



Produire du sucre inverti pour Energy-Observer

Exercice corrigé

Baccalauréat de mars 2023 – exercice 1 du sujet de La Réunion

■ Physique-Chimie : cinétique d'une réaction chimique

- Établir la loi d'évolution de la concentration d'une espèce en fonction du temps pour une réaction d'ordre 0 ou d'ordre 1.
- Déterminer l'ordre d'une réaction et la constante de vitesse en exploitant des données issues d'un suivi cinétique.
- Déterminer le temps de demi-réaction.

■ Mathématiques : fonction exponentielle de base e ; fonction logarithme népérien

- Utiliser les propriétés algébriques de l'exponentielle pour transformer des expressions.
- Étudier les variations de fonctions somme, produit ou quotient de fonctions exponentielles (du type $x \mapsto e^{kx}$ pour k réel) et de fonctions polynômes.
- Déterminer les limites en $-\infty$ et en $+\infty$ de fonctions somme, produit ou quotient de fonctions exponentielles et de fonctions polynômes.
- Utiliser les propriétés algébriques de la fonction logarithme népérien pour transformer des expressions.

Energy Observer est à l'origine le nom du premier bateau navigant grâce aux énergies renouvelables et à l'hydrogène. Parti de France, il a largué les amarres en mars 2020 pour une odyssée de 4 ans autour du monde. Il est le symbole d'une prise de conscience et des actions menées au service de la transition écologique.



<https://www.energy-observer.org>

Ses technologies embarquées combinent de multiples sources d'énergie telles que les énergies solaire, éolienne, hydrolienne, et différentes solutions de stockage d'énergie telles que des batteries et surtout du dihydrogène. Ces technologies zéro émission sont expérimentées, testées et optimisées pour faire des énergies propres une réalité concrète et accessible à tous.

À bord du bateau *Energy Observer*, l'équipage doit évidemment se nourrir. Plutôt que d'utiliser du saccharose pour les apports glucidiques, du sirop de sucre inverti a été embarqué sur le bateau.

Le sucre inverti est un mélange équimolaire de glucose et de fructose issu de l'hydrolyse du saccharose. Il présente un pouvoir sucrant supérieur d'environ 20 % à celui du saccharose, ce qui limite la masse embarquée sur le bateau. Il permet également de réduire le temps de cuisson, donc l'énergie utilisée à bord pour se nourrir.

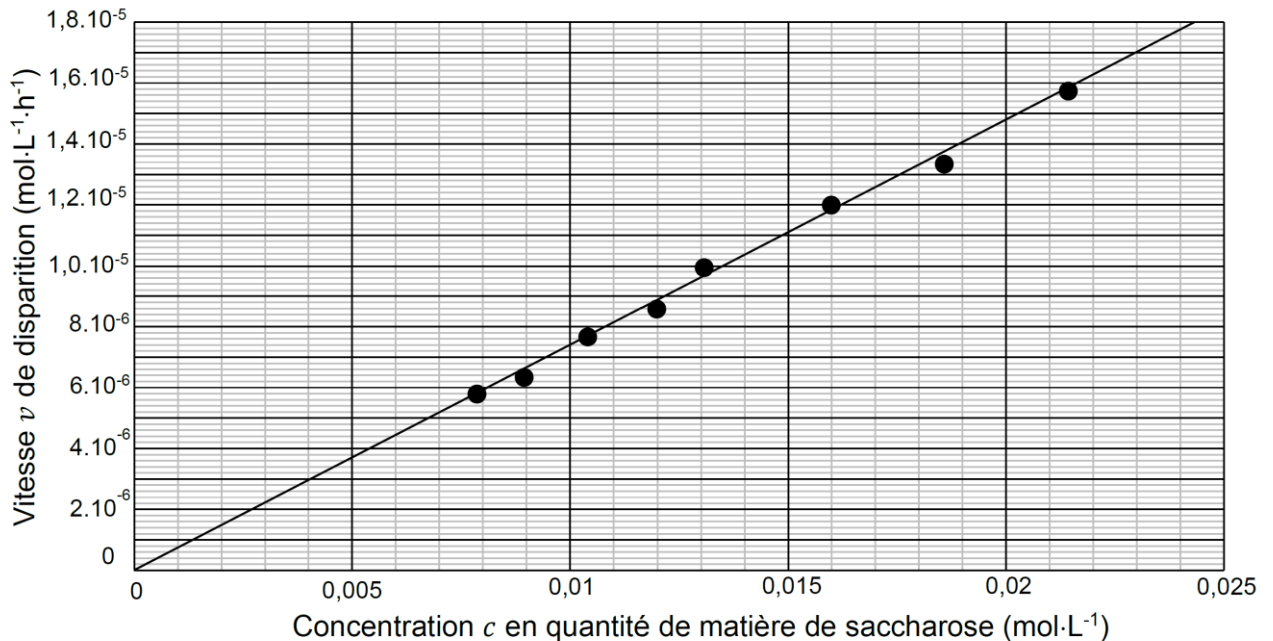
La production de sucre inverti est réalisée en laboratoire lors de la transformation chimique du saccharose en milieu acide, en chauffant.

On définit la vitesse v de disparition du saccharose de concentration c en quantité de matière par :

$$v = -\frac{dc}{dt}$$



Expérimentalement, nous réalisons un suivi cinétique de cette transformation qui permet d'obtenir le graphe ci-après représentant l'évolution de la vitesse v de disparition du saccharose en fonction de sa concentration c en quantité de matière dans le mélange. On peut modéliser cette situation par une fonction linéaire.



1. À partir du graphique précédent, choisir, en justifiant la réponse, le modèle adapté à la cinétique chimique de cette réaction parmi les propositions suivantes :

modèle 1 : $v = k$; modèle 2 : $v = k \cdot c$; modèle 3 : $v = k \cdot c^2$

où k est la constante de vitesse.

Nous pouvons approximer les points à l'aide d'une droite passant par l'origine. Nous avons donc un modèle linéaire, donc :

$$v = k \cdot c$$

2. Déterminer une valeur approchée de la constante de vitesse k en précisant son unité.

On trouve, par lecture graphique, $k = 7,4 \times 10^{-4} \text{ h}^{-1}$

Dans la suite de cet exercice, on prendra $k = 7 \times 10^{-4}$.

3. Déterminer le temps de demi-réaction $t_{1/2}$, défini par la relation : $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k}$

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k} = \frac{\ln(2)}{7 \times 10^{-4}} = 1 \times 10^3 \text{ h}$$

4. Commenter le résultat précédent en qualifiant de rapide ou lente la transformation chimique réalisée au laboratoire.

Le temps de demi-réaction vaut environ 41 jours, la transformation chimique est donc très lente.

À partir du modèle identifié à la question 1, on montre que la cinétique de l'hydrolyse du saccharose peut être modélisée par l'équation différentielle (E) :

$$\frac{dc}{dt} = -k \times c \quad (\text{soit en mathématiques } y' = -k \times y)$$

où $k = 7 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$



5. Résoudre sur $[0 ; +\infty[$ cette équation différentielle.

$$y' = -7 \times 10^{-4} \times y$$

Les solutions de l'équation différentielle sont les fonctions de la forme :

$$f(t) = Ce^{-7 \times 10^{-4}t} \text{ où } C \text{ est un réel}$$

6. Sachant que pour $t = 0$, la concentration initiale du saccharose vaut $0,4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, montrer que l'unique solution de l'équation (E) est la fonction C définie sur $[0 ; +\infty[$ par $c(t) = 0,4 \times e^{-7 \times 10^{-4} \times t}$
 $c(0) = 0,4$ signifie que

$$Ce^{-7 \times 10^{-4} \times 0} = 0,4$$

$$C = 0,4$$

Finalement

$$c(t) = 0,4e^{-7 \times 10^{-4}t}$$

7. Déterminer la limite de $c(t)$ lorsque t tend vers $+\infty$.

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} e^{-7 \times 10^{-4}t} = 0 \quad \text{donc} \quad \lim_{t \rightarrow +\infty} 0,4e^{-7 \times 10^{-4}t} = 0$$

Finalement,

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} c(t) = 0$$

8. Interpréter ce résultat dans le contexte de la production réalisée en laboratoire.

L'hydrolyse du saccharose est une transformation chimique totale : un des réactifs a totalement disparu

Energy Observer

Exercice corrigé

Baccalauréat de mars 2023 – exercice 2 du sujet de La Réunion

Physique-Chimie :

■ Energie mécanique

- Exprimer le travail d'une force constante.
- Associer une variation d'énergie cinétique au travail des forces (1^{ère}).

■ Réactions d'oxydo-réduction

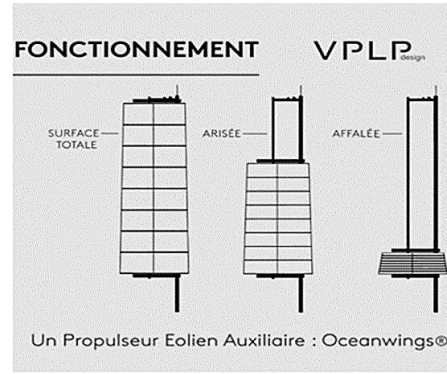
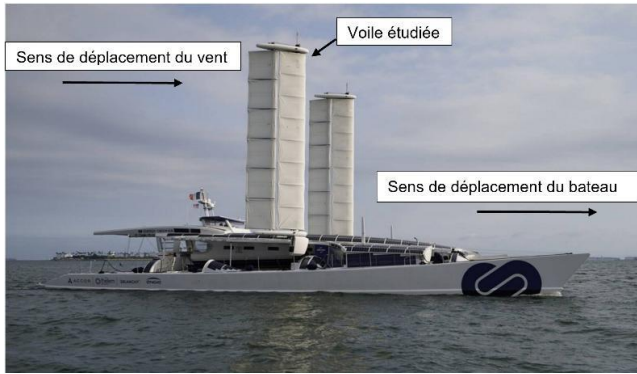
- Préciser la polarité d'une pile, le nom de chaque électrode, le sens de déplacement des électrons, du courant et des ions (y compris dans le pont salin)
- Définir l'oxydant et le réducteur d'un couple redox, dans le cadre du modèle par transfert d'électrons.

■ Structure spatiale des espèces chimiques

- Savoir lire une formule topologique (1^{ère}).
- Identifier un atome de carbone asymétrique (1^{ère}).
- Déterminer la configuration absolue d'un atome de carbone asymétrique.

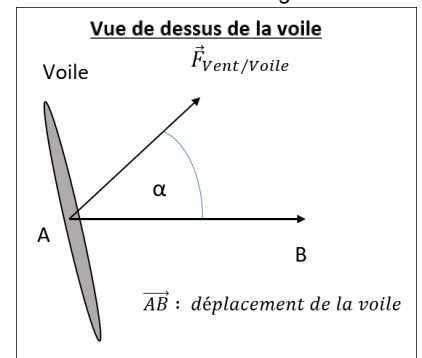
Naviguer plus vite

Energy Observer est équipé d'un nouveau type de voiles appelées *Oceanwings®*. Un système automatisé permet de modifier l'orientation des voiles ainsi que leur surface exposée au vent (surface totale, voile arisée ou voile affalée).



Source VPLP Design

Le schéma ci-contre représente la voile vue de dessus ainsi que la force constante exercée par le vent sur la voile, notée $\vec{F}_{Vent/Voile}$.
La voile, solidaire du bateau, se déplace de A vers B.



1. Identifier les deux paramètres permettant de faire varier la vitesse du bateau.

Il s'agit :

- de la valeur de la force $\vec{F}_{Vent/Voile}$: celle-ci sera d'autant plus grande que la surface de la voile sera grande.
- de l'angle α entre la direction de la force exercée par le vent sur la voile et celle du déplacement AB (donc de l'orientation de la voile par rapport au vent).

2. Déterminer l'expression littérale du travail de la force exercée par le vent sur la voile au cours du déplacement entre les points A et B.

$$W_{AB}(\vec{F}_{Vent/Voile}) = F_{Vent/Voile} \times AB \times \cos \alpha$$

Pour que le bateau navigue à grande vitesse, le travail de la force exercée par le vent sur la voile doit être maximum.

3. Déterminer la valeur du paramètre intervenant dans l'expression littérale du travail afin que celui-ci soit maximum.

Le travail sera maximal pour $\cos \alpha = 1$ soit pour $\alpha = 90^\circ$

4. Expliquer comment varie la vitesse du bateau en augmentant la surface des voiles et nommer l'énergie du bateau ainsi augmentée.

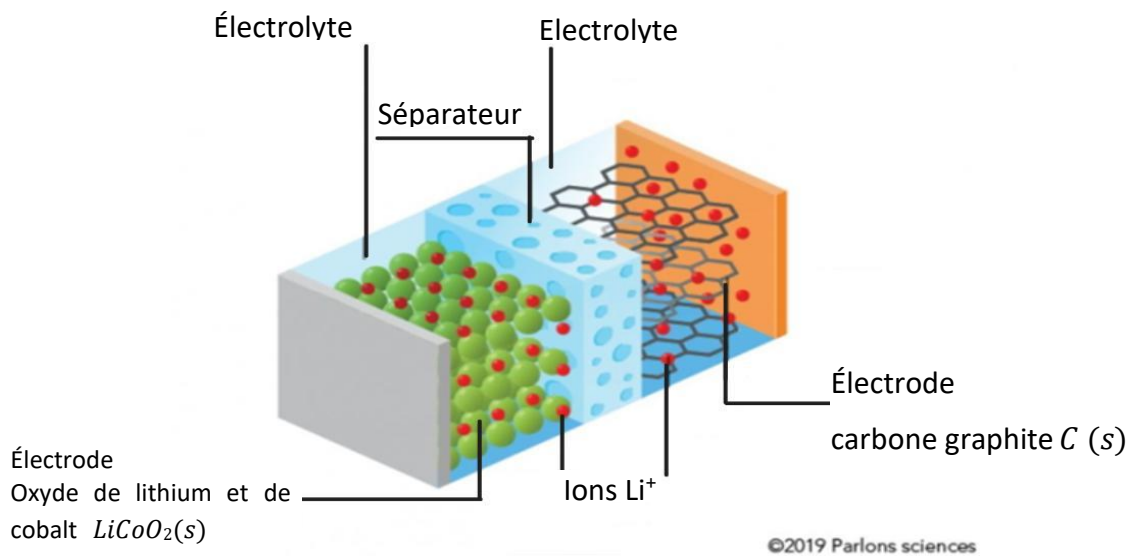
En augmentant la surface des voiles, la valeur de la force exercée par le vent sur la voile augmente. Donc le travail de cette force augmente également et d'après le théorème de l'énergie cinétique, la variation d'énergie cinétique sur le trajet AB sera également plus importante. Ainsi, l'énergie cinétique du bateau augmente. $E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$

Donc si l'énergie cinétique du bateau augmente, sa vitesse augmente.

Produire, stocker et restituer l'énergie

Energy Observer est un bateau autonome en énergie. En l'absence de vent et par temps couvert, les apports extérieurs d'énergie sont insuffisants. Aussi, les moteurs électriques qui propulsent le bateau et les appareils à bord font appel à l'énergie stockée dans des batteries ou sous forme de dihydrogène.

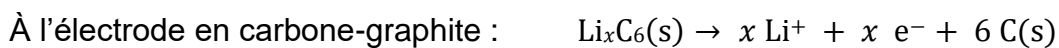
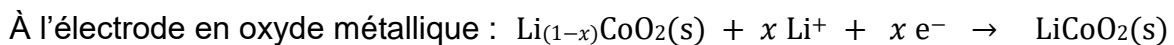
Cette partie se limitera à l'étude de la décharge d'une batterie lithium-ion, qui se comporte alors comme une pile dont voici un schéma simplifié :



L'électrolyte est un sel de lithium dissous dans un solvant organique.

Les ions lithium Li^+ de l'électrolyte peuvent se déplacer d'une électrode à l'autre en passant au travers d'un séparateur perméable à ces ions.

Au cours de sa décharge, une batterie lithium-ion est le siège de transformations chimiques qui se déroulent au niveau de chaque électrode selon les équations de réactions électrochimiques suivantes :

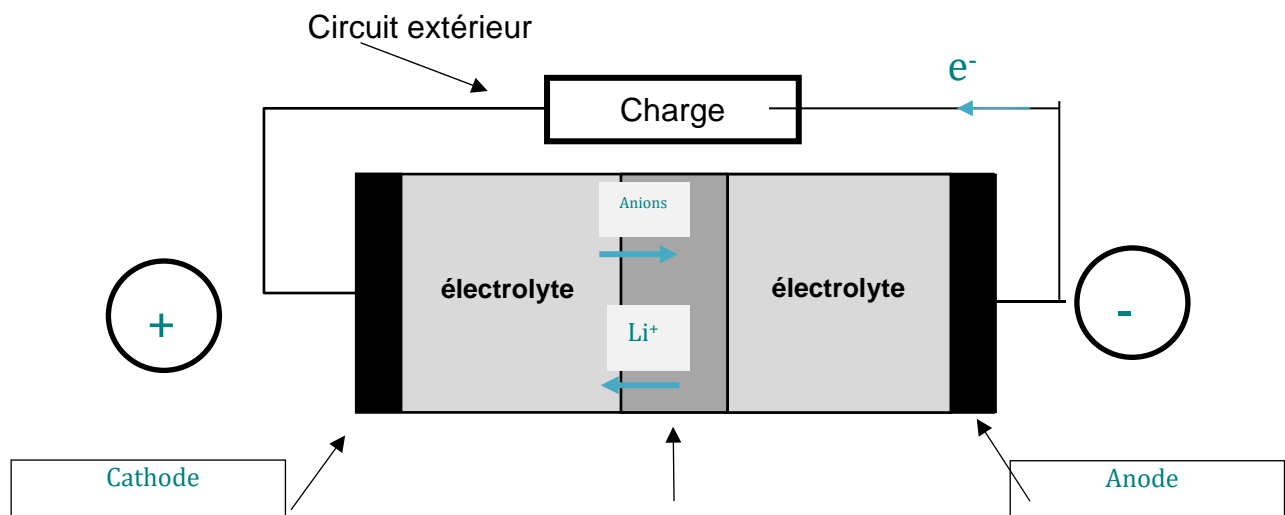


Cet exercice sera traité sans prêter attention à la valeur de x .

5. Justifier que lors de la décharge l'électrode de carbone graphite $\text{C}(\text{s})$ est le siège d'une oxydation.

A l'électrode de carbone graphite on voit qu'il y a une libération d'électrons : $\text{Li}_x\text{C}_6(\text{s})$ est donc un réducteur qui s'oxyde. L'électrode de graphite est donc le siège d'une réaction d'oxydation.

Lors de sa décharge, la batterie délivre un courant électrique dans un circuit extérieur, comme l'illustre le schéma suivant :





Électrode en oxyde de lithium et de cobalt

Séparateur perméable aux ions Li^+

Électrode en carbone graphite

6. Reproduire le schéma de la batterie ci-dessus sur votre copie et y indiquer :

- dans les 2 rectangles les rôles d'anode ou de cathode joués par chaque électrode ;

L'électrode de carbone graphite siège d'une réaction d'oxydation est l'anode.

L'électrode en oxyde de lithium et de cobalt, siège d'une réaction de réduction est la cathode.

- la nature et le sens de déplacement des porteurs de charge circulant dans :
 - le circuit extérieur ;

Les porteurs de charge sont des électrons. Ils sont libérés par l'électrode de carbone graphite et captés au niveau de l'électrode d'oxyde de lithium.

- le séparateur ;

Les porteurs de charge sont des ions. Les ions positifs (cations), c'est-à-dire les ions lithium Li^+ , se déplacent dans le sens du courant électrique. Les ions négatifs (anions) dont la nature n'est pas précisée dans le sujet, se déplacent dans le sens des électrons.

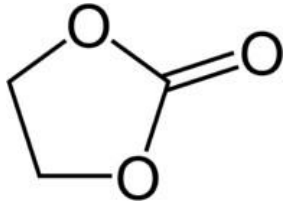
- dans les 2 cercles la polarité de chaque électrode.

Les électrons se déplacent de l'électrode de carbone graphite à celle d'oxyde de lithium. Or les électrons dans le circuit extérieur, se déplacent du pôle – au pôle + de la pile. On en déduit que le pôle – est l'électrode de carbone graphite et le pôle + celle d'oxyde de lithium. (On peut éventuellement dire que dans une pile, le pôle + est la cathode de la pile donc l'électrode d'oxyde de lithium et le pôle – est l'anode de la pile, dont l'électrode d'oxyde de lithium).

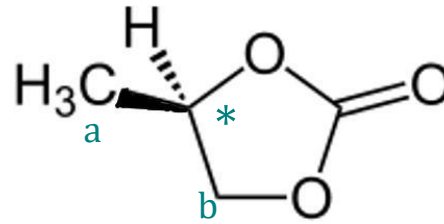


Au sujet de l'électrolyte de cette batterie, le solvant organique peut être du carbonate d'éthylène ou du carbonate de propylène dont les représentations sont données ci- après :

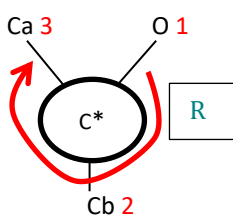
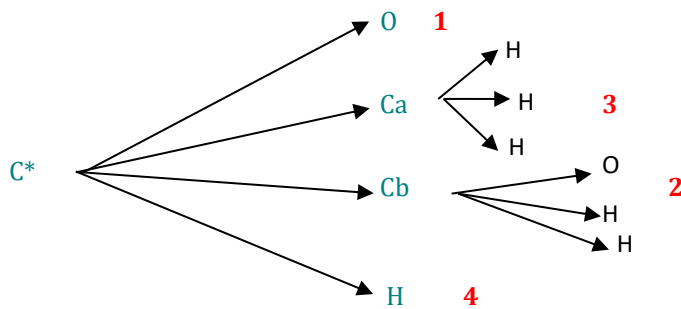
Carbonate d'éthylène



Carbonate de propylène

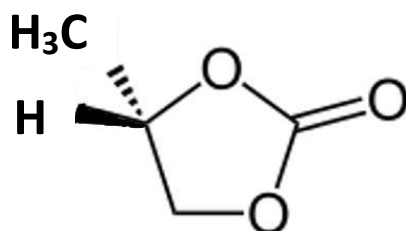


- Déterminer la formule brute du carbonate d'éthylène.
La formule brute du carbonate d'éthylène est $C_3H_4O_3$.
- Recopier la représentation de la molécule de carbonate de propylène et identifier la présence de l'atome de carbone asymétrique par une étoile *.
Carbone asymétrique repéré dans la représentation de la molécule de carbonate de propylène ci-dessus. C'est l'atome de carbone qui est relié à 4 atomes ou groupes d'atomes différents.
- Déterminer la configuration absolue R ou S de cet atome de carbone asymétrique.
 $Z(O) > Z(C) > Z(H)$



Le substituant le plus faible (H) étant placé à l'arrière du plan, les substituants défilent par ordre de priorité décroissante dans le sens des aiguilles d'une montre. L'atome de carbone a donc une configuration absolue R.

- Représenter l'autre énantiomère de la molécule de carbonate de propylène en perspective de Cram.





Energy Observer (suite)

Exercice corrigé

Baccalauréat de mars 2023 – exercice 4 du sujet de La Réunion

Physique-Chimie :

■ Energie – Conversions et transferts.

- Schématiser une chaîne énergétique en identifiant les formes, les réservoirs, et les convertisseurs d'énergie.
- Associer une dissipation d'énergie à un transfert thermique.

■ Energie électrique

- Citer et exploiter la relation entre puissance et énergie

■ Energie et ondes

- Citer la relation entre le flux énergétique (en W) et l'éclairement énergétique (en $W \cdot m^{-2}$).
- Estimer le rendement d'un panneau photovoltaïque à partir de données expérimentales fournies.

■ Transformations chimiques

- Utiliser les nombres stœchiométriques d'une équation pour en déduire une relation entre quantités de matières. (2^{nde}, conséquence de la compétence « Identifier le réactif limitant à partir des quantités de matière de réactifs et de l'équation de réaction »)

■ Réactions d'oxydo-réduction

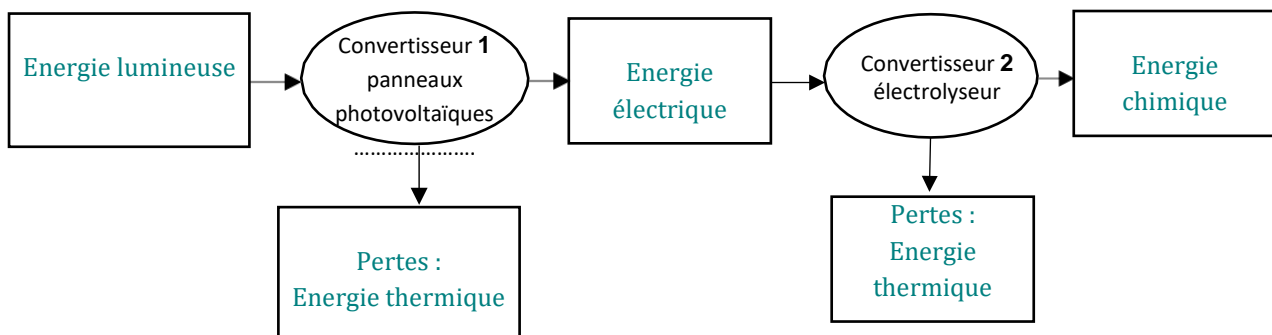
- Ecrire une équation de demi-réaction.

Le bateau Energy-Observer est recouvert sur le maximum de sa surface par des panneaux photovoltaïques lui permettant de profiter de l'énergie solaire. Une partie importante de l'énergie électrique produite alimente un électrolyseur qui fabrique du dihydrogène gazeux à partir de l'eau de mer dessalinisée. Ce dihydrogène est alors stocké sous une pression de 350 bars dans des bonbonnes pour alimenter la pile à combustible qui assure les besoins en énergie électrique pour la propulsion du bateau et la vie à bord. Ce stockage du dihydrogène constitue une réserve d'énergie à long terme.

1. Produire de l'énergie avec les panneaux photovoltaïques

1. Recopier la chaîne énergétique ci-dessous et la compléter en précisant les formes d'énergie mises en jeu pour fabriquer le dihydrogène à bord du bateau à partir de l'énergie rayonnée par le Soleil.

Chaîne énergétique



La surface globale des panneaux photovoltaïques du bateau est de 168 m^2 .
Les panneaux utilisés sont de nouvelle génération et offrent un rendement de 22 %.

On considère que les panneaux solaires du bateau sont soumis à une irradiation moyenne de $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

2. Exploiter la valeur du rendement pour estimer la puissance électrique maximale fournie par l'ensemble des panneaux du bateau.

$$\eta = \frac{P_{e\max}}{\Phi_{\text{én}}} = \frac{P_{e\max}}{E_{\text{én}} \times S}$$

$$P_{e\max} = \eta \times E_{\text{én}} \times S$$

$$P_{e\max} = \frac{22}{100} \times 800 \times 168$$

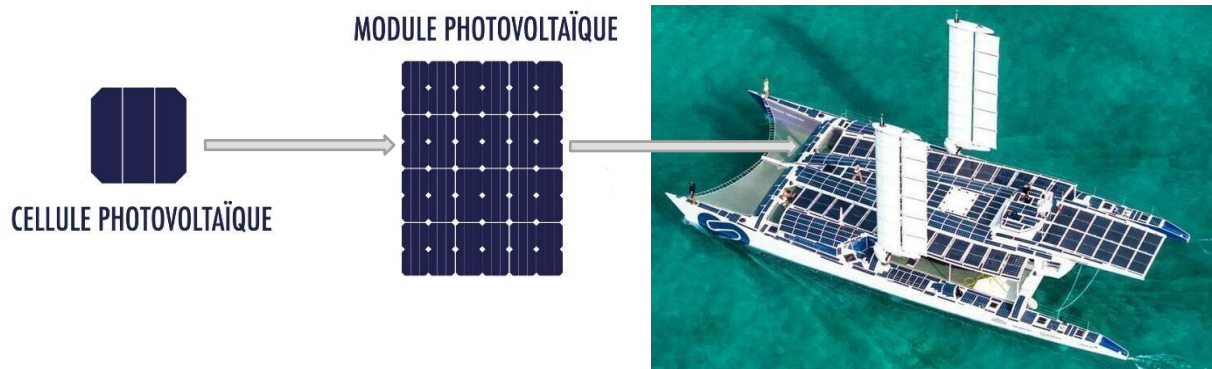
$$P_{e\max} = 2,96 \times 10^4 \text{ W} = 29,6 \text{ kW}$$

Le constructeur des panneaux annonce que l'installation photovoltaïque sur ce bateau est capable de produire une puissance électrique maximale de 28 kW.

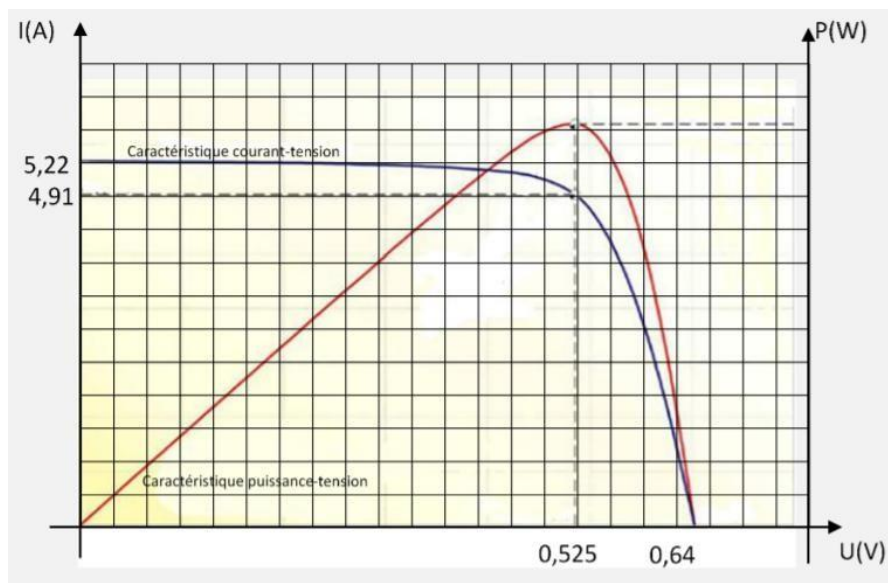
3. Comparer le résultat précédent avec la valeur de la puissance électrique maximale annoncée par le constructeur, puis commenter.

La puissance électrique maximale annoncée par le constructeur est légèrement inférieure à celle calculée. Le constructeur indique donc une valeur tout à fait honnête et conforme de puissance électrique maximale.

Les panneaux photovoltaïques sont constitués de cellules identiques montées en série, comme illustré ci-dessous :



Considérons une cellule photovoltaïque soumise à une irradiation solaire de $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ et à une température de 20°C . Dans ces conditions, les caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque sont données par le graphique suivant :



Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque
(conditions du test : irradiation $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, $T = 20^\circ\text{C}$)

D'après spcl.ac-montpellier.fr



Ce graphique indique notamment les valeurs de la tension U et de l'intensité I lorsque la puissance fournie par la cellule est maximale.

4. Montrer que, dans ces conditions, la valeur de la puissance électrique maximale délivrée par une cellule est voisine de 2,6 W.

Les valeurs de U et de I à puissance maximale sont $U = 0,525$ V et $I = 4,91$ A

$$\begin{aligned}P_{max} &= U \times I \\P_{max} &= 0,525 \times 4,91 \\P_{max} &= 2,6 \text{ W}\end{aligned}$$

5. Déterminer le nombre de cellules nécessaires pour atteindre la valeur de la puissance maximale annoncée par le constructeur.

$$\begin{aligned}N_{cellules} &= \frac{P_{e\ max}}{P_{max}} \\N_{cellules} &= \frac{28 \times 10^3}{2,6} \\N_{cellules} &= 1,1 \times 10^4 \text{ cellules}\end{aligned}$$

6. Montrer que l'énergie électrique maximale produite par l'installation photovoltaïque au cours d'une semaine est de l'ordre de 1 600 kWh si les conditions sont satisfaites pendant huit heures par jour. (unités d'énergie : 1 Wh = 3 600 J).

$$\begin{aligned}E_{max} &= P_{e\ max} \times \Delta t \\E_{max} &= 28 \text{ kW} \times (7 \times 8) \text{ h} \\E_{max} &= 1,6 \times 10^3 \text{ kWh}\end{aligned}$$

L'énergie maximale produite par l'installation photovoltaïque au cours d'une semaine est bien de l'ordre de 1 600 kWh.

L'énergie ainsi produite sert à l'alimentation électrique des électrolyseurs qui réclament une énergie d'environ 2 400 kWh pour faire le plein des réservoirs de dihydrogène.

7. Estimer la durée nécessaire pour remplir pleinement les réservoirs en dihydrogène seulement par l'apport d'énergie des panneaux photovoltaïques. Commenter cette durée.

$$\Delta t = \frac{E_{nécessaire}}{E_{produite}} = \frac{2\,400}{1\,600} = 1,5 \text{ semaines}$$

Il faut une semaine et demi pour remplir pleinement les réservoirs en dihydrogène, seulement par l'apport d'énergie des panneaux photovoltaïques, ce qui est très long. Il est donc important de gérer la consommation d'énergie pour ne pas vider complètement les réservoirs de dihydrogène. Le bateau doit revenir à quai de temps en temps afin de faire fonctionner l'électrolyseur avec une autre source d'énergie électrique ou faire le plein de dihydrogène. Les panneaux solaires sont insuffisants pour assurer l'autonomie du bateau.

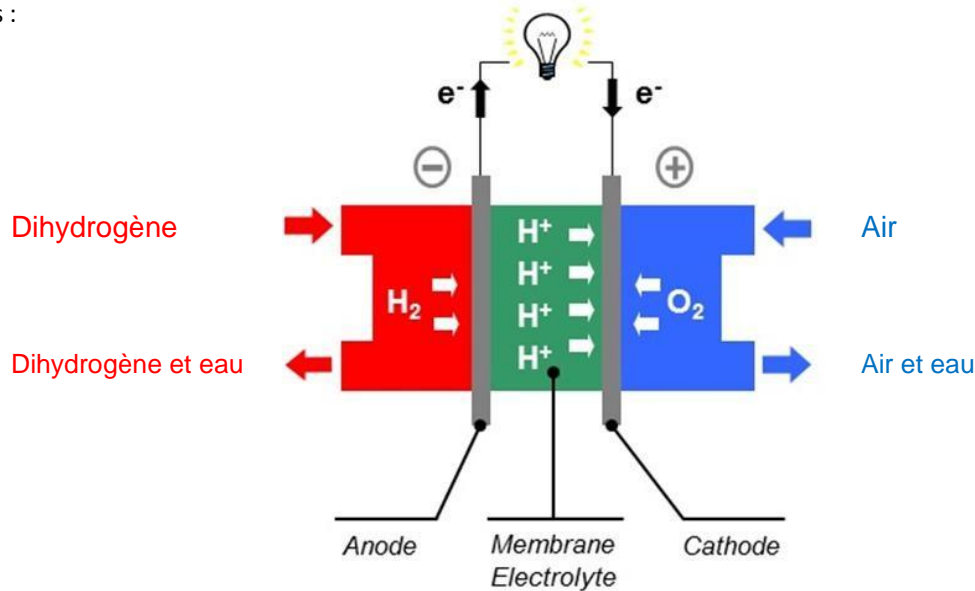


2. Le dihydrogène pour la pile à combustible

Le stockage du dihydrogène est réalisé dans huit réservoirs de 332 L, soit l'équivalent en énergie de 230 L d'essence. Ce volume représente une énergie globale nette stockée de 1000 kWh.

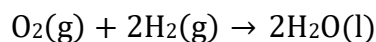
Source <https://www.energy-observer.org>

Cette pile à combustible est constituée de 400 cellules élémentaires dont le fonctionnement est décrit par le schéma ci-dessous :



Extrait du site internet d'EAS-HyMob_Région Normandie

Au cours de son fonctionnement, chaque cellule élémentaire consomme du dihydrogène $H_2(g)$ issu des huit réservoirs de stockage et du dioxygène $O_2(g)$ provenant de l'air ambiant. L'équation de la réaction modélisant le fonctionnement de la pile est la suivante :



Données :

- Couples d'oxydo-réduction : $O_2(g) / H_2O(l)$ et $H^+(aq) / H_2(g)$;
 - masse molaire atomique : $M(H) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
 - quantité d'électricité par mole d'électrons : $F = 9,65 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$;
8. Écrire les équations des réactions électrochimiques modélisant les transformations chimiques se produisant à l'anode et à la cathode.
- A l'anode : $H_2(g) \rightarrow 2H^+(aq) + 2e^-$
- A la cathode : $O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)$

Le courant électrique circulant dans chaque cellule élémentaire a pour intensité :

$$I = 170 \text{ A}$$

Les réservoirs permettent de stocker un total de 62 kg de dihydrogène.

9. À l'aide des informations recueillies, montrer que la quantité de matière de $H_2(g)$ disponible pour chaque cellule élémentaire vaut 78 mol.

$$M(H_2) = 2 \times M(H) = 2 \times 1,0 = 2,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$



$$n(H_2)_{TOTAL} = \frac{m(H_2)}{M(H_2)}$$
$$n(H_2)_{TOTAL} = \frac{62 \times 10^3}{2,0} = 31 \times 10^3 \text{ mol}$$

Pour chaque cellule, la quantité de matière de dihydrogène disponible est donc :

$$n(H_2) = \frac{n(H_2)_{TOTAL}}{N_{cellules}} = \frac{31 \times 10^3}{400}$$
$$\boxed{n(H_2) = 78 \text{ mol}}$$

10. En déduire la quantité de matière $n(e^-)$ d'électrons échangés par une cellule.

D'après la demi-équation à l'anode : $n(H_2) = \frac{n(e^-)}{2}$

$$n(e^-) = 2 \times n(H_2)$$
$$n(e^-) = 2 \times 78$$
$$\boxed{n(e^-) = 1,6 \times 10^2 \text{ mol}}$$

La durée d'autonomie de la pile correspond à la durée de fonctionnement Δt d'une cellule qui s'exprime en secondes par la relation :

$$\Delta t = \frac{n(e^-) \times F}{I}$$

11. Déterminer la durée d'autonomie de la pile à combustible en secondes, puis en heures. Conclure sur l'intérêt de constituer une réserve de dihydrogène à bord.

$$\Delta t = \frac{n(e^-) \times F}{I}$$
$$\Delta t = \frac{1,6 \times 10^2 \times 9,65 \times 10^4}{170}$$

$$\boxed{\Delta t = 9,1 \times 10^4 \text{ s} = 25,2 \text{ h} = 1 \text{ jour } 1 \text{ h } 13 \text{ min } 44 \text{ s}}$$

L'autonomie de la pile à combustible est d'une grosse journée. Il est donc indispensable de constituer une réserve de dihydrogène à bord afin d'éviter de devoir retourner à quai tous les jours.