

Energie et CO₂ dans un litre d'essence

1. Objectifs

- Calculer le pouvoir énergétique et l'émission de CO₂ d'un carburant.
- Comprendre pourquoi le pétrole est tellement difficile à remplacer.

2. Méthode

Nous allons calculer dans l'ordre

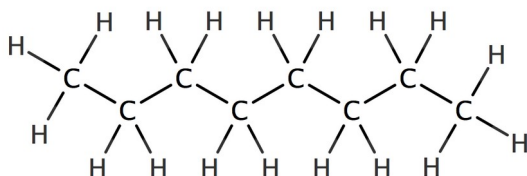
1. Établir l'équation de la réaction
2. Calculer l'énergie dégagée par la combustion de 1 mole (un paquet en chimie) d'octane ainsi que la quantité de CO₂ produite.
3. Convertir ces grandeurs pour 1L de carburant et masse de CO₂
4. Il sera alors possible d'adapter ces valeurs pour une consommation sur 100 km

3. D'où vient l'énergie de combustion ?

Les atomes s'associent entre eux pour former des molécules, car leur état énergétique sera plus faible ainsi. La nature cherche toujours à s'organiser dans un état énergétique le plus faible possible.

Rompre des liaisons dans les molécules nécessite de l'énergie, mais lorsque des liaisons entre atomes se reforment pour faire de nouvelles molécules, de l'énergie est libérée.

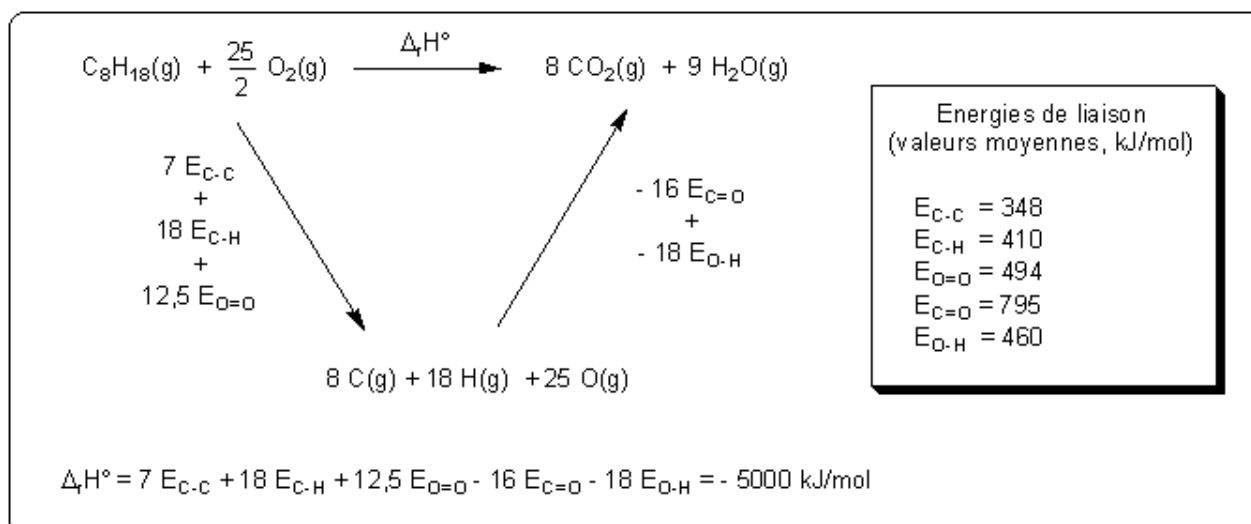
L'essence est un mélange d'hydrocarbures (molécules à base de carbone et d'hydrogène). Nous simplifions donc l'essence par un seul hydrocarbure, l'octane C₈H₁₈. Le carbone C fait toujours 4 liaisons et l'hydrogène H toujours 1 seule.



à gauche : formule chimique de l'octane

ci-dessous :

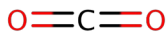
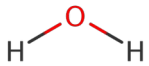
- équation de combustion équilibrée (rien ne se perd rien ne se crée, tout se transforme)
- inventaire des liaisons rompues et créées
- énergie des liaisons par mole.



Lors de la combustion un certain nombre de liaisons sont rompues et d'autres liaisons sont créées. Connaissant l'énergie de liaison par paquet (par mole) pour chacune d'elles, on peut calculer le bilan

énergétique de la réaction.

formules chimiques des autres molécules de la réaction



liaison	Énergie de liaison (kJ/mol)	nombre de liaisons	Nombre de moles (mol)	Énergie consommée (kJ)	Énergie libérée (kJ)
C-C	348	7	1	2436	
C-H	410	18	1	7380	
O=O	494	1	12,5	6175	
C=O	795	2	8		12720
O-H	460	2	9		8280
Différence :					+ 5009

Conclusion :

- La combustion de l'octane libère plus d'énergie qu'elle n'en consomme. C'est cette différence qui est utilisée pour faire tourner les moteurs.
- La combustion de 1 mole d'octane libère 5009 kJ d'énergie et produit 8 moles de CO₂, gaz à effet de serre.

4. Bilan pour 1 L d'essence

4.1 Énergie

Nous savons maintenant qu'un paquet (une mole) d'essence fournit 5009 kJ d'énergie.

Mais 1 L d'essence contient combien de moles et dégage combien de CO₂ ?

Données :

- Masse volumique de l'octane : 700 g/L (= masse de 1L d'octane¹)
- Masse d'une mole d'octane (masse molaire) : 114 g/mol
- Masse d'une mole de CO₂ : 44 g/mol
- Volume de 1 mole de CO₂ : 24 L/mol (à 20°C)

Calculs :

- 1L (0,001 m³) a une masse de 700g et une mole fait 114g.
- Donc dans 1L d'essence (d'octane) il y a $\frac{700}{114} = 6,14$ mol
- ce qui fait une énergie de combustion de $5009 \times 6,14 \approx 31000$ kJ
- 1 mole d'octane produit 8 moles de CO₂ (voir l'équation de combustion).
- Donc 6,14 moles d'octane produit $6,14 \times 8 = 49,12$ mol arrondi à 49
- Ces 49 moles de CO₂ ont une masse de $49 \times 44 \approx 2160$ g
- Comme le CO₂ est un gaz, on aime bien le quantifier en volume :
 - 1 mole de CO₂ occupe un volume de 24 L
 - Donc 49 moles de CO₂ occupent $49 \times 24 \approx 1200$ L ou 1,2 m³ (1 m³ = 1000 L)

1 La masse volumique moyenne de l'essence se situe plus vers 740 g/L

5. Bilan pour 100 km

Pour une voiture on indique souvent sa consommation pour 100 km. Prenons un véhicule qui consomme 5L/100km. Ici on va surtout s'intéresser à la pollution.



Calculs :

Il suffit de multiplier par 5 les résultats pour 1 L.

- énergie : $31\,000 \times 5 = 155\,000$ kJ
- masse de CO₂ : $2\,160 \times 5 \approx 11\,000$ g ou 11 kg !
- volume de CO₂ : $1,2 \times 5 = 6$ m³

Taux d'émission de CO₂ au kilomètre :

C'est ainsi que la pollution au CO₂ est indiquée sur les fiches techniques des véhicules. Exemple :

Carrosserie	↕ Marque	Energie	Consommation ¹¹		CO ₂		Bonus (-) Malus (+)	Coût énergie	Polluants (g/km) ⁴					Norme Euro
			↕ Min.	↕ Max.	↕ Min.	↕ Max.			CO	HC	NO _x	HC + NO _x	Particules	
↕	↕ Modèle	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕
<input type="checkbox"/> Break 	RENAULT MEGANE Estate (91ch+31Kw)	EE	1,3	1,6	28 A	36 A	Jusqu'à -2000 € ⁶	2,29 €	0,397	0,019	0,003	NC	NC	Euro 6
<input type="checkbox"/> Berline 	RENAULT MEGANE Berline (95ch)	GO	4,5	4,9	118 B	128 C	-	6,06 €	0,016	-	0,045	0,052	0,001	Euro 6

Source : [Ademe - rechercher le taux de CO₂ de votre véhicule - carlabelling.ademe.fr](http://ademe-rechercher-le-taux-de-co2-de-votre-vehicule-carlabelling.ademe.fr).

Sur la copie d'écran on observe qu'un véhicule consommant 4,9 L/100km émet 128 g de CO₂ par kilomètre

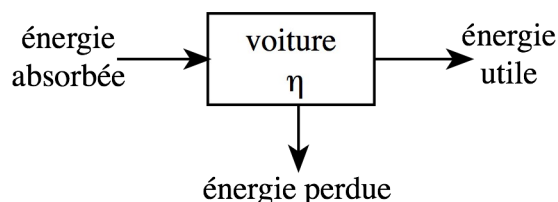
- Il suffit de prendre les 11000g de CO₂ pour 100 km et de le diviser par 100 km.
- On obtient un taux de CO₂ de 110 g/km

Conclusion

- Notre calcul est très proche des valeurs données par l'Ademe. 110 g/km (nous) contre 128 g/km (Ademe).
- Notre chiffre est différent, car nous avons simplifié l'essence par de l'octane.
- Un constructeur ne peut pas empêcher le CO₂ de la combustion. C'est de la chimie. Il ne peut donc qu'améliorer les rendements des voitures pour réduire la consommation :
 - alléger les voitures, donc éviter les SUV !,
 - réduire les frottements avec l'air, donc éviter les profils des SUV !,
 - réduire tous les frottements mécaniques dans le moteur.
- Un moteur thermique étant ce qu'il est, les marges sont très faibles. D'où les triches : [Scandale Volkswagen](#) (ce n'est pas le seul fabricant) en 2015, année de la COP21 et de l'Accord de Paris
- Rappel : un moteur thermique ne rejette pas que du CO₂ (voir la copie d'écran sur la page précédente).
- Nous n'avons calculé que le CO₂ émis durant l'utilisation du véhicule, il manque le CO₂ et l'énergie lors de la fabrication et lors du recyclage.

6. Notion de rendement

Le rendement η d'une voiture à essence, même performante, est très faible. De l'ordre de 25 %.



$$\eta = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie absorbée}} = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{absorbée}}}$$

$$\eta = 25 \% = 0,25 \text{ (sans unité)}$$

Calculs :

- $E_{\text{absorbée}}$ est l'énergie de l'essence soit 31 000 kJ pour 1L
- E_{utile} est l'énergie qui sert à faire avancer la voiture (et à faire fonctionner la climatisation été, le chauffage en hivers, la recharge de la batterie...)
- $E_{\text{utile}} = \eta \times E_{\text{absorbée}} = 0,25 \times 31\,000 = 7750 \text{ kJ}$
- Le reste (la différence) sert à compenser tous les frottements qui ralentissent la voiture et se transforme en chaleur dissipée dans l'atmosphère (en plus des gaz à effet de serre).
- $E_{\text{perdue}} = E_{\text{absorbée}} - E_{\text{utile}} = 31\,000 - 7750 = 23\,250 \text{ kJ}$

7. CO₂ par unité d'énergie utile

C'est une autre grandeur qui permet de comparer par exemple une voiture électrique et un voiture thermique.

Calculs :

- Nous allons d'abord convertir les kJ en kWh une autre unité d'énergie : 1 kWh = 3600 kJ
- Pour 1L d'essence $E_{\text{utile}} = 7750 \text{ kJ} = \frac{7750}{3600} \simeq 2,15 \text{ kWh}$ et $m_{\text{CO}_2} = 2160 \text{ g}$
- taux de CO₂ : $\frac{2160}{2,15} \simeq 1000 \text{ g/kWh}$

8. Densité d'énergie

Cette grandeur permet de comparer différentes sources ou stockages d'énergie. On peut distinguer l'énergie par unité de volume (densité volumique) ou l'énergie par unité de masse (densité massique).

Calculs :

- 1L d'essence produit $31\,000 \text{ kJ} = \frac{31\,000}{3600} = 8,6 \text{ kWh}$ et à une masse 700 g (0,7 kg)
- La densité d'énergie est donc de 8,6 kWh/L ou $\frac{8,6}{0,7} = 12,3 \text{ kWh/kg}$ ou 12,3 g/Wh

À titre de comparaison :

- Essence : 13,1 kWh/kg (bonne densité et très facile à transporter)
- Batterie Lithium-ion : 0,2 kWh/kg (très faible densité qui rend les véhicules électriques très lourd)
- Hydrogène liquide : 34,1 kWh/kg (très forte densité mais aussi grande difficulté à produire, compresser, stocker, transporter)

Pour apprécier l'encombrement dans un véhicule il faudrait aussi comparer les densités volumiques.

9. Liens divers

www.connaissancedesenergies.org/les-emissions-de-co2-du-vehicule-electrique-quel-bilan-190318

culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-organique/synthese-et-retrosynthese/les-carburants-une-source-d-energie-chimique

fr.wikipedia.org/wiki/Affaire_Volkswagen - fr.wikipedia.org/wiki/Enthalpie#Enthalpie_de_r%C3%A9action -

fr.wikipedia.org/wiki/Enthalpie_standard_de_formation - fr.wikipedia.org/wiki/Densit%C3%A9_massique_d%27%C3%A9nergie#Densit%C3%A9_d%27%C3%A9nergie_dans_les_stockages_d%27%C3%A9nergie_et_les_carburants

janaf.nist.gov/tables/C-095.html - Ademe : agence nationale de la transition écologique - www.ademe.fr/