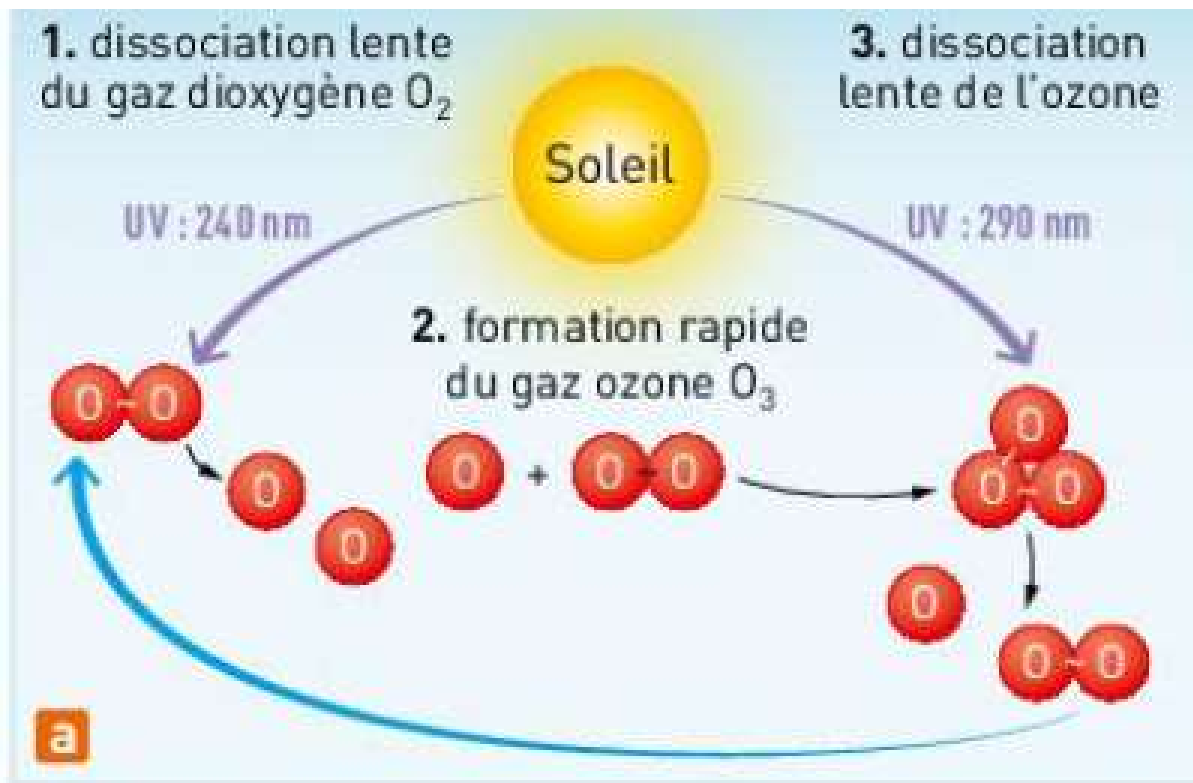
L’ozone stratosphérique se forme sous l’effet des rayons UV (ultraviolets) sur les molécules de dioxygène (a) alors que l’ozone troposphérique se forme à partir de deux types de polluants.



ANIMATION BONUS
Le cycle ozone-oxygène

Au niveau de la troposphère, sous l’action des rayons UV, les oxydes d’azote (issus de la combustion des hydrocarbures) et les composés volatils organiques (issus des solvants), réagissent entre eux. En l’absence de vent, l’ozone formé s’accumule localement. Cela conduit à la formation d’un « smog », brouillard brunâtre de pollution susceptible de provoquer des irritations respiratoires et oculaires (b).





Le gaz dioxygène O₂ se dissocie en permanence et lentement sous l'effet des ultraviolets (UV) d'une longueur d'onde de 240 nm en atomes libres d'oxygène O. Ces derniers se recombinent rapidement avec des molécules de dioxygène et forment ainsi de l'ozone O₃.

Puis, l'ozone se dissocie lentement en dioxygène et atomes libres d'oxygène sous l'effet des UV de 290 nm de longueur d'onde. La couche d'ozone, bien que toujours présente, se construit et se déconstruit en permanence.

3. Expliquez en quoi l'amincissement de la couche d'ozone constitue un risque de santé publique majeur.



Ozone, UV et santé

Tout savoir sur les UV

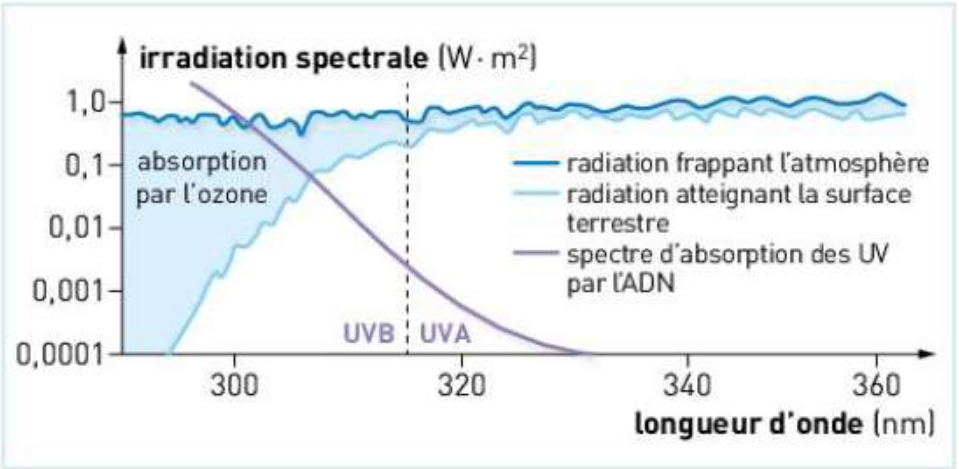
Le Soleil émet de multiples radiations, dont les rayonnements ultraviolets (UV). Les UV se subdivisent en trois catégories selon deux propriétés : leur longueur d'onde (λ) et leur énergie (a).

Les UVA pénètrent plus profondément dans la peau que les UVB (b).

Les rayons UV sont qualifiés d'agents mutagènes car, lorsqu'ils sont absorbés par l'ADN, ils peuvent provoquer des lésions à l'origine de mutations (c). L'index UV (d) mesure à la fois l'intensité du rayonnement UV et le risque encouru par les populations en termes de coup de soleil, cataractes* et risques de développement de cancers de la peau comme les mélanomes*.

Types d'UV	Longueurs d'onde (nm)	Énergies du photon (eV)
A	315 à 400	3,10 – 3,94
B	280 à 315	3,94 – 4,43
C	100 à 280	4,43 – 12,4

a Relation entre longueur d'onde et énergie des rayons UV.



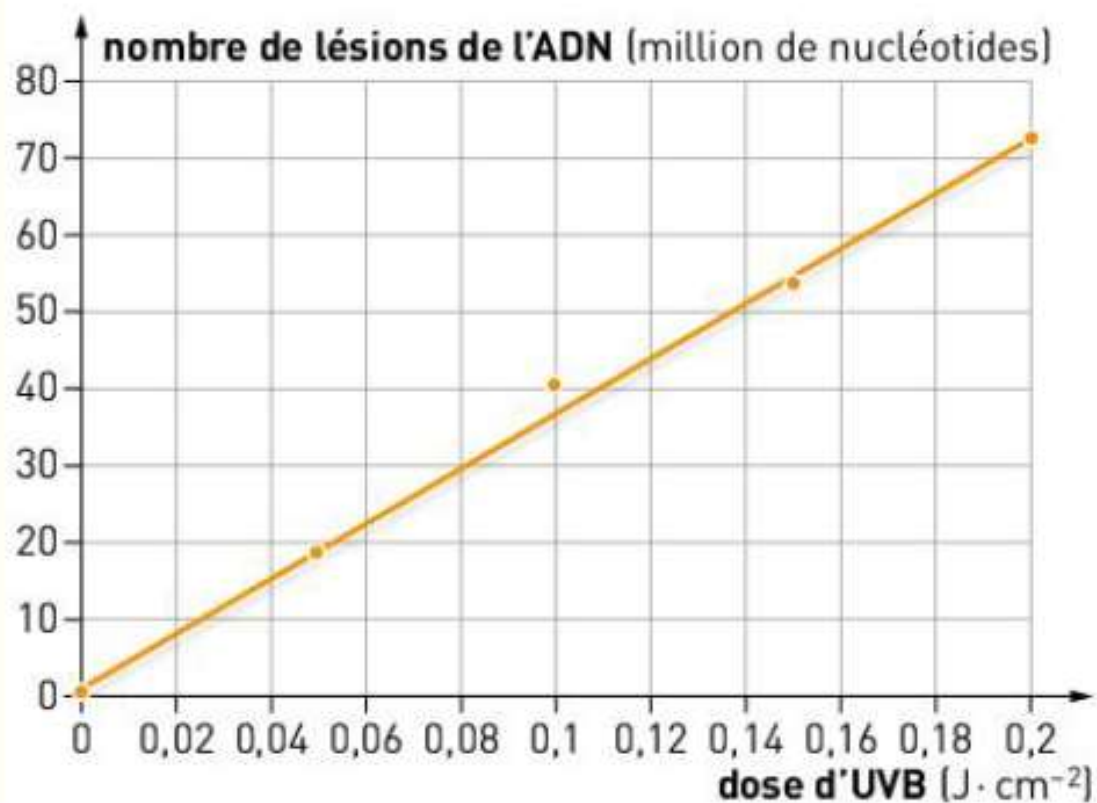
b Comparaison des spectres d'absorption des UV par l'ozone atmosphérique et par l'ADN.

La couche d'ozone absorbe tous les UV dont les longueurs d'onde sont inférieures à 300 nm environ (graphique) donc tous les UVC et les UVB jusqu'à 300 nm (tableau).

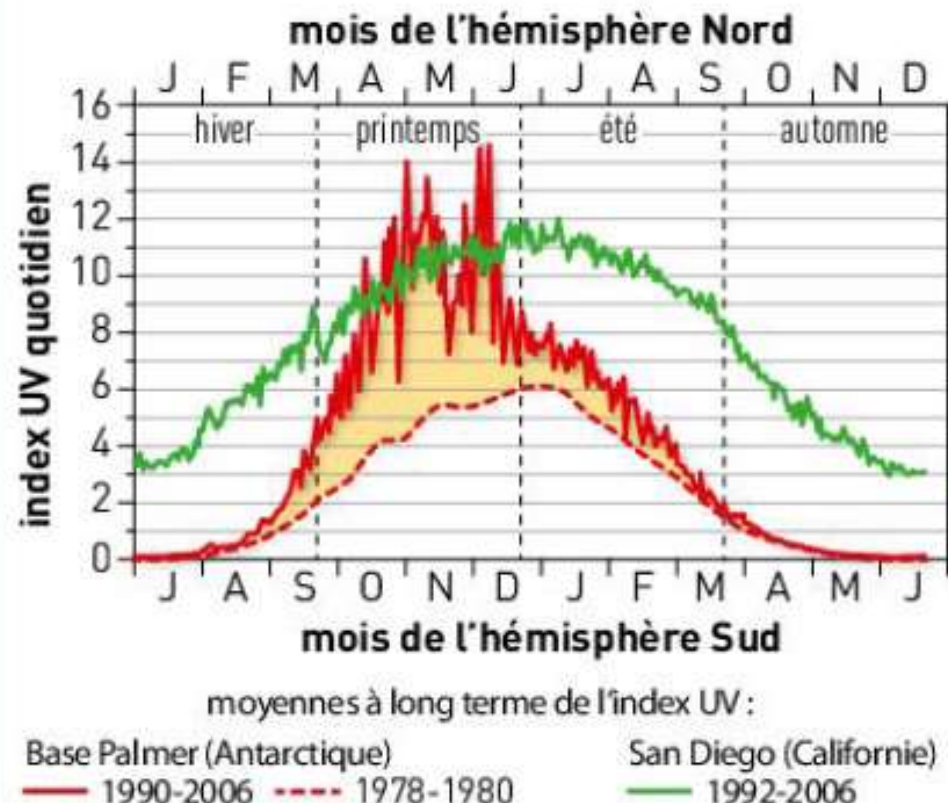
L'ADN absorbe lui les UVB de manière décroissante depuis 280 à 315 nm.

Ainsi, la couche d'ozone constitue une protection efficace contre les UVB de faible longueur d'onde, les plus absorbés par l'ADN.

En revanche, les UVA sont absorbés par l'ADN entre 315 et 330 nm et la couche d'ozone ne les arrête pas, donc ne nous protège pas contre eux.



c Nombre de lésions de l'ADN en fonction de la dose d'UV reçue.



d Évolution de l'index UV en fonction de la saison et de la latitude. Plus l'index est élevé, plus il y a de précautions à prendre. D'après NOAA.

Un amincissement de la couche d'ozone réduit cette protection qu'il s'agisse des UVB ou des UVC.

Ainsi, en Antarctique (Base Palmer), l'index UV moyen 1990-2006 est le double au printemps de ce qu'il était en 1978-1980 avant l'existence de cet amincissement.

Il devient même supérieur à celui de la Californie pour la même saison.

Cela se traduit par une augmentation des lésions de l'ADN des cellules de la peau et probablement, par une augmentation des cancers cutanés.

4. Recherchez les précautions à prendre en cas d'index UV élevé.



Sous l'effet du rayonnement ultraviolet solaire, le dioxygène stratosphérique peut se dissocier, initiant une transformation chimique qui aboutit à la formation d'ozone.

Celui-ci constitue une couche permanente de concentration maximale située à une altitude d'environ 30 km.

La couche d'ozone absorbe une partie du rayonnement ultraviolet solaire et protège les êtres vivants de ses effets mutagènes.

→ Bilan 3 p 31

IV. Le cycle biogéochimique du carbone sur Terre

Problème posé : quels sont les réservoirs de carbone et se modifient-ils au cours du temps ?

→ Activité 5 : Répondez aux questions p 29

1. Montrez que les flux naturels de carbone conduisent à une stabilité de la teneur atmosphérique en dioxyde de carbone.
2. Envisagez une conséquences des activités humaines sur le cycle biogéochimique du carbone.

DOC

1

Le cycle biogéochimique du carbone

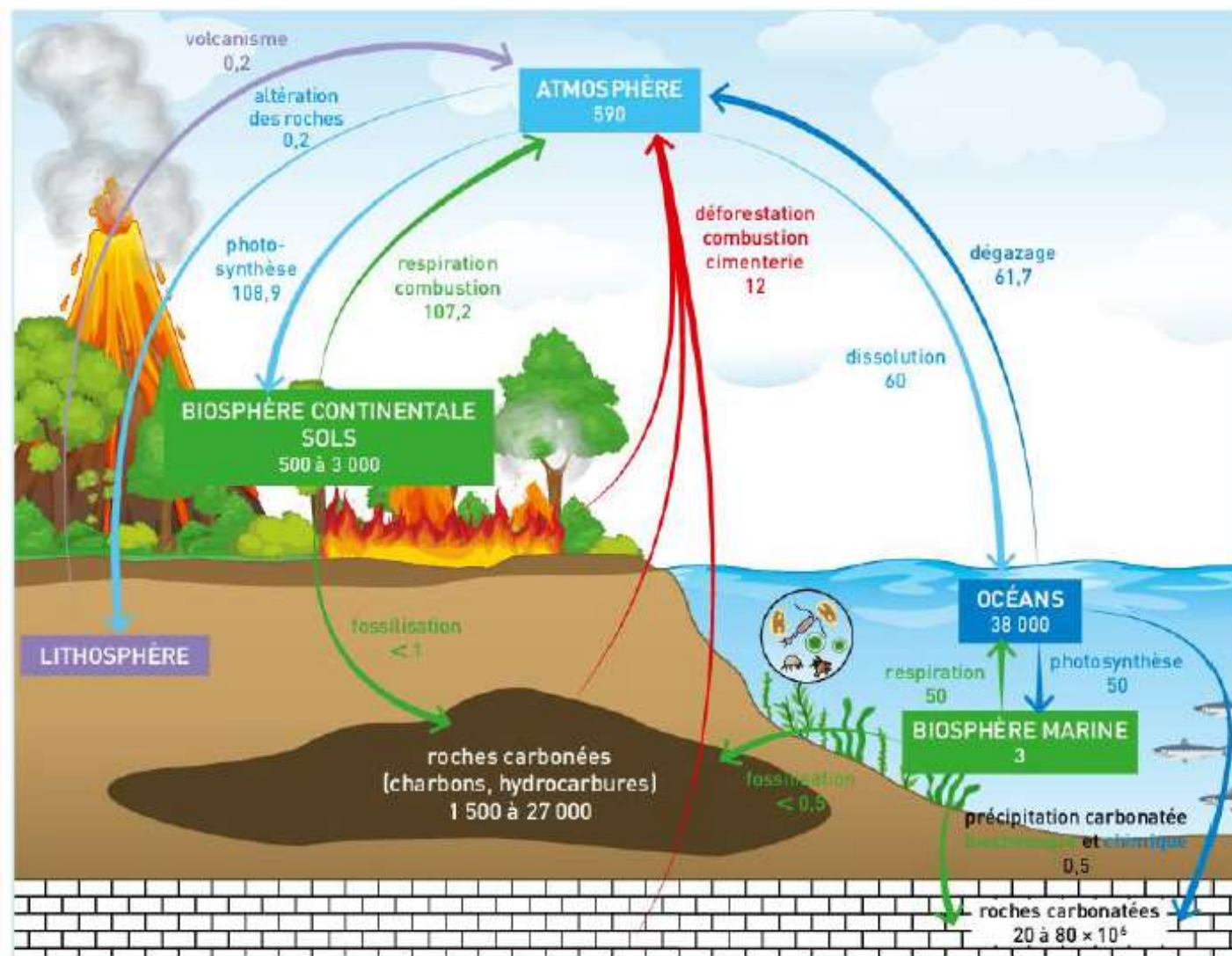
ANIMATION BONUS

Le cycle du carbone

Sur Terre, l'élément carbone est stocké dans plusieurs réservoirs et sous des formes variées :

- CO_2 et CH_4 dans l'atmosphère ;
- carbone organique au sein des molécules des êtres vivants, comme par exemple la cellulose ($[\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5]_n$) ;
- carbone organique des sols ;
- CO_2 dissous et ions hydrogénocarbonates (HCO_3^-) des eaux océaniques ;
- carbonate de calcium des roches carbonatées (CaCO_3) ;
- carbone organique fossile des roches carbonées (charbons, hydrocarbures...).

Ces réservoirs échangent en permanence du carbone sous la forme de flux, permis par différents phénomènes (schéma ci-dessous). L'ensemble de ces échanges forme le **cycle biogéochimique du carbone**. Actuellement, ce cycle est profondément modifié par les activités humaines.



Le cycle biogéochimique du carbone.

Les valeurs sont exprimées en Gt de C (1 Gt = 10⁹ tonnes). Les flux sont exprimés en Gt de C · an⁻¹.

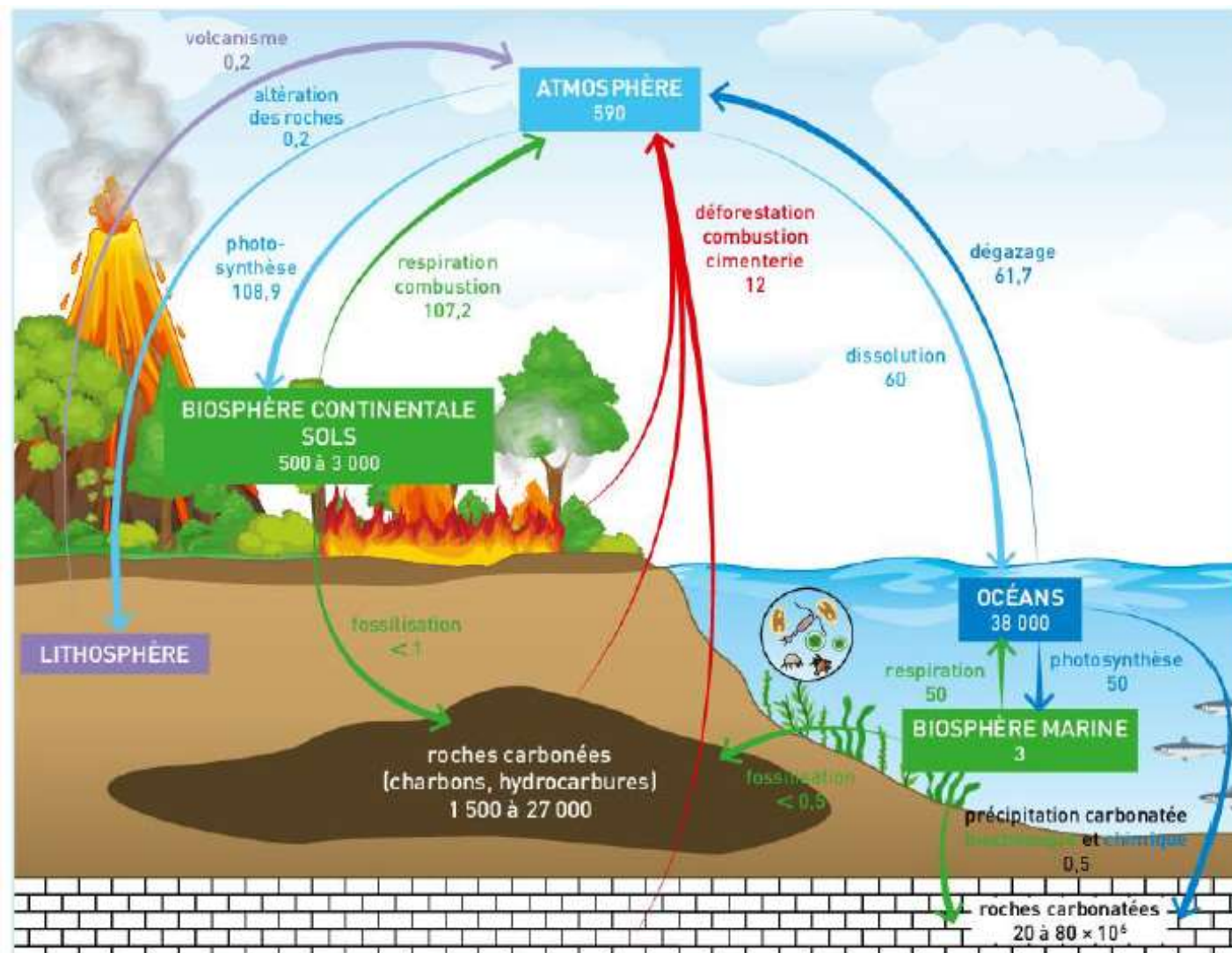
Les estimations données pour les réservoirs correspondent à la période préindustrielle (avant 1850).

Les flèches rouges indiquent les rejets liés aux activités humaines pour l'année 2017.

Pour la période préindustrielle (avant 1850), l'atmosphère terrestre est par ordre décroissant le 5^e réservoir terrestre de carbone.

Ces réservoirs sont du plus grand au plus petit : les roches carbonatées (20 à 80 × 10⁶ Gt), les océans (38 000 Gt), les roches carbonées (1 500 à 27 000 Gt), la biosphère continentale et les sols (500 à 3 000 Gt), l'atmosphère (590 Gt) et la biosphère marine (3 Gt). En ne considérant que les flux naturels de carbone entre l'atmosphère et les autres réservoirs, la quantité de carbone atmosphérique est constante.

En effet, 169,1 Gt de carbone rentrent dans l'atmosphère (0,2 + 107,2 + 61,7) alors que la même quantité en sort (0,2 + 108,9 + 60) au cours d'une année.



■ Le cycle biogéochimique du carbone.
 Les valeurs sont exprimées en Gt de C (1 Gt = 10⁹ tonnes). Les flux sont exprimés en Gt de C · an⁻¹.
 Les estimations données pour les réservoirs correspondent à la période préindustrielle (avant 1850).
 Les flèches rouges indiquent les rejets liés aux activités humaines pour l'année 2017.

En revanche, les activités humaines ont injecté en 2017 environ 12 Gt de carbone dans l'atmosphère, ce qui accroît le volume de ce réservoir.

En augmentant ainsi annuellement la quantité de carbone contenu dans l'atmosphère, les activités humaines auront pour conséquence d'augmenter l'effet de serre exercé par l'atmosphère.

Actuellement, l'atmosphère contient environ 900 Gt de C.

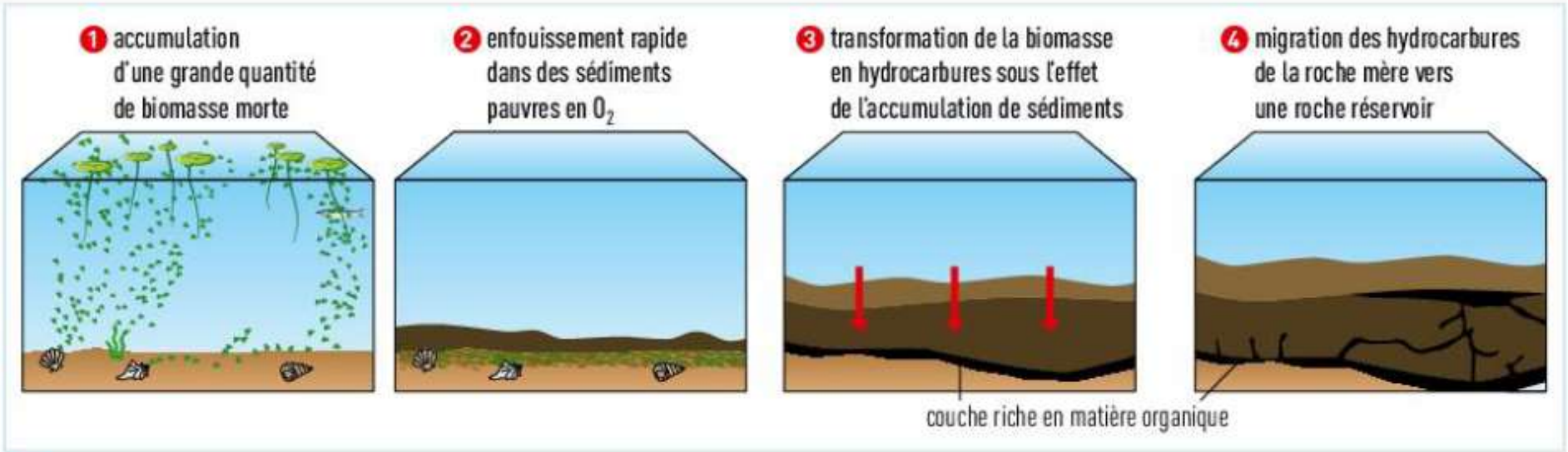
3. Expliquez pourquoi gaz naturel, charbon et pétrole ne sont pas considérés comme des ressources énergétiques renouvelables.



Les roches carbonées : des ressources énergétiques non renouvelables

La formation des roches carbonées nécessite deux conditions préalables : la conservation de grandes quantités de biomasse et son enfouissement rapide sous de grandes quantités de sédiments pauvres en dioxygène (a). Dans ces conditions, seule une infime part (< 1 %) de la biomasse* produite par les êtres vivants échappe à la décomposition.

Si l'enfouissement se poursuit, sous l'effet d'augmentations de température et de pression, la biomasse d'origine océanique se transforme essentiellement en pétrole et gaz naturel (hydrocarbures) alors que la biomasse continentale devient principalement du charbon. La formation des combustibles fossiles nécessite plusieurs dizaines de millions d'années.



a Les principales étapes de la formation des hydrocarbures.

La formation des combustibles fossiles requiert plusieurs dizaines de millions d'années (document 2).

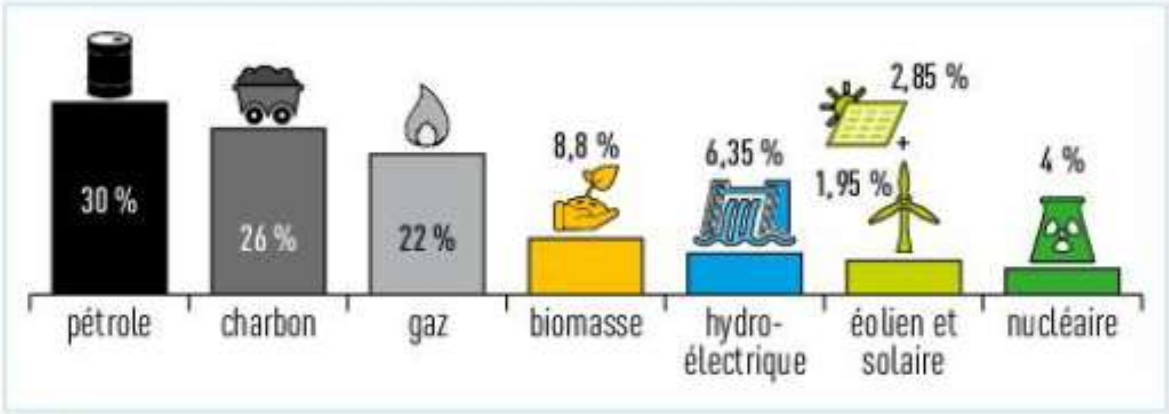
Chaque année, la fossilisation de la matière organique (d'origine océanique et continentale) est évaluée à 1,5 Gt (document 1 fossilisation).

Cette formation ne compense pas, et de loin, les quantités utilisées annuellement de combustibles fossiles, 12 Gt équivalent pétrole, ce qui correspond à peu près à 12 Gt de carbone.

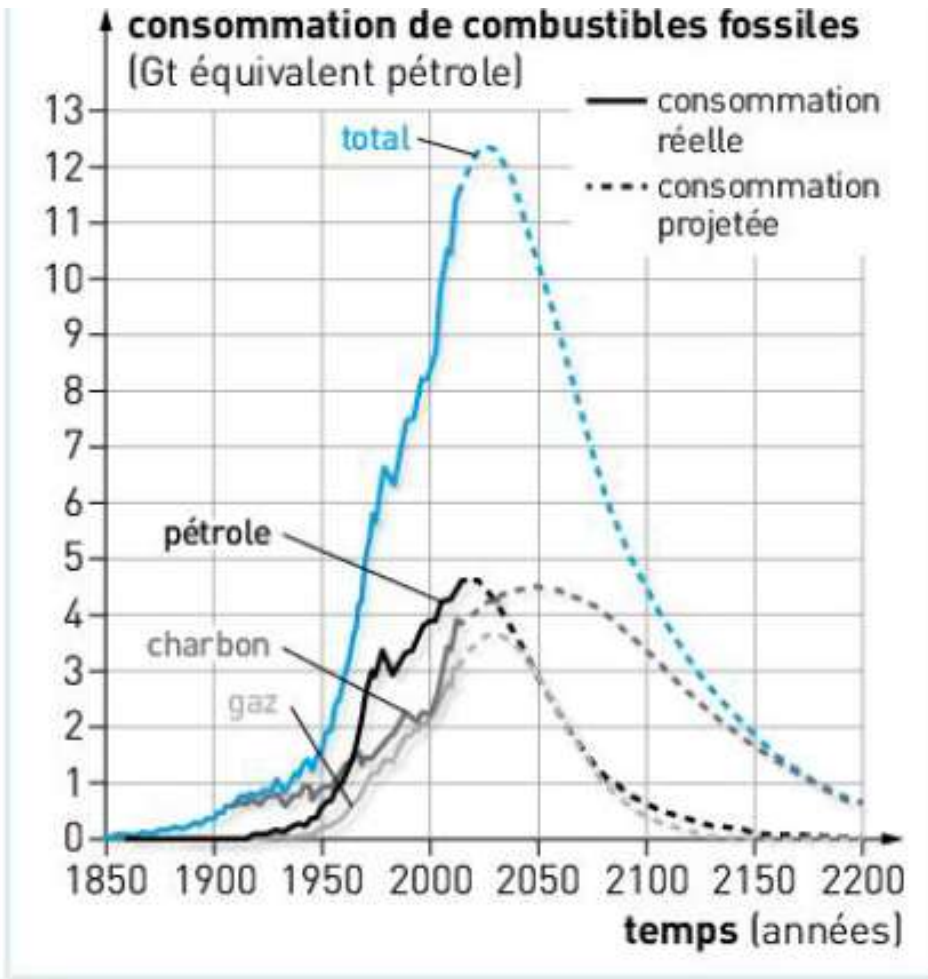
En comparant la formation annuelle, + 1,5 Gt, à la consommation, – 12 Gt, on se rend compte que les combustibles fossiles sont des énergies non renouvelables à l'échelle humaine.

4. Indiquez le problème que cela pose pour l'humanité et proposez des solutions.

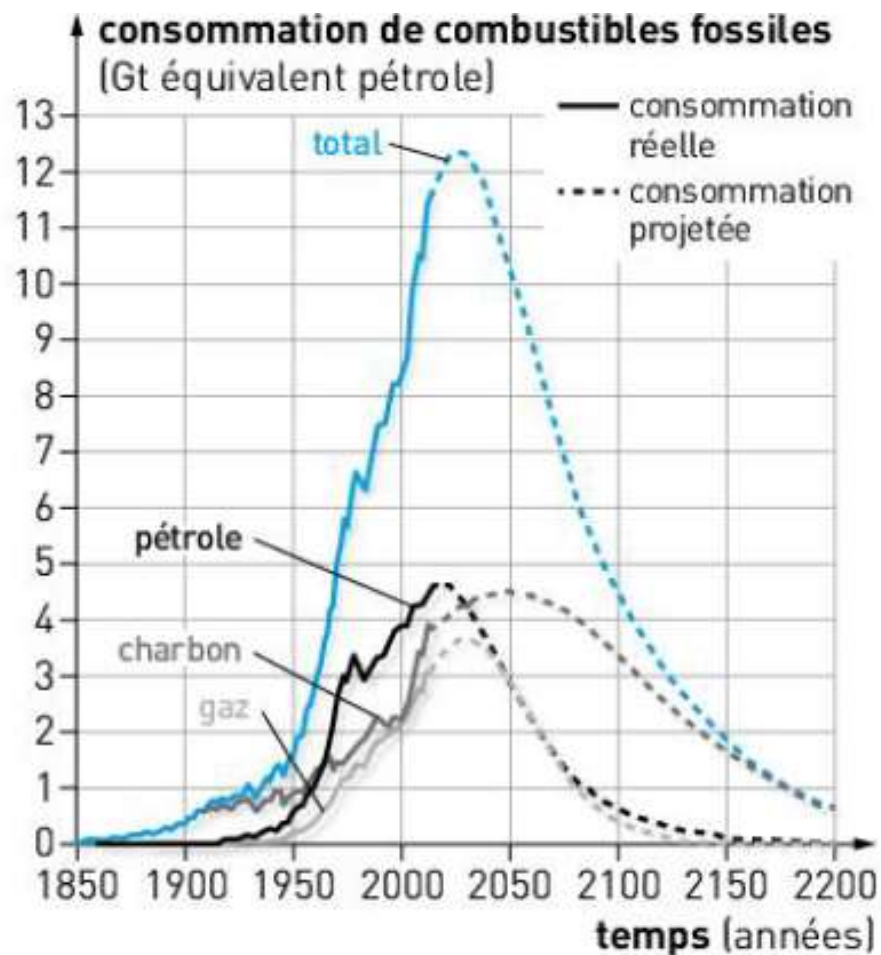
Avant la révolution industrielle de la seconde moitié du XIX^e siècle, l'essentiel de l'énergie utilisée dans le monde provenait directement de la biomasse végétale (bois). Aujourd'hui, les combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel) constituent la forme d'énergie majoritairement utilisée dans le monde (b). En considérant les réserves actuellement connues, la découverte et l'exploitation de nouvelles réserves, et en prenant en compte l'augmentation de la consommation mondiale annuelle, il est possible d'estimer l'évolution de la consommation des combustibles fossiles (c).



b Sources d'énergies utilisées en 2018 dans le monde.



c La consommation de combustibles fossiles entre 1850 et 2015 et sa projection jusqu'en 2200. D'après Jean Laherrère.



Le problème posé à l'humanité est que ces énergies fossiles, selon la projection présentée (doc. 2c), seront totalement consommées en 2200, c'est-à-dire en 350 ans après le début de leur utilisation massive (alors qu'elles représentent 78 % de nos ressources mondiales en 2018).

La solution est donc de développer la production d'énergies dites renouvelables : biomasse, hydraulique, éolien et solaire voire géothermie.

c La consommation de combustibles fossiles entre 1850 et 2015 et sa projection jusqu'en 2200. D'après Jean Laherrère.

http://www.energies-renouvelables.org/energies_renouvelables.asp

Le carbone est stocké dans plusieurs réservoirs superficiels : l'atmosphère, les sols, les océans, la biosphère et les roches.

Les échanges de carbone entre ces réservoirs sont quantifiés par des flux (tonne/an).

Les quantités de carbone dans les différents réservoirs sont constantes lorsque les flux sont équilibrés.

L'ensemble de ces échanges constitue le cycle du carbone sur Terre.

Les combustibles fossiles se sont formés à partir du carbone des êtres vivants, il y a plusieurs dizaines à plusieurs centaines de millions d'années.

Ils ne se renouvellent pas suffisamment vite pour que les stocks se reconstituent : ces ressources en énergie sont dites non renouvelables.

→ Bilan 4 p 31