

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

- Session 2015 -

**Sciences et Technologies de l'Industrie
et du Développement Durable**

et

**Sciences et Technologies de Laboratoire
spécialité Sciences Physiques et Chimiques en
Laboratoire**

Épreuve de PHYSIQUE-CHIMIE

ÉPREUVE DU MERCREDI 24 JUIN 2015

Durée de l'épreuve : 3 heures

Coefficient : 4

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte **13** pages numérotées de 1/13 à 13/13.

Les annexes page 13/13 sont à rendre avec la copie.

L'usage d'une calculatrice est autorisé.

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies. Toute réponse devra être justifiée

À L'HORIZON 2020

« Véritables gouffres énergétiques voilà encore quelques années, les nouvelles constructions sont aujourd'hui à basse consommation, voire à énergie positive ...

Le choc pétrolier d'octobre 1973 a engendré une prise de conscience sur la nécessité de revoir les habitudes de consommation et de construction. Le bâtiment, secteur vital pour l'économie française, a ainsi été, l'année suivante, soumis à une nouveauté qui perdure encore et trouve plus que jamais son actualité : la réglementation thermique [...]. Un challenge voulu par le Grenelle de l'environnement stipule [...] que « toutes les constructions neuves faisant l'objet d'une demande de permis de construire déposée à compter de la fin 2020 présentent, sauf exception, une consommation d'énergie primaire inférieure à la quantité d'énergie renouvelable produite dans ces constructions. »

Extrait de la brochure Ademe et Vous N°60 - Novembre 2012

Les bâtiments à énergies positives, communément appelés BEPOS, sont des bâtiments qui produisent davantage d'énergie qu'ils n'en consomment. Depuis quelques années, l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Énergie) lance régulièrement des appels à projets dont les objectifs techniques sont principalement la maîtrise des consommations d'énergie, l'intégration d'énergies renouvelables et la diminution des émissions de gaz à effet de serre.

Le conseil municipal d'une commune envisage la construction d'un BEPOS abritant un pôle de santé. L'étude du projet est confiée à une équipe constituée d'experts. Les points suivants seront étudiés :

Partie A : la conception du bâtiment

Partie B : l'intégration des énergies renouvelables

Partie C : l'utilisation de l'hydrogène, un vecteur énergétique

Les parties peuvent être traitées dans l'ordre de votre choix.

À la fin de chaque partie, vous trouverez les documents nécessaires à la résolution de certaines questions.

Les annexes 1 et 2 en fin de sujet sont à rendre avec la copie.

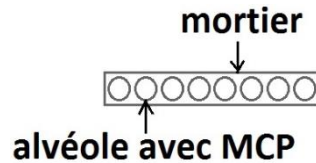
Partie A – La conception du bâtiment

Les matériaux constituant les différents éléments d'un BEPOS sont minutieusement choisis pour assurer une bonne isolation. On étudie le choix des éléments suivants :

- le matériau à changement de phase contenu dans les dalles de mortier ;
- les fenêtres.

A.1. Le Matériau à Changement de Phase (MCP) des dalles de mortier

Les plafonds et planchers seront construits avec des dalles de mortier dont les alvéoles contiennent un MCP.



Les MCP très utilisés dans le bâtiment sont à base de paraffines ; le choix, qui dépend entre autres de la température de changement d'état solide-liquide et de l'enthalpie de fusion, doit se faire entre l'heptadécane $C_{17}H_{36}$ et l'octadécane $C_{18}H_{38}$.

On dispose de tous les renseignements nécessaires concernant l'octadécane ; par contre, pour l'heptadécane, il faut déterminer expérimentalement la température de changement d'état solide-liquide et l'enthalpie de fusion.

A.1.1. Les MCP à base de paraffines sont des matériaux organiques. Pourquoi sont-ils qualifiés d'organiques ?

A.1.2. En utilisant le document A1, expliquer brièvement pourquoi un MCP permet de limiter les besoins en chauffage.

A.1.3. On détermine dans un premier temps la température de changement d'état solide-liquide de l'heptadécane.

A.1.3.1. Expliquer ce qui a lieu au niveau microscopique lors de la solidification de l'heptadécane.

A.1.3.2. En utilisant le document A2, déterminer la température de changement d'état solide-liquide de l'heptadécane.

A.1.4. L'enthalpie de fusion de l'heptadécane est déterminée expérimentalement suivant le protocole décrit dans le document A3.

A.1.4.1. En exploitant les résultats du document A3, effectuer un bilan énergétique pour en déduire l'enthalpie de fusion de l'heptadécane. Vérifier que la valeur obtenue est $H_f = 2,35 \cdot 10^2 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

A.1.4.2. Dans les conditions de l'expérience précédente, on admet que l'incertitude UH_f de l'enthalpie de fusion H_f est telle que : $\frac{UH_f}{H_f} = \frac{UE_{\text{eau}}}{E_{\text{eau}}}$ où $UE_{\text{eau}} = 0,4 \cdot 10^3 \text{ J}$ et $E_{\text{eau}} = 3,53 \cdot 10^3 \text{ J}$.

- A.1.4.2.1.** Citer deux sources d'erreurs possibles dans cette expérience.
- A.1.4.2.2.** Calculer avec un chiffre significatif l'incertitude de mesure UH_f de l'enthalpie de fusion de l'heptadécane.
- A.1.4.2.3.** On présente souvent un résultat de mesure sous la forme d'un intervalle encadrant la valeur exacte avec une probabilité de 95%. Les limites de l'intervalle sont :
- valeur minimale = résultat de la mesure – 2 x l'incertitude calculée ;
 - valeur maximale = résultat de la mesure + 2 x l'incertitude calculée.
- Calculer les valeurs encadrant la mesure de l'enthalpie de fusion.

A.1.5. Voici les renseignements trouvés pour l'octadécane, qui est l'autre matériau à changement de phase proposé par le chef de projet :

- la température de changement d'état solide-liquide : 28°C
- l'enthalpie de fusion : $H_{f \text{ octadécane}} = 244 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

Quel MCP conseillez-vous ? Justifier votre réponse.

A.2. Les fenêtres

Pour les fenêtres, les deux modèles présentés dans le document A4 ont été sélectionnés pour finaliser le choix. Une étude est effectuée pour une fenêtre de surface 1 m².

- A.2.1.** En exploitant les documents A4 et A5, calculer la résistance thermique $R_{th, \text{triple}}$ d'une surface de 1m² du triple vitrage avec lames d'air.
- A.2.2.** Faut-il plutôt choisir la fenêtre double vitrage à lame de krypton ou la fenêtre triple vitrage à lames d'air ? Justifier à l'aide des documents A4 et A5.

Document A1 – Matériaux à changement de phase

Les Matériaux à Changement de Phase MCP (PCM Phase Change Material) ont pour particularité de pouvoir stocker de l'énergie. De l'énergie est absorbée lors du passage de l'état solide à l'état liquide et elle est restituée lors du passage inverse.[...].

On retrouve les matériaux à changement de phase dans le bâtiment principalement sous la forme de plaques où les MCP sont encapsulés. [...].

Le changement de phase a lieu, selon les matériaux (paraffine, acides gras, ...), entre 18°C et 28°C, températures correspondant aux valeurs limites respectivement fixées pour le confort d'hiver et d'été.

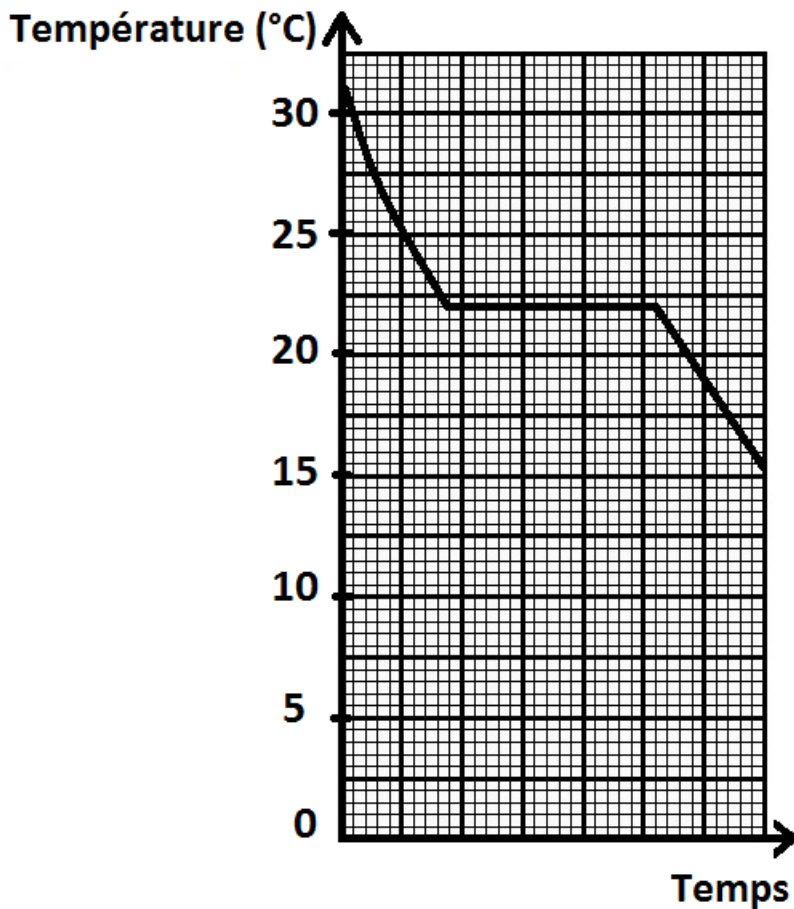
Définitions

Le passage d'un état physique de la matière à un autre est appelé changement de phase, ainsi on peut dire par exemple que la glace change de phase à 0°C et se transforme en eau.

L'enthalpie de fusion est l'énergie d'énergie nécessaire au changement de phase solide/liquide d'un matériau ; elle s'exprime en J/kg.

*D'après le dossier thématique Les matériaux à changement de phase
Chambre régionale de commerce et d'industrie Rhone-Alpes*

Document A2 – Courbe de refroidissement de l'heptadécane



Document A3 – Énergies échangées au cours d'un changement d'état de l'heptadécane

Protocole pour déterminer l'enthalpie de fusion de l'heptadécane, dans un local où la température ambiante est supérieure à 24°C.

- Porter 200 g d'eau distillée à 30°C et les verser dans un calorimètre considéré comme parfaitement isolé.
- Introduire dans l'eau une sonde de température reliée à un système d'acquisition et lancer l'acquisition des températures.
- Prélever un morceau d'heptadécane à une température inférieure à 24°C et le laisser à une température ambiante pour qu'il commence à fondre : sa température correspond alors à sa température de fusion.
- Essuyer le morceau d'heptadécane, le peser, le plonger dans l'eau et refermer rapidement le calorimètre.
- Agiter de temps en temps le contenu et suivre l'évolution de la température du mélange.

L'expérience est terminée lorsque l'heptadécane a totalement fondu.

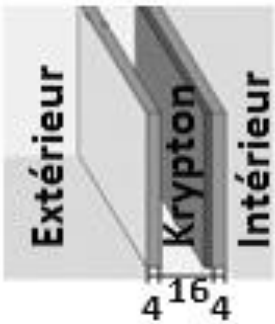
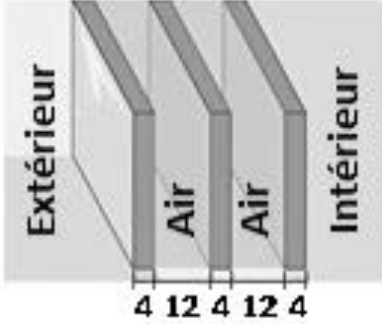
L'exploitation du relevé de température a permis de calculer les énergies échangées lors de la fusion de 15,0 g d'heptadécane introduit dans le calorimètre :

- énergie cédée par l'eau présente dans le calorimètre : $E_{\text{eau}} = 3,52 \cdot 10^3 \text{ J}$;
- on suppose que le calorimètre ne participe pas aux échanges thermiques.

Document A4 – Deux types de fenêtres (Résistances thermiques pour des fenêtres de 1m²)

Les fenêtres sélectionnées sont constituées de parois de verre de 4 mm d'épaisseur et de différents gaz :

- la fenêtre bois-aluminium à double vitrage avec lame de krypton ;
- la fenêtre triple vitrage à lames d'air.

Type de vitrage	Double vitrage avec lame de krypton	Triple vitrage avec lames d'air
Constitution : <i>Les épaisseurs des verres et des lames de gaz sont exprimées en millimètres. La surface est de 1m²</i>		
Résistance thermique R _{th} (K.W ⁻¹)	1,78	Non renseigné

Document A5 – Résistance thermique d'un matériau pour des surfaces de 1m²

La résistance thermique R_{th} donne une indication sur les propriétés isolantes d'un matériau : plus elle est élevée, plus le matériau est isolant.

Matériau d'épaisseur e	Air e = 12 mm	Air e = 16 mm	Verre e = 4 mm	Krypton e = 12 mm
Résistance thermique (K.W ⁻¹) d'une surface de 1 m ² de matériau	0,46	0,62	$3,3 \times 10^{-3}$	1,3

Lorsque plusieurs parois sont accolées, la résistance thermique totale est égale à la somme des résistances thermiques.

Partie B – L'intégration des énergies renouvelables

Pour respecter la loi Grenelle 1 du 3 août 2009, la production annuelle d'énergie renouvelable du bâtiment BEPOS doit être supérieure à la consommation annuelle d'énergie non renouvelable, qui est estimée pour ce projet à 66 MW.h (Mégawattheure).

Pour assurer cette production, on envisage d'installer des panneaux solaires et deux éoliennes.

B.1. Panneaux solaires

Des panneaux solaires photovoltaïques doivent couvrir une surface de 98 m².

B.1.1. Sous quelle forme d'énergie utile le panneau photovoltaïque transforme-t-il l'énergie solaire ?

B.1.2. Dans le projet, les panneaux solaires photovoltaïques doivent contenir du silicium polycristallin.

B.1.2.1. En utilisant le document B1, calculer l'énergie minimale qu'un photon doit posséder pour « arracher » un électron du réseau du silicium. Exprimer le résultat en joule.

Donnée. $1,0 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

B.1.2.2. Sachant que la vitesse d'une onde électromagnétique dans l'air est $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$, montrer que la longueur d'onde λ de l'onde associée à ce photon est $1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

Donnée. $E = h \cdot \nu$ où E est l'énergie du photon qui s'exprime en joule (J), h est la constante de Planck égale à $6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ et ν la fréquence de l'onde associée qui s'exprime en hertz (Hz).

B.1.2.3. D'après le document B2, à quel domaine du spectre solaire ce photon appartient-il ?

B.1.2.4. Sachant que chaque panneau photovoltaïque, de surface égale à 1,65 m², peut produire une puissance maximale de 235 W, calculer la puissance maximale que peuvent fournir les 98 m² de panneaux photovoltaïques que l'on envisage d'installer sur le toit.

B.1.2.5. En considérant un ensoleillement de 12 h en moyenne par jour, on montre que ces panneaux photovoltaïques peuvent produire une énergie de $2,2 \cdot 10^{11} \text{ J}$ en une année. Vérifiez que ce résultat est correct.

Données. $E = P \cdot \Delta t$ avec P la puissance exprimée en watt (W), Δt la durée exprimée en seconde (s) et E l'énergie en joule (J).

B.1.3. Le chef de projet espère qu'avant la date limite de dépôt du dossier, un autre type de panneaux solaires plus performant sera commercialisé : les panneaux photovoltaïques triple jonctions. Ils remplaceraient alors ceux qui étaient prévus.

En utilisant le document B1, expliquer pourquoi les panneaux photovoltaïques triple jonctions sont plus performants que les panneaux photovoltaïques au silicium polycristallin.

B.2. Les éoliennes

Le bâtiment doit être équipé de deux éoliennes dont la description générale est indiquée dans le document B3.

B.2.1. Les pales d'une éolienne en rotation sont soumises à plusieurs actions mécaniques, dont celle exercée par le vent et le poids.

B.2.1.1. Citer une troisième action mécanique qui s'exerce sur la pale d'une éolienne en rotation.

B.2.1.2. Sur l'**annexe 1 à rendre avec la copie**, modéliser le poids de la pale n°1, sachant que sa valeur vaut 7600 N. Le point M est situé à l'extrémité de la pale et le point G le centre de gravité de la pale.

Échelle : 1,0 cm représente 4000 N.

B.2.1.3. L'action du vent peut être modélisée par deux forces :

- la portance $\vec{F}_{\text{portance}}$, qui permet de faire tourner le rotor ;
- la traînée \vec{T} , qui est une résistance aérodynamique dont la valeur est donnée par la relation : $T = \frac{1}{2} C_x \rho S v^2$

C_x est le coefficient de traînée ; il n'a pas d'unité.

ρ est la masse volumique de l'air ; elle s'exprime en kg.m^{-3} .

S est la surface balayée par les pales de l'éolienne ; elle s'exprime en m^2 .

v est la vitesse du vent ; elle s'exprime en m.s^{-1} .

À partir des unités des grandeurs physiques, vérifier que la traînée est une force.

B.2.2. Lorsque la vitesse du vent est suffisante, les pales se mettent en mouvement ; elles exercent alors un couple de forces plus ou moins important sur le rotor.

B.2.2.1. Calculer la valeur C du moment du couple de forces exercé par les pales de l'éolienne, lorsqu'elles effectuent un tour complet.

*Données : travail d'un couple de forces = moment du couple en N.m * angle de rotation en rad.*

Travail du couple $W = 2,0.10^2 \text{ J}$; 1 tour = $2\pi \text{ rad} = 360^\circ$

B.2.2.2. En déduire la valeur de la puissance mécanique P d'une éolienne lorsque la vitesse angulaire ω vaut 1500 tr/min.

Donnée. $P = C.\omega$

P est la puissance mécanique, exprimée en watt (W), C est le moment du couple exprimé en unité N.m et ω est la vitesse angulaire exprimée en radian par seconde (rad.s^{-1}).

B.3. Bâtiment BEPOS

La consommation annuelle du bâtiment est estimée à 66 MW.h.

Le bâtiment sera équipé :

- de deux éoliennes ; pour chaque éolienne, la durée moyenne de fonctionnement et la vitesse moyenne du vent permettent d'estimer que l'énergie électrique produite est de $8,0.10^3 \text{ kW.h}$;
- de panneaux solaires, qui fourniront $2,2.10^{11} \text{ J}$.

Pensez-vous que le bâtiment entrera bien dans la catégorie BEPOS ? Justifier.

Donnée. Équivalence entre wattheure ($W.h$) et joule (J) : $1,0 \text{ W.h} = 3,6 \text{ kJ}$.

Document B1 – Cellules photovoltaïques

Une cellule photovoltaïque est constituée d'un matériau semi-conducteur comme le silicium polycristallin.

Pour produire un courant électrique, il faut « arracher » un électron du réseau du semi-conducteur. L'énergie nécessaire peut être fournie par un photon du rayonnement électromagnétique.

Pour le silicium polycristallin, l'énergie du photon doit au moins être égale à 1,12 eV.

Une cellule au silicium polycristallin absorbe environ 20% des radiations visibles et infrarouges A (IR-A) du spectre solaire.

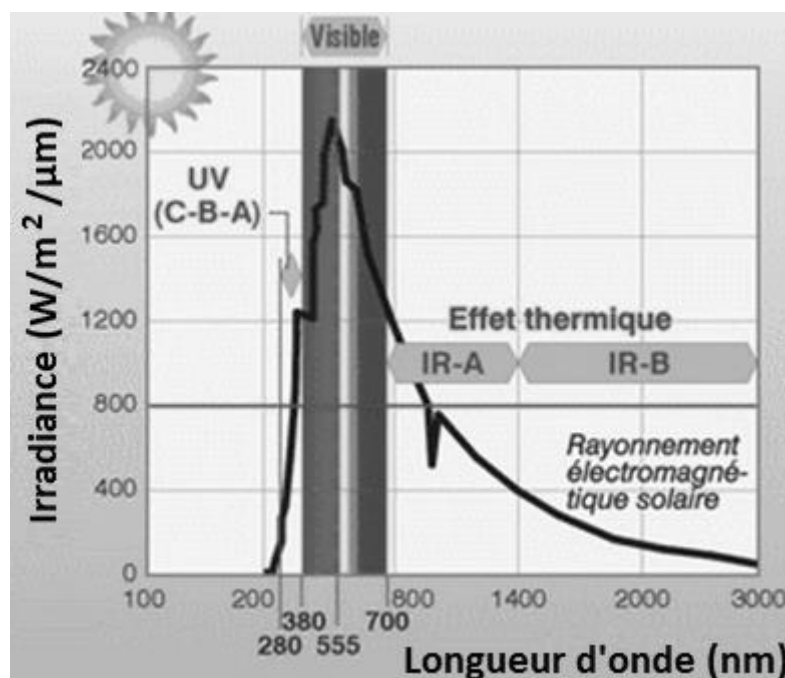
Cellule triple jonction : Prochainement, un autre type de cellule doit être commercialisé : la cellule photovoltaïque à triple jonction. L'une d'elles est constituée des couches minces suivantes :

- une première couche en phosphure d'indium-gallium InGaP qui absorbe environ 55% des radiations ultraviolettes du spectre solaire ;
- une seconde couche en arséniure de gallium GaAs qui absorbe environ 20% des radiations visibles du spectre solaire ;
- une troisième couche en arséniure d'indium-gallium InGaAs qui absorbe environ 40% des radiations infrarouges A et B du spectre solaire.

Document B2 – Le spectre solaire

Le spectre solaire se répartit selon trois types de rayonnement :

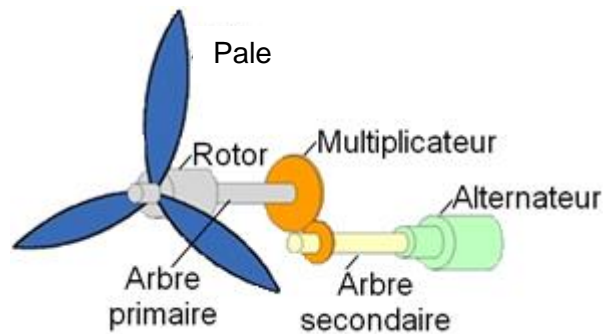
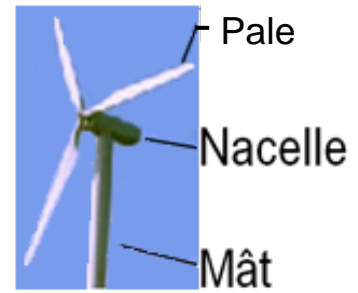
- les ultraviolets (UVA et UVB) qui représentent environ 5 % de la quantité totale du rayonnement solaire ;
- la partie visible du spectre. C'est dans ce domaine visible que l'énergie solaire est la plus intense. Elle représente 50 % de la quantité totale du rayonnement solaire ;
- les infrarouges (IRA et IRB) qui représentent environ 45 % du spectre solaire.



Document B3 – L'éolienne

Une éolienne est principalement constituée d'un mât, de trois pales et d'une nacelle qui renferme, entre autres, un rotor, un multiplicateur et un alternateur.

Les pales de l'éolienne sont mises en mouvement par le vent et entraînent alors le rotor : celui-ci convertit l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique sur l'arbre primaire tournant lentement, de 20 à 40 tr/min. Le multiplicateur, grâce à un système d'engrenages, permet d'augmenter la vitesse de rotation. L'arbre secondaire, qui relie multiplicateur et alternateur, a une vitesse proche de 1500 tr/min. L'alternateur transforme alors l'énergie mécanique en énergie électrique.



Partie C - L'utilisation de l'hydrogène, un vecteur énergétique

Compte tenu de ses équipements en énergies renouvelables, la production d'électricité varie au cours de l'année. En juillet, mois d'ensoleillement important et assez venté, la production dépasse largement la consommation. Au contraire, en février, elle est inférieure à la consommation.

Comme l'électricité produite en surplus ne peut pas être stockée, elle sera utilisée pour produire du dihydrogène H_2 , qui sera stocké dans des récipients adaptés.







Lorsque des besoins apparaîtront, le dihydrogène stocké alimentera alors une pile à hydrogène : l'énergie libérée servira pour le chauffage et l'électricité alimentera le bâtiment (chauffage électrique d'appoint, éclairage, ...).

C.1. Le stockage du dihydrogène

Le dihydrogène, substance inflammable et explosive, sera stocké dans les locaux du bâtiment. Pour des raisons d'encombrement, il sera comprimé sous une pression très élevée dans des réservoirs adaptés.

C.1.1. Quel instrument de mesure permettra de contrôler la pression du dihydrogène dans les réservoirs de stockage ?

C.1.2. Quels pictogrammes devront être apposés sur ces réservoirs ?

Pictogramme 1	Pictogramme 2	Pictogramme 3	Pictogramme 4	Pictogramme 5	Pictogramme 6
					

C.2. La pile à combustible

Lorsque le bâtiment aura besoin d'électricité, il fera fonctionner sa pile à combustible, alimentée par le dihydrogène stocké.

En utilisant le document C1, répondre au questionnaire à choix multiple figurant sur l'**annexe 2 à rendre avec la copie** en cochant la bonne réponse.

C.3. L'impact environnemental

Comme la production et le stockage du dihydrogène sont coûteux, on propose que les besoins en chauffage soient compensés par une petite chaudière à condensation.

C.3.1. La consommation annuelle de propane de cette chaudière s'élèverait à $1,3 \cdot 10^5$ mol de propane. Déterminer la quantité de matière de dioxyde de carbone qui serait produite en une année.

Donnée. L'équation de la réaction chimique de la combustion du propane ayant lieu dans la chaudière s'écrit : $C_3H_8(g) + 5 O_2(g) \rightarrow 3 CO_2(g) + 4 H_2O(g)$

C.3.2. En déduire la masse de dioxyde de carbone CO_2 qui serait rejetée dans l'atmosphère.

Donnée Masse molaire moléculaire du dioxyde de carbone : $M = 44,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

C.3.3. Les émissions de dioxyde de carbone ont un impact environnemental : elles contribuent à l'augmentation de l'effet de serre. En exploitant le document C2, indiquer un autre impact environnemental.

C.3.4. Quel inconvénient présente la chaudière à condensation par rapport à la pile à hydrogène ?

C.4. Valorisation du surplus d'énergie

Une partie du dihydrogène stocké sera utilisée pour subvenir aux besoins en électricité du bâtiment à certains moments. On se propose d'utiliser le surplus de dihydrogène, estimé à $8,4 \cdot 10^4$ mol, pour alimenter un véhicule électrique.

Une telle acquisition serait rentable si la quantité de matière de dihydrogène disponible était au moins égale à 70% des besoins du véhicule.

Sachant que le véhicule envisagé devra parcourir 20 000 km par an, est-il rentable de l'acquérir ? Vous expliquerez clairement les étapes de votre démarche.

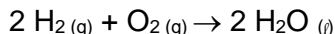
Données.

- *Le volume molaire d'un gaz est le volume occupé par une mole de ce gaz.*
- *Volume molaire du dihydrogène dans les conditions de stockage : $V_m = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$*
- *Le volume de dihydrogène embarqué à bord d'une voiture est estimé à 150 L dans les conditions de stockage.*
- *L'autonomie du véhicule est estimée à 500 km.*

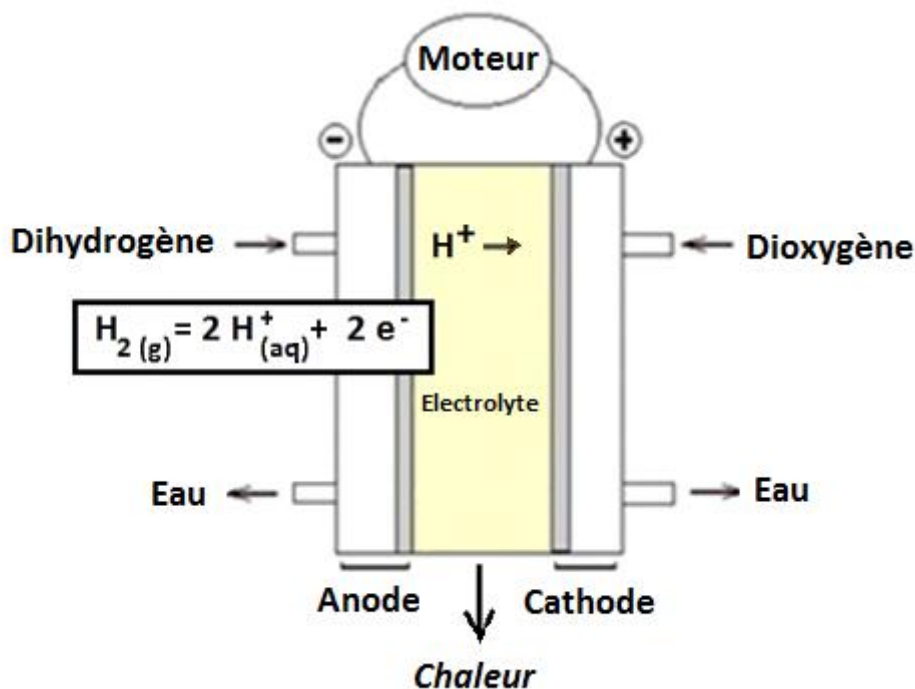
Document C1 – Le fonctionnement de la pile à hydrogène

Une pile à combustible est un générateur électrochimique d'énergie permettant de transformer l'énergie chimique d'un combustible (hydrogène, hydrocarbures, alcools,...) en énergie électrique. La pile à hydrogène est une pile à combustible utilisant le dihydrogène et le dioxygène.

La réaction chimique du fonctionnement d'une pile à hydrogène s'écrit :



- À la cathode, le couple oxydant / réducteur en jeu est : $\text{O}_2(\text{g}) / \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- À l'anode, le gaz utilisé est le dihydrogène H_2 .



D'après : <http://eduscol.education.fr/orbito/pedago/pileh2/pile1.htm>

Document C2 – Le dioxyde de carbone

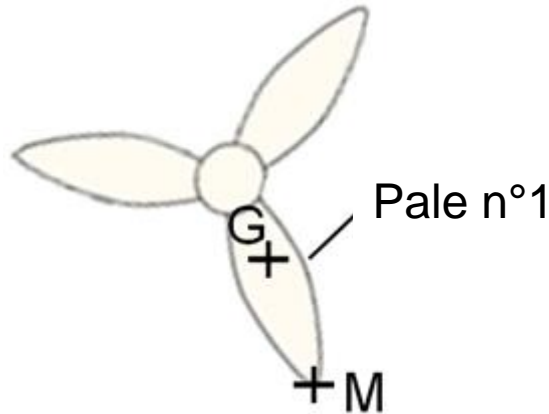
Le dioxyde de carbone, aussi appelé gaz carbonique, est un composé inorganique dont la formule chimique est CO_2 . Il se présente, sous les conditions normales de température et de pression, comme un gaz incolore.

Le CO_2 se dissout facilement dans l'eau selon l'équation : $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$; à son tour, le composé formé H_2CO_3 peut se dissocier selon la demi-équation : $\text{H}_2\text{CO}_3 = \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$. Ses utilisations sont multiples : il est utilisé dans la fabrication de boissons gazeuses, il est présent dans les extincteurs dits au « dioxyde de carbone » ou comme réfrigérant pour conserver certains aliments ...

D'après Wikipédia

ANNEXES A RENDRE AVEC LA COPIE

Annexe 1 – Éolienne



Annexe 2 – Questionnaire à choix multiple : à propos du fonctionnement d'une pile à combustible

Pour chaque affirmation ci-dessous, cocher la bonne réponse.

Les porteurs de charge qui se déplacent dans l'électrolyte de la pile sont :

- Des photons
- Des électrons
- Des ions

L'équation de la réaction qui a lieu à la cathode s'écrit :

- $O_2 (g) + 4 H^+ (aq) = 2 H_2O (l) + 4 e^-$
- $2 H_2O (l) = O_2 (g) + 4 H^+ (aq) + 4 e^-$
- $O_2 (g) + 4 H^+ (aq) + 4 e^- = 2 H_2O (l)$

Le couple oxydant / réducteur mis en jeu à l'anode s'écrit :

- $H_2 (g) / H^+ (aq)$
- $H^+ (aq) / H_2 (g)$
- $H_2 (g) / H_2O (l)$

Pour la réaction de fonctionnement de la pile à hydrogène, le réducteur est :

- Le dioxygène
- Le dihydrogène
- L'eau

La réaction qui a lieu à l'anode est :

- Une combustion
- Une réduction
- Une oxydation