

Thème : Matière et matériaux

Chapitre : Combustion

Objectifs :

- Citer des carburants fossiles et des agro-carburants usuels et connaître l'impact de leur utilisation sur l'environnement.
- Identifier les produits d'une combustion complète pour établir l'équation de la réaction correspondante.
- Écrire et exploiter l'équation chimique d'une réaction de combustion complète d'un hydrocarbure ou d'un « biocarburant » pour prévoir le réactif limitant et les quantités de matière des produits formés.
- Écrire et exploiter une équation chimique de combustion incomplète pour un carburant donné, les produits étant indiqués.
- Identifier un alcane ou un alcène à partir de sa formule brute et de sa formule semi-développée.
- Identifier le groupe caractéristique et la chaîne carbonée d'un alcool à partir de sa formule semi-développée.

Sommaire

1. Cours	2	3. Activité 2 : Les agro-carburants ou biocarburants	6
1.1 Définitions	2		
1.2 Carburants	2		
1.3 Impact de l'utilisation des carburants . .	2	4. Activité 3 : Identifier les produits d'une combustion	7
1.4 Combustion complète	3		
1.5 Détermination du réactif limitant et bilan de matière	3	5. Activité 4 : Identifier les alcanes et les alcènes	8
1.6 Combustion incomplète	4		
2. Activité 1 : Le pétrole : origine et usages	5	6. Exercices	9

1. Cours

1.1 Définitions

Qu'est-ce qu'un **hydrocarbure** ?

.....
.....

Qu'est-ce qu'un **alcane** ?

.....
.....

Qu'est-ce qu'un **alcène** ?

.....
.....

Qu'est-ce qu'un **alcool** ?

.....
.....

1.2 Carburants

Donner la définition d'un **carburant** :

.....
.....

Quels sont les deux catégories de carburants ?

—
.....
—
.....

1.3 Impact de l'utilisation des carburants

Quel est l'impact de l'utilisation des carburants ?

.....
.....

.....
.....

1.4 Combustion complète

Définir une combustion complète :

.....
.....
.....
.....

Écrire l'équation type d'une combustion :

.....

1.5 Détermination du réactif limitant et bilan de matière

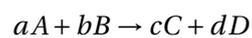
À quel instant une réaction chimique prend fin ?

.....

Qu'appelle-t-on réactif limitant ?

.....

Soit la réaction suivant :



Qui sont les réactifs ? les produits ? Comment déterminer le réactif limitant ?

.....
.....
.....
.....

Quelles sont les quantités de produits formés ?

.....

Quelles est la quantité du réactif en excès ?

.....

1.6 Combustion incomplète

Définir une combustion complète :

.....

.....

.....

2. Activité 1 : Le pétrole : origine et usages

Objectif :

- Citer des carburants fossiles et des agro-carburants usuels et connaître l'impact de leur utilisation sur l'environnement.

Le pétrole est la matière première de la majorité des carburants utilisés de nos jours : l'essence, le diesel, le kérosène, le GPL, le gaz naturel pour véhicules... Cette source d'énergie est également responsable d'une partie des problèmes écologiques actuels : effet de serre, pollution atmosphérique, etc. Aujourd'hui, les réserves de pétrole sont estimées à une quarantaine d'années. Mais entre-temps, de nouvelles sources seront certainement découvertes et les améliorations techniques permettront sans doute de reculer encore ces prévisions. Le prix aussi joue un rôle de régulateur : plus il est élevé, plus de nouveaux moyens d'exploitation sont mis en œuvre.

FIGURE 1 – Notre principal carburant

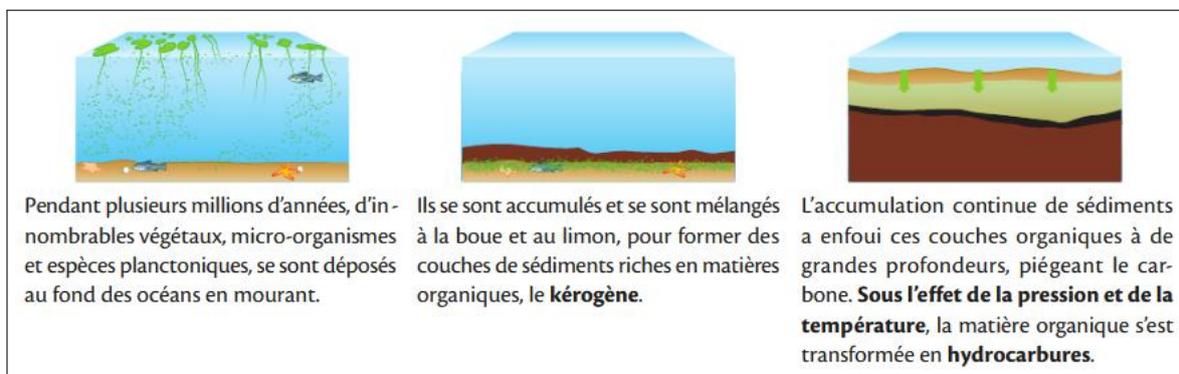


FIGURE 2 – La formation du pétrole

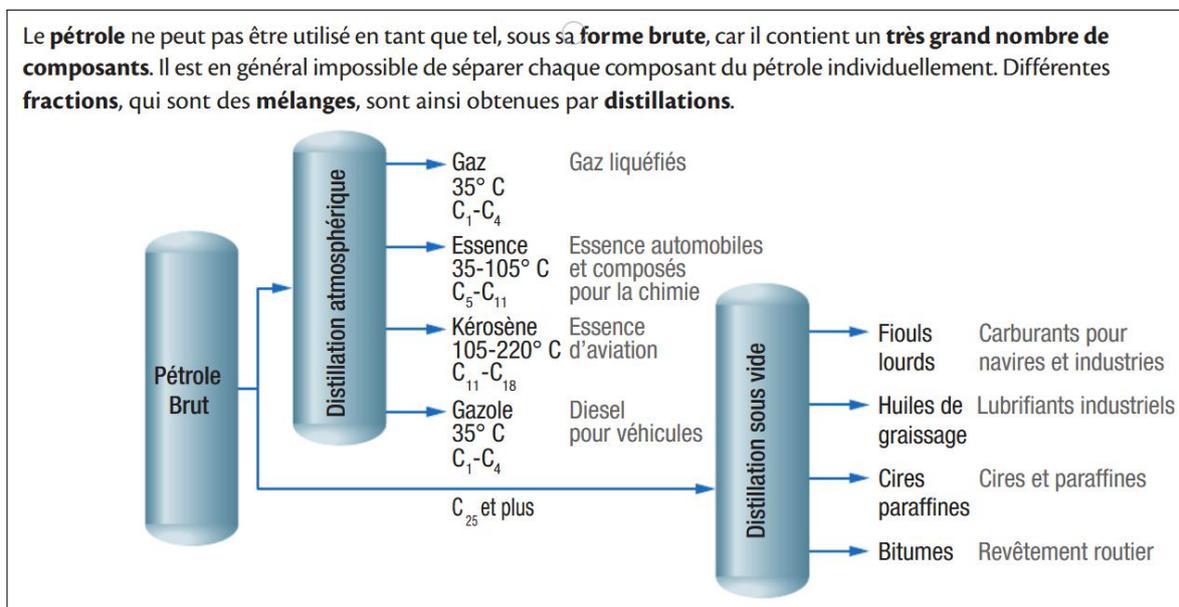


FIGURE 3 – Usages des différents constituants du pétrole.

1. Quelle est l'origine du pétrole ?
2. Pourquoi peut-on qualifier le pétrole d'énergie fossile ?
3. Quelles sont les conséquences sur l'environnement de l'exploitation de ces ressources fossiles ?
4. Citer les différents carburants fossiles issus du pétrole et **préciser** leurs domaines d'utilisations.

3. Activité 2 : Les agro-carburants ou biocarburants

Objectif :

- Citer des carburants fossiles et des agro-carburants usuels et connaître l'impact de leur utilisation sur l'environnement.

La France incorpore aujourd'hui près de 8,5% (chiffre 2015) de bio-carburants ou agro-carburants dans le pool des carburants essence et gazole pour le transport routier, et ambitionne, tout comme l'ensemble des États membres européens, une incorporation d'environ 10% en 2020 afin de réduire les émissions de CO₂, un puissant gaz à effet de serre.
Les agro-carburants aujourd'hui commercialisés sont le biodiesel et le bioéthanol.

FIGURE 1 – Des carburants de plus en plus utilisés

Le **biodiesel** est un ester d'huile végétale. L'utilisation d'huile végétale comme carburant n'est pas une technique nouvelle : Rudolf DIESEL avait en effet développé le moteur qui porte son nom à l'aide d'huile d'arachide.

Ces huiles végétales s'obtiennent classiquement par simple pressage de graines oléagineuses telles que le colza, le tournesol, le soja... Des graisses animales ainsi que des huiles alimentaires usagées peuvent être également utilisées à cet effet.

La **transestérification** est la technique classique de production de biodiesel. Il s'agit d'un procédé dans lequel les huiles végétales ou les graisses animales sont transformées en esters éthyliques ou méthyliques.

	Point de fusion (°C)	Densité	Viscosité (cSt)	Indice de cétane*
Diesel	-12	0,83	4,2	48 à 52
Huile de colza	< 2	0,91	98	32 à 36
Ester méthylique		0,88	7	49 à 50

* L'indice de cétane évalue la capacité d'un carburant à s'enflammer sur une échelle de 0 à 100. Un carburant à haut indice de cétane est caractérisé par sa facilité à s'auto-allumer.

FIGURE 2 – Le biodiesel

Le **bioéthanol** est un alcool produit à partir de végétaux tels que la canne à sucre, le maïs, la betterave, les céréales ou encore les pommes de terre. C'est la même molécule que l'éthanol. Le préfixe « bio » signifie qu'il est fabriqué à partir de matière organique. La majorité des moteurs de voiture peuvent fonctionner avec 10% d'incorporation de bioéthanol dans l'essence.

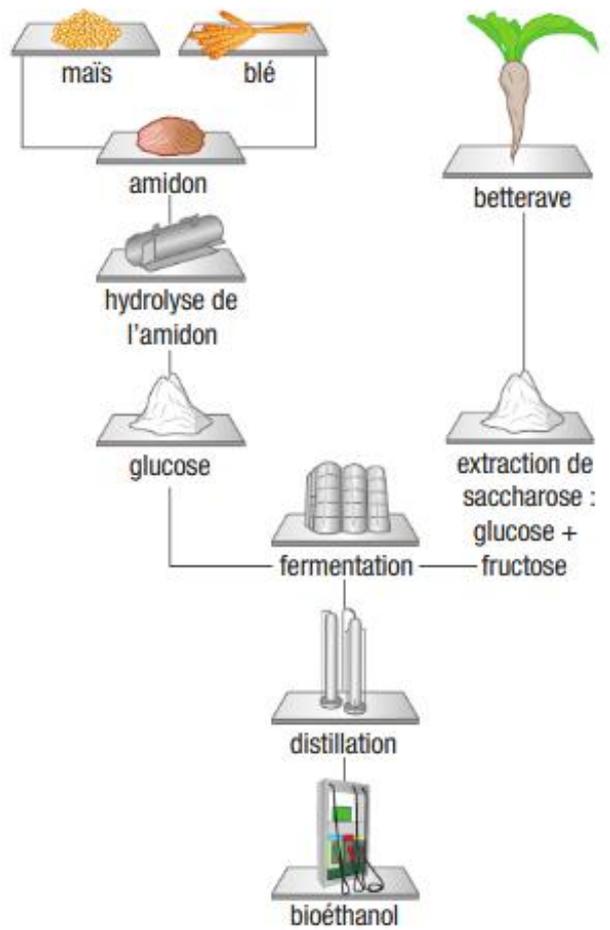


FIGURE 3 – Le bioéthanol

1. Pour quelles raisons les filières d'agro-carburants sont-elles en train de se développer ?
2. Quels sont les agro-carburants les plus courants ?
3. Pourquoi peut-on dire que l'impact des agro-carburants sur l'environnement sont plus faibles que pour les carburants issus du pétrole ?
4. Quel est l'intérêt de transformer les huiles en esters ?
5. Quels sont les sucres extraits des végétaux lors de la production du bioéthanol ?

4. Activité 3 : Identifier les produits d'une combustion

Objectif :

- Identifier les produits d'une combustion complète pour établir l'équation de la réaction correspondante.
- Écrire et exploiter l'équation chimique d'une réaction de combustion complète d'un hydrocarbure ou d'un « biocarburant » pour prévoir le réactif limitant et les quantités de matière des produits formés.
- Écrire et exploiter une équation chimique de combustion incomplète pour un carburant donné, les produits étant indiqués.

La **combustion** est une transformation chimique produisant de la chaleur. Elle n'a lieu que si un combustible (bois, essence, méthane, fer...), un comburant (généralement le dioxygène) et de l'énergie (sous forme de chaleur généralement) sont réunis.

La combustion dite **complète** est une réaction de combustion où les seuls produits sont le dioxyde de carbone CO_2 et l'eau H_2O .

Lorsque le comburant (le dioxygène le plus souvent) n'est pas présent en quantité suffisante la combustion est **incomplète** et génère des suies (matière noire très riche en carbone) et du monoxyde de carbone CO qui est un gaz très dangereux car inodore, incolore et sans saveur.



FIGURE 1 – Combustions complète et incomplète



On étudie la combustion d'un alcane, le butane, utilisé comme combustible dans les briquets.

Ce gaz est aussi utilisé comme carburant mélangé à d'autres hydrocarbures sous forme de GPL (gaz de pétrole liquéfié).

•1^{re} manipulation

Régler le briquet de façon à obtenir une flamme bleue et placer juste au-dessus de la flamme un tube à essai froid. Observer les parois du tube et indiquer quelle espèce chimique est mise en évidence.

•2^e manipulation

Refaire la même opération et introduire rapidement quelques millilitres d'eau de chaux dans le tube à essai.

Boucher rapidement et agiter.

Observer la solution dans le tube. Quelle espèce chimique a-t-on mis en évidence ?

•3^e manipulation

Régler le briquet de façon à obtenir une flamme jaune et placer juste au-dessus de la flamme un verre de montre.

Observer le verre de montre : quelle est la nature du dépôt observé ?

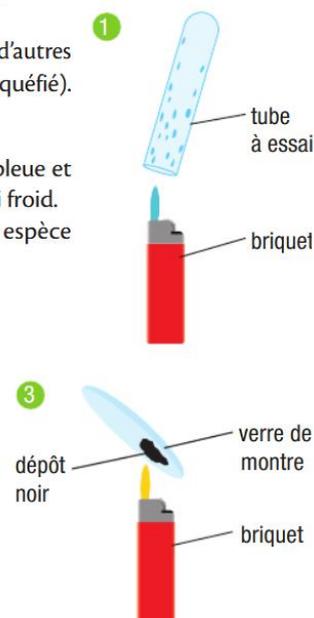
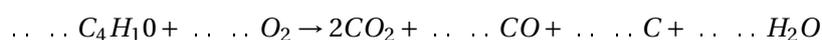


FIGURE 2 – Combustion du butane

1. Quelle est la nature du composé mis en évidence à la 1^{re} manipulation ? Par quel test peut-on le confirmer ?
2. **Observer** la solution dans le tube après la 2^e manipulation. Qu'observe-t-on ? Quelle est l'espèce chimique mise en évidence par ce test ?
3. **Écrire** l'équation bilan de combustion complète du butane dans le dioxygène de l'air.
4. Quelle est la nature du dépôt obtenu à la 3^e manipulation ?
5. La 3^e manipulation correspond-elle à une combustion complète ou incomplète ?
6. **Équilibrer** l'équation bilan suivante :



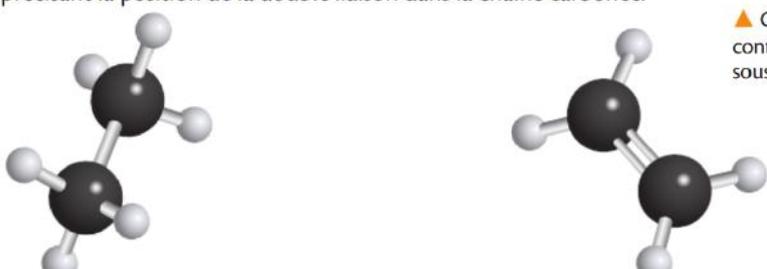
5. Activité 4 : Identifier les alcanes et les alcènes

Objectif :

- Identifier un alcane ou un alcène à partir de sa formule brute et de sa formule semi-développée.

• Un **alcane** est un hydrocarbure saturé, c'est-à-dire dans lequel il n'y a que des liaisons simples. Les alcanes sont des molécules dont le nom se termine toujours par le suffixe *_ane*. Les premiers alcanes linéaires sont le méthane, l'éthane, le propane, le butane, le pentane...

• Un **alcène** est un hydrocarbure insaturé, c'est-à-dire dans lequel il y a une double liaison carbone-carbone dans la chaîne carbonée. Le nom d'un alcène est celui de l'alcane correspondant mais en remplaçant le suffixe *_ane* par le suffixe *_ène* et en précisant la position de la double liaison dans la chaîne carbonée.



▲ Ces bouteilles de gaz contiennent un alcane sous pression, le butane.

▲ Modèle moléculaire de l'éthane

▲ Modèle moléculaire de l'éthène

FIGURE 1 – Quelles différences entre alcanes et alcènes ?

Lorsque l'on construit le modèle moléculaire d'une molécule, on est parfois amené à constater que l'on peut réaliser plusieurs molécules différentes à partir des mêmes atomes.

Ces molécules possèdent la même formule brute mais ont des formules développées et semi développées différentes. Elles possèdent en outre des propriétés physiques et chimiques différentes. Ces molécules ramifiées sont très intéressantes, dans les carburants notamment, car ce sont des combustibles peu détonants.

Dans le cas d'hydrocarbures, on peut remplir le tableau suivant :

Nombre d'atomes de carbone	Formule brute	Formule développée	Formule semi-développée	Nom

• À l'aide des modèles moléculaires, construire les alcanes possédant de 1 à 4 atomes de carbone en se limitant à des enchaînements d'atomes de carbones non cycliques (qui ne forment pas une boucle d'atomes de carbone) puis recopier et compléter le tableau précédent. Pour l'alcane comportant 4 atomes de carbones, plusieurs isomères sont possibles.

• Refaire de même en construisant les alcènes comportant jusqu'à 4 atomes de carbone. Pour l'alcène comportant 4 atomes de carbones, plusieurs molécules différentes sont possibles.

FIGURE 2 – Modèles moléculaires des alcanes et des alcènes

1. En analysant les formules brutes des différents alcanes construits, et en considérant un alcane contenant n atomes de carbone, **déterminer**, en fonction de n , le nombre d'atomes d'hydrogène dans cet alcane.
2. **Proposer** alors une formule brute générale pour les alcanes.
3. En analysant les formules brutes des différents alcènes construits, et en considérant un alcène contenant n atomes de carbone, **déterminer**, en fonction de n , le nombre d'atomes d'hydrogène dans cet alcène.
4. **Proposer** alors une formule brute générale pour les alcènes.

6. Exercices

Exercice 1

Le butane C_4H_{10} est utilisé principalement pour l'alimentation des appareils domestiques. Il est recommandé pour les utilisations intérieures.

On le trouve conditionné en bouteilles qui contiennent 13,0 kg de butane.

1. **Écrire** l'équation de combustion complète du butane dans l'air.
2. **Calculer** la quantité de matière n de butane contenue dans une bouteille de gaz.
3. **En déduire** la quantité d'énergie que peut fournir la combustion de tout le butane contenu dans une bouteille.
4. En considérant que le butane est le réactif limitant, **déterminer** la masse de CO_2 produite par la combustion de ces 13,0 kg de combustible.

Donnée : PC du butane : $45,7 \text{ MJ.kg}^{-1}$.

Exercice 2

La cire d'abeille utilisée dans les bougies bio contient un alcane dont le nom est hentriacontane, ce qui signifie qu'il a 31 carbones.

1. Quelle est la formule brute de cet alcane ?
2. Quelle est sa masse molaire ?
3. En considérant l'alcane comme le réactif limitant, **calculer** la masse d'eau produite et la masse de dioxyde de carbone dégagé lors de la combustion complète de 20 g de cet alcane.
4. Quelle masse de dioxygène est-elle nécessaire à cette combustion ?
5. Que se passe-t-il si le dioxygène est en quantité suffisante ?
6. **Proposer** une équation de combustion incomplète sachant qu'il se forme trente fois moins de carbone pur que ce CO_2 et pas de monoxyde de carbone.

Exercice 3

Une voiture roulant avec de l'éthanol C_2H_6O pur a une surconsommation de 20% par rapport à une voiture à essence qui consomme en moyenne 7,0 L aux 100 km. On considère que l'essence est exclusivement composée d'heptane, un alcane comportant 7 atomes de carbone.

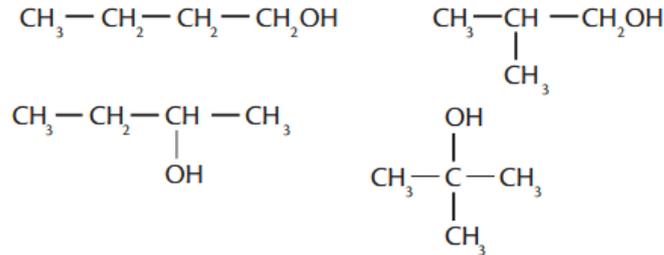
1. L'éthanol est considéré comme un biocarburant. **Expliquer** ce terme.
 2. **Écrire** l'équation de combustion complète de l'éthanol.
 3. Quel est le volume V d'éthanol consommé pour parcourir 100 km ? **Calculer** la masse m correspondante.
 4. En considérant l'éthanol comme le réactif limitant, **déduire** la masse de CO_2 produite par la combustion de cette quantité d'éthanol.
 5. **Calculer** l'énergie fournie par la combustion de cette quantité d'alcool.
 6. Pour comparer les quantités de dioxyde de carbone rejetées par les deux véhicules, on doit déterminer la masse de CO_2 rejetée par le véhicule essence.
- Écrire** l'équation de combustion complète de l'heptane.
Calculer la masse m' d'essence consommée pour parcourir 100 km.
7. En considérant l'heptane comme le réactif limitant, **déduire** la masse de CO_2 produite par la combustion de cette quantité d'essence.
 8. **Calculer** l'énergie fournie par la combustion de cette quantité d'essence.
 9. Quel est le carburant qui génère le plus de rejet de CO_2 dans l'atmosphère pour le même kilométrage parcouru ?

Données :

- Masses volumiques : l'éthanol : $\rho = 789 \text{ kg.m}^{-3}$; essence : $\rho = 755 \text{ kg.m}^{-3}$
- PC : éthanol : $26,8 \text{ MJ.kg}^{-1}$; essence : $44,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$

Exercice 4

Des chercheurs finlandais ont utilisé des déchets agricoles et forestiers pour produire, à l'aide de bactéries, du butanol qui est selon eux, une bonne alternative à l'éthanol pour remplacer l'essence comme carburant. Le butanol est l'un des constituants d'un mélange de 4 molécules de même formule brute mais de formules semi développées différentes. On considère le dioxygène en large excès dans tout l'exercice.



1. **Proposer** une formule brute pour ces molécules. **Identifier** et **entourer** les groupes caractéristiques dans chacune de ces molécules.
2. **Écrire** l'équation chimique de combustion totale du butanol dans l'air.
3. Quelle masse de butanol doit-on brûler pour générer les 200 MJ nécessaire en moyenne pour parcourir 100 km en voiture ? **En déduire** le nombre de moles de butanol correspondant.
4. Quelle masse de dioxyde de carbone va être produit ?
5. **Écrire** l'équation chimique de combustion totale de l'éthanol dans l'air.
6. Quelle masse d'éthanol doit-on brûler pour générer les 200 MJ nécessaire en moyenne pour parcourir 100 km en voiture ? **En déduire** le nombre de moles d'éthanol correspondant.
7. Quelle masse de dioxyde de carbone va être produit ?
8. Les chercheurs finlandais ont-ils raison ? **Justifier**.
9. Pour quelles raisons les scientifiques cherchent à développer des carburants alternatifs aux carburants pétroliers ?

Données :

- Masses volumiques : éthanol : $\rho = 789 \text{ kg.m}^{-3}$; butanol : $\rho = 810 \text{ kg.m}^{-3}$
- PC : éthanol : $26,8 \text{ MJ.kg}^{-1}$; butanol : $33,0 \text{ MJ.kg}^{-1}$

Exercice 5

Dans une maison d'habitation, la production d'eau chaude sanitaire peut-être réalisée par une chaudière fonctionnant au butane. Le combustible arrive à la chaudière avec un débit de $2,03 \text{ kg/h}$. Sa combustion permet le chauffage d'eau contenue dans un ballon.

1. **Écrire** l'équation bilan de combustion du butane de formule C_4H_{10} dans le dioxygène de l'air.
2. **Déterminer** la quantité de matière n puis le volume V de dioxygène nécessaire au fonctionnement de cette chaudière pendant une heure. Dans les conditions de la combustion, le volume molaire est $V_M = 24,0 \text{ L/mol}$ (une mole de gaz occupe un volume de $24,0 \text{ L}$).
3. Le dioxygène représente environ $1/5$ du volume de l'air. Quel volume d'air V_{air} nécessite le fonctionnement de la chaudière en une heure ? Quelle conséquence pratique implique ce résultat ?
4. Quelle énergie E peut transférer cette chaudière à l'environnement en une heure ?
5. Quelle énergie E_{eau} l'eau du ballon de volume $V_{\text{eau}} = 200 \text{ L}$ doit elle recevoir pour que sa température passe de 20°C à 60°C ?
6. En considérant que toute l'énergie de combustion du butane E sert à chauffer l'eau contenue dans le ballon, **calculer** la durée nécessaire Δt pour porter l'eau du ballon de 20°C à 60°C .

Données :

- capacité thermique massique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{C}^{-1}$;
- Masses molaires : $M(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 58 \text{ g/mol}$; $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g/mol}$; $M(\text{O}_2) = 32 \text{ g/mol}$;

- Masse volumique : $\rho_{eau} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$;
- Énergie de combustion du butane : $E_{comb} = 4,76 \times 10^7 \text{ J/kg}$.
- $\Delta E = m \times c \times (\theta_f - \theta_i)$