

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2014

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 8

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 12 pages numérotées de 1 à 12, y compris celle-ci.

La page 12 EST À RENDRE AVEC LA COPIE, même si elle n'a pas été complétée.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

Tous les documents nécessaires à la résolution des exercices figurent à la fin de leurs énoncés.

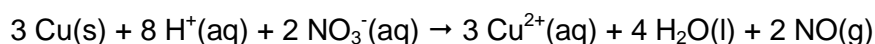
**EXERCICE I. QUELLE TENEUR EN CUIVRE DANS UNE PIÈCE DE 5 CENTIMES D'EURO ?
(5 points)**



La pièce de 5 centimes d'euro est composée d'un centre en acier (constitué essentiellement de fer et de carbone) entouré de cuivre. Elle a un diamètre de 21,25 mm, une épaisseur de 1,67 mm et une masse de 3,93 g.

On cherche par une méthode spectrophotométrique à déterminer la teneur en cuivre d'une telle pièce.

Le cuivre, de masse molaire $63,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, est un métal qui peut être totalement oxydé en ions cuivre (II) par un oxydant puissant tel que l'acide nitrique selon la réaction d'équation :



Les ions cuivre (II) formés se retrouvent intégralement dissous en solution ; le monoxyde d'azote NO est un gaz peu soluble.

En pratique, on dépose une pièce de 5 centimes dans un erlenmeyer de 100 mL, on place cet erlenmeyer sous la hotte et on met en fonctionnement la ventilation.

Équipé de gants et de lunettes de protection, on verse dans l'erlenmeyer 20 mL d'une solution d'acide nitrique d'une concentration environ égale à $7 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

La pièce est alors assez vite oxydée et on obtient une solution notée S_1 .

On transfère intégralement cette solution S_1 dans une fiole jaugée de 100 mL et on complète cette dernière avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. On obtient une solution S_2 qui contient autant d'ions cuivre (II) qu'il y avait d'atomes de cuivre dans la pièce de départ. La solution S_2 contient également des ions fer (III) provenant de la réaction entre l'acide nitrique et le fer contenu dans le centre en acier de la pièce.

L'absorbance de la solution S_2 à 800 nm est mesurée, elle vaut 0,575.

1. Étalonnage.

1.1. Déterminer, en argumentant votre réponse, les couleurs attendues pour une solution d'ions cuivre (II) et pour une solution d'ions fer (III). Pour quelle raison choisit-on de travailler à une longueur d'onde de 800 nm ?

1.2. On fait subir à différents échantillons de métal cuivre pur le même traitement que celui décrit ci-dessus pour la pièce. On obtient alors des solutions d'ions cuivre (II) dont on mesure l'absorbance à 800 nm. Montrer, en utilisant le document 2 et en complétant **l'ANNEXE PAGE 12 À RENDRE AVEC LA COPIE**, que la loi de Beer-Lambert est vérifiée pour ces solutions d'ions cuivre (II).

2. Détermination de la teneur en cuivre dans la pièce.

2.1. Déterminer la masse de cuivre contenue dans la pièce de 5 centimes d'euro.

2.2. En déduire la teneur (ou « pourcentage massique ») en cuivre dans la pièce.

3. Incertitude.

10 groupes d'élèves ont déterminé expérimentalement la masse de cuivre présente dans 10 pièces de 5 centimes de même masse. Leurs résultats sont les suivants :

Groupe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse de cuivre (mg)	260	270	265	263	264	265	262	261	269	267

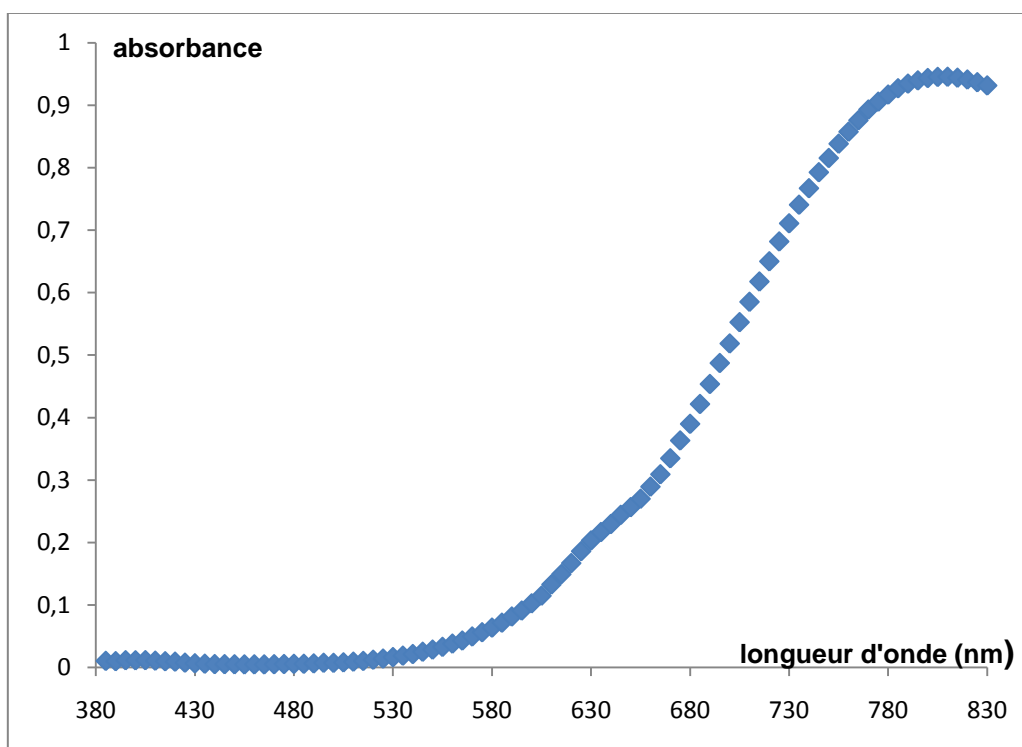
3.1. Déterminer, grâce aux valeurs trouvées par les élèves, l'incertitude élargie (pour un niveau de confiance de 95 %) sur la mesure de la masse de cuivre dans une pièce.

3.2. En déduire l'intervalle dans lequel devrait se situer le résultat du mesurage de la masse de cuivre avec un niveau de confiance de 95 %.

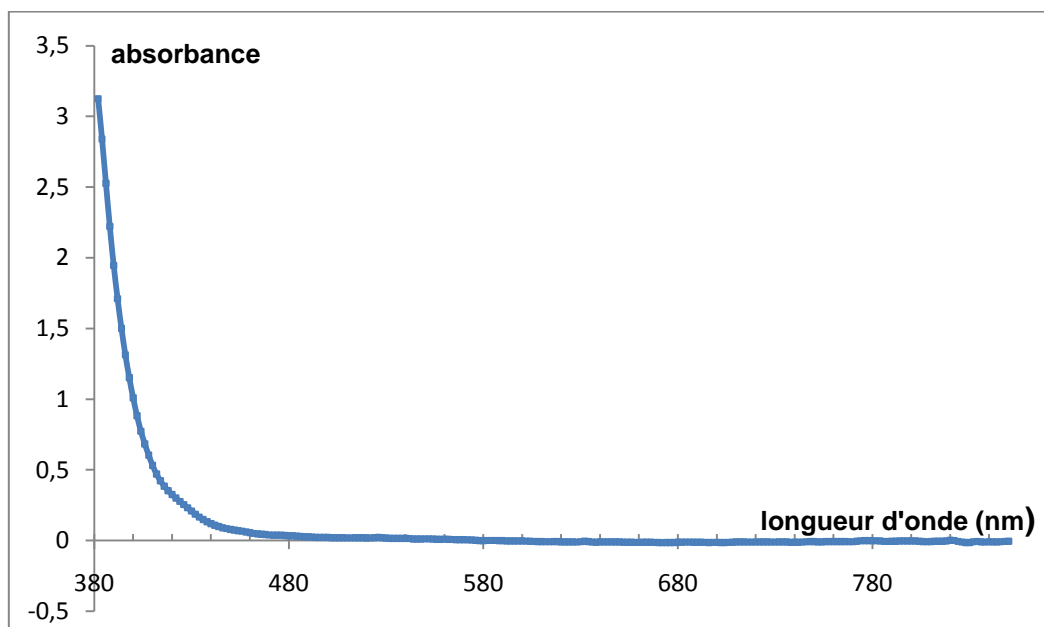
Document 1 : Spectres d'absorption des ions cuivre (II) et fer (III) dans l'eau.

On donne ci-dessous les spectres d'absorption d'une solution d'ions cuivre (II) et d'une solution d'ions fer (III), ainsi qu'un tableau reliant longueur d'onde d'absorption et couleur complémentaire. Le « blanc » a été fait avec de l'eau pure.

Solution aqueuse d'ions cuivre (II) Cu^{2+} de concentration $7,5 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$



Solution aqueuse d'ions fer (III) Fe^{3+} de concentration $5,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$



couleur absorbée	violet	bleu	vert	jaune	orange	rouge
longueur d'onde d'absorption (nm)	400-424	424-491	491-575	575-585	585-647	647-850
couleur complémentaire	jaune-vert	jaune	pourpre	bleu	vert-bleu	bleu-vert

Document 2 : Courbe d'étalonnage.

Tableau donnant l'absorbance A à 800 nm de solutions aqueuses contenant des ions cuivre (II), obtenues à partir de divers échantillons de métal cuivre pur :

Masse de l'échantillon de cuivre (mg)	0	25,1	50,6	103,8	206,2	300,6
Concentration (mol.L⁻¹)	0	$3,95 \times 10^{-3}$	$7,97 \times 10^{-3}$	$1,63 \times 10^{-2}$	$3,25 \times 10^{-2}$	$4,74 \times 10^{-2}$
Absorbance	0	0,055	0,121	0,231	0,452	0,649

Document 3 : Incertitude sur un mesurage.

On rappelle les différentes formules intervenant dans la détermination de l'incertitude sur le résultat du mesurage d'un ensemble de n valeurs $\{x_1, x_2 \dots x_n\}$:

$$\text{Écart-type : } \sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\text{Incertitude-type sur la moyenne : } u(\bar{x}) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Incertitude élargie sur la moyenne : } U(\bar{x}) = k \cdot u(\bar{x}),$$

avec : $k = 1$ pour un niveau de confiance de 68 % ;

$k = 2$ pour un niveau de confiance de 95 % ;

$k = 3$ pour un niveau de confiance de 98 %.

EXERCICE II. LE BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE (10 points)

Le « bâtiment à énergie positive » est un concept de bâtiment performant. Il pourrait peut-être constituer l'une des réponses possibles aux défis énergétiques et environnementaux d'aujourd'hui. Il est toutefois encore peu mis en œuvre, notamment en raison des contraintes économiques et d'un faible retour d'expérience.

1. Consommation d'énergie et « indice de développement humain ».

À partir du document 1 et de vos connaissances, répondre aux questions suivantes :

1.1 Estimer le coût annuel de la consommation électrique en France par habitant.

1.2 Interpréter la figure 1 en 10 lignes maximum.

2. Une première piste pour une maison à énergie positive : utilisation de matériaux isolants.

Un pan de mur de 20 m² sépare l'intérieur de l'extérieur de la maison. De l'intérieur vers l'extérieur, les matériaux utilisés sont les suivants :

- plâtre d'épaisseur $e_1 = 1,3$ cm et de conductivité thermique $\lambda = 0,325$ W.m⁻¹.K⁻¹ ;
- polystyrène d'épaisseur $e_2 = 5,0$ cm ;
- béton d'épaisseur $e_3 = 20$ cm et de conductivité thermique $\lambda' = 1,4$ W.m⁻¹.K⁻¹ ;
- polystyrène d'épaisseur $e_4 = e_2 = 5,0$ cm ;
- ciment projeté d'épaisseur $e_5 = 1,5$ cm et de conductivité thermique $\lambda'' = 1,1$ W.m⁻¹.K⁻¹.

2.1 Quel est le rôle du polystyrène ? Justifier le choix de ce matériau.

2.2 Déterminer la résistance thermique équivalente R_{the} pour le pan de mur.

2.3 Entre le polystyrène et la laine de chanvre, quel matériau serait-il préférable d'utiliser ? La réponse sera soigneusement argumentée et comportera un calcul.

3. Une seconde piste pour une maison à énergie positive : utilisation d'une pompe à chaleur.

3.1 Pour évaluer les pertes thermiques d'une maison, on procède à l'expérience suivante : la masse m_a d'air à l'intérieur de la maison étant initialement à la température $T_1 = 19,0$ °C, on coupe le système de chauffage pendant une durée $\Delta t = 1,00$ h. On mesure une température finale $T_2 = 15,6$ °C.

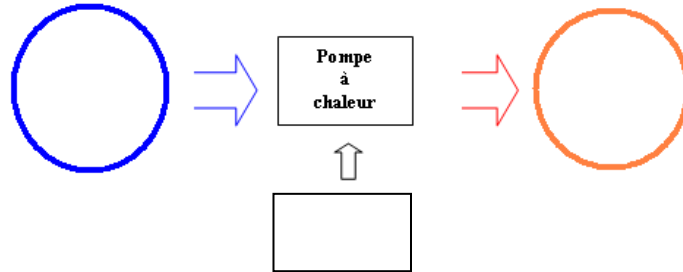
Exprimer, puis calculer, la variation de l'énergie interne ΔU de l'air contenu dans la maison.

Données : capacité thermique massique de l'air : $c_a = 1000$ J.K⁻¹.kg⁻¹ ;
volume intérieur de la maison : $V = 400$ m³ ;
masse volumique de l'air : $\rho = 1,3$ kg.m⁻³.

3.2 Interpréter le signe du résultat obtenu à la question précédente.

3.3 Déterminer la puissance thermique P_{th} nécessaire au maintien d'une température constante (égale à 19,0 °C) de l'air à l'intérieur de cette maison.

- 3.4 En réalité, la puissance thermique que doit fournir la pompe à chaleur pour chauffer l'habitation est $P'_{th} = 4,0 \text{ kW}$. Quelle peut être la raison de l'écart avec la valeur trouvée à la question précédente ? **On utilisera la valeur de 4,0 kW pour la suite de l'exercice.**
- 3.5 Qu'entend-on par l'expression « sens naturel » pour un transfert thermique dans le document 5 ? Qu'en est-il dans le cas de la pompe à chaleur ? Recopier et compléter le schéma ci-dessous représentant le bilan énergétique de la pompe à chaleur en faisant apparaître W , Q_C et Q_F et les sources en présence.



3.6 Le coefficient de performance (COP) d'une pompe à chaleur est défini par : $COP = \frac{Q_C}{W}$

- 3.6.1 Justifier cette expression.
- 3.6.2 Sachant que la puissance thermique nécessaire pour chauffer l'habitation est $P'_{th} = 4,0 \text{ kW}$, déterminer l'énergie Q_C échangée par le fluide caloporteur avec l'habitat pendant 24 heures si l'on suppose que la pompe à chaleur fonctionne sans interruption.
- 3.6.3 Le coefficient de performance de la pompe à chaleur étudiée vaut 3,1. En déduire le travail électrique W reçu par le compresseur de la pompe à chaleur en une journée.
- 3.6.4 Calculer le coût journalier d'utilisation de cette pompe à chaleur.
- 3.6.5 Calculer le coût journalier de la même habitation si celle-ci était chauffée par des radiateurs électriques pour lesquels le coefficient de performance vaut 1. Conclure.
- 3.6.6 Proposer une piste supplémentaire pour compenser le coût journalier d'utilisation de la pompe à chaleur.

Document 1 :

La consommation d'énergie par habitant est liée au bien-être social d'un pays. Celui-ci peut être mesuré par l'« indice de développement humain » (IDH), indice basé sur des mesures de santé, de longévité, d'éducation et de niveau de vie. La figure 1 représente l'indice de développement humain en fonction de la consommation globale d'électricité par habitant et par jour pour quelques pays.

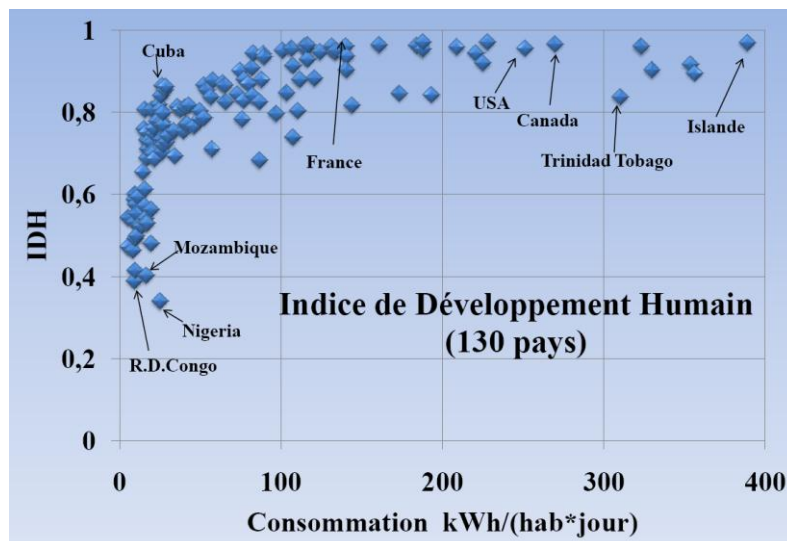


Figure 1

Prix du kWh d'électricité en France en 2013 : 0,13 €.

Document 2 : Quelques définitions.

- La résistance thermique d'une paroi est définie par : $R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$ avec :
 - λ : conductivité thermique de la paroi en $W.m^{-1}.K^{-1}$
 - S : surface de la paroi en m^2
 - e : épaisseur de la paroi en m
- Lorsque plusieurs parois sont superposées, la résistance thermique totale est égale à la somme des résistances thermiques de chaque paroi.

Document 3 : Conductivité thermique et bilan carbone.

	Polystyrène	Laine de chanvre
Conductivité thermique λ ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	0,036	0,039
Bilan carbone*	Élevé	Faible

*Bilan carbone : le bilan carbone d'un produit ou d'une entité humaine (individu, groupe, collectivité...) est un outil de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre, tenant compte de l'énergie primaire et de l'énergie finale du produit.

Document 4 : Bâtiments à énergie positive.

Les nouveaux bâtiments devraient bientôt produire en moyenne au moins autant d'énergie qu'ils en consomment grâce à des dispositifs innovants. Cet objectif d'habitat passif (ou « à énergie positive ») est fixé pour 2020 par le Grenelle 2 de l'environnement.

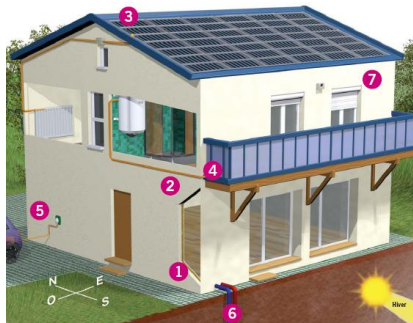


Figure 2 : extrait du dossier de presse « Bâtiments intelligents et efficacité énergétique », CEA.

- Piste 1 : l'isolation ; améliorer les matériaux isolants afin de diminuer les pertes thermiques.
- Piste 2 : l'inertie, c'est-à-dire la capacité de la maison à amortir ou à décaler les contraintes.
- Piste 3 : des panneaux solaires photovoltaïques pour produire l'électricité.
- Piste 4 : le solaire thermique pour la production d'eau chaude sanitaire.
- Piste 5 : des batteries de stockage de l'électricité pour recharger le véhicule électrique familial.
- Piste 6 : la géothermie, c'est-à-dire l'exploitation de l'énergie interne du sol comme source d'énergie pour le chauffage, avec par exemple une pompe à chaleur.
- Piste 7 : éléments domotiques pour optimiser la consommation d'énergie, comme par exemple le pilotage automatisé des volets roulants.

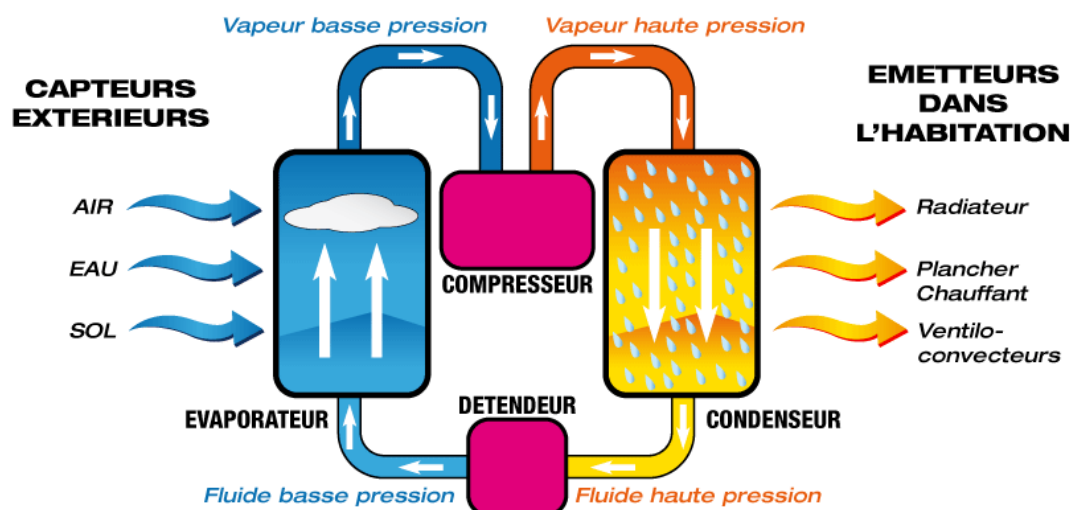
Document 5 : Fonctionnement d'une pompe à chaleur.

La pompe à chaleur (PAC en abrégé) est destinée à assurer le chauffage d'un local à partir d'une source de chaleur externe (l'air, le sol ou l'eau) dont la température est inférieure à celle du système à chauffer. La PAC est un matériel qui permet de réaliser un transfert thermique d'un milieu froid vers un milieu chaud, c'est-à-dire inverse du sens naturel.

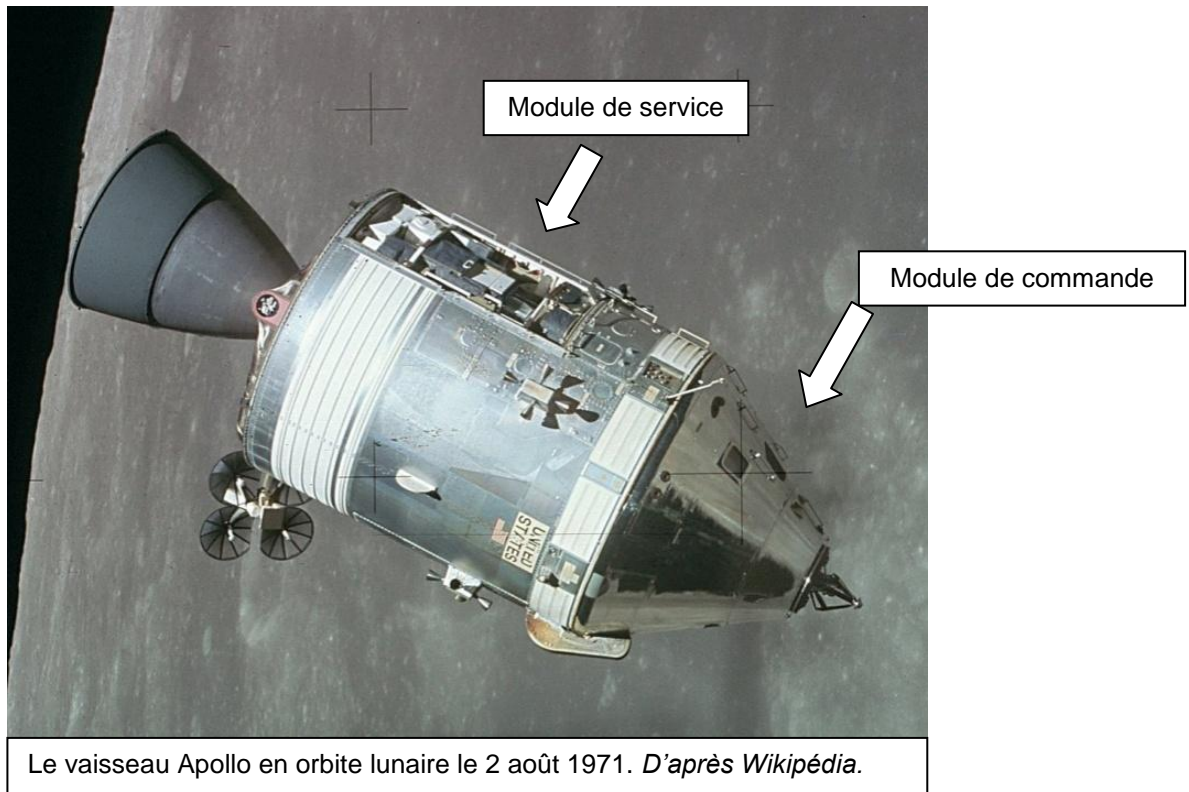
Pour réaliser ce transfert « inverse », une dépense d'énergie est nécessaire, elle correspond à un échange de travail W fourni par un compresseur à un fluide caloporteur, c'est-à-dire un corps capable de s'écouler et qui permet d'échanger de l'énergie avec les sources chaude et froide. Ce fluide, au contact de la source froide extérieure (air, sol ou eau), absorbe de l'énergie qu'il restitue ensuite lors de son contact avec la source chaude, c'est-à-dire le local à chauffer. On fait donc décrire une série de transformations au fluide qui le ramènent, périodiquement, dans un état initial. On parle de « cycle thermodynamique ».

Dans les PAC à condensation, l'absorption et la restitution d'énergie par le fluide reposent sur le changement d'état de celui-ci :

- son évaporation (passage du fluide de l'état liquide à l'état gazeux dans l'évaporateur) permet l'absorption d'énergie lors du contact avec la source froide extérieure, l'échange d'énergie est noté Q_F ;
- sa condensation (passage du fluide de l'état gazeux à l'état liquide dans le condenseur) permet la restitution d'énergie lors du contact avec le local à chauffer, l'échange d'énergie est noté Q_C .



EXERCICE III. MISSION APOLLO (5 points)



Question :

Vérifier que le système de production électrique et les réservoirs attenants sont correctement proportionnés pour permettre le bon déroulement d'une mission de 14 jours comprenant un équipage de 3 astronautes.

Remarques :

L'analyse des données, la démarche suivie et l'analyse critique du résultat sont évaluées et nécessitent d'être correctement présentées.

Le candidat notera sur sa copie toutes ses pistes de recherche, même si elles n'ont pas abouti.

Document 1 : Le module de commande.

La structure :

Le module de commande est la partie du vaisseau Apollo dans laquelle les trois astronautes séjournent durant la mission. Pesant 6,5 tonnes et de forme conique, sa structure externe comporte une double paroi : une enceinte constituée de tôles et nid d'abeille à base d'aluminium qui renferme la partie pressurisée et un bouclier thermique qui recouvre la première paroi. L'épaisseur de ce bouclier thermique varie selon la partie concernée en fonction de son exposition à la chaleur durant la rentrée atmosphérique : le vaisseau rentrant dans l'atmosphère la pointe du cône tournée vers l'arrière, c'est la base qui est la plus exposée et qui bénéficie donc du bouclier le plus épais. Le bouclier thermique est réalisé avec une résine insérée dans un nid d'abeille en acier.

L'espace pressurisé représente un volume de 6,5 m³. Les astronautes sont installés sur trois couchettes placées côte à côte et parallèles au fond du cône : elles sont suspendues à des poutrelles dotées de systèmes d'amortissement partant du plancher et du plafond (la pointe du cône). Les couchettes sont constituées d'un cadre métallique sur lequel a été tendue une toile ignifugée.

Les besoins électriques :

Le vaisseau Apollo nécessite une puissance électrique moyenne de 1,70 kW pour alimenter l'ensemble des systèmes électriques.

Les besoins de l'équipage sont les suivants :

0,82 kg de dioxygène par jour et par personne.
4,0 kg d'eau par jour et par personne.

D'après Wikipédia et le site de la NASA

Document 2 : Le module de service.

Le module de service est un cylindre d'aluminium non pressurisé de 5 m de long et 3,9 m de diamètre, pesant 24 tonnes. Il est accouplé à la base du module de commande et la longue tuyère du moteur-fusée principal de 9 tonnes de poussée en dépasse de 2,5 m. Le module contient trois piles à combustible qui fournissent la puissance électrique et en sous-produit l'eau, ainsi que les réservoirs de dihydrogène et de dioxygène qui les alimentent (système de stockage cryogénique CSS). Le dioxygène est également utilisé pour renouveler l'atmosphère de la cabine. (...) Le module de service contient aussi les radiateurs qui dissipent l'excédent de chaleur du système électrique et qui régulent la température de la cabine. (...)

Le système de production électrique est composé de trois piles à combustible indépendantes, pouvant fournir chacune une puissance électrique nominale de 1,4 kW à une tension de 27 V.

Le système de production électrique consomme 21 moles de dihydrogène pour produire 1,0 kW pendant une heure.

D'après Wikipédia et le site de la NASA

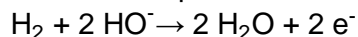
Document 3 : Les piles à combustible alcalines (AFC).

Les piles à combustible alcalines (ou AFC, de l'appellation anglaise « Alkaline Fuel Cell ») sont une des techniques de piles à combustible les plus développées. C'est aussi une technique qui fut employée lors des expéditions lunaires (Gemini, Apollo...).

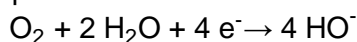
Les AFC consomment du dihydrogène et du dioxygène pur en produisant de l'eau potable, de la chaleur et de l'électricité. Elles sont parmi les piles à combustible les plus efficaces.

La pile à combustible produit de l'énergie grâce à une réaction d'oxydo-réduction entre le dihydrogène et le dioxygène.

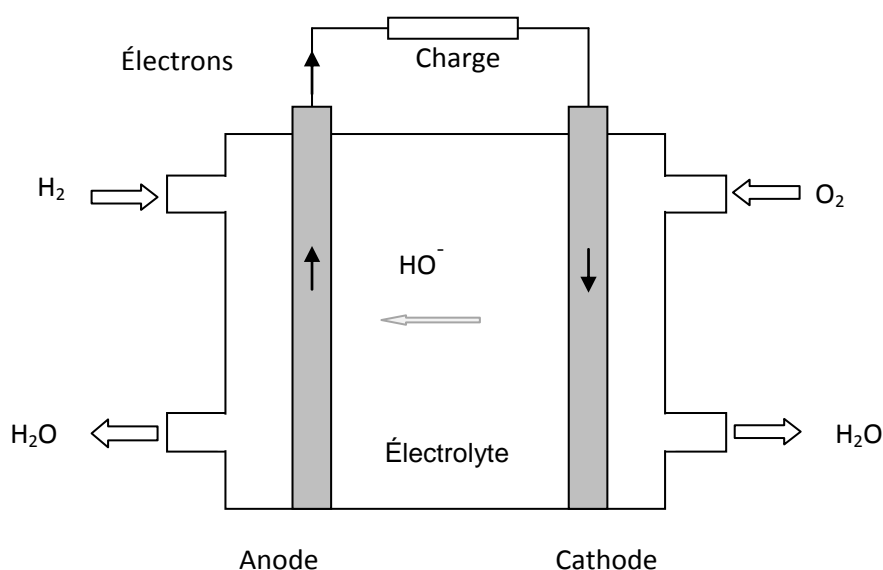
À l'anode, le dihydrogène est oxydé selon la demi-équation :



Les électrons produits transitent par un circuit électrique externe à la pile jusqu'à la cathode, où ils réduisent le dioxygène selon la demi-équation :



Masses molaires atomiques : $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$.



Document 4 : Le système de stockage cryogénique CSS.

Le système de stockage cryogénique (CSS) du vaisseau Apollo a été conçu pour fournir les réactifs des piles à combustible ainsi que le dioxygène nécessaire pour la respiration des trois hommes d'équipage.

Les deux réservoirs de dioxygène ont la forme de sphères de 66 cm de diamètre. Ils sont fabriqués dans un alliage de nickel et d'acier. Chacun peut contenir 147 kg de dioxygène.

Les deux réservoirs de dihydrogène sont faits de titane et mesurent environ 81 cm de diamètre. Chacun peut contenir 12,8 kg de dihydrogène.

D'après le site de la NASA

