

ENERGY OBSERVER

2017 – 2022

L'ODYSSÉE POUR LE FUTUR, À BORD DU PREMIER NAVIRE À HYDROGÈNE AUTOUR DU MONDE

PARTIE A - Le Soleil comme source d'énergie

A.1. Particularités des panneaux solaires équipant Energy Observer

Deux particularités des panneaux solaires équipant Energy Observer :

- Panneaux qui utilisent la technologie hétérojonction pour recueillir les rayons solaires directs et indirects.
- Panneaux basse tension pour éviter tout risque électrique.
- Panneaux recouverts d'un revêtement antidérapant.
- Panneaux réalisés sur mesure et galbés pour épouser la forme de la coque.

A.2. Rayonnement solaire

A.2.1. Description de la structure d'une onde électromagnétique.

Une onde électromagnétique est composée d'un champ magnétique et d'un champ électrique.

Ces deux champs sont perpendiculaires entre eux et à la direction de propagation de l'onde.

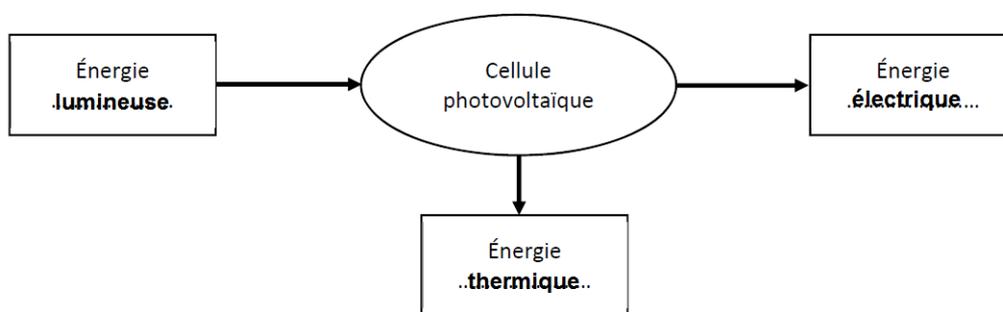
A.2.2. Autre grandeur physique caractérisant cette onde.

Une onde électromagnétique peut être caractérisée par sa fréquence f qui s'exprime en Hertz (Hz).

Elle peut être également caractérisée par sa période T qui s'exprime en seconde (s).

A.3. Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

A.3.1. Bilan énergétique d'une cellule photovoltaïque.



A.3.2. Calcul de la valeur minimale d'énergie E_{\min} , exprimée en joules, que doit posséder un photon pour que la cellule photovoltaïque produise un courant électrique.

D'après le document A2, la valeur minimale de l'énergie est de 1,10 eV. Donc :

$$E_{\min} = 1,10 \times 1,60 \times 10^{-19} = 1,76 \times 10^{-19} \text{ J}$$

A.3.3. Relation donnant λ en fonction de E_{\min} et constantes physiques qui y figurent.

On a la relation :

$$\lambda = \frac{hc}{E_{\min}}$$

Avec :

- h : constante de Planck
- c : vitesse de la lumière
- λ : longueur d'onde

A.3.4. Calcul de la valeur de la longueur d'onde λ .

On a la relation :

$$\lambda = \frac{hc}{E_{\min}} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1,76 \times 10^{-19}} = 1,13 \times 10^{-6} \text{ m}$$

A.3.5. Domaine auquel appartiennent ces ondes.

D'après le document A3, ces ondes appartiennent au domaine des rayons infrarouges.

A.3.6. Utilisation du silicium comme semi-conducteur adapté au domaine du visible.

Dans les questions précédentes, on a déterminé la valeur de l'énergie minimale pour le fonctionnement du panneau. Donc des énergies supérieures à cette valeur permettent également le fonctionnement du panneau. D'après la relation donnant la longueur d'onde en fonction de l'énergie, on a la longueur d'onde qui est inversement proportionnelle à l'énergie. Donc si l'énergie augmente, la longueur d'onde diminue. Si on choisit une longueur d'onde inférieure à celle calculée précédemment, on se situe dans le domaine du visible et l'énergie de ce type de photons sera plus grande. Cette énergie permettra le fonctionnement du panneau. Le silicium comme semi-conducteur est bien adapté au domaine du visible

A.4. Étude de la notice d'un panneau photovoltaïque

A.4.1. Possibilité d'installer 77 panneaux Bisun Protect 290 pour équiper la surface de 130 m² d'Energy Observer.

D'après le document A4, un panneau a une longueur $L = 1675 \text{ mm} = 1,675 \text{ m}$ et une largeur $l = 1001 \text{ mm} = 1,001 \text{ m}$. On peut donc calculer la surface des 77 panneaux :

$$S = 77 \times L \times l = 77 \times 1,675 \times 1,001 = 129,1 \text{ m}^2$$

Ces panneaux permettent bien d'équiper la surface de 130 m² d'Energy Observer.

A.4.2. Calcul de la puissance lumineuse absorbée par l'ensemble des 77 panneaux photovoltaïques installés sur Energy Observer.

D'après l'énoncé, l'éclairement est de 1000 W.m⁻². On a la relation :

$$P_{\text{lumineuse}} = E \times S = 1000 \times 129,1 = 1,29 \times 10^5 \text{ W}$$

A.4.3. Expression et calcul de la valeur du rendement maximal de l'installation des panneaux Bisun protect 290.

D'après le document A4, la puissance électrique maximale est de 290 W pour un panneau. On a la relation :

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{lumineuse}}} = \frac{290 \times 77}{1,29 \times 10^5} = 0,173 \text{ soit } 17,3 \%$$

A.4.4. Caractérisation du rendement de ce type de panneau photovoltaïque.

Le rendement de ce type de panneau est convenable. Actuellement des panneaux solaires peuvent avoir des rendements de 24 %.

PARTIE B - L'hydrogène, un vecteur énergétique

B.1. Composition de l'hydrogène

B.1.1 Définition du terme isotope.

Des isotopes ont le même nombre de protons mais un nombre de neutrons différents.

B.1.2 Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène. Il se désintègre avec émission d'un rayonnement β^- .

B.1.2.1. Particule émise lors d'un rayonnement β^- .

La particule émise lors d'un rayonnement β^- est un électron.

B.1.2.2. Valeurs manquantes du numéro atomique Z et du nombre de masse A dans l'équation ci-dessous.

D'après la loi de conservation du nombre de masse, on a :

$$3 = A + 0 \text{ donc } A = 3$$

D'après la loi de conservation du nombre de charge, on a :

$$1 = Z + (-1) \text{ donc } Z = 2$$

D'après le tableau donné dans l'énoncé, l'élément dont le nombre de charge est de 2 est l'élément hélium He.



B.1.2.3. Définition de l'activité Ac d'une source radioactive et nom de l'unité dont le symbole est Bq.

L'activité d'une source radioactive est égale au nombre de désintégrations par seconde.

L'unité est le Becquerel.

B.1.2.4. Raisons pour lesquelles la présence du tritium ne présente pas de danger pour l'Homme ou pour l'environnement.

Les deux raisons pour lesquelles la présence du tritium ne présente pas de danger pour l'Homme ou pour l'environnement sont :

- il est peu pénétrant (peu de danger pour l'Homme)
- il est un radionucléide à vie courte (peu de danger pour l'environnement)

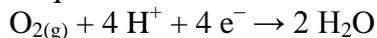
B.2 Fonctionnement de la pile à combustible

B.2.1 Electrode qui est le siège d'une oxydation.

L'électrode qui est le siège d'une oxydation est l'anode car à cette électrode il y a pertes d'électrons.

B.2.2. Demi-équation se déroulant à la cathode et nom qualifie ce type de réaction.

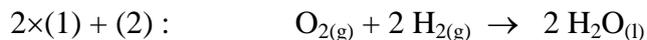
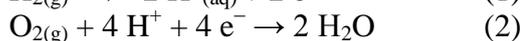
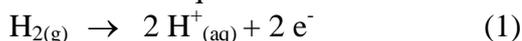
La demi-équation se déroulant à la cathode est la suivante :



Cette réaction est une réduction.

B.2.3. Equation de fonctionnement de la pile.

On a les deux demi-équations suivantes :



B.2.4. Expression puis calcul de la quantité de matière de dihydrogène disponible lorsque les réservoirs sont pleins.

On a la relation :

$$n_{\text{H}_2} = \frac{m_{\text{H}_2}}{M_{\text{H}_2}} = \frac{62000}{2} = 31000 \text{ mol}$$

B.2.5. Calcul de la quantité de matière d'électrons $n(\text{e}^-)$ qui circule dans le circuit extérieur si on consomme la totalité du dihydrogène.

D'après la demi-équation (1), on a relation :

$$\frac{n_{\text{H}_2}}{1} = \frac{n_{\text{e}^-}}{2} \text{ donc } n_{\text{e}^-} = 2 \times n_{\text{H}_2} = 2 \times 3,1 \times 10^4 = 6,2 \times 10^4 \text{ mol}$$

B.2.6. Calcul de la quantité d'électricité totale, notée Q, débitée par la pile.

On a la relation :

$$Q = n_{\text{e}^-} \times F = 6,2 \times 10^4 \times 96500 = 5,98 \times 10^9 \text{ C}$$

B.2.7. Relation à appliquer pour calculer l'énergie électrique, E, disponible dans cette pile lorsqu'on mesure une tension, U, aux bornes de la pile qui débite.

La capacité s'exprime en coulomb C mais elle peut aussi s'exprimer en Ah. Le produit d'une capacité exprimée en Ah par une tension exprimée en V correspond à des Wh. C'est l'unité d'une énergie. Donc la relation à appliquer pour calculer l'énergie est :

$$E = Q \times U$$

B.2.8. Calcul de l'énergie électrique maximum disponible.

On a la relation :

$$E = Q \times U = 5,98 \times 10^9 \times 1,3 = 7,8 \times 10^9 \text{ J} = 7800 \text{ MJ}$$

B.2.9. Calcul du volume d'essence susceptible de libérer la quantité d'énergie déterminée à la question B.2.8.

D'après l'énoncé, le pouvoir calorifique inférieur de l'octane est de $44,4 \text{ MJ.kg}^{-1}$. Pour une énergie libérée de $7,8 \times 10^9$, la masse correspondante d'octane est de :

$$m_{\text{octane}} = \frac{7800}{44,4} = 175,7 \text{ kg}$$

Le volume correspondant à cette masse est :

$$\rho = \frac{m_{\text{octane}}}{V} \quad \text{donc} \quad V = \frac{m_{\text{octane}}}{\rho} = \frac{175,7}{0,703} = 250 \text{ L}$$

B.3 On souhaite déterminer l'impact environnemental si l'hydrogène n'avait pas fait partie du projet.

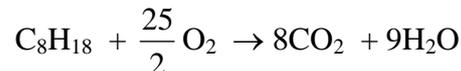
B.3.1. Calcul de la quantité de matière d'octane contenue dans 250 L d'essence.

On a la relation :

$$n_{\text{C}_8\text{H}_{18}} = \frac{m_{\text{C}_8\text{H}_{18}}}{M_{\text{C}_8\text{H}_{18}}} = \frac{175700}{114} = 1,54 \times 10^3 \text{ mol}$$

La quantité de matière d'octane contenue dans 250 L d'essence vaut bien environ $1,5 \times 10^3$ mol.

B.3.2. Equation de combustion de l'octane.



B.3.3. Calcul de la quantité de matière de dioxyde de carbone émise par la combustion des 250 L d'essence.

D'après l'équation de la question précédente, on a la relation :

$$n_{\text{C}_8\text{H}_{18}} = \frac{n_{\text{CO}_2}}{8} \quad \text{donc} \quad n_{\text{CO}_2} = 8 \times n_{\text{C}_8\text{H}_{18}} = 8 \times 1,54 \times 10^3 = 1,23 \times 10^4 \text{ mol}$$

La quantité de matière de dioxyde de carbone émise par la combustion des 250 L d'essence vaut bien environ $1,2 \times 10^4$ mol.

B.3.4. Calcul de la masse de dioxyde de carbone rejetée.

On peut déterminer la masse de dioxyde de carbone :

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}} \quad \text{donc} \quad m_{\text{CO}_2} = n_{\text{CO}_2} \times M_{\text{CO}_2} = 1,23 \times 10^4 \times 44 = 5,4 \times 10^5 \text{ g} = 540 \text{ kg}$$

B.3.5. Calcul du bilan carbone, exprimé en grammes de dioxyde de carbone émis par km parcouru (g/km), si le bateau avait réellement consommé de l'essence.

La vitesse de déplacement du bateau est 6,0 nœuds. Cela correspond à une vitesse en km.h^{-1} de :

$$v = 6,0 \times 1,85 = 11,1 \text{ km.h}^{-1}$$

La durée de navigation est de 5 jours soit 120 h.

La distance parcourue est de :

$$v = \frac{d}{t} \quad \text{donc} \quad d = v \times t = 11,1 \times 120 = 1332 \text{ km}$$

Le bilan carbone sera de :

$$\frac{5,4 \times 10^5}{1332} = 405,4 \text{ g.km}^{-1}$$

PARTIE C - Energy Observer fait du kie surf !

C.1. Étude d'un capteur de vitesse

C.1.1. Grandeurs d'entrée et de sortie du capteur utilisé.

D'après le document C1, la grandeur d'entrée est la fréquence de rotation et la grandeur de sortie est la tension.

C.1.2. Calcul de la fréquence de rotation du moteur en Hz puis en tr.min^{-1} .

D'après le document C2, la fréquence du signal correspond à la fréquence de la fondamentale de l'analyse spectrale du signal. C'est fréquence est de 25 Hz.

Une fréquence de 25 Hz est équivalente à 25 tr.s^{-1} . La valeur de cette fréquence en tr.min^{-1} est de :

$$f = 25 \times 60 = 1500 \text{ tr.min}^{-1}$$

C.1.3. Calcul de la fréquence du signal à partir du document C3.

D'après le document C3, la période T du signal de sortie est de 40 ms. On a la relation :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{40 \times 10^{-3}} = 25 \text{ Hz}$$

L'exploitation des informations données dans le document C3 confirme bien la valeur de la fréquence trouvée à la question précédente.

C.1.4. Valeur de la fréquence du second pic de l'analyse spectrale et harmonique correspond à ce pic.

D'après le document C2, la valeur de la fréquence du second pic est de 75 Hz.

Cette fréquence correspond à 3 fois la valeur de la fréquence de la fondamentale. Donc il s'agit de l'harmonique de rang 3.

C.2. Energy Observer prend de la vitesse

C.2.1. Calculer du poids d'Energy Observer.

On a la relation :

$$P = m \times g = 33 \times 10^3 \times 9,81 = 3,24 \times 10^5 \text{ N}$$

C.2.2. Valeur de la poussée d'Archimède.

Lorsque le bateau se déplace, sa vitesse est constante. Cela signifie que les quatre forces qui s'exercent sur lui se compensent. Il y a deux forces verticales (le poids et la poussée d'Archimède) et deux forces horizontales (les forces de frottements et la force motrice). Elles s'annulent donc deux à deux.

Donc la valeur de la poussée d'Archimède est égale à la valeur du poids : $3,2 \times 10^5 \text{ N}$.

C.2.3. Résultante des forces.

Sachant que le mouvement est rectiligne uniforme, d'après le principe d'inertie, les forces se compensent donc la résultante des forces est nulle.

C.2.4. Travail du poids et de la poussée d'Archimède.

Ces deux forces sont perpendiculaires au mouvement donc le travail de ces forces est nulle.

C.2.5. Somme des travaux des forces horizontales, \vec{f} et \vec{F}_m

Les deux forces \vec{f} et \vec{F}_m sont opposées, le travail de \vec{F}_m est moteur et le travail de \vec{f} est résistant. La valeur du travail de ces deux est la même en valeur absolue. Donc la somme des travaux de ces deux forces est nulle.

C.2.6. Expression puis calcul du travail de T pendant les 150 premiers mètres.

On a la relation :

$$W(\vec{T}) = T \times d = 750 \times 150 = 1,13 \times 10^5 \text{ J}$$

C.2.7. Calcul de la vitesse atteinte par Energy Observer après 150 m de traction par la voile.

La vitesse initiale d'Energy Observer est de 6,0 nœuds soit 11,1 km.h⁻¹. Soit en m.s⁻¹ :

$$v = \frac{11,1}{3,6} = 3,1 \text{ m.s}^{-1}$$

D'après le théorème de l'énergie cinétique, on a la relation :

$$E_{C2} - E_{C1} = W(\vec{T}) + W(\vec{f}) + W(\vec{F}_m) = W(\vec{T})$$

$$\frac{1}{2} m \times v_2^2 - \frac{1}{2} m \times v_1^2 = W(\vec{T})$$

$$\frac{1}{2} m \times v_2^2 = \frac{1}{2} m \times v_1^2 + W(\vec{T})$$

$$v_2^2 = v_1^2 + \frac{2 \times W(\vec{T})}{m}$$

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + \frac{2 \times W(\vec{T})}{m}} = \sqrt{(3,1)^2 + \frac{2 \times 1,13 \times 10^5}{33 \times 10^3}} = 4,06 \text{ m.s}^{-1}$$

$$v = 4,06 \times 3,6 = 14,6 \text{ km.h}^{-1}$$

La vitesse atteinte après 150 m de traction est bien de 14,5 km.h⁻¹.

C.2.8. Vitesse mesurée après 150 m de traction est, en fait, inférieure à celle trouvée à la question C.2.7.

Au cours de la traction, la vitesse bateau augmente donc la valeur des forces de frottements augmente. (D'après l'énoncé, la valeur des forces de frottements est proportionnelle au carré de la vitesse. Donc la somme des travaux des forces horizontales, \vec{f} et \vec{F}_m n'est plus nulle est devient négative. La variation de l'énergie cinétique sera donc inférieure à celle calculée précédemment donc la vitesse finale atteinte sera inférieure à celle trouvée à la question C.2.7.