

David Soissons

**Objectif** Découvrir les voies de stockage et de recyclage pour répondre aux enjeux environnementaux d'une molécule à effet de serre : le CO<sub>2</sub>

**2<sup>de</sup> Physique-Chimie** **Constitution et transformation de la matière**

**Thème 2** • Modélisation des transformations de la matière et transfert d'énergie

**Partie B** • Transformations chimiques

**Notions et contenus** Modélisation macroscopique d'une transformation chimique par une réaction chimique.  
Écriture symbolique d'une réaction chimique.  
Stœchiométrie, réactif limitant.

**Compétences mobilisées** S'approprier **APP**  
Analyser / Raisonner **ANA/RAI**  
Réaliser **REA**  
Valider **VAL**  
Communiquer **COM**

Le dioxyde de carbone, CO<sub>2</sub>, est une molécule essentielle à la vie. Sans elle il n'y aurait pas de photosynthèse et la vie sur Terre n'existerait pas. Cependant, cette molécule est fortement responsable de l'effet de serre. C'est pour cela que les scientifiques cherchent à développer des méthodes pour diminuer son émission ou pour la stocker afin de la recycler.

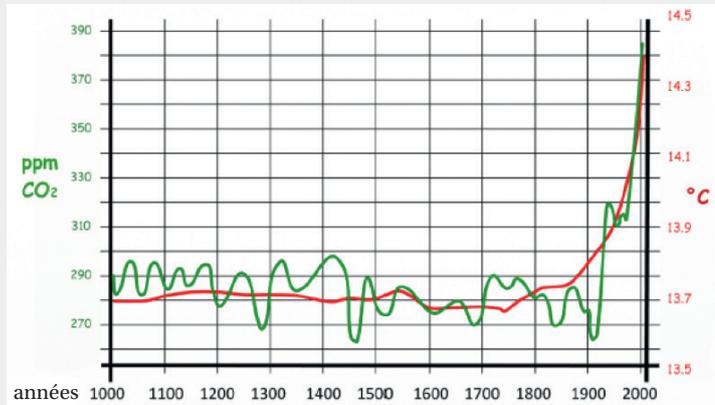


© Futura Sciences.

## Partie A : le CO<sub>2</sub>, une molécule à effet de serre

### Document 1 : Rapport « *Climate change Sciences Compendium 2009* » des Nations Unies

Les relevés de teneur en CO<sub>2</sub> ont été effectués sur des carottes de glace. Plus les mesures sont réalisées en profondeur, plus elles sont témoins du passé.



### Document 2 : L'origine du CO<sub>2</sub>

Le gaz carbonique est naturellement produit par tous les organismes vivants, lors de la respiration des animaux et des végétaux.

Ces sources naturelles de gaz carbonique existent depuis la nuit des temps. Le fait de brûler des matières organiques (bois, pétrole, charbon) provoque un rejet de gaz carbonique dans l'air. Lors de la combustion du charbon, le carbone C réagit avec le dioxygène de l'air O<sub>2</sub> pour former du CO<sub>2</sub>.

Il y a toujours eu des feux, des incendies plus ou moins ravageurs et des civilisations qui ont utilisé le bois ou les combustibles fossiles pour se chauffer et cuisiner. Mais ces rejets étaient marginaux ou de faible ampleur.

Depuis la révolution industrielle au contraire, nous voilà dans l'ère de l'Anthropocène : l'Homme ne cesse d'accroître sa consommation en combustibles fossiles au point d'avoir une réelle influence sur le climat.

Les activités humaines libèrent actuellement 25 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> par an dans l'atmosphère. La combustion du pétrole participe pour 35,2 %, le charbon pour 32 % et le gaz naturel pour 12,8 %.

Les 20 % restants sont produits lors des défrichages massifs des forêts équatoriales.

D'après le site <https://www.wwf.fr/vous-informer/actualites/lorigine-du-co2>



- 1 ANA/RAI Après avoir analysé le Document 1, justifier que le CO<sub>2</sub> joue un rôle majeur dans le réchauffement climatique.

.....

.....

- 2 APP/RAI Écrire l'équation de la réaction liée à la combustion du charbon.

.....

- 3 APP Citer les différentes sources de CO<sub>2</sub> évoquées dans le Document 2.

.....

.....

- 4 COM Proposer un organigramme représentant les différents secteurs des activités humaines liés à l'émission du CO<sub>2</sub>.

- 5 REA Calculer la masse de CO<sub>2</sub> libérée par an lors la combustion du pétrole.

.....

On a également découvert que les grottes renfermaient une quantité anormale de CO<sub>2</sub>. Ainsi, à travers des fissures, le CO<sub>2</sub> peut s'échapper et rejoindre l'atmosphère. Comment se forme le CO<sub>2</sub> dans les grottes?

<http://environnement.wallonie.be/publi/divers/dossierpedagogique-CO2.pdf>



### Document 3 : Grotte du chat à Daluis, monts d'Azur

La Grotte du chat à Daluis est composée comme toute grotte de roches calcaires formées de carbonate de calcium, de formule CaCO<sub>3</sub>. Elle renferme également d'abondants précipités blancs composés de gypse, de formule CaSO<sub>4</sub> formant de jolies stalactites.

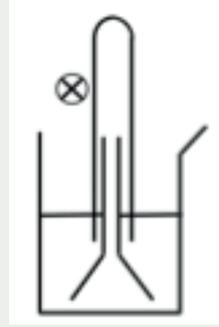
On a décelé des émanations d'acide sulfurique, de formule H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> issu du dégazage d'aquifères profonds.



Grotte de Daluis – © www.daluis.fr

**Document 4 : Protocole expérimental**

1. Introduire dans un bécher de 500 mL un volume  $V_1 = 200$  mL d'acide chlorhydrique ( $H^+ + Cl^-$ ) de concentration  $C_{m1} = 36,5$  g.L<sup>-1</sup>.
2. Remplir un tube à essais avec de l'eau distillée, boucher avec du papier film.
3. Introduire un entonnoir à l'envers dans le bécher puis percer le papier film du tube à essais sur l'entonnoir. Fixer le tout à l'aide d'une pince.
4. Introduire dans la solution, sous l'entonnoir, une masse de craie  $m_2 = 2,0$  g à l'aide d'une pince.
5. À la fin de la réaction, retourner et boucher rapidement le tube à essais.

**Document 5 : Données**

- Matériel et solutions à disposition :
  - Bleu de Bromothymol, indicateur coloré de couleur jaune en présence d'ions  $H^+$ .
  - Eau de chaux.
  - Pipette pasteur en plastique.
- Pictogramme de sécurité pour l'acide chlorhydrique



**6** ANA Préciser les précautions à prendre lors de la manipulation.

.....

.....

**7** REA Réaliser le protocole du Document 4.

.....

.....

**8** RAI/REA Proposer puis réaliser un protocole permettant de mettre en évidence le gaz formé lors de la réaction.

.....

.....

**Document 6 : L'expérience de Lavoisier**

Visionner la vidéo :

<https://www.mediachimie.org/ressource/lexperience-de-lavoisier>



**9** COM Faire un résumé sur la place des scientifiques à l'époque de Lavoisier par rapport à ceux de notre époque.

.....

.....

.....

.....

10 **APP** Écrire la citation bien connue de tous les scientifiques évoquée par Lavoisier.

.....

11 **RAI** En s'appuyant sur cette citation, justifier la loi de conservation des entités chimiques lors d'une réaction chimique.

.....

.....

En plus du gaz mis en évidence, il se forme lors de la réaction chimique de l'expérience du Document 4 des ions Ca<sup>2+</sup> et une molécule **A**. On précise que seuls les ions H<sup>+</sup> apportés par l'acide chlorhydrique réagissent et que la craie est composée de carbonate de calcium CaCO<sub>3</sub>.

12 **RAI** En appliquant la loi de conservation des entités chimiques, identifier la molécule **A**.

.....

13 **RAI** Indiquer le réactif test qui pourrait mettre en évidence cette molécule.

.....

14 **ANA/RAI** Écrire l'équation chimique liée à la réaction.

.....

15 **REA/ANA** Vérifier la présence éventuelle d'ions H<sup>+</sup> en fin de réaction puis indiquer le réactif limitant.

16 **REA/VAL** Valider votre réponse par un calcul des quantités de matière initiales des réactifs sachant que  $M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  et  $M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

.....

17 **RAI/VAL** Répondre à la question : « Comment se forme le CO<sub>2</sub> dans les grottes ? » sachant que l'acide sulfurique joue le même rôle que les ions H<sup>+</sup>.

.....

.....

18 **RAI** Écrire l'équation de la réaction associée à la réaction ayant lieu dans les grottes sachant qu'il se forme également du gypse et la molécule **A**.

.....

## Partie B : le CO<sub>2</sub>, une molécule pour l'avenir de la planète

Le CO<sub>2</sub> est, de prime abord, considéré comme une molécule essentiellement néfaste dont il faudrait se débarrasser. Cependant, elle représente un grand potentiel en tant que source de carbone dans le secteur industriel.

10 % du CO<sub>2</sub> anthropogénique, soit 3 500 millions de tonnes, sont produits annuellement par les différents secteurs industriels : métallurgie, raffineries, cimenteries, centrales thermiques..., ce qui représente un potentiel important à récupérer et à recycler, diminuant par conséquent l'effet de serre !

Quelles sont les voies de stockage et de recyclage pour cette molécule de l'avenir ?

- 19 APP/REA Chercher la définition de « CO<sub>2</sub> anthropogénique » et calculer la masse de CO<sub>2</sub> anthropogénique produite annuellement.

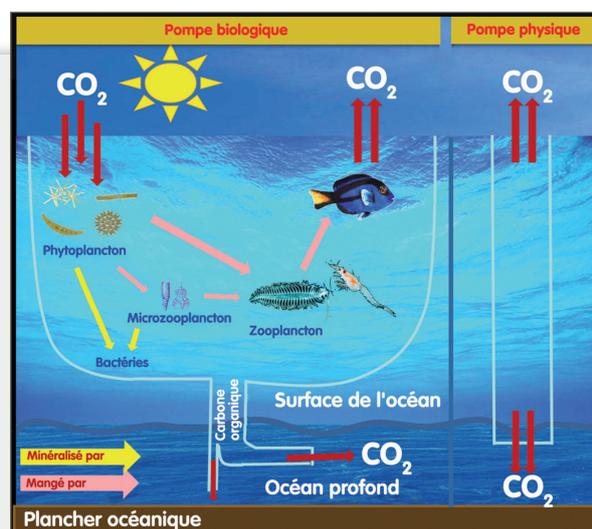
### Document 7 : L'océan, une pompe à CO<sub>2</sub> ?

Des vents violents et froids soufflant rendent l'eau de surface des océans de hautes latitudes plus froide. **Cette eau froide, plus dense, coule vers le fond** [...]. Si le réservoir de surface de l'océan se renouvelle à l'échelle de l'année, il faut plus de mille ans pour renouveler le compartiment profond. Le « tapis roulant » océanique met donc plus d'un millénaire pour se boucler. L'océan est capable de dissoudre de grandes quantités de dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> (de l'ordre de 3 g/l à 0 °C), gaz à effet de serre responsable partiellement du réchauffement climatique. Il joue donc un rôle dans la régulation du climat. [...].

Les échanges de CO<sub>2</sub> entre l'atmosphère et l'océan se réalisent selon deux mécanismes :

- *la pompe physique* (à gauche du schéma) : la majeure partie du CO<sub>2</sub> atmosphérique se dissout dans l'eau selon l'équation :  $\text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{aq})$  ;
- *la pompe biologique* (à droite du schéma) : dans la couche de surface de l'océan, du printemps à l'automne, les conditions sont favorables pour le développement du phytoplancton qui, par photosynthèse, transforme du CO<sub>2</sub> dissous en carbone « organique ». À son tour, cette matière organique fait partie de la chaîne alimentaire et aboutit à un recyclage du carbone sous ses différentes formes minérales dissoutes. Le carbone ainsi transféré peut séjourner à l'abri de l'atmosphère pendant des centaines d'années.

Afin de lutter contre le réchauffement climatique, des techniques géo-ingénieries sont étudiées pour stocker le CO<sub>2</sub> dans les puits de carbone océanique mais inquiètent la communauté scientifique car on ne connaît pas actuellement les conséquences négatives éventuelles sur l'écosystème marin d'une si importante quantité de CO<sub>2</sub> ainsi stockée.



D'après « une chimie de la mer pour l'avenir de la Terre », *Médiachimie*

<https://www.mediachimie.org/ressource/une-chimie-de-la-mer-pour-lavenir-de-la-terre>

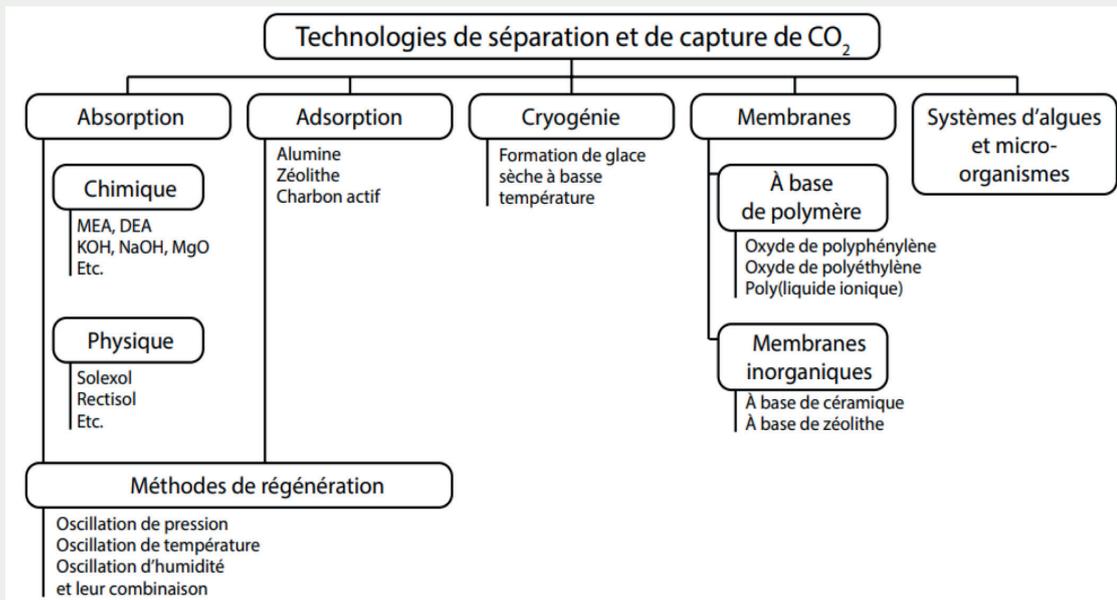


**20** APP/COM Justifier la phrase écrite en gras dans le Document 7 après avoir recherché la signification du terme « plus dense ».

**21** APP/COM Préciser en quoi les océans jouent un rôle essentiel dans le réchauffement climatique.

**22** APP Citer les deux types de mécanismes d'échange CO<sub>2</sub> entre l'atmosphère et l'océan en les décrivant succinctement.

**Document 8 : Comment capturer et séparer le CO<sub>2</sub> ?**



D'après : « La chimie, l'énergie et le climat », Médiachimie

**23** APP Citer les différentes technologies de séparation et de capture de CO<sub>2</sub>.

Les technologies les plus évoluées et les plus utilisées sont basées sur l'absorption chimique, qui est une réaction simple entre le CO<sub>2</sub> et une base comme la monoéthylamine (MEA) de formule brute C<sub>2</sub>H<sub>7</sub>NO qui conduit à des produits stables.

- 24 RAI Établir l'équation de la réaction associée à l'absorption chimique du CO<sub>2</sub> avec le MEA sachant que les produits formés sont la MEA protonée de formule brute C<sub>2</sub>H<sub>8</sub>NO<sup>+</sup> et le carbamate de formule brute C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

- 25 RAI Préciser les inconvénients des technologies d'absorption à partir du Document 8 ou en se référant à l'article sur le site Médiachimie :

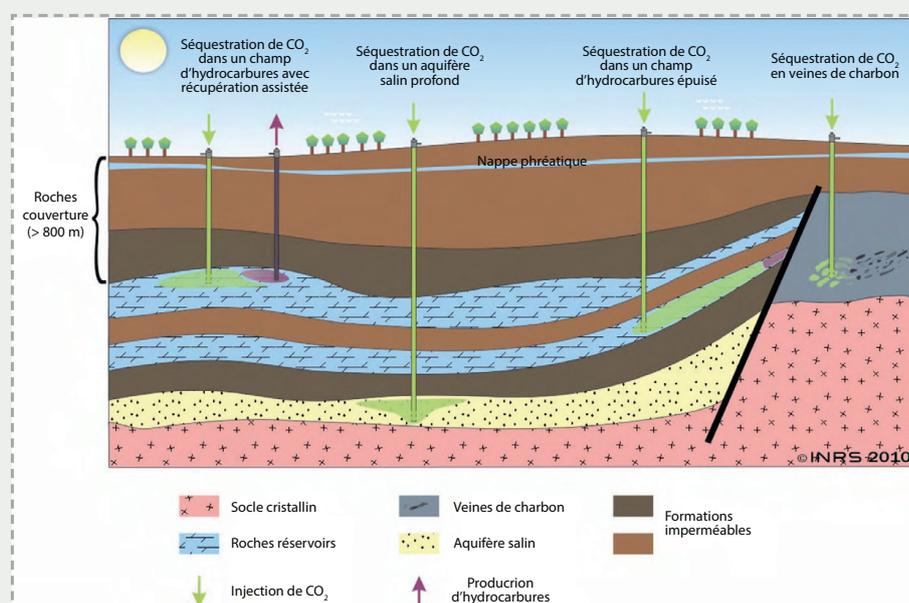
<https://www.mediachimie.org/ressource/le-co2-matiere-premiere-de-la-vie>



- 26 RAI Proposer, en justifiant, l'équation de la transformation subie par le CO<sub>2</sub> lors de la technologie de séparation et de capture par cryogénie. Préciser s'il s'agit d'une transformation chimique ou physique.

### Document 9 : Stockage du CO<sub>2</sub>

Différents sites sont possibles pour stocker le CO<sub>2</sub> récupéré (schéma ci-dessous). Il faut donc évaluer toutes les capacités de stockage qui sont en réalité nombreuses, mais pour lesquelles se posent des problèmes d'acceptabilité sociale et de sécurité. De plus, l'autre problème est qu'il est très rare que les sites industriels de production massive de CO<sub>2</sub> soient localisés au même endroit que les réserves potentielles de stockage. Le problème du stockage demeure encore un problème pratique complexe sur lequel on est loin des applications à grande échelle.



D'après : « La chimie, l'énergie et le climat », Médiachimie

**27** APP Préciser les différents sites possibles de stockage de CO<sub>2</sub>.

.....

.....

.....

**28** COM Présenter les limites rencontrées pour le stockage du CO<sub>2</sub>.

.....

.....

.....

L'industrie sait produire des molécules utiles à partir du CO<sub>2</sub>. L'industrie consomme actuellement 150 mégatonnes par an du CO<sub>2</sub> sur les 35 gigatonnes produites par l'Homme.

**29** REA Calculer le pourcentage en masse de CO<sub>2</sub> consommés par an par l'industrie. Conclure.

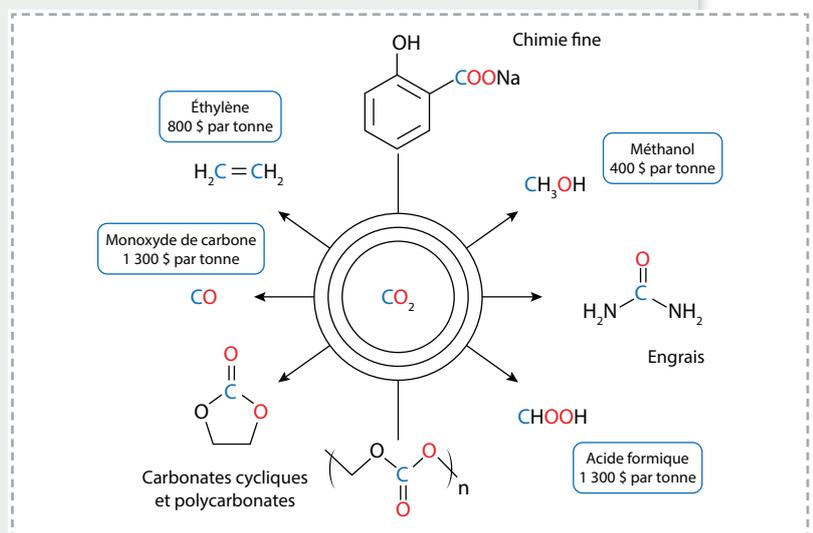
.....

.....

.....

### Document 10 : Molécules organiques synthétisées à partir de CO<sub>2</sub>

De nombreuses molécules organiques d'intérêt industriel peuvent être synthétisées à partir du CO<sub>2</sub>.



D'après : « la chimie, l'énergie et le climat » Médiachimie

**30** APP Citer des molécules organiques d'intérêt industriel synthétisées à partir du CO<sub>2</sub> et rechercher sur Internet leurs applications dans l'industrie.

.....

.....

.....

**Document 11 : Méthanisation du CO<sub>2</sub>**

L'hydrogénation de CO<sub>2</sub> en méthane (réaction de Sabatier connue depuis longtemps) peut être intégrée dans un cycle de stockage d'énergie intermittente :

- l'éolienne et le panneau solaire produisent de l'électricité sans production de CO<sub>2</sub> : le surplus d'électricité peut être stocké sous forme de dihydrogène H<sub>2</sub> par électrolyse de l'eau ;
- le dihydrogène H<sub>2</sub> est utilisé pour réagir avec le CO<sub>2</sub> d'origine industrielle afin de produire du méthane CH<sub>4</sub> qui sera employé industriellement ou réinjecté dans le circuit gaz et production d'énergie.

D'après : « la chimie, l'énergie et le climat » Médiachimie

**Document 12 : Voiture au gaz naturel**

Bien plus propre que l'essence ou le Diesel, il est (encore) peu utilisé en France. Le gaz naturel pour véhicules (GNV) présente pourtant de solides arguments en faveur de l'environnement. Ce gaz, essentiellement composé de méthane (CH<sub>4</sub>), est identique à celui utilisé pour cuisiner ou chauffer un logement. Comparé à un moteur à essence, il permet de réduire les émissions de particules fines de 93 %, celles des oxydes d'azote (NOx) de 52 % et celles de CO<sub>2</sub> de 23 %, ce qui lui permet d'arborer une vignette Crit'air 1 et d'obtenir une carte grise à moitié prix, voire gratuite, dans la plupart des départements.

D'après LCI.fr

<https://www.lci.fr/conso-argent/voiture-au-gaznaturel-gnv-une-alternative-aussi-ecologique-que-lelectrique-carburant-essence-biomethane-fiat-co2-nox-particules-2075001.html>



**31** APP Rechercher la signification du terme « énergie intermittente » évoqué dans le Document 11.

**32** APP Citer les avantages à utiliser les panneaux solaires ou les éoliennes pour produire de l'énergie électrique.

**33** ANA/COM Établir un organigramme, à exposer à la classe, représentant la conversion du CO<sub>2</sub> en méthane en précisant :

- l'équation de la réaction liée à l'électrolyse de l'eau sachant qu'il se forme aussi du dioxygène ;
- l'équation de la réaction de production du méthane CH<sub>4</sub> à partir du CO<sub>2</sub> et du dihydrogène sachant qui se forme également de l'eau (réaction de Sabatier).

**34** APP/RAI Justifier pourquoi le méthane est considéré comme biocarburant vert.

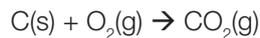
**35** ANA/REA Un biogaz contient environ 90 % de méthane. Déterminer à partir de l'équation de la réaction de Sabatier la masse de CO<sub>2</sub> consommée pour la synthèse d'une tonne de ce biogaz.  
On donne les masses molaires en g.mol<sup>-1</sup> : M(C) = 12,0 ; M(H) = 1,0 et M(O) = 16.

1. Le document 1 est un graphique qui donne l'évolution de la quantité de CO<sub>2</sub> ainsi que l'évolution de la température au cours des années (de l'an 1000 à l'an 2000).

On observe que l'évolution de la température suit l'évolution de la quantité de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. On en déduit que le CO<sub>2</sub> joue un rôle majeur dans le réchauffement climatique.

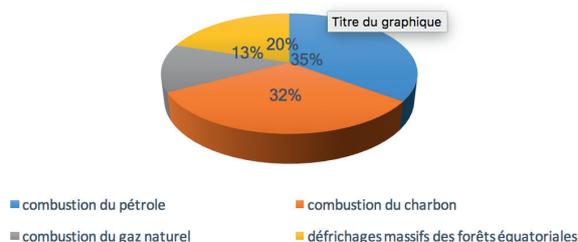
2. D'après le document 2, « le carbone C réagit avec l'oxygène de l'air O<sub>2</sub> pour former du CO<sub>2</sub> ».

Avec le carbone à l'état solide, O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> à l'état gaz on peut écrire :



3. D'après le document 2 on peut citer : la respiration des végétaux et animaux, réactions de combustion (énergie fossile, forêts...)

4. **25 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> libérés par an par les activités humaines**



5. On lit que la combustion du pétrole participe pour 35,2 % des activités humaines qui libèrent une masse  $m_1$  de 25 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> par an dans l'atmosphère.

Alors masse  $m_2$  de CO<sub>2</sub> libérée par la combustion du pétrole est :

$$m_2 = \frac{35,2}{100} \times m_1 \text{ avec } m_1 = 25 \text{ milliards de tonnes}$$

$$\Leftrightarrow m_2 = \frac{35,2}{100} \times 25 = 8,8 \text{ milliards de tonnes}$$

$$= 8,8 \times 10^9 \text{ tonnes} = 8,8 \times 10^9 \times 10^3 = 8,8 \times 10^{12} \text{ Kg}$$

6. D'après le pictogramme de sécurité l'acide chlorhydrique est irritant. Il faut utiliser la blouse et des gants.

7. À voir avec votre enseignant.

8. On sait que le CO<sub>2</sub> est un gaz qui trouble l'eau de chaux. On peut proposer le protocole suivant :

- Introduire rapidement dans le tube à essais de l'eau de chaux à l'aide d'une pipette pasteur en plastique.
- Observer et conclure.

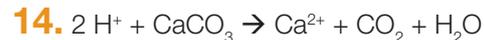
9. Il y a plus de 2 siècles les scientifiques n'étaient pas bien vus par la société. En effet, en 1794 Lavoisier attendait sa mise à mort, suite à sa demande de sursis pour achever une expérience, on lui aurait répondu « La République n'a pas besoin de savants ». Aujourd'hui les recherches scientifiques sont au cœur de notre société.

10. Cette célèbre citation est : « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme. »

11. D'après la citation on peut déduire que tous les éléments chimiques présents dans les réactifs doivent se retrouver à la fin de la réaction car rien ne doit disparaître. En revanche ils peuvent se retrouver sous une forme différente, dans d'autres espèces chimiques : les produits.

12. Les réactifs sont H<sup>+</sup> et CaCO<sub>3</sub> : les éléments chimiques sont : 1 H ; 1 Ca , 1 C et 3 O. Les produits sont Ca<sup>2+</sup> ; CO<sub>2</sub> et **A** : les éléments chimiques sont : 1 Ca , 1 C et 2 O et ceux composant **A**. D'après la loi de conservation des éléments chimiques on observe qu'il manque 1 O et 2 H. On déduit que **A** est composée de 1 O et 2 H, c'est donc la molécule d'eau H<sub>2</sub>O.

13. Le sulfate de cuivre anhydre est le réactif test mettant en évidence la molécule d'eau.



15. D'après le document 5 le BBT devient jaune en présence d'ions H<sup>+</sup>.

On introduit du BBT dans le bécher. On observe que la solution se colore en jaune.

On en déduit que la solution contient des ions H<sup>+</sup> en fin de réaction.

On observe également que la craie a totalement disparue donc CaCO<sub>3</sub> est le réactif limitant.

16. On sait que  $n = \frac{m}{M}$  alors :

$$n_{\text{i,CaCO}_3} = \frac{m_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{CaCO}_3}} = \frac{2,0}{100} = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$n_{\text{i,H}^+} = n_{\text{i,HCl}} = \frac{m_{\text{HCl}}}{M_{\text{HCl}}}$$

$$\text{avec } m_{\text{i,HCl}} = C_{m1} \times V_1$$

$$\text{alors } n_{\text{i,H}^+} = \frac{C_{m1} \times V_1}{M_{\text{HCl}}} = \frac{36,5 \times 0,200}{36,5}$$

$$n_{\text{i,H}^+} = 0,200 = 2,00 \times 10^{-1} \text{ mol}$$

D'après l'équation de la réaction on doit

$$\text{comparer } \frac{n_{\text{i,CaCO}_3}}{1} \text{ et } \frac{n_{\text{i,H}^+}}{2}$$

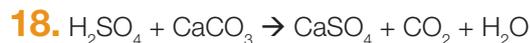
$$\text{or } \frac{n_{\text{i,CaCO}_3}}{1} = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$\text{et } \frac{n_{\text{i,H}^+}}{2} = \frac{2,00 \times 10^{-1}}{2} = 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol}$$

$$\text{alors } \frac{n_{\text{i,CaCO}_3}}{1} < \frac{n_{\text{i,H}^+}}{2} :$$

CaCO<sub>3</sub> est bien le réactif limitant.

**17.** Vu que l'acide sulfurique joue le même rôle que H<sup>+</sup> il va réagir sur le carbonate de calcium CaCO<sub>3</sub> pour former du CO<sub>2</sub>. D'où son origine dans les grottes.



**19.** CO<sub>2</sub> anthropogénique : émission de CO<sub>2</sub> due à l'activité humaine.

On lit « 10 % du CO<sub>2</sub> anthropogénique, soit 3 500 millions de tonnes » ce qui correspond à la relation mathématique :

$$\frac{10}{100} \times m_{\text{CO}_2 \text{ anthropogénique}} = 3\,500 \text{ millions de tonnes}$$

$$\Leftrightarrow m_{\text{CO}_2 \text{ anthropogénique}} = 3\,500 \times \frac{100}{10} = 35\,000 \text{ millions}$$

de tonnes = 35 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>.

**20.** Un corps A est plus dense qu'un corps B si  $\rho_A > \rho_B$ .

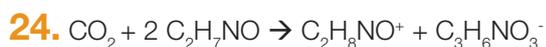
Donc  $\rho_{\text{froide}} > \rho_{\text{chaude}}$ . On comprend alors que l'eau froide coule vers le fond.

**21.** « L'océan est capable de dissoudre de grandes quantités de dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> » ainsi la quantité de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère diminue et l'effet de serre également évitant une augmentation de température.

**22.** La pompe physique : le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère se dissout dans l'eau froide et coule au fond puis est stocké sur une longue durée.

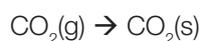
La pompe biologique : le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère est capté par les organismes puis transformé par photosynthèse en matière organique (source alimentaire dans l'océan).

**23.** On relève dans le document 8 les technologies par absorption, par cryogénie, par membrane et par systèmes d'algues et micro-organismes. Les technologies les plus évoluées et les plus utilisées sont basées sur l'absorption chimique, qui est une réaction simple entre le CO<sub>2</sub> et une base comme la monoéthylamine (MEA) de formule brute C<sub>2</sub>H<sub>7</sub>NO qui conduit à des produits stables.



**25.** Ces technologies d'absorption nécessitent une étape très coûteuse de régénération du CO<sub>2</sub>.

**26.** La cryogénie consiste à la formation de glace donc la transformation est une transformation physique de changement d'état d'équation :



**27.** On relève dans le document 9 les sites de stockage suivants : champs d'hydrocarbures épuisés ou avec récupération, aquifère salin profond, veines de charbon.

**28.** L'utilisation de ces sites s'expose à quelques problèmes :

- la sécurité liée à l'exploitation des sites ; du transport du CO<sub>2</sub> : les sites industriels de production massive n'étant pas souvent à proximité des sites de stockage.
- l'acceptabilité sociale (accord des habitants aux alentours des sites...)

L'industrie sait produire des molécules utiles à partir du CO<sub>2</sub>. L'industrie consomme actuellement 150 mégatonnes par an du CO<sub>2</sub> sur les 35 gigatonnes produites par l'homme.

$$\text{29. } P_m = \frac{m_{\text{CO}_2 \text{ consommée industrie}}}{m_{\text{CO}_2 \text{ produit par l'homme}}} \times 100 =$$

$$\frac{150 \times 10^6}{35 \times 10^9} \times 100 = 4,2 \times 10^{-1} = 0,42 \%$$

Il s'agit que d'une faible contribution à la consommation de CO<sub>2</sub>. L'industrie ne peut actuellement résoudre le problème du réchauffement climatique.

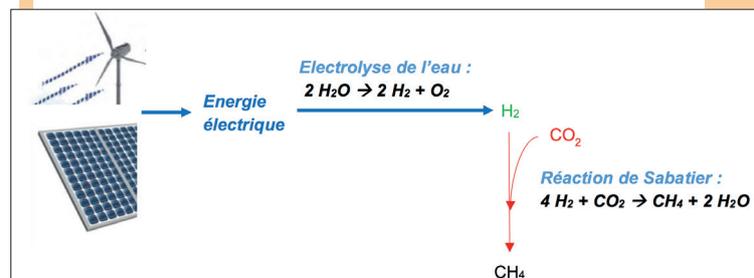
**30.** On peut citer :

- l'acide formique utilisé en industrie textile, fabrication d'insecticide...
- l'urée utilisée en cosmétique...
- éthylène utilisé dans la fabrication de polymère plastique notamment le polyéthylène.

**31.** Les sources d'énergie intermittente sont les sources de production d'énergie renouvelable correspondant à des flux naturels, qui ne sont pas disponibles en permanence (les éoliennes produisent de l'énergie que s'il y a du vent).

**32.** L'avantage de l'utilisation des panneaux solaire ou des éoliennes est que la production d'énergie ne produit pas de CO<sub>2</sub>.

**33.** L'équation de la réaction liée à l'électrolyse de l'eau sachant qu'il se forme aussi du dioxygène. L'équation de la réaction de production du méthane CH<sub>4</sub> à partir du CO<sub>2</sub> et du dihydrogène sachant qu'il se forme également de l'eau (réaction de Sabatier).



**34.** On lit « il permet de réduire les émissions de particules fines de 93 %, celles des oxydes d'azote (NOx) de 52% et celles de CO<sub>2</sub> de 23 %. »

Ainsi l'utilisation du méthane permet de réduire l'émission de CO<sub>2</sub> diminuant l'effet de serre et celle d'autres particules polluantes. Il est en ce sens bon pour l'environnement d'utiliser le méthane comme carburant. On le qualifie de biocarburant vert.

**35.**

(1) Calculons la masse  $m_{\text{CH}_4}$  de méthane dans 1 tonne de biogaz :

On sait que ce biogaz contient 90 % de méthane alors

$$m = \frac{90}{100} \times 1 = 0,9 \text{ tonne}$$

$$\text{Soit } m_{\text{CH}_4} = 0,9 \times 10^3 \text{ kg} = 0,9 \times 10^6 \text{ g} = 9 \times 10^5 \text{ g}$$

(2) Calculons la quantité de matière de méthane dans la masse  $m_{\text{CH}_4}$  de méthane :

$$\text{On sait que } n_{\text{CH}_4} = \frac{m_{\text{CH}_4}}{M_{\text{CH}_4}} = \frac{9 \times 10^5}{16,0} = 6 \times 10^4 \text{ mol}$$

(3) Calculons la quantité de matière de CO<sub>2</sub> consommé :

D'après l'équation de Sabatier 1 mol de dioxyde de carbone forme 1 mol de méthane alors

$$n_{\text{CO}_2, \text{consommé}} = n_{\text{CH}_4} = 6 \times 10^4 \text{ mol}$$

(4) Calculons la masse de CO<sub>2</sub> consommé :

On a alors

$$m_{\text{CO}_2, \text{consommé}} = n_{\text{CO}_2, \text{consommé}} \times M_{\text{CO}_2} = 6 \times 10^4 \times 44 = 264 \times 10^4 = 3 \times 10^6 \text{ g} = 3 \text{ tonnes.}$$