

Exercice 1 : et si solar impulse 2 fonctionnait avec des moteurs thermiques ?

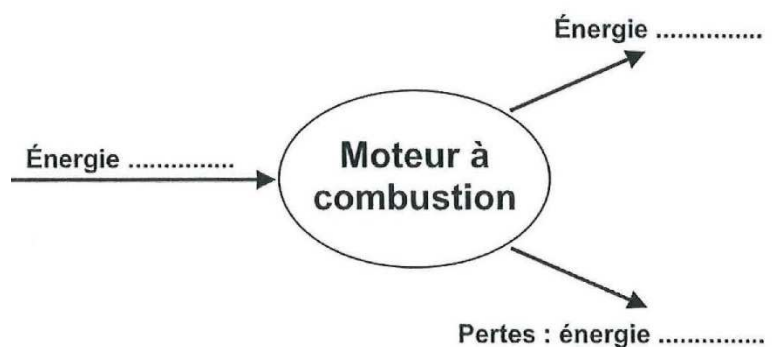
Solar Impulse 2 a été conçu dans l'optique de montrer qu'il était possible de voler plusieurs jours d'affilée sans avoir recours aux énergies fossiles.

Le 26 juillet 2016, l'avion solaire Solar Impulse 2 a décollé du Caire, en Égypte, afin de rejoindre Abu Dhabi, aux Émirats arabes unis, ville départ qu'il avait quitté depuis plus d'un an. Le vol, effectué par un seul pilote expérimenté, a duré 48 h. Il s'agissait là de l'ultime étape de son tour du monde lancé le 9 Mars 2015, avec le Soleil comme seule source d'énergie.

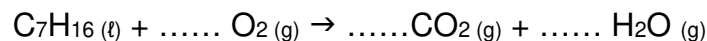
1. Énergie fossile et combustion

1.1. Qu'appelle-t-on énergie fossile ? Donner au moins une raison qui a poussé les scientifiques à développer le projet *Solar Impulse*.

1.2. Compléter la chaîne énergétique suivante :



Lors de la combustion, l'heptane réagit avec le dioxygène pour former du dioxyde de carbone et de l'eau, selon l'équation :



1.3. Recopier et ajuster cette équation sur votre copie.

1.4. Donner la signification des pictogrammes relatifs à l'heptane, figurant sur l'annexe 1.

1.5. En utilisant les données de l'annexe 2, montrer que l'enthalpie standard de réaction de combustion de l'heptane serait de $-4\,796 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

2. Rendement des moteurs à combustion

Données : masse molaire atomique du carbone : $M_{\text{C}} = 12,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

masse molaire atomique de l'oxygène : $M_{\text{O}} = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

L'énergie mécanique nécessaire à un vol de 48 h est d'environ $9,0 \times 10^9 \text{ J}$.

2.1. Le rendement d'un moteur à combustion est de l'ordre de 20 %. Calculer l'énergie chimique, E_{chim} , qui serait nécessaire pour que le vol puisse avoir lieu.

2.2.1. Montrer que la quantité de matière, n_{hept} , d'heptane nécessaire à un tel vol est d'environ $9,4 \times 10^3 \text{ mol}$.

2.2.2. Calculer la masse, m_{hept} d'heptane correspondante.

2.2.3. En déduire le volume d'heptane correspondant.

2.3. En utilisant l'équation de combustion de l'heptane, montrer que la quantité de matière, n_{CO_2} de CO_2 libérée en 48 h serait de $6,6 \times 10^4$ mol.

2.4. Calculer, en tonnes, la masse, m_{CO_2} , correspondante.

3. Crédit carbone – Question ouverte

Le Crédit carbone est une unité correspondant à une tonne d'équivalent CO_2 sur les marchés du carbone. Combien, selon vous, le voyage de *Solar Impulse 2* pourrait-il obtenir de crédit carbone pour son tour du monde ?

DOCUMENTS ANNEXES





Annexe 1 : fiche toxicologique de l'heptane

Formule chimique $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

Masse molaire : $100,2 \text{ g. mol}^{-1}$

Masse volumique : $0,68 \text{ kg. L}^{-1}$

Étiquette(s)

1 2 3 4

Annexe 2 : enthalpies standard de formation

Espèce chimique	Heptane $\text{C}_7\text{H}_{16} (\ell)$	Dioxygène $\text{O}_2 (\text{g})$	dioxyde de carbone $\text{CO}_2 (\text{g})$	Eau $\text{H}_2\text{O} (\text{g})$
Enthalpie standard de formation $\Delta_f H^0 (\text{kJ. mol}^{-1})$	- 245, 2	0	- 393, 5	- 285, 8

Exercice 2 : Bilan carbone d'un vol en avion.

Caractéristiques générales de l'airbus A320 :

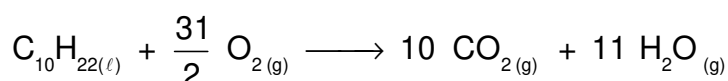
Airbus A320	Équipage	Nombre de passagers	Longueur	Envergure	Masse à vide	Masse maximale	Vitesse de croisière	Vitesse maximale	Poussée totale maximale	Altitude maximale de croisière
	6	2 ^e classe 150	37,57 m	34,10 m	42,4 tonnes	77,0 tonnes	447 nœuds	470 nœuds	320 × 10 ³ N	11,70 km
		Classe unique 164								
		Maximum 180								

$$1 \text{ nœud} = 1,852 \text{ km.h}^{-1}$$



1. Citer un carburant et un biocarburant utilisés dans les transports routiers, en précisant les matières utilisées pour leur production.
- 2.1. Dans le secteur aéronautique, les biocarburants se développent. Donner un avantage et un inconvénient des biocarburants à partir de l'annexe 1.
- 2.2. À l'aide des données de l'annexe 2, exprimer et calculer avec 2 chiffres significatifs la masse volumique ρ du kérosène. La comparer à celle donnée dans l'annexe 4.
3. Le kérosène est un mélange d'alcanes, dans la suite de notre étude on l'assimilera à du décane de formule brute $C_{10}H_{22}$.

La combustion dans le réacteur, assimilée à une combustion complète produit du dioxyde de carbone et de l'eau. L'équation équilibrée de la réaction est :



Les masses molaires M des espèces sont :

$$M(C_{10}H_{22}) = 142 \text{ g.mol}^{-1} \quad M(CO_2) = 44,0 \text{ g.mol}^{-1} \quad M(H_2O) = 18,0 \text{ g.mol}^{-1}$$

- 3.1. À partir l'annexe 2, montrer que la quantité de matière de kérosène est égale à $7,04 \times 10^4$ mol.
- 3.2. Déterminer la quantité de matière de dioxyde de carbone produite par la combustion complète de 10 tonnes de kérosène.
- 3.3. En déduire que la masse de dioxyde de carbone obtenue pour parcourir 2000 km est égale à $3,10 \times 10^4$ kg.
- 3.4. Déterminer la masse (en gramme) de dioxyde de carbone produite par km.
- 3.5. À partir de la simulation proposée par la Direction Générale de l'Aviation Civile, l'annexe 3 :

- 3.5.1.** Calculer la masse de dioxyde de carbone (en gramme) produite par kilomètre et par passager pendant le vol.
- 3.5.2.** Pour 137 passagers, la masse de dioxyde de carbone produit, par kilomètre et par passager, s'élève à 118 g. À l'aide de l'annexe 5, indiquer si l'avion est le mode de transport ayant le moins bon bilan carbone. Justifier votre réponse.
- 3.6.** On s'intéresse maintenant à l'énergie dégagée par la combustion du carburant.
- 3.6.1.** En utilisant l'équation de la réaction, et l'annexe 6, calculer l'enthalpie molaire standard ΔH_R^0 de la réaction de combustion du kérosène assimilé à du décane.
- 3.6.2.** Montrer que l'enthalpie massique standard de la réaction est égale à : $-44,7 \times 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$.
- 3.6.3.** Comparer cette valeur au PCI du kérosène de l'annexe 4. Proposer une explication à cet écart.
- 3.6.4.** À l'aide des caractéristiques de l'annexe 4 et de vos connaissances, justifier l'emploi du kérosène comme carburant pour les avions de ligne.

Annexe 1 :

[...] De plus, ces biocarburants sont souvent couplés au kérosène qui fournit la moitié de l'énergie. Plusieurs biocarburants ont donc été testés à base de plantes différentes.

Les biocarburants présentent de nombreux avantages écologiques et sont favorables au développement durable, mais présentent également des inconvénients.

- **Les avantages**

Les biocarburants possèdent de nombreux avantages notamment en termes de préservation de l'environnement si on considère uniquement leur impact lors de leur combustion. Les moteurs aux biocarburants rejettent, en effet, des gaz polluants en plus faible dose.

Les deux biocarburants pour l'instant testés, et rentables un minimum paraissent être les carburants issus des algues et du jatropha cusas. En effet, les algues possèdent un potentiel 50 fois plus important en huile que les végétaux utilisés autrement. Quant au jatropha cusas, c'est un arbuste qui pousse dans des régions désertiques et pauvres en eau. Il est donc intéressant pour une grande production.

- **Les inconvénients**

Pour comprendre vraiment l'impact des biocarburants sur la planète, il faut considérer l'énergie utilisée depuis sa récolte jusqu'à sa fabrication. En effet, pour utiliser des biocarburants pour tout le trafic aérien, il faudrait en produire plusieurs tonnes chaque année. [...]

En plus du coût que cette production représenterait, il y a l'impact sur l'écosystème. Détruire des forêts ou des cultures entières pour gagner quelques milligrammes de CO_2 , le bilan paraît bien lourd. [...] Ces cultures intensives pourraient entraîner un dysfonctionnement des sols et plus généralement une pollution due aux engrais et pesticides susceptibles d'être utilisés.

Les biocarburants ne seront donc peut-être pas les carburants du futur, mais pourraient, pour le moment, être la seule alternative pour une aviation plus écologique.

D'après <http://aviondufutur.e-monsite.com/pages/carburants-alternatifs/les-biocarburants-en-generale-et-l-utilisation-en-aeronautique.html>

Annexe 2 :

L'envolée des cours du pétrole porte un nouveau coup dur à la compétitivité des compagnies aériennes qui voient enfler le poste carburant dans leur coût d'exploitation. « Le kérosène en représente un tiers [.1 » Un avion de type Airbus A320 consomme 10 tonnes de kérosène, soit 13000 litres pour effectuer 2000 km [...] En Europe, l'objectif est de réduire de 50 % la consommation de carburant d'ici 2020 [...]

D'après un article du Figaro Mars 2011 V Guillemard

Annexe 3 :

Choix  de l'itinéraire

Aéroport de départ (France) : NICE-COTE D'AZUR
Pays de destination : SUEDE
Aéroport de destination : STOCKHOLM-ARL
 Aller simple Aller-retour **Calculer**

Résultats  de votre recherche

Distance (km)	Emissions de CO ₂ / passager (en kg) pour le vol	Consommation de kérosène / passager (en litre)
 1921	153	60 soit 3,1 l/100 km

Emissions de CO₂/passager (en kg) pour la production et distribution du kérosène

29

Emissions totales de CO₂/passager (en kg)

182

Annexe 4 :

	Essence	Gazole	Kérosène	GPL
Point éclair *	- 40°C	55°C	49°C à 55°C	< 50°C
Prix au litre (octobre 2015)	1,35 €	1,15 €	0,48 €	0,74 €
Limite de filtrabilité	-	- 20°C	< 50°C	-
Masse volumique (kg.L⁻¹) à 25°C	0,74	0,83	0,80	0,53
PCI (MJ.kg⁻¹) **	42,9	42,6	43,2	46,0
PCI (MJ.L⁻¹) **	32,2	35,4	34,6	24,4

* Le **point éclair** d'un liquide est la température à partir de laquelle le liquide libère suffisamment de vapeur pour s'enflammer en surface.

** **PCI** (pouvoir calorifique inférieur) : valeur absolue de l'énergie thermique dégagée lors de la réaction de combustion complète du carburant, l'eau est obtenue à l'état de vapeur.

Annexe 5 :

Palmarès de modes de transport

Émission de CO₂ (en gramme, par passager et par kilomètre)

	TGV	Avion de taille moyenne (137 passagers)	Voiture électrique	Voiture diesel (taille moyenne)	Voiture essence (taille moyenne)	Bus
Émission de CO ₂	13	118	22	127	135	130

<http://www.consoglobe.com/les-14-modes-de-transport-les-moins-polluants-cg>

Annexe 6 :

Enthalpie standard de formation à 25°C en kJ.mol⁻¹ :

Espèce Chimique	H ₂ O (g)	CO ₂ (g)	O ₂ (g)	C ₁₀ H ₂₂ (l)
ΔH_f^0 en kJ/mol	- 242	- 394	0	- 250

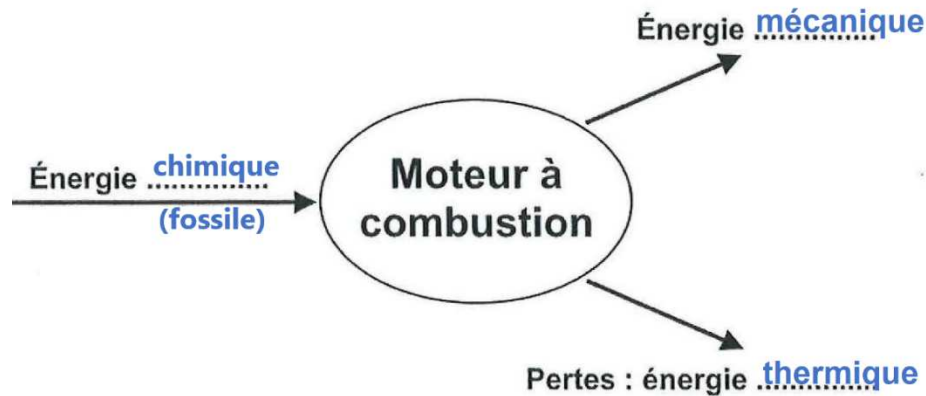
v_i et v_j sont les coefficients stœchiométriques respectifs des produits et des réactifs de l'équation chimique.

$$\Delta H_r^0 = \sum_i v_i \Delta H_{f,i}^0 (\text{produits}) - \sum_j v_j \Delta H_{f,j}^0 (\text{réactifs})$$

Exercice 1 : et si solar impulse 2 fonctionnait avec des moteurs thermiques ?

1.1. Une énergie fossile est une énergie provenant du charbon, du pétrole ou du gaz naturel, formés il y a plusieurs millions d'années.

1.2.



1.3. $C_7H_{16} (l) + 11 O_2 (g) \rightarrow 7 CO_2 (g) + 8 H_2O (g)$

1.4. Pictogramme 1 : Présente un danger pour la santé ou l'environnement.

Ce danger doit être précisé sur l'étiquette. La substance peut être toxique, irritante, sensibilisante... ou présenter un danger pour la couche d'ozone,

Pictogramme 2 : inflammable,

Pictogramme 3 : Dangereux pour l'environnement, en particulier les milieux aquatiques.

Pictogramme 4 : sensibilisant, mutagène, cancérigène, reprotoxique.

1.5. $\Delta H^0_{comb} = 8 \times \Delta_f H^0(H_2O) + 7 \times \Delta_f H^0(CO_2) - 11 \times \Delta_f H^0(O_2) - \Delta_f H^0(C_7H_{16})$

$$\Delta H^0_{comb} = 8 \times (-258,8) + 7 \times (-393,5) - 11 \times (0) - 1 \times (-245,2)$$

$$\Delta H^0_{comb} = -4\,796 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

2.1. Le rendement est $\eta = \frac{E_{méca}}{E_{chim}}$, donc $E_{chim} = \frac{E_{méca}}{\eta} = \frac{9,0 \cdot 10^9}{0,2} = 4,5 \cdot 10^{10} \text{ J}$

2.2.1. $n_{hept} = \frac{E_{chim}}{\Delta H^0_{comb}} = \frac{4,5 \cdot 10^{10}}{4796 \cdot 10^3} = 9\,383 \text{ mol}$ soit environ $9,4 \cdot 10^3 \text{ mol}$

2.2.2. $m_{hept} = n_{hept} \times M_{hept} = 9,4 \cdot 10^3 \times 100,2 = 9,40 \cdot 10^5 \text{ g} \approx 9,4 \cdot 10^2 \text{ kg}$

2.2.3. $V_{hept} = \frac{m_{hept}}{\rho} = \frac{9,4 \cdot 10^2}{0,68} = 1\,383 \text{ L} \approx 1,4 \cdot 10^3 \text{ L}$

2.3. D'après l'équation, la combustion de 1 mole d'heptane produit 7 moles de dioxyde de carbone.

$$\text{Donc } n_{CO_2} = 7 \times n_{hept} = 7 \times 9,4 \cdot 10^3 = 6,58 \cdot 10^4 \text{ mol} \approx 6,6 \cdot 10^4 \text{ mol}$$

2.4. La masse molaire du dioxyde de carbone est :

$$M(\text{CO}_2) = M_C + 2 \times M_O = 12 + 2 \times 16 = 44 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}.$$

$$\text{Donc } m_{\text{CO}_2} = n_{\text{CO}_2} \times M(\text{CO}_2) = 6,6 \cdot 10^4 \times 44 = 2,9 \cdot 10^6 \text{ g} = 2,9 \text{ t}$$

3. Le calcul de la question C.2.4 correspond à la masse de CO₂ non produite pour 48h. Donc Solar Impulse économise 2,9 t de pétrole en 48 h.

Son tour du monde a commencé le 9/3/15 et s'est terminé le 28/7/16.

Il a donc duré environ 500 jours, soit $250 \times 48 \text{ h}$

Il a donc permis d'économiser $250 \times 2,9 = 725 \text{ t}$ de CO₂.

Exercice 2 : Bilan carbone d'un vol en avion.

1. Carburant utilisé dans les transports routiers : essence ou gasoil. Ils proviennent de la distillation du pétrole.

Biocarburant : bioéthanol qui provient des sucres, d'amidon ou de cellulose

2.1. Biocarburants dans l'aéronautique :

Avantage : diminution des rejets en gaz polluant

Inconvénient : coût de production, impact sur l'écosystème

2.2. Calcul de la masse volumique du kérosène :

D'après le document A2, 13000 litres de kérosène pèsent 10 tonnes.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{10 \text{ t}}{13000 \text{ L}} = \frac{10000 \text{ kg}}{13000 \text{ L}} = 0,77 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1} \text{ (avec 2 chiffres significatifs)}$$

Le document A4 indique $0,80 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$

$$\text{Il y a un écart } e = \frac{0,80 - 0,77}{0,80} = 0,04 = 4\% \text{ entre les deux valeurs.}$$

3.1. D'après le document A2, un avion consomme une masse $m = 10 \text{ t} = 10 \cdot 10^6 \text{ g}$ de CO₂.

$$\text{Donc la quantité est } n = \frac{m}{M} = \frac{10 \cdot 10^6 \text{ g}}{142 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 7,04 \cdot 10^4 \text{ mol}$$

3.2. D'après l'équation de combustion donnée dans l'énoncé, la combustion de 1 mol de kérosène, produit 10 mol de CO₂.

Donc, la combustion de $n = 7,04 \cdot 10^4 \text{ mol}$ de kérosène produit $7,04 \cdot 10^5 \text{ mol}$ de CO₂.

3.3. La masse de $7,04 \cdot 10^5 \text{ mol}$ de CO₂ est : $m = n \times M = 7,04 \cdot 10^5 \times 44 = 3,10 \cdot 10^7 \text{ g}$ de CO₂ soit $3,10 \cdot 10^4 \text{ kg}$

3.4. D'après la question précédente, l'avion produit $3,10 \cdot 10^4 \text{ kg}$ pour parcourir 2000 km, ce qui représente une masse de $\frac{3,10 \cdot 10^7 \text{ g}}{2000 \text{ km}} = 1,55 \cdot 10^4 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$

3.5.1. D'après le document A3 :

L'avion produit 163 kg de CO₂ par passager pour un vol de 1921 km.

$$\text{Soit : } \frac{163 \cdot 10^3 \text{ g}}{1921 \text{ km}} = 84,9 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1} \text{ pour 1 passager}$$

3.5.2. L'avion produit 118g de CO₂ par km et par passager. Ce qui est légèrement inférieur à la voiture ou au bus : il n'est donc pas le mode de transport ayant le moins bon bilan carbone.

3.6.1. Avec l'équation de la réaction, on a :

$$\Delta H_R^0 = 10 \times \Delta H_f^0(\text{CO}_2) + 11 \times \Delta H_f^0(\text{H}_2\text{O}) - 1 \times \Delta H_f^0(\text{C}_{10}\text{H}_{22}) - \frac{31}{2} \times \Delta H_f^0(\text{O}_2)$$

Avec les données du document A6 :

$$\Delta H_R^0 = 10 \times (-394) + 11 \times (-242) - 1 \times (-250) - \frac{31}{2} \times (0) = -6352 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

3.6.2. Il faut utiliser la masse molaire du kérosène : $M = 142 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$\Delta H_R^0(\text{massique}) = \frac{\Delta H_R^0(\text{molaire})}{M} = \frac{-6352 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}}{142 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

$$\Delta H_R^0(\text{massique}) = -44,7 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} = -44,7 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

3.6.3. D'après le document A4 : le PCI du kérosène est 43,2 MJ·kg⁻¹

On peut expliquer cet écart par le fait que le kérosène est un mélange et n'est pas uniquement constitué de décane.

3.6.4. Ce qui peut expliquer le choix du kérosène :

L'essence et le GPL ont un faible point éclair, Ces températures peuvent être dépassées en altitude : ils sont donc trop dangereux.

Les propriétés du gasoil et du kérosène sont similaires, le choix entre les deux doit s'expliquer par le faible coût du kérosène (et une masse volumique légèrement inférieure).