

DS n°8 (CCINP-e3a)
Thermodynamique - Courbes intensité-potentiel - Mécanique quantique
(Samedi 8 avril 2023 – Durée 4 h)

1 Quelques caractéristiques physiques de Mars (d'après Centrale - TSI - 2019)

Aller sur Mars est sans nul doute l'un des plus vieux rêves de l'humanité, symbole de la conquête spatiale commencée en 1957 avec le premier vol spatial orbital Spoutnik 1. L'Homme n'a pas encore foulé le régolithe (sol martien) de la planète rouge, mais atteindre Mars est loin d'être une sinécure. En outre, la planète rouge se révèle peu hospitalière (présence de puissants oxydants rendant la vie sur la surface impossible, pression atmosphérique évanescence, température de surface plus basse que sur le continent Antarctique, ...).



Figure 1 Vue d'artiste du robot Curiosity sur Mars. NASA/JPL Caltech

II.A – Atmosphère martienne

L'atmosphère martienne est essentiellement constituée d'un mélange gazeux de dioxyde de carbone, d'argon et de diazote. On assimile ces constituants à un gaz parfait unique de masse molaire $M = 43,3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, à la pression P et à la température T . Dans cette sous-partie II.A, le champ de pesanteur est supposé uniforme, de valeur égale à sa valeur au sol ($z = 0$) : $g_0 = 3,71 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

II.A.1) Généralités

Q 19. Rappeler l'équation des gaz parfaits. On donnera l'unité de chacune des grandeurs qui interviennent dans cette équation.

Q 20. Notons ρ la masse molaire d'un gaz parfait. Exprimer ρ en fonction de P , T , M et R (constante des gaz parfaits).

II.A.2) Modèle de l'atmosphère isotherme

On se place dans le cadre du modèle de l'atmosphère isotherme à la température $T = T_0 = 210$ K (T_0 est la température de surface moyenne martienne). On considère une petite colonne de gaz parfait à l'équilibre mécanique, de sections égales s comprises entre les altitudes z et $z + dz$. L'axe vertical est pris ascendant (figure 2).

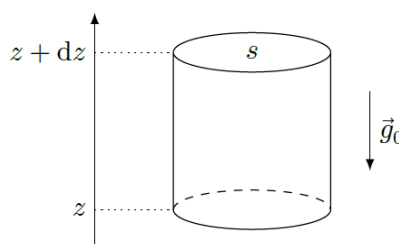


Figure 2 Petite colonne de gaz à l'équilibre mécanique

Q 21. Montrer que la pression atmosphérique P ne dépend que de z et l'exprimer en fonction de P_0 (la pression atmosphérique martienne au sol), g_0 , M , z , R et T_0 .

Q 22. Au fond du bassin d'*Hellas Planitia* (altitude $z_1 = -9,5 \times 10^3$ m), point le plus bas de la planète, la pression atmosphérique vaut $P_1 = 1,15 \times 10^3$ Pa. Calculer la valeur de la pression P_0 et la comparer à la valeur de la pression atmosphérique terrestre au niveau du sol (qu'on prendra égale à la pression standard P°).

Q 23. En déduire l'expression littérale de la masse volumique ρ de l'atmosphère martienne en fonction de P_0 , g_0 , M , z , R et T_0 . On notera ρ_0 la masse volumique au sol ($z = 0$), grandeur à exprimer en fonction de P_0 , M , R et T_0 . Calculer numériquement ρ_0 .

Dans la suite de cette partie II, nous prendrons une valeur de P_0 égale à $8,0 \times 10^2$ Pa.

Q 24. Comparer cette valeur à celle calculée à la question 22. Quelle(s) hypothèse(s) du modèle pourrait-on remettre en cause pour expliquer l'écart entre les valeurs mesurée et calculée de P_0 ?

II.A.3) Épaisseur de l'atmosphère martienne dans le modèle de l'atmosphère isotherme

L'épaisseur de l'atmosphère H est définie comme l'altitude pour laquelle la pression atmosphérique vaut P_0/e avec $e = \exp(1)$ (\exp désigne la fonction exponentielle).

Q 25. Exprimer H en fonction de T_0 , R , g_0 et M .

Q 26. Calculer H et comparer à l'épaisseur H_{Terre} de la troposphère sur Terre (on donne pour la Terre, $M = 28,9$ g·mol⁻¹, $T_0 = 285$ K et $g_0 = 9,81$ m·s⁻²).

Données

Constantes universelles

Constante de gravitation universelle

$$\mathcal{G} = 6,673 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

Constante des gaz parfaits

$$R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Données sur la planète Mars

Rayon moyen

$$R_M = 3389 \text{ km}$$

Masse

$$M_M = 6,39 \times 10^{23} \text{ kg}$$

Intensité du champ de pesanteur au sol

$$g_0 = 3,71 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Masse molaire de l'atmosphère

$$M = 43,3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Masse volumique de l'atmosphère au sol

$$\rho_0 = 1,20 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Pression atmosphérique moyenne au sol

$$P_0 = 8,00 \times 10^2 \text{ Pa}$$

Température uniforme de l'atmosphère

$$T_0 = 210 \text{ K}$$

Durée du jour sidéral

$$T_{\text{sid}} = 8,86 \times 10^4 \text{ s} = 24 \text{ h } 37 \text{ min}$$

Durée de l'année

$$T_{\text{an}} = 669 T_{\text{sid}} = 688 \text{ jours sidéraux terrestres}$$

Mars possède quatre saisons, toutes de même durée, $T_{\text{an}}/4$.

2 Microscope à effet tunnel (d'après e3a - MP - 2016)

La microscopie à effet tunnel (STM pour Scanning Tunneling Microscope) est une autre technique d'imagerie d'une surface, d'une efficacité comparable à celle de l'AFM. Les interactions mises en jeu sont cependant complètement différentes. Son principe repose sur l'effet tunnel entre une pointe (la sonde) et le matériau à imager.

H. Effet Tunnel

On considère une particule d'énergie E et de masse m en incidence sur la marche de potentiel représentée en figure 6. La particule ressent un potentiel nul dans la zone I et un potentiel V_0 dans la zone II. On décrit la particule par la fonction d'onde $\psi(x, t)$. Puisque le Hamiltonien du système ne dépend pas du temps, la particule est décrite sous forme d'états stationnaires où les dépendances spatiale et temporelle sont découplées. On aura alors $\psi(x, t) = \varphi(x)\phi(t)$.

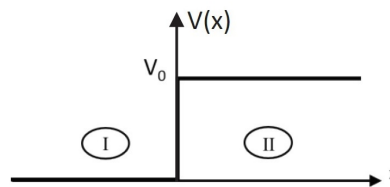


Figure 6. Profil d'une marche de potentiel de hauteur V_0 .

H1. Rappeler la forme de l'équation de Schrödinger dans le cas d'un état stationnaire.

H2. En déduire les expressions respectives des normes des vecteurs d'ondes k_I et k_{II} dans chacune des zones I et II. Vérifier l'homogénéité des expressions obtenues.

H3. En déduire qualitativement le comportement de la fonction d'onde décrivant la particule si $E > V_0$ et si $E < V_0$. Interpréter physiquement le résultat.

Considérons à présent une barrière de potentiel comme celle représentée en figure 7.

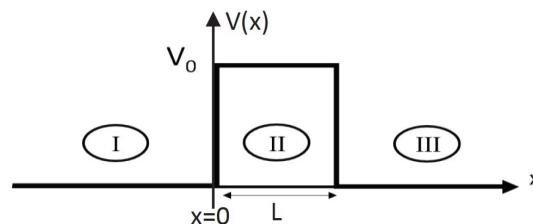


Figure 7. Profil d'une barrière de potentiel de hauteur V_0 et de largeur L .

H4. Donner l'expression de la norme du vecteur d'onde q dans la barrière si $E < V_0$.

H5. En utilisant l'équation de Schrödinger, on peut déterminer la forme des fonctions d'ondes dans chacune des zones I, II et III. Notamment, dans la zone III, la fonction d'onde est du type : $\varphi_{III}(x) = T e^{ikx}$ où k est la norme du vecteur d'onde. Justifier la forme de $\varphi_{III}(x)$.

En appliquant les conditions aux limites du problème, on peut déterminer l'expression de T , et dans le cas où $qL \gg 1$:

$$|T|^2 \approx \frac{16 k^2 q^2}{(k^2 + q^2)^2} e^{-2qL}$$

H6. Commenter l'hypothèse $qL \gg 1$. Pourquoi cette situation est-elle celle qui nous intéresse ?

H7. Quelle est la signification physique de $|T|^2$?

I. Le STM

Un STM utilise l'effet tunnel pour accéder à la topographie de la surface d'un échantillon, ie pour avoir accès à l'altitude x de la pointe par rapport à l'échantillon.

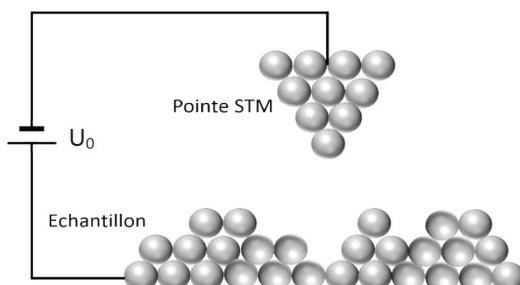


Figure 8. Microscope à effet tunnel. La pointe STM balaie la surface de l'échantillon pour en connaître la topographie.

La pointe conductrice est caractérisée par l'énergie E_P des électrons qui circulent dans la pointe. L'échantillon est quant à lui caractérisé par l'énergie $E_E < E_P$. L'espace entre la pointe et l'échantillon peut être vu comme une barrière de potentiel carré de hauteur V_0 et de largeur L .

I1. Représenter le profil énergétique ressenti par un électron qui voyagerait de la pointe vers l'échantillon.

En mécanique quantique, on définit le courant de probabilité $J(x)$ de manière analogue au courant de particules en mécanique classique. On peut alors montrer que :

$$J(x) = \frac{\hbar k}{m} |T|^2$$

où \hbar est la constante de Planck réduite

I2. Expliquer alors que la mesure du courant tunnel permet d'accéder à la topographie de la surface de l'échantillon.

Le mode « lock-in » du STM permet, entre autres, de réaliser une dérivation analogique. Une tension U_0 constante à laquelle est ajoutée une tension de modulation ΔU sinusoïdale, d'amplitude U_1 , est dans un premier temps appliquée aux bornes du système pointe-échantillon. Le courant tunnel I_T circule alors dans le circuit donnant lieu à une tension tunnel U_T aux bornes de l'échantillon modélisé par un résistor de résistance R_E . Cette tension est ensuite multipliée par le signal de modulation ΔU à l'aide d'un multiplieur à la sortie duquel on obtient le signal $S(t)$ suivant :

$$S(t) = \frac{1}{2} R_E U_1^2 \frac{dI_T}{dU_T} + U_{T0} U_1 \cos(\omega t + \phi) + \frac{1}{2} R_E U_1^2 \frac{dI_T}{dU_T} \cos(2\omega t + 2\phi)$$

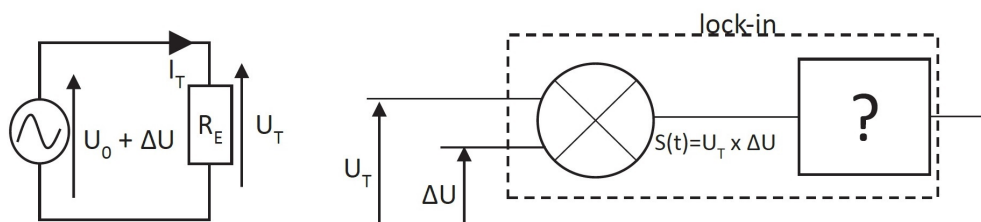


Figure 9. Principe du montage lock-in.

I3. Proposer une méthode pour obtenir à la sortie du lock-in la dérivée du courant tunnel par rapport à la tension. En faire le schéma électrocinétique.

3 Thermodynamique (d'après Centrale-TSI-2018)

De nombreuses villes disposent de centres aquatiques permettant la pratique d'activités ludiques ou sportives. La construction ou la rénovation de ces centres aquatiques s'accompagne d'exigences de développement durable d'où, par exemple, le recours à des solutions innovantes de chauffage de l'eau des bassins. La sécurité des installations et la gestion de la qualité de l'eau des bassins sont aussi des enjeux importants du fonctionnement des centres, un problème de sécurité ou une mauvaise qualité d'eau pouvant entraîner leur fermeture immédiate. Ce sujet aborde quelques uns de ces aspects.

Certaines questions, repérées par une barre en marge, ne sont pas guidées et demandent de l'initiative de la part du candidat. Elles sont très significativement valorisées dans le barème. Même si elles n'ont pas abouti, les pistes de recherche doivent être consignées par le candidat et seront valorisées si elles sont pertinentes. Le barème tient compte du temps nécessaire pour explorer ces pistes et élaborer un raisonnement.

Les différentes parties sont indépendantes.

I Utiliser une source d'énergie gratuite

Cette partie étudie le principe du procédé Degrés Bleus® de la société Suez. Ce procédé consiste en la récupération d'une partie de l'énergie thermique des eaux usées (véhiculées dans les collecteurs d'égouts), dont la température peut varier approximativement entre 15 et 23 °C selon le mois de l'année. Un échangeur thermique est ainsi directement placé dans les collecteurs, comme illustré figure 1. Ce système a été mis en place pour la première fois au centre aquatique de Levallois-Perret en 2010.

Le schéma de principe de l'installation est représenté figure 2. Il est constitué de trois modules : l'échangeur thermique placé dans les collecteurs d'eaux usées, la pompe à chaleur (PAC) et le ballon tampon d'eau chaude de 700 L.

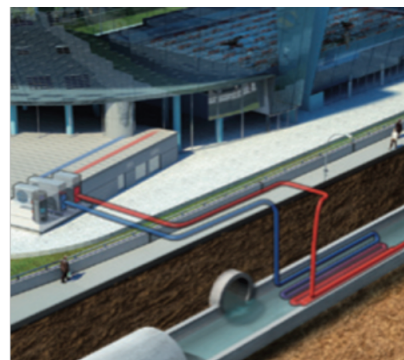


Figure 1

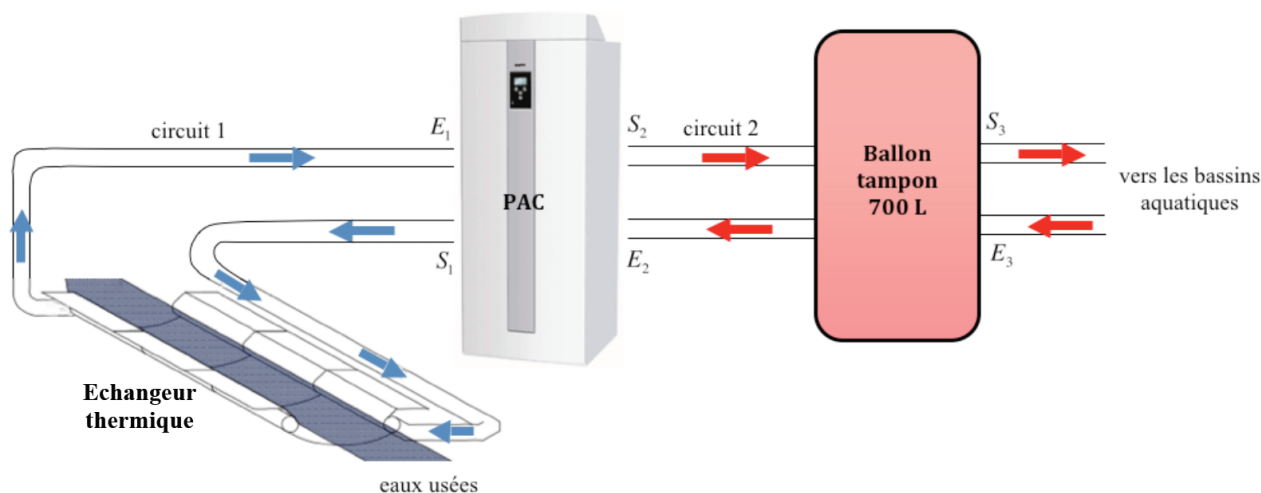


Figure 2

I.A – Étude d'une pompe à chaleur idéale

Le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur est rappelé figure 3. Le cycle est supposé réversible. Au contact de la source froide de température T_f , le fluide se vaporise complètement, il est ensuite comprimé par le

compresseur et se liquéfie dans le condenseur, au contact de la source chaude de température T_c . Il est ensuite détendu dans le détendeur.

Par transfert thermique, le fluide reçoit une énergie Q_f de la part de la source froide et Q_c de la part de la source chaude. Le fluide reçoit un travail W de la part du compresseur. Le détendeur est calorifugé et ne présente pas de pièces mobiles.

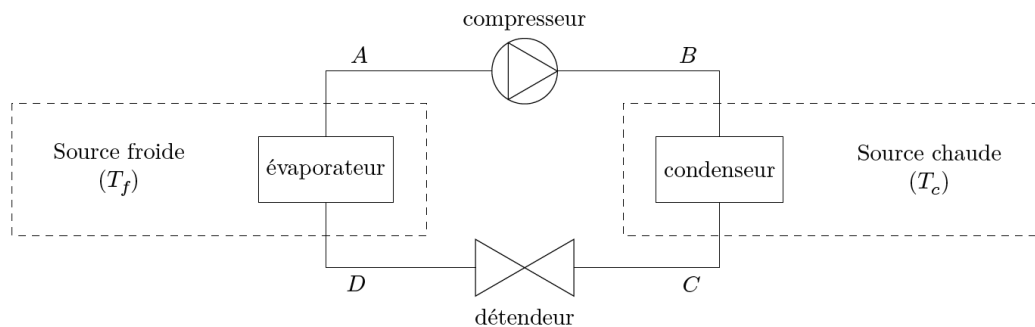


Figure 3

Q 1. Définir l'efficacité (ou COP pour COefficient de Performance) η de la pompe à chaleur. Préciser le signe des grandeurs algébriques Q_f , Q_c et W .

Q 2. Établir l'expression de η en fonction de T_f et T_c .

Q 3. Calculer η pour $T_f = 13^\circ\text{C}$ et $T_c = 44^\circ\text{C}$. Commenter la valeur obtenue.

I.B – Étude de la pompe à chaleur du centre aquatique

Q 4. Établir le premier principe de la thermodynamique pour un écoulement stationnaire unidimensionnel d'un système à une entrée et une sortie. On fera intervenir des grandeurs massiques que l'on prendra soin de définir et de positionner sur un schéma illustratif. Les systèmes (ouvert ou fermé) y seront clairement distingués par leurs frontières à deux instants t et $t + dt$. Les travaux des forces de pression d'admission et de refoulement seront clairement explicités.

On néglige dans la suite toute variation d'énergie cinétique et d'énergie potentielle.

La page suivante présente, dans le diagramme des frigoristes, le cycle réversible de la PAC du centre aquatique de Levallois-Perret pour un fonctionnement nominal typique en période froide (janvier-février). Le fluide frigorigène est du tétrafluoroéthane R134a. Les isothermes sont gradués en $^\circ\text{C}$; les isochores sont repérés par $v = \text{en m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$; les isentropiques sont marqués avec $s = \text{en kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; les isotitres $x =$ sont gradués sur l'échelle des abscisses.

La puissance prélevée à la source froide est $\dot{Q}_f = 60 \text{ kW}$.

Q 5. Identifier et justifier la nature des quatre transformations $1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 5$, $5 \rightarrow 6$ et $6 \rightarrow 1$ du cycle.

Q 6. Quel est l'intérêt de la transformation $7 \rightarrow 1$?

Q 7. Quel est l'intérêt de la transformation $4 \rightarrow 5$?

Q 8. Calculer le débit massique D_m du fluide caloporteur de la pompe à chaleur.

Q 9. Calculer l'efficacité théorique η_{th} de la pompe à chaleur.

Q 10. La puissance réellement fournie au compresseur est $P = 19 \text{ kW}$. Calculer l'efficacité réelle de la pompe à chaleur et conclure quant au calcul de la question précédente.

I.C – Dimensionnement simplifié de l'échangeur du collecteur

L'échangeur repose sur le fond de la conduite cylindrique d'eaux usées, comme indiqué figure 4b. La figure 4a présente un tronçon d'échangeur de 1 m de longueur. On réalise ainsi un module d'échangeur de longueur L_0 par mise en série de L_0 tronçons de 1 m.

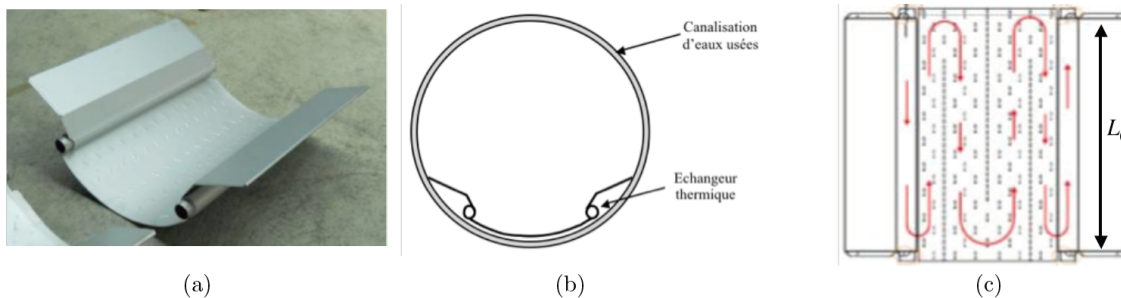
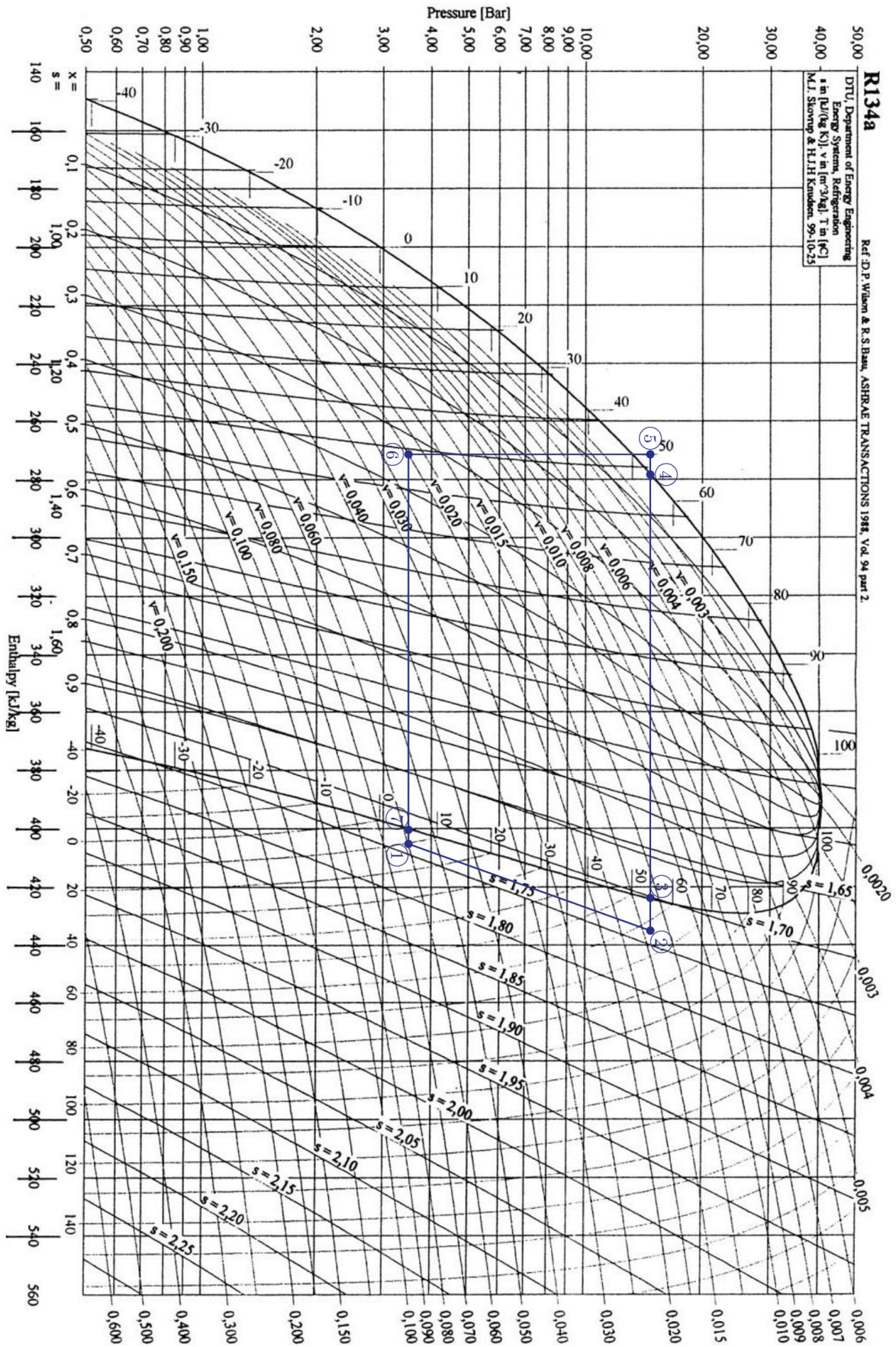


Figure 4



Après mise en série des tronçons, le fluide circule dans un module selon le schéma technique de la figure 4c (vue de dessus du module). Il se réchauffe progressivement au contact des eaux usées, de température T_e supposée uniforme. On supposera pour simplifier que l'échange thermique se fait uniquement sur la partie métallique incurvée ce qui correspond, d'après la figure 4c, à 2 aller-retour, soit $N = 4$ passages du fluide sur la longueur du tronçon considéré. Le module est donc équivalent au schéma théorique de la figure 5.

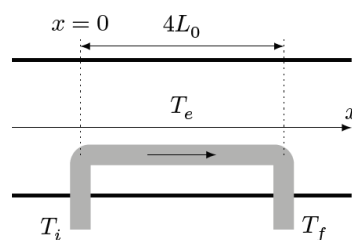


Figure 5

Les hypothèses suivantes sont formulées.

- L'écoulement est supposé parfait, permanent, unidimensionnel, de variation d'énergie cinétique négligeable. On note D_{m_0} le débit massique dans un module, $c_e = 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ la capacité thermique massique du fluide assimilé à de l'eau.
- La température T du fluide ne dépend que de x . Le fluide entre à la température T_i et ressort à la température T_f .
- Le fluide à la température $T(x)$ reçoit, *par unité de longueur*, une puissance thermique linéique $p_{th} = \alpha(T_e - T(x))$, avec $\alpha = 143 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

I.C.1) Détermination de $T(x)$ dans un module

Q 11. Déterminer l'équation différentielle satisfaite par $T(x)$.

Q 12. Montrer que $T(x)$ s'écrit sous la forme $T(x) = T_e + A \exp\left(-\frac{x}{l_c}\right)$. Exprimer A et l_c en fonction des données du problème.

Q 13. Quelle est la signification physique de l_c ?

I.C.2) Détermination de la longueur totale L de l'échangeur

On impose $T_e = 16^\circ\text{C}$, $T_i = 12,5^\circ\text{C}$ et $T_f = 15,5^\circ\text{C}$. Ces températures correspondent au fonctionnement hivernal envisagé. En tenant compte des pertes thermiques dans les canalisations du circuit 1 (figure 2), les températures T_{E_1} et T_{S_1} du circuit 1 en entrée et sortie de l'évaporateur de la pompe à chaleur sont alors $T_{E_1} = 15,0^\circ\text{C}$ et $T_{S_1} = 13,0^\circ\text{C}$.

Q 14. L'évaporateur étant supposé parfaitement calorifugé, déterminer l'expression analytique du débit massique D_{m_1} de l'eau dans le circuit 1 en fonction de \dot{Q}_f , c_e , T_{S_1} et T_{E_1} . Faire l'application numérique.

Q 15. L'installation est constituée de $N_m = 45$ modules *indépendants* (donc correspondant à une association parallèle) posés les uns à la suite des autres sur une longueur totale L . Exprimer D_{m_0} en fonction de D_{m_1} et N_m .

Q 16. Exprimer L en fonction de l_c , T_i , T_f , T_e et N_m .

Q 17. Calculer L . Conclure.

Q 18. Le calcul d'une installation constituée d'un seul module aurait donné une longueur d'échangeur équivalente. Pourquoi cette solution n'a-t-elle pas été retenue ?

II Éviter les pertes

Pour des centres aquatiques équipés de bassins extérieurs chauffés, les coûts de chauffage sont très importants. Une solution simple de réduction des coûts consiste en l'installation de couvertures de surface amovibles. À l'ouverture du centre aquatique, la couverture est positionnée sur son enrouleur. Après la fermeture, elle est déployée à la surface de l'eau. La figure 6 montre un bassin équipé de deux couvertures dont l'une est déployée et l'autre encore enroulée.

À partir des documents 1 à 3, on se propose de chiffrer les gains d'énergie obtenus avec l'utilisation des couvertures thermiques et de les comparer aux gains escomptés.

Q 19. Déterminer l'expression de la résistance thermique de la couverture en fonction de λ , e et S , la surface du bassin.

Q 20. Déterminer l'expression de la résistance thermique associée aux transferts thermiques convectifs à la surface du bassin en fonction de h et S .

Q 21. Évaluer numériquement les pertes d'énergie annuelles sans, puis avec, utilisation de la couverture thermique. Chiffrer les gains d'énergie obtenus et comparer avec les gains escomptés.



Figure 6

— Document 1 : Extrait d'un article de la Nouvelle République —

6 janvier 2014

Le centre aquatique du Lac n'a rouvert que ce week-end, après quelques jours consacrés à des vérifications techniques et sanitaires : chaufferie, tuyauteries, vidange des bassins. Les usagers ont pu découvrir un nouvel équipement posé vendredi à une extrémité du grand bassin extérieur. Le jour, deux couvertures de surface en PVC sont sagement lovées sur leur enrouleur. Après la fermeture, elles sont déployées à la surface de l'eau, sur toute la longueur du bassin.

Un assemblage de 590 lattes

Cette double protection présente un caractère innovant, finalement assez peu répandu dans les structures aquatiques de plein air. C'est la raison pour laquelle le délégataire se veut prudent : « Il est compliqué de mesurer les économies d'énergie mais on peut évaluer des gains allant de 15 à 40%. Nous allons installer un compteur de gaz par bassin (contre un seul aujourd'hui). Le niveau des consommations sera ainsi mieux contrôlé. Les variations de température — et donc l'évaporation de l'eau — seront mieux contenues grâce aux 590 lattes », ajoute le directeur du centre aquatique.

— Document 2 : Caractéristiques du bassin extérieur et de la couverture thermique —

Bassin

Longueur du bassin	50 m
Largeur du bassin	20 m
Température moyenne de l'eau	27 °C

Le bassin extérieur est exposé au vent. Il est ouvert toute l'année de 7h à 21h du lundi au vendredi et de 9h à 19h les samedi et dimanche. Il est fermé deux semaines par an pour vidange des bassins et inspection des installations techniques.

Couverture thermique

Conductivité thermique	$\lambda = 0,027 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Épaisseur moyenne	$e = 15 \text{ mm}$

Avec une couverture thermique, les pertes par rayonnement sont négligeables.

— Document 3 : Les échanges thermiques eau/air extérieur —

Les déperditions thermiques d'un bassin extérieur se font essentiellement par évaporation, par rayonnement et par convection.

Généralement, l'évaporation compte pour environ 40% de la déperdition thermique totale, le rayonnement pour environ 30%.

Les transferts thermiques par convection se font selon la loi de Newton : la puissance thermique dP cédée par l'eau de température T_e à l'air de température T_a à travers une surface dS est $dP = h(T_e - T_a) dS$; h est le coefficient de transfert thermique de surface. Ce coefficient dépend de nombreux paramètres et varie fortement selon que la convection est naturelle ou forcée (présence de vent). Un ordre de grandeur de h pour l'air dans les conditions observées est $h = 50 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$.

Sur le site du centre aquatique et sur une année, la température minimale moyenne observée est de 7,4 °C et la température moyenne de 11,8 °C.

4 Électrolyse d'une solution de sulfate de cuivre (d'après CCS - PSI - 2013)

La Figure A du document réponse fournit la courbe intensité-potential pour une électrode de cuivre au contact d'une solution d'acide sulfurique ($2 \text{H}_3\text{O}_{(\text{aq})}^+ ; \text{SO}_{4(\text{aq})}^{2-}$) à 1 mol.L^{-1} (courbe a) et celle obtenue avec la même électrode au contact d'une solution de sulfate de cuivre ($\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+} ; \text{SO}_{4(\text{aq})}^{2-}$) à 1 mol.L^{-1} elle aussi (courbe b).

- 1) Décrire le montage expérimental à effectuer pour tracer une courbe intensité-potential.
- 2) Préciser les réactions électrochimiques mises en jeu dans les deux parties des deux courbes (écrire directement sur le document réponse qui sera à rendre avec la copie). Rappel : en solution, les ions hydrogènesulfate HSO_4^- et sulfate SO_4^{2-} ne sont pas électroactifs pour la réduction.
- 3) Comment peut-on qualifier le couple Cu^{2+}/Cu à la réduction ? À l'oxydation ?
- 4) Si l'on augmente la tension, on voit apparaître un palier sur l'une des branches de la courbe b. Compléter qualitativement le diagramme et expliquer l'origine de ce palier. De quoi dépend son ordonnée ? Pour quel type de réactions électrochimiques ce palier n'est-il pas observé ?

Une solution contenant un mélange de sulfate de cuivre et d'acide sulfurique (à $\text{pH} = 0$), chacune à la concentration à la concentration $C = 1,0 \text{ mol.L}^{-1}$, est électrolysée dans une cuve, avec une anode en plomb sur laquelle il y a dégagement de di-oxygène et une cathode en cuivre très pur sur laquelle le cuivre se dépose. La Figure 1 présente la courbe intensité-potential à utiliser.

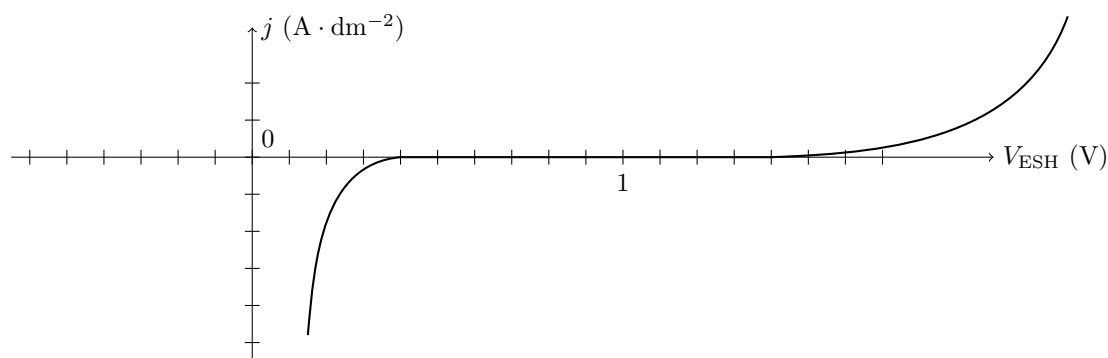


FIGURE 1 –

- 5) Quelles sont les réactions qui ont lieu aux électrodes ? (les propriétés redox du plomb n'interviennent pas). Pour qu'il y ait réaction à l'électrode, il est nécessaire que les espèces électroactives s'approchent de cette électrode. Quels sont les phénomènes qui assurent le transport de matière ?
- 6) Déterminer la tension minimale de fonctionnement $(V_a - V_c)_{i=0}$ de l'électrolyseur.

Pour une densité de courant de 130 A.m^{-2} , compte tenu des phénomènes de surtension et de chute ohmique dans l'électrolyseur, la tension nécessaire à l'électrolyse est de $2,44 \text{ V}$.

- 7) On rappelle que le rendement faradique d'une espèce produite lors d'une électrolyse est le quotient entre la masse de cette espèce produite durant un intervalle de temps donné

et la masse que l'on obtiendrait durant le même intervalle de temps si cette espèce était la seule à être produite sur l'électrode.

Sachant que le rendement faradique du cuivre est de 85%, déterminer l'énergie nécessaire pour déposer 1 kg de cuivre pur.

Données :

Constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Constante de Faraday : $\mathcal{F} = 96\,500 \text{ C.mol}^{-1}$

Constante d'Avogadro : $N_A = 6,023.10^{23} \text{ mol}^{-1}$

On prendra : $\frac{RT}{\mathcal{F}} \ln 10 = 0,06 \text{ V}$ à $25 \text{ }^\circ\text{C}$

$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$

Grandeurs de référence :

Pression standard : $P^0 = 1 \text{ bar} = 1,0.10^5 \text{ Pa}$

Concentration standard : $C^0 = 1,0 \text{ mol.L}^{-1}$

Potentiers standard à 298 K

	Cu^{2+}/Cu	$\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2$	Al^{3+}/Al	NO_3^-/NO	$\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	I_2/I^-
E^0 (en V)	0,34	0	-1,66	0,96	0,080	0,62

Numéro atomique du cuivre : $Z = 29$

Masses molaires : $M_{\text{Ag}} = 27,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M_{\text{Cu}} = 63,5 \text{ g.mol}^{-1}$

Document réponse

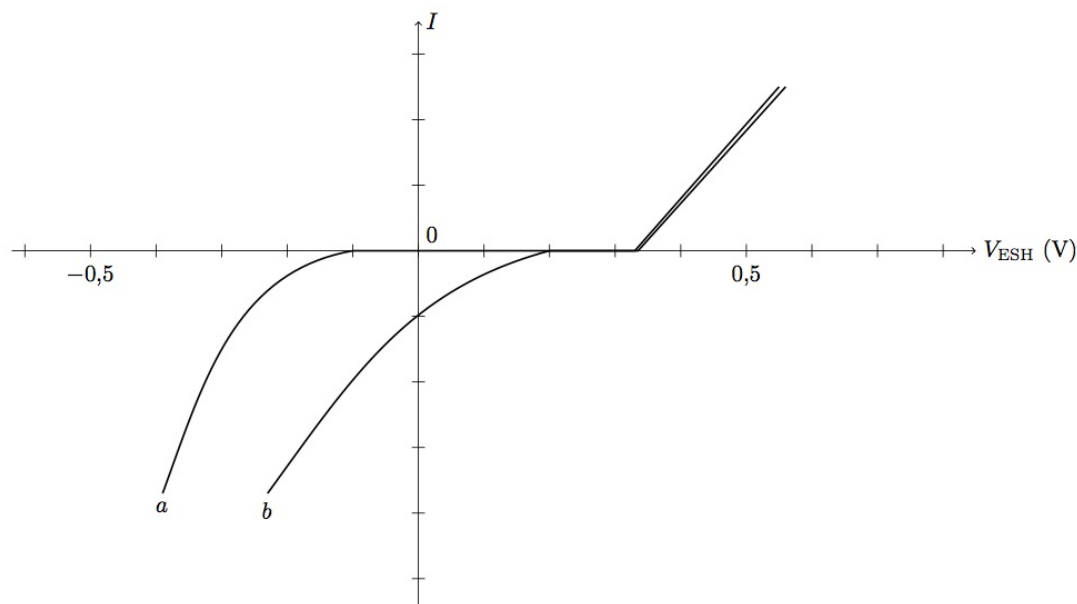


Figure A

FIGURE 2 –