

SOLAR IMPLULSE 2

PARTIE A - La production et le stockage de l'énergie

A.1. Les technologies mises en œuvre

A.1.1. Principales technologies utilisées pour l'élaboration de Solar Impulse 2.

Les trois principales technologies utilisées pour l'élaboration de Solar Impulse 2 sont :

- Les cellules photovoltaïques
- Les batteries lithium-polymère
- Les matériaux en fibres de carbone

A.1.2. Utilisation dans un autre domaine de ces technologies.

- Les cellules photovoltaïques sont utilisées dans l'habitat,
- Les batteries lithium polymère sont utilisés pour les modèles réduits (voiture, avion ...), les vélos à assistance électrique, ULM et paramoteurs ...
- Les matériaux en fibres de carbone sont utilisés dans le domaine du sport (cyclisme, formule 1, ...)

A.1.3. Paramètres physiques que les concepteurs ont dû optimiser pour que le projet aboutisse.

Pour que le projet aboutisse, les concepteurs ont dû :

- réduire la masse de l'avion
- améliorer son aérodynamisme
- réduire la consommation d'énergie.
- augmenter l'efficacité des cellules photovoltaïques

A.2. Les panneaux solaires

A.2.1. Phénomènes physiques responsables de la différence entre l'énergie rayonnante extra-atmosphérique et l'énergie rayonnante arrivant jusqu'au sol.

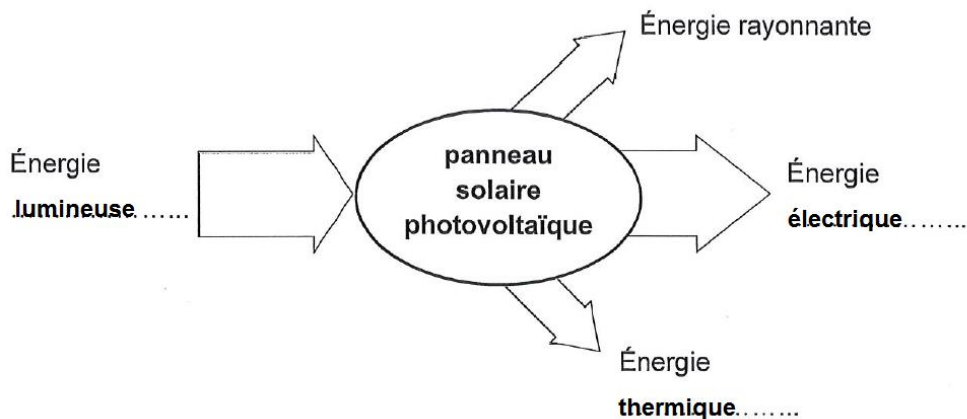
D'après le document A3, la différence entre l'énergie rayonnante extra-atmosphérique et l'énergie rayonnante arrivant jusqu'au sol est due à des phénomènes d'absorption et de réflexion dans les différentes couches de l'atmosphère.

A.2.2. Calcul de la puissance rayonnante maximale absorbée par les cellules photovoltaïques.

D'après le document A2, la surface totale des cellules photovoltaïques est de 270 m^2 . D'après le document A3, la puissance surfacique rayonnante maximale est de 1000 W.m^{-2} . On a la relation :

$$P = E \times S = 1000 \times 270 = 2,7 \times 10^5 \text{ W} = 270 \text{ kW}$$

A.2.3. Bilan énergétique d'un panneau solaire photovoltaïque.



A.2.4. Calcul de la puissance électrique maximale fournie par l'ensemble des cellules photovoltaïques.

D'après le document A2, le rendement des cellules photovoltaïques est de 22,7 %. On a la relation :

$$\eta = \frac{P_{elec}}{P_{lum}} \quad \text{donc} \quad P_{elec} = \eta \times P_{lum} = 0,227 \times 270 = 61,3 \text{ kW}$$

La puissance électrique maximale fournie par l'ensemble des cellules photovoltaïques est bien de 61,3 kW.

A.2.5. Calcul du rendement des moteurs électriques.

D'après le document A2, la puissance mécanique fournie par un moteur est de 13,0 kW donc pour 4 moteurs, la puissance fournie sera de 52,0 kW.

On a la relation :

$$\eta = \frac{P_{méca}}{P_{elec}} = \frac{52,0}{61,3} = 0,848 \quad \text{soit} \quad 84,8 \%$$

A.2.6. Calcul du nombre nécessaire de cellules dans une branche pour alimenter les batteries de 240 V.

Chaque cellule délivre une tension nominale de 3,58 V donc le nombre de cellules nécessaire est de :

$$N = \frac{240}{3,58} = 67 \text{ cellules}$$

A.2.7. Calcul du nombre de branches placées en dérivation et calcul de l'intensité nominale délivrées par chaque cellule.

Il y a au total 17 248 cellules et il y a 67 cellules par branche, le nombre de branche est de :

$$N = \frac{17248}{67} = 257 \text{ branches}$$

La puissance de l'ensemble des cellules est de 61,3 kW. Donc la puissance d'une cellule est de :

$$P_{1cellule} = \frac{61300}{17248} = 3,55 \text{ W}$$

La tension aux bornes d'une cellule est de 3,58 V. Donc l'intensité délivrée par chaque cellule sera de :

$$P_{1cellule} = U \times I \quad \text{donc} \quad I = \frac{P_{1cellule}}{U} = \frac{3,55}{3,58} = 0,99 \text{ A}$$

A.2.8. Calcul de l'énergie minimale, en joules, qu'un photon doit posséder pour arracher un électron du réseau du silicium.

D'après le document A4, un photon doit avoir une énergie au moins égale à 1,12 eV. Donc cette énergie a pour valeur en joules :

$$E = 1,12 \times 1,6 \times 10^{-19} = 1,79 \times 10^{-19} \text{ J}$$

A.2.9. Zone du spectre électromagnétique dans laquelle se situe ce photon.

On a la relation :

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{donc} \quad \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1,79 \times 10^{-19}} = 1,11 \times 10^{-6} \text{ m}$$

D'après le document A5, cette longueur d'onde appartient au rayonnement infrarouge.

A.3. Les batteries

A.3.1. Calcul de l'énergie massique des batteries au lithium.

D'après le document A2, les 4 accumulateurs au lithium ont une masse totale de 633 kg et stockent chacun une énergie de 41,0 kWh.

L'énergie électrique stockée par les 4 accumulateurs est de $4 \times 41,0 = 164 \text{ kWh}$

L'énergie massique est donc :

$$E_{\text{massique}} = \frac{E_{\text{elec}}}{m} = \frac{164000}{633} = 259 \text{ Wh.kg}^{-1}$$

A.3.2. Justification du choix des concepteurs de Solar Impulse 2 d'utiliser des batteries au lithium.

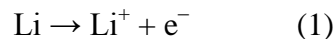
D'après les données du document A6, les batteries au lithium ont une énergie massique bien supérieure à celles données dans le tableau. Ces batteries choisies auront la masse la plus faible pour une énergie la plus grande. Ce paramètre est important car les concepteurs cherchent à réduire la masse de l'avion.

A.3.3. Critères sur lequel s'est opéré le choix.

D'après le document A7, les batteries lithium métal polymère ont été choisies car :

- présence d'un gel extérieur permettant d'utiliser des boîtiers plus légers.
- présence d'un gel moins volatil que l'électrolyte liquide rendant les batteries moins dangereuses.

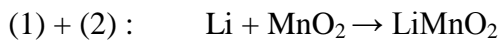
A.3.4. Equation de la réaction à l'électrode.



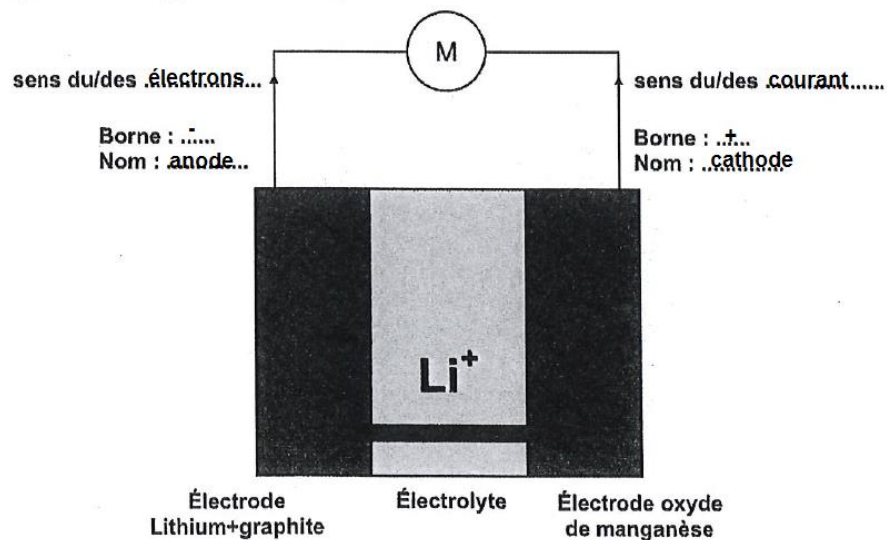
C'est une oxydation car il y a perte d'électrons.

A.3.5. Equation bilan de la réaction de fonctionnement de la pile.

À l'autre électrode, on a la réaction : $\text{Li}^+ + \text{MnO}_2 + \text{e}^- \rightarrow \text{LiMnO}_2$ (2)



A.3.6. Document réponse du schéma de fonctionnement de la batterie.



A.4. Comparaison avec un combustible fossile

A.4.1. Expression du pouvoir calorifique inférieur du kérosène en Wh.kg^{-1} .

D'après le document A8, le pouvoir calorifique inférieur (PCI) du kérosène est 43,1 MJ par kilogramme de carburant. On sait que $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$. Donc le PCI est de :

$$PCI = \frac{43,1 \times 10^6}{3600} = 1,2 \times 10^4 \text{ Wh.kg}^{-1}$$

A.4.2. Concurrence des combustibles fossiles sur le critère de l'énergie massique.

Pour une même masse, le kérosène stocke beaucoup plus d'énergie qu'une batterie. Les batteries ne peuvent pas, pour ce critère, concurrencer les combustibles fossiles.

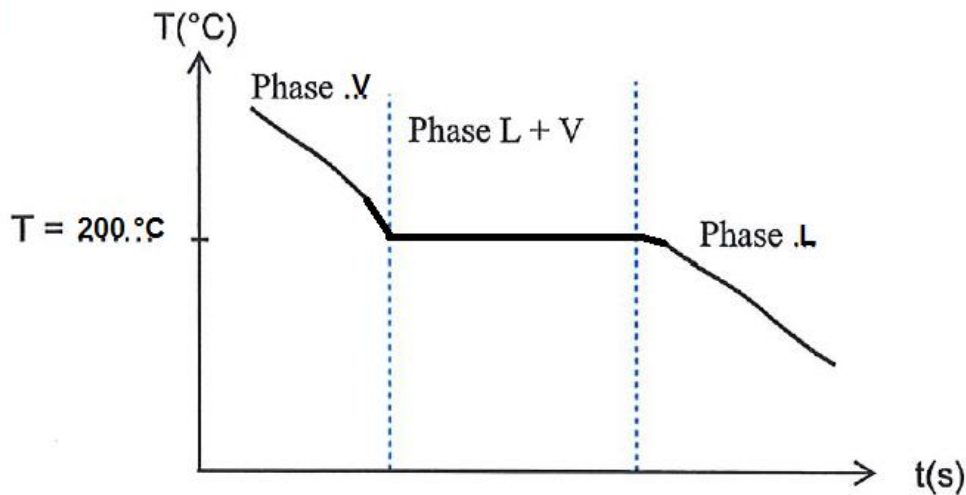
A.4.3. Identification du procédé industriel qui permet de séparer les différentes fractions du pétrole.

Le procédé industriel utilisé pour séparer les différentes fractions du pétrole est la distillation.

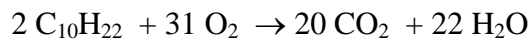
A.4.4. Grandeur physique qui caractérise chacune de ces fractions.

La grandeur physique qui caractérise chacune de ces fractions est la température d'ébullition.

A.4.5. Courbe de changement d'état du kérosène.



A.4.6. Equation bilan de la réaction de combustion du kérosène.



A.4.7. Calcul de la masse molaire moyenne du kérosène.

$$M_{\text{kérosène}} = 10 \times M(C) + 22 \times M(H) = 10 \times 12 + 22 \times 1 = 142 \text{ g.mol}^{-1}$$

A.4.8. Calcul de la masse de dioxyde de carbone libéré par la combustion d'un kilogramme de kérosène.

On calcule la quantité de matière pour 1 kg kérosène. On a la relation :

$$n_{C_{10}H_{22}} = \frac{m_{C_{10}H_{22}}}{M_{C_{10}H_{22}}} = \frac{1000}{142} = 7,04 \text{ mol}$$

On calcule ensuite la quantité de matière de dioxyde de carbone. D'après l'équation de la question A.4.6., on a la relation :

$$\frac{n_{C_{10}H_{22}}}{2} = \frac{n_{CO_2}}{20} \quad \text{donc} \quad n_{CO_2} = \frac{20}{2} \times n_{C_{10}H_{22}} = 10 \times 7,04 = 70,4 \text{ mol}$$

On peut déterminer la masse de dioxyde de carbone :

$$n_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{M_{CO_2}} \quad \text{donc} \quad m_{CO_2} = n_{CO_2} \times M_{CO_2} = 70,4 \times 44 = 3,1 \times 10^3 \text{ g} = 3,1 \text{ kg}$$

A.4.7. Conséquence du dégagement de dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

Le dioxyde de carbone est un gaz à effet de serre et est donc responsable du réchauffement climatique.

PARTIE B - Le matériau du squelette

B.1. Avantages économiques apportés par l'usage des matériaux composites, en comparaison de celui des métaux.

Les deux avantages économiques apportés par l'usage des matériaux composites sont :

- une diminution de la masse de l'avion car la masse volumique est faible donc une réduction de la consommation énergétique
- une plus grande résistance aux sollicitations mécaniques. Cela va accroître sa durée de vie donc une consommation moins importante de pièces.

B.2 Détermination graphique de la résistance mécanique.

D'après le document B3, la résistance mécanique R_e est la valeur de la contrainte au-delà de laquelle la déformation est irréversible. C'est-à-dire lorsque la courbe n'est plus une droite. On obtient cette valeur sur la courbe lorsque celle-ci est au maximum donc la valeur de la contrainte correspond, pour ce point, à la valeur de la résistance mécanique qui est de 1100 Mpa.

B.3 Calcul du module de Young E

D'après le document B3, on a la relation :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{1100}{0,005} = 220000 \text{ MPa} = 220 \text{ GPa}$$

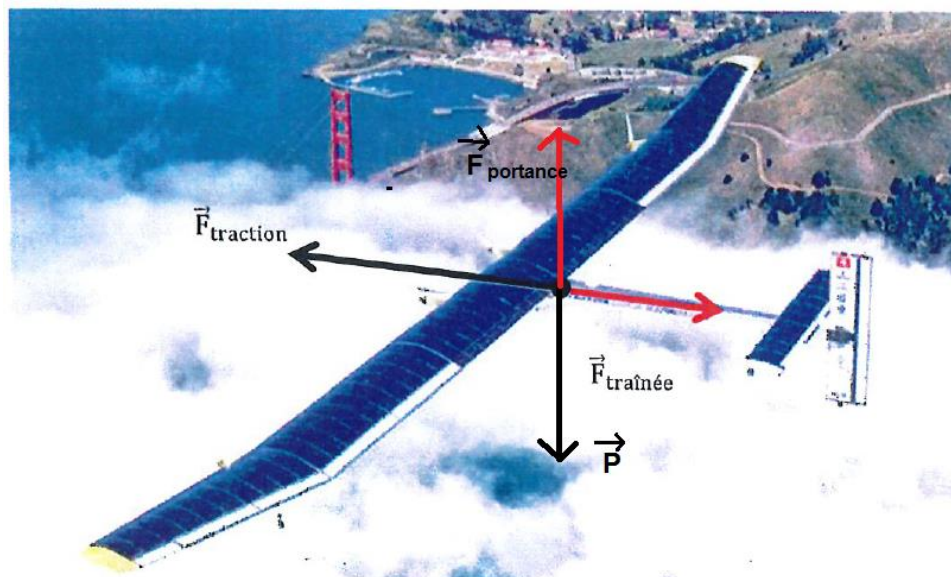
	E (GPa)	Re (MPa)	masse (kg) pour 1 m ³ de matériau
Acier	200	350	7800
Aluminium	70	250	2700
Carbone	220	1100	1800

B.4 Avantage d'utiliser des matériaux composites pour l'aviation en termes de résistance mécanique

La fibre de carbone a une meilleure résistance mécanique R_e que l'acier ou l'aluminium avec une masse plus faible.

PARTIE C - Le vol de croisière et sa consommation

C.1. Tracé du vecteur force portance et du vecteur poids



C.2. Détermination de la masse volumique de l'air à l'altitude de 8500 m

D'après le document C3, la masse volumique de l'air à 8 500 m = 8,5 km d'altitude est égale à $0,45 \text{ kg.m}^{-3}$.

C.3. Condition sur les forces verticales pour que l'avion maintienne une trajectoire horizontale.

Pour que l'avion maintienne une trajectoire horizontale, il faut que les deux forces verticales se compensent.

C.4. Vitesse de croisière de 90 km/h suffisante pour maintenir la trajectoire de l'avion horizontale.

On calcule le poids de l'avion dont la masse est de 2300 kg d'après le document C1. On a la relation :

$$P = m \times g = 2300 \times 9,81 = 2,3 \times 10^4 \text{ N}$$

Les deux forces verticales se compensent donc la valeur de la force de portance est de $2,3 \times 10^4 \text{ N}$.

La valeur de la vitesse de croisière est de $90 \text{ km.h}^{-1} = 25 \text{ m.s}^{-1}$

D'après la relation donnée dans le document C1, on a :

$$F_{\text{portance}} = \frac{1}{2} \rho \times v^2 \times S \times C_z = \frac{1}{2} \times 0,55 \times 25^2 \times 270 \times 0,60 = 2,3 \times 10^4 \text{ N}$$

La valeur calculée de la force de portance est bien égale à celle déterminée précédemment donc cette vitesse est suffisante pour maintenir la trajectoire de l'avion horizontale.

C.5. Justification du mouvement accéléré de l'avion

D'après le document C1, la valeur de la force de traction est supérieure à la valeur de la force de trainée (la longueur du vecteur force de traction est plus grande que celle du vecteur force de trainée).

La somme de ces deux forces n'est pas nulle et la résultante de ces deux forces est égale à F_{ext} . D'après le document C2, s'il existe une force résultante alors il existe une accélération. (La force extérieure est proportionnelle à l'accélération). Donc le mouvement de l'avion est accéléré.

C.6. Justification de la stratégie qui consiste à voler à plus basse altitude.

En volant à basse altitude, l'avion se situe à une altitude où la masse volumique ρ de l'air est plus grande que celle à 8,5 km.

D'après l'expression de la force de portance, si la masse volumique ρ augmente alors la vitesse v diminue pour avoir la valeur de la force de portance constante.

Donc en volant à une altitude plus basse, il peut diminuer la valeur de la vitesse tout en conservant la même valeur de la force de portance et ainsi économiser de l'énergie.

C.7. Calcul de la force de trainée

D'après le document C3, à l'altitude de 2000 m, la valeur de la masse volumique est de 1 kg.m^{-3} et la vitesse est de 60 km.h^{-1} soit $16,7 \text{ m.s}^{-1}$

D'après le document C1, on a la relation :

$$F_{\text{trainée}} = \frac{1}{2} \rho \times v^2 \times S \times C_x = \frac{1}{2} \times 1 \times 16,7^2 \times 270 \times 0,03 = 1,13 \times 10^3 \text{ N}$$

C.8. Calcul de la puissance nominale des moteurs lors du vol de nuit

D'après la relation donnée dans le document C1, on a :

$$P = F_{\text{trainée}} \times v = 1,13 \times 10^3 \times 16,7 = 1,9 \times 10^4 \text{ W} = 19 \text{ kW}$$

La puissance d'un moteur est de 13,0 kW donc pour les quatre moteurs la puissance est de 52,0 kW. Cela représente un pourcentage de :

$$\% = \frac{19}{52} \times 100 = 37 \%$$

Donc les moteurs électriques ne fonctionnent qu'à 40 % de leur puissance nominale.