

## I. Carburants fossiles, agro-carburants et gaz à effet de serre

### A Le pétrole : une origine fossile

Le pétrole exploité aujourd'hui (fig. 10.7) s'est formé il y a 20 à 350 millions d'années. Des algues et du plancton se sont accumulés au fond des océans jusqu'à former des couches de sédiments riches en matières organiques. Une lente transformation de ces couches de sédiments a permis la formation d'un mélange complexe d'hydrocarbures (le pétrole, le gaz, le charbon...). Non renouvelable à notre échelle de temps, cette source d'énergie fossile est limitée.



**Fig. 10.7** L'extraction du pétrole.

Le **pétrole** contient plusieurs milliers d'hydrocarbures linéaires et cycliques différents. Plus la chaîne carbonée d'un hydrocarbure est longue, plus sa température d'ébullition est haute. Pour une utilisation plus facile, il vaut donc mieux choisir des chaînes carbonées qui ne soient pas trop longues. Pour séparer les hydrocarbures du pétrole par leur température d'ébullition, on effectue une **distillation fractionnée**.

## B Les biocarburants

### a. Qu'est-ce qu'un biocarburant ?

Un **biocarburant** ou agrocarburant est un combustible liquide ou gazeux, produit à partir de matériaux organiques non fossiles, et qui s'utilise en complément ou en substitution du pétrole. L'intérêt est double :

- ▶ Trouver des solutions à la **raréfaction des énergies fossiles**.
- ▶ **Limiter l'émission de gaz à effet de serre (fig. 10.8)**. En effet, le dioxyde de carbone rejeté lors de la combustion des biocarburants correspond à la quantité absorbée lors de la croissance des végétaux.

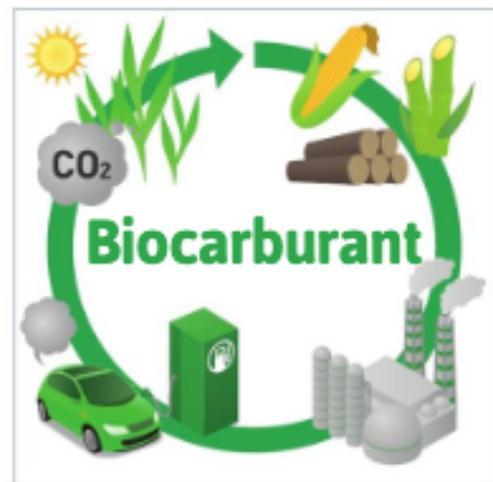


Fig. 10.8 L'intérêt écologique des biocarburants.

### b. Les biocarburants en pratique

- ▶ **Première génération** : les biocarburants de 1<sup>o</sup> génération sont déjà présents à la pompe. Par exemple, dans le E-10, on trouve 10 % d'éthanol et 90 % d'essence sans plomb ; et dans le E-85, 85 % d'éthanol et seulement 15 % d'essence sans plomb. Néanmoins, l'enjeu est que les surfaces agricoles utilisées pour la production de l'éthanol de biocarburant ne menacent pas les besoins en produits alimentaires.
- ▶ **Deuxième génération** : obtenue à partir de bois ou de résidus végétaux (paille, foin, déchets forestiers...), cette génération de biocarburants a l'avantage de ne pas utiliser de terres agricoles.
- ▶ **Troisième génération** : la production d'hydrogène à partir de micro-algues (l'algue *Chlamydomonas reinhardtii*) présente le double avantage de ne pas utiliser de terres agricoles, et d'avoir une productivité accrue par rapport à une culture aquatique classique. Des tests sont en cours dans le Laboratoire de biochimie végétale de Liège (Belgique). Grâce à un photobioréacteur (fig. 10.9), des chercheurs comparent la production d'hydrogène de différentes souches mutantes de *Chlamydomonas reinhardtii*. Ils espèrent ainsi proposer des pistes pour produire de grandes quantités d'hydrogène à partir de micro-organismes.



Fig. 10.9 Photobioréacteur expérimental conçu au Laboratoire de biochimie végétale pour évaluer les capacités de production d'hydrogène de micro-algues *Chlamydomonas*.

Source : Université libre de Liège.

## C- Impact de l'utilisation des carburants

- La combustion de carburants produit une grande quantité de substances chimiques et notamment du  $\text{CO}_2$  qui sont émises dans l'atmosphère.
- L'utilisation massive de carburants fossiles **augmente la quantité de  $\text{CO}_2$**  présente dans l'atmosphère et contribue à augmenter l'effet de serre.
- L'utilisation d'agro-carburants permet de **limiter ces rejets de  $\text{CO}_2$**  dans l'atmosphère car le  $\text{CO}_2$  rejeté par leur combustion avait été capté et assimilé par les plantes durant leur croissance quelques mois auparavant, on recycle le  $\text{CO}_2$  dans un circuit de courte durée.

Cependant, l'utilisation de biocarburants n'est pas sans inconvénients : par exemple, la culture de plantes destinées à fabriquer des agrocarburants entre en concurrence avec les productions agricoles à usage alimentaire.

- Dans une combustion, l'un des réactifs est le carburant, l'autre le dioxygène. Lorsque la quantité de combustibles n'est pas suffisante pour permettre la combustion complète du combustible, c'est-à-dire lorsque le réactif limitant est le combustible, une combustion **incomplète** a lieu.
- Les produits de la réaction peuvent être du dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$ , du monoxyde de carbone  $\text{CO}$ , du carbone (des suies)  $\text{C}$ , de la vapeur d'eau  $\text{H}_2\text{O}$ , dans des proportions variables.

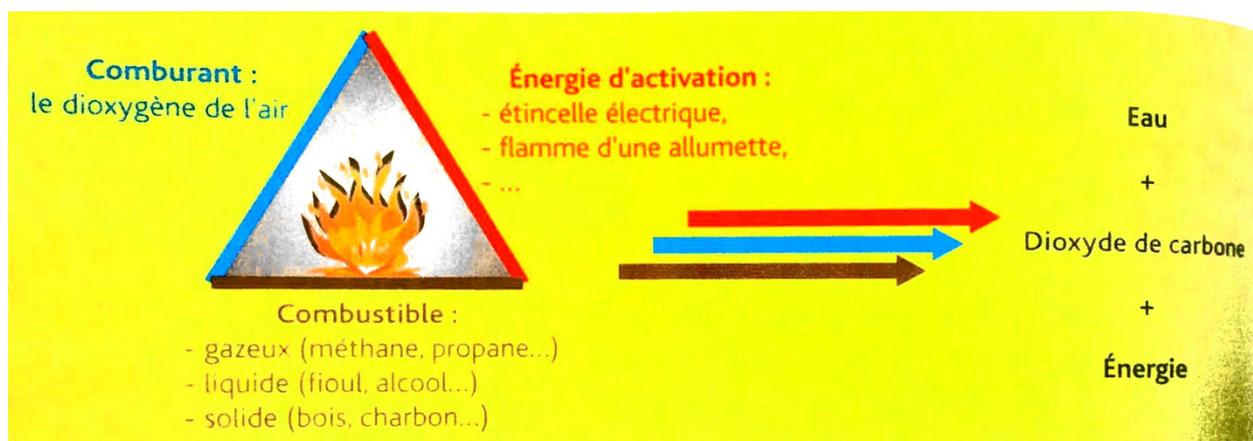


▲ Combustion incomplète du pétrole de ce tanker en feu.

### II. Rappels sur les combustions

Pour produire l'énergie nécessaire au fonctionnement d'un véhicule, des transformations chimiques exothermiques (qui produisent de la chaleur) se produisent au sein du moteur à combustion.

- Combustibles, comburant et énergie d'activation.

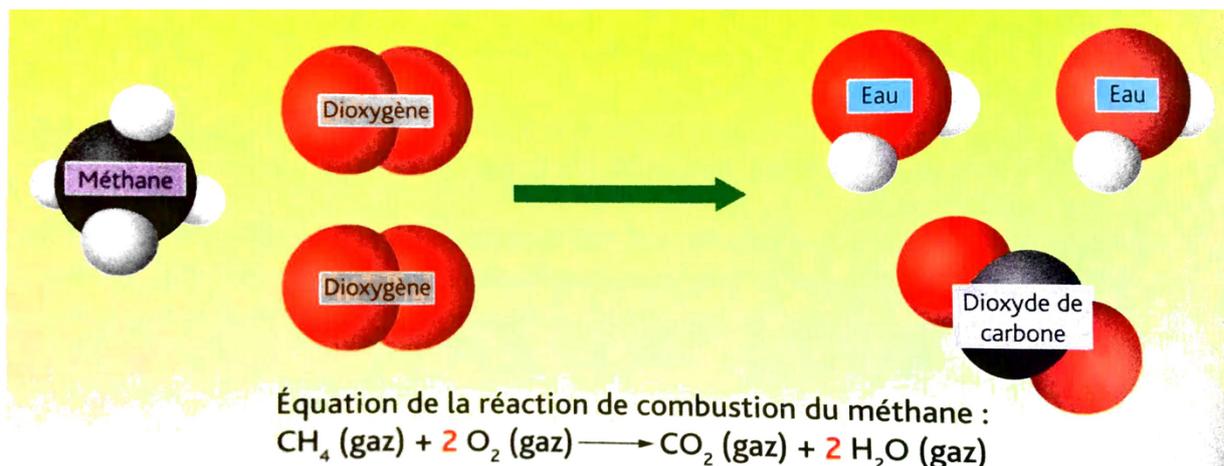


Une combustion est une transformation chimique au cours de laquelle des réactifs sont consommés : le combustible et le comburant (le dioxygène).

Elle produit des espèces nouvelles, le dioxyde de carbone et l'eau, et libère de l'énergie (chaleur et lumière).

Cette transformation nécessite pour démarrer un apport d'énergie extérieure (énergie d'activation), puis elle s'auto-entretient après son démarrage grâce à l'énergie qu'elle libère.

- Équation de la réaction chimique de combustion.



Comme toute transformation chimique, la combustion est modélisée par une réaction chimique dont l'écriture symbolique est l'équation chimique.

Dans l'équation chimique figurent des réactifs et des produits. Les coefficients stœchiométriques, placés devant, permettent d'assurer la conservation des éléments chimiques, des atomes et des charges électriques lors de la transformation.

L'état physique des réactifs et des produits est précisé (gaz, liquide, solide).

### III. Hydrocarbures.

#### a. Les alcanes

Parmi les hydrocarbures, les alcanes cycliques ont pour formule brute  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ .

Leurs chaînes carbonées sont saturées et les atomes de carbone forment 4 liaisons simples avec les atomes voisins.

Le nom de l'alcane est constitué d'un préfixe indiquant le nombre d'atomes de carbone de la chaîne (méth-, éth-, prop-, but-...) suivi de la terminaison « -ane ».

##### Exemples :

- Méthane  $\text{CH}_4$  (1 atome de carbone)
- Éthane  $\text{C}_2\text{H}_6$  (2 atomes de carbone)
- Propane  $\text{C}_3\text{H}_8$
- Butane  $\text{C}_4\text{H}_{10}$
- Etc.

#### b. Les alcènes

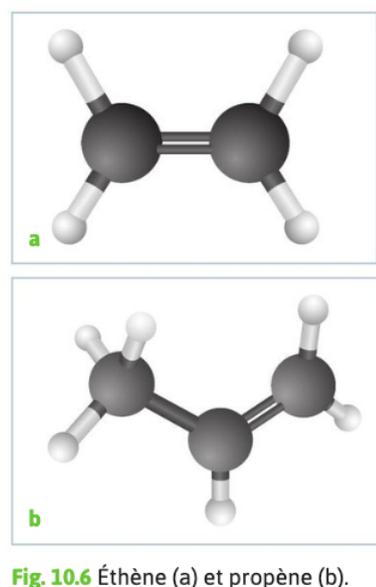
Les alcènes sont des **hydrocarbures insaturés**, possédant au moins une double liaison carbone-carbone  $\text{C}=\text{C}$ .

Leur formule brute est  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ .

Leur nomenclature comporte le suffixe « -ène ».

##### Exemples (fig. 10.6) :

- Éthène :  $\text{C}_2\text{H}_4$  ou  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$
- Propène :  $\text{C}_3\text{H}_6$  ou  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2$



#### IV. Tableau d'avancement.

- ▶ Les **chaudières à condensation** à gaz de ville utilisent comme combustible le méthane ( $\text{CH}_4$ ).
- ▶ L'**équation de la réaction** est :  $\text{CH}_4 (\text{g}) + 2 \text{O}_2 (\text{g}) \xrightarrow{\text{combustion complète}} \text{CO}_2 (\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O} (\text{g})$
- ▶ Lors d'une **combustion**, les quantités de matières initiales (en moles) doivent être dans les **proportions stœchiométriques** de l'équation de la réaction. Au fur et à mesure de la réaction, le combustible est consommé, et il se forme des produits.
- ▶ Pour connaître les quantités consommées et produites, on utilise un **tableau d'avancement**.

##### Exemple :

Les biocarburants contiennent de l'éthanol ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ) obtenu à partir de la canne à sucre ou de la betterave sucrière. Considérons la combustion complète de 0,1 mol d'éthanol  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$  avec 0,6 mol de dioxygène  $\text{O}_2$  :

**Tableau 10.5** Combustion complète de l'éthanol avec le dioxygène.

Équation de la réaction		$\text{C}_2\text{H}_6\text{O} (\text{l}) + 3 \text{O}_2 (\text{g})$		$\xrightarrow{\text{combustion complète}}$	$2 \text{CO}_2 (\text{g}) + 3 \text{H}_2\text{O} (\text{g})$	
État initial (mol)	$x = 0$	0,1	0,6		0	0
État intermédiaire (mol)	$x$	$0,1 - x$	$0,6 - 3x$		$2x$	$3x$
État final (mol)	$x = x_{\text{max}}$	$0,1 - x_{\text{max}}$	$0,6 - 3x_{\text{max}}$		$2x_{\text{max}}$	$3x_{\text{max}}$
Application numérique (mol)	si $x = 0,05$	0,05	0,45		0,10	0,15

- ▶ **Remarque :** l'avancement de la réaction (c'est-à-dire son évolution dans le temps) est noté  $x$ . Lorsque la réaction se produit dans l'air, le comburant (dioxygène) est toujours disponible en excès. C'est donc le carburant qui sera entièrement consommé le premier. C'est le réactif limitant. Quand le réactif limitant est entièrement consommé, la réaction s'arrête.

## Le tableau d'avancement

### Qu'est-ce que c'est ?

Le tableau d'avancement permet de déterminer les quantités de matières  $n$  consommées (réactifs) et produites (produits) au cours d'une réaction chimique.

**Tableau 10.3** Un exemple de tableau d'avancement.

Équation de la réaction		A (Carburant) + B (Comburant) $\xrightarrow{\text{combustion complète}}$ X CO <sub>2</sub> + Y H <sub>2</sub> O			
État initial (mol)	$x = 0$	$n_{\text{Carburant}}$	$n_{\text{Comburant}}$	0	0
État intermédiaire (mol)	$x$	$n_{\text{Carburant}} - A x$	$n_{\text{Comburant}} - B x$	$X x$	$Y x$
État final (mol)	$x = x_{\text{max}}$	$n_{\text{Carburant}} - A x_{\text{max}}$	$n_{\text{Comburant}} - B x_{\text{max}}$	$X x_{\text{max}}$	$Y x_{\text{max}}$

### Comment l'élaborer ?

ÉTAPE 1

Écrire l'équation de la réaction de combustion, et l'équilibrer.

ÉTAPE 2

Construire le tableau d'avancement et écrire l'équation de réaction équilibrée.

ÉTAPE 3

Calculer les quantités de matière  $n$  des réactifs.

Calculer  $n_{\text{carburant}}$  et  $n_{\text{comburant}}$

Généralement, le comburant (dioxygène) est en excès car il se trouve dans l'air. Il n'y a donc que la quantité de matière du carburant à calculer.

ÉTAPE 4

Remplir le tableau d'avancement.

► **État initial** : La réaction n'a pas encore commencé, donc les quantités de matière des produits sont nulles.

► **État intermédiaire** : On perd de la matière du côté des réactifs ☒ signe - devant  $x$ . On crée des produits ☒ signe + devant  $x$ .

► Attention aux **coefficients stœchiométriques** !  
Le réactif limitant est souvent le carburant.

ÉTAPE 5

On en déduit la quantité de matière des produits.