

MP1 – DS n°6
Samedi 2 mars 2024 – Durée : 4 heures

1 Chimie

La solubilité du dioxygène O_2 dans l'eau dépend de la valeur de la pression partielle de O_2 au-dessus de l'eau ainsi que de celle de la température. Le dioxygène dissout O_2 est en permanence consommé par les systèmes chimiques et biologiques. La concentration en dioxygène O_2 dissout est un indicateur de qualité de l'eau. Une eau ne peut servir en irrigation que si la concentration massique en dioxygène dissout est supérieure à $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

II.A – Diagramme E-pH du manganèse

On donne le diagramme potentiel-pH du manganèse à 298 K pour une concentration molaire totale en espèces dissoutes de $c_T = 1 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

On ne considère que les espèces $Mn_{(s)}$, $Mn_{(aq)}^{2+}$, $Mn_{(aq)}^{3+}$, $Mn(OH)_{2(s)}$ et $Mn(OH)_{3(s)}$.

On superpose le diagramme E-pH de l'eau en pointillé.

Q 8. Associer chaque domaine aux espèces chimiques du manganèse en justifiant.

Q 9. Calculer le pH de début d'apparition du précipité $Mn(OH)_{3(s)}$.

Q 10. Écrire les demi-équations électroniques associées aux couples de l'eau $O_{2(g)}/H_2O_{(l)}$ et $H_2O_{(l)}/H_{2(g)}$. En déduire les équations des droites $E_{O_{2(g)}/H_2O_{(l)}}$ et $E_{H_2O_{(l)}/H_{2(g)}}$. On suppose qu'aux différentes frontières la pression partielle des gaz est égale à 1 bar.

Q 11. Retrouver la valeur de la pente de la droite frontière séparant le couple $Mn(OH)_{3(s)}/Mn(OH)_{2(s)}$.

Q 12. Déduire par lecture graphique, le potentiel standard $E_{Mn_{(aq)}^{2+}/Mn_{(s)}}^\circ$ du couple $Mn_{(aq)}^{2+}/Mn_{(s)}$.

Q 13. Discuter de la stabilité dans l'eau des espèces dérivant du manganèse en fonction du pH.

II.B – Dosage du dioxygène dissout dans l'eau par la méthode de Winkler

Le dosage s'effectue en 3 étapes.

II.B.1) Première étape

- Remplir une fiole jaugée de volume $V = 250 \text{ mL}$ de l'échantillon d'eau à analyser.
- Ajouter des pastilles de soude.
- Ajouter 2,00 g de chlorure de manganèse hydraté ($MnCl_2 \cdot 4H_2O$).
- Boucher la fiole sans emprisonner d'air et la maintenir sous agitation magnétique jusqu'à la dissolution complète des réactifs.
- Agiter 30 minutes.
- Observer l'apparition d'un précipité brun.

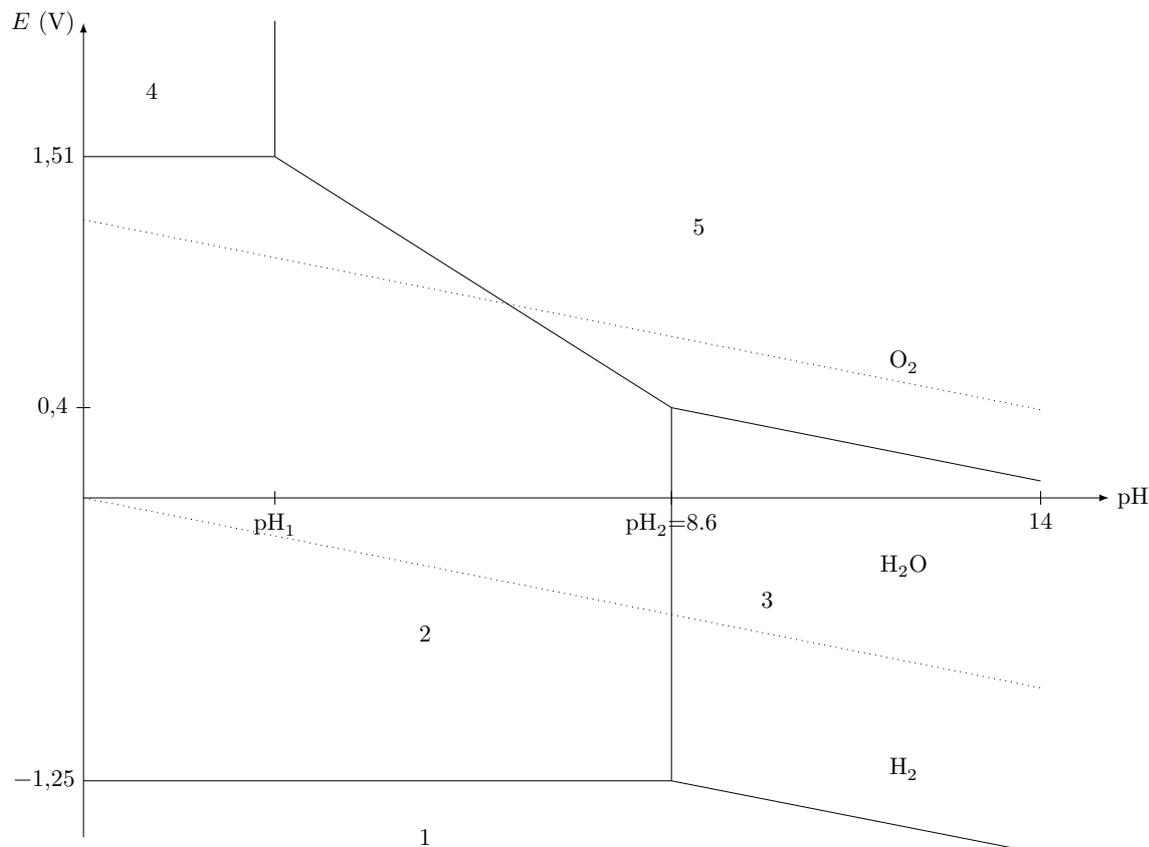


Figure 3

Q 14. Écrire l'équation de réaction modélisant la transformation chimique entre les ions manganèse II $\text{Mn}_{(\text{aq})}^{2+}$ et les ions hydroxyde $\text{HO}_{(\text{aq})}^-$.

Q 15. Écrire l'équation de réaction modélisant la transformation chimique entre le composé obtenu et le dioxygène dissout $\text{O}_{2(\text{g})}$.

II.B.2) Deuxième étape

- Acidifier l'échantillon jusqu'à $\text{pH} = 1,5$ avec de l'acide chlorhydrique concentré HCl.
- Ajouter 3,0 g d'iodure de potassium KI.
- Observer la formation d'un précipité et l'apparition d'une solution limpide orangée.

Q 16. Écrire l'équation de réaction modélisant la dissolution du précipité de $\text{Mn}(\text{OH})_{3(\text{s})}$ en milieu acide.

Q 17. Écrire l'équation de réaction modélisant la réaction d'oxydoréduction entre les ions $\text{Mn}_{(\text{aq})}^{3+}$ et $\text{I}_{(\text{aq})}^-$ à $\text{pH} = 1,5$ pour former $\text{Mn}_{(\text{aq})}^{2+}$ et $\text{I}_{2(\text{aq})}$.

II.B.3) Troisième étape

- Prélever un volume $V_0 = 50 \text{ mL}$ de la solution obtenue.
- Doser cette solution par une solution de thiosulfate de sodium ($2\text{Na}^+ + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) de concentration $C_1 = 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Q 18. Écrire l'équation de réaction support du titrage entre les ions thiosulfates $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ et le diiode I_2 pour former $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ et I^- .

Q 19. On repère l'équivalence par un ajout de volume équivalent $V_{\text{eq}} = 5,0 \text{ mL}$ de thiosulfate de sodium. Montrer que la concentration molaire en dioxygène dissout C_{O_2} s'écrit

$$C_{\text{O}_2} = \frac{C_1 V_{\text{eq}}}{4V_0}.$$

Q 20. En déduire la concentration massique c_{O_2} en dioxygène dissout dans l'échantillon. Conclure quant à son utilisation en irrigation.

II.C – Simulation de Monte-Carlo

On souhaite dans cette sous-partie évaluer grâce à la méthode de Monte-Carlo la valeur moyenne de la concentration massique c_{O_2} ainsi que l'écart-type associé.

Le tableau 1 précise les données correspondant à l'expérience réalisée.

Grandeurs	V_{eq}	V_0	C_1
Valeurs	5,00 mL	50,0 mL	$1,50 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
Incertitude-type	0,050 mL	0,020 mL	$1,5 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

Tableau 1

La figure 4 donne une partie du programme Python pour réaliser la simulation de Monte-Carlo.

```

1  # Importation des bibliothèques
2  import numpy as np
3  import numpy.random as rd
4  import matplotlib.pyplot as plt

5  # Entrée des données du problème
6  M02 = 32.0  #g/mol
7  Veq = 5.0   # en mL
8  u_Veq = 0.05 # en mL
9  V0 = 50.0  # en mL
10 u_V0 = 0.02 # en mL

11 # À compléter
12 # À compléter

13 # Simulation de N = 10000 Titrages par la méthode Monte-Carlo

14 N = 10000 # nombre de tirages à réaliser
15 Veq_sim = Veq + rd.normal(0,u_Veq, N) # simulation des valeurs de Veq
16 V0_sim = V0 + rd.normal(0,u_V0,N) # simulation des valeurs de V0
17 # Simulation sur C1 à compléter

18 c02_sim = C1_sim*Veq_sim * M02 / (4 * V0_sim) # simulation des valeurs de c02

19 # Représentation de l'histogramme
20 plt.hist(C02_sim, bins='rice')
21 plt.show()

22 ## Analyse statistique des résultats de la simulation MC

23 c02_moy = np.average(c02_sim) # Calcul de la valeur moyenne de c02_sim
24 u_c02 = np.std(c02_sim,ddof=1) # Ecart-type de c02_sim
25 print(c02_moy, '\n', u_c02) #Afficher les valeurs de c02_moy et u_c02

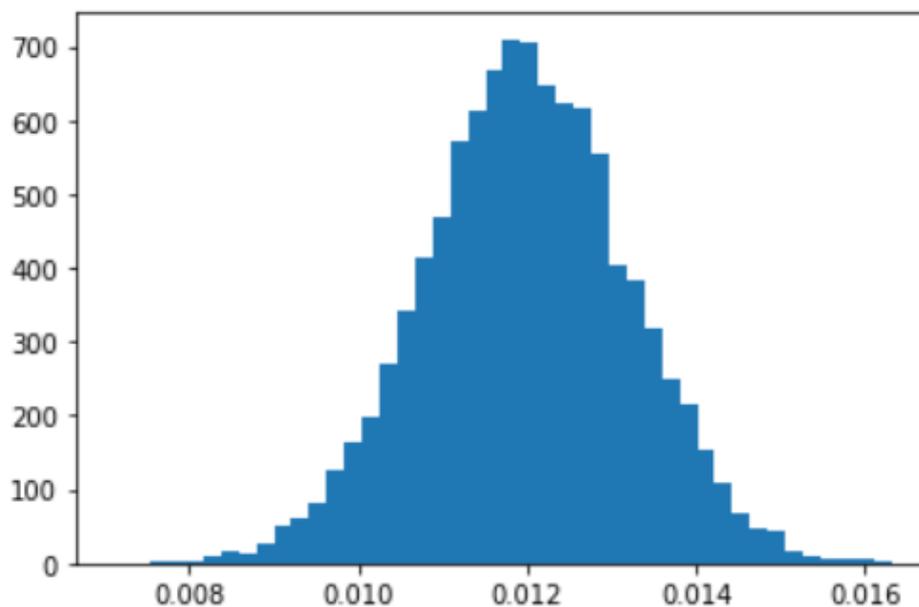
```

Figure 4

Q 21. Compléter les lignes 11, 12 et 17 sur votre copie.

Le programme ainsi complété permet d'obtenir le résultat de la figure 5.

Q 22. Dédire de la simulation de Monte-Carlo une écriture du résultat pour la concentration massique en dioxygène dissout c_{O_2} .



0.011986168775442464

0.0012094679234147948

Figure 5

Données

Données en rapport avec l'eau

Masse volumique de l'eau

$$\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

Accélération de la pesanteur

$$g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Données thermodynamiques à 298 K

Produit ionique de l'eau

$$K_e = 10^{-14}$$

Produit de solubilité de l'hydroxyde de manganèse

$$K_s(\text{Mn}(\text{OH})_3) = 10^{-35,6}$$

Potentiel standard du couple $\text{O}_{2(\text{g})}/\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$

$$E_{\text{O}_{2(\text{g})}/\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}}^\circ = 1,23 \text{ V}$$

Potentiel standard du couple $\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}/\text{H}_2(\text{g})$

$$E_{\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}/\text{H}_2(\text{g})}^\circ = 0,00 \text{ V}$$

Potentiel standard du couple $\text{I}_{2(\text{aq})}/\text{I}_{(\text{aq})}^-$

$$E_{\text{I}_{2(\text{aq})}/\text{I}_{(\text{aq})}^-}^\circ = 0,62 \text{ V}$$

Potentiel standard du couple $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq})/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$

$$E_{\text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq})/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})}^\circ = 0,08 \text{ V}$$

Masses molaires

Oxygène

$$M(\text{O}) = 16 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Tétrahydrate de chlorure de manganèse

$$M(\text{MnCl}_2, 4\text{H}_2\text{O}) = 198 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Iodure de potassium

$$M(\text{KI}) = 166 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

2 (Centrale)

Étude d'une installation nucléaire REP

Ce sujet comporte un document réponse à rendre avec la copie. Les données numériques utiles sont fournies en fin d'énoncé.

La France compte 19 centrales nucléaires en exploitation, dans lesquelles tous les réacteurs (58 au total) sont des réacteurs à eau pressurisée. Actuellement, ces installations produisent près de 80% de l'électricité produite en France. Chaque centrale est soumise à un référentiel de normes de sûreté et de sécurité évoluant en fonction des enseignements des incidents passés nationaux ou internationaux.

Le but de ce problème est d'étudier quelques aspects liés au fonctionnement d'une centrale nucléaire REP, ainsi que plusieurs dispositions prises en matière de sûreté nucléaire : contrôle des rejets de la centrale et surveillance sismique d'un site nucléaire.

I Circuit secondaire et enrichissement de l'uranium

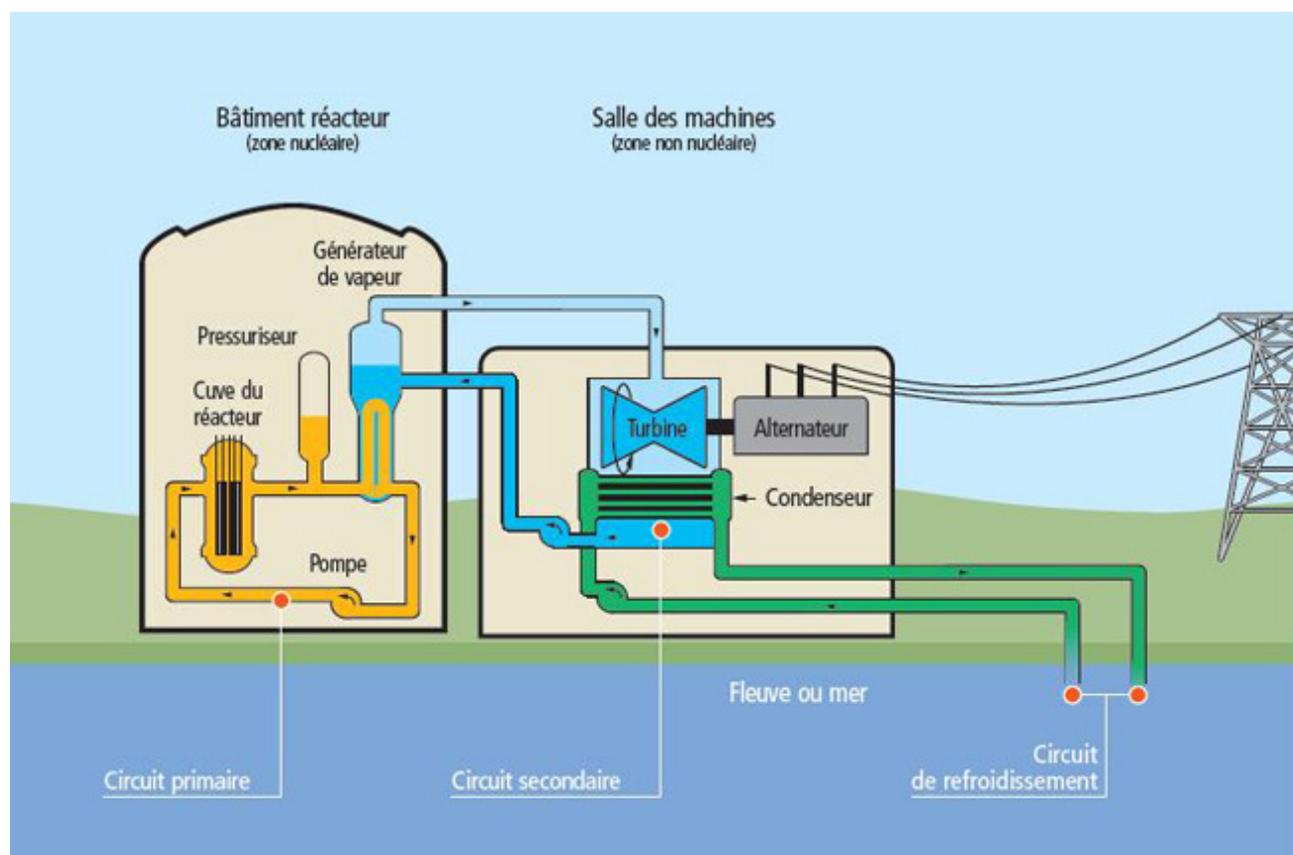


Figure 1 Schéma global d'une centrale nucléaire

Une centrale nucléaire est un site industriel destiné à la production d'électricité, qui utilise comme chaudière un réacteur nucléaire pour produire de la chaleur. Une centrale nucléaire REP (Réacteur à Eau Pressurisée) est constituée de deux grandes zones (voir figure 1) :

- une zone non nucléaire (salle des machines). Dans cette partie, semblable à celle utilisée dans les centrales thermiques classiques, s'écoule de l'eau dans un circuit secondaire. Cette eau est évaporée dans le Générateur de Vapeur (GV) par absorption de la chaleur produite dans la zone nucléaire, puis elle entraîne une turbine (T) couplée à un alternateur produisant de l'électricité, ensuite elle est condensée au contact d'un refroidisseur (rivière ou mer ou atmosphère via une tour aéroréfrigérante) et enfin, elle est comprimée avant d'être renvoyée vers le générateur de vapeur ;
- une zone nucléaire (dans le bâtiment réacteur), où ont lieu les réactions nucléaires de fission, qui produisent de l'énergie thermique et chauffent ainsi l'eau sous pression circulant dans le circuit primaire. Le transfert

d'énergie thermique entre le circuit primaire et le circuit secondaire se fait dans le générateur de vapeur, où la surface d'échange entre les deux fluides peut atteindre près de 5000 m² (réseau de tubulures).

I.A – Description du circuit secondaire de la centrale

Considérons une centrale nucléaire REP produisant une puissance électrique $P_e = 900$ MW. Le fluide circulant dans le circuit secondaire est de l'eau, dont l'écoulement est supposé stationnaire. Le cycle thermodynamique décrit par l'eau est un cycle ditherme moteur. L'eau liquide sera supposée incompressible et de capacité thermique massique isobare supposée constante. Le tableau en fin d'énoncé donne diverses données thermodynamiques relatives à l'équilibre liquide-vapeur de l'eau.

I.A.1) Cycle de Carnot

Dans une première approche simplifiée, on considère le moteur ditherme de Carnot fonctionnant de manière réversible entre deux sources de température T_{ch} et T_{fr} ($T_{fr} < T_{ch}$).

- Donner, en la redémontrant, l'expression du rendement de Carnot associé à ce cycle.
- Donner la valeur numérique de ce rendement en prenant $T_{ch} = 543$ K et $T_{fr} = 303$ K, les deux températures extrêmes de l'eau dans le circuit secondaire.
- Sachant qu'un réacteur REP fournit à l'eau du circuit secondaire, via le générateur de vapeur, une puissance thermique $P_t = 2785$ MW, que vaut le rendement thermodynamique réel de l'installation ? On supposera que la puissance mécanique transmise à la turbine est intégralement convertie en puissance électrique. Commenter.

I.A.2) Cycle de Rankine

L'eau du circuit secondaire subit les transformations suivantes (représentées dans la figure 2)

- de A à B : dans le générateur de vapeur, échauffement isobare du liquide à la pression $P_2 = 55$ bar jusqu'à un état de liquide saturant (état noté A'), puis vaporisation totale isobare jusqu'à un état de vapeur saturante sèche (état B) ;
- de B à C : détente adiabatique réversible dans la turbine, de la pression P_2 à la pression $P_1 = 43$ mbar ;
- en C , le fluide est diphasé ;
- de C à D : liquéfaction totale isobare dans le condenseur, jusqu'à un état de liquide saturant ;
- de D à A : compression adiabatique réversible, dans la pompe d'alimentation, de la pression P_1 à la pression P_2 , du liquide saturant sortant du condenseur. On négligera le travail consommé par cette pompe devant les autres énergies mises en jeu.

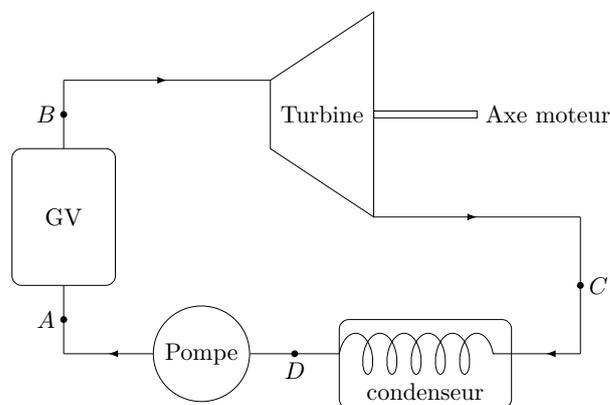


Figure 2 Cycle de Rankine

- Représenter dans le diagramme de Clapeyron (P, v) l'allure de la courbe de saturation de l'eau, ainsi que les isothermes T_B , T_D et $T_{critique}$, cette dernière température étant celle du point critique de l'eau. Préciser les domaines du liquide, de la vapeur, de la vapeur saturante. Représenter sur ce même diagramme l'allure du cycle décrit par l'eau du circuit secondaire. Indiquer le sens de parcours du cycle et placer les points A , A' , B , C et D .
- D'après l'extrait de table thermodynamique donné en fin d'énoncé, quelles sont les valeurs des températures, des enthalpies massiques et des entropies massiques aux points A' , B et D ? On pourra donner les valeurs sous forme de tableau.
- Dans le document réponse figure le diagramme enthalpique (P, h) de l'eau. Placer, avec soin et à l'échelle, les points A' , B , C , D du cycle. On explicitera la méthode.
- Dans toute la suite, on négligera les variations d'énergie cinétique et potentielle dans les bilans énergétiques. Exprimer alors, sans démonstration, le premier principe de la thermodynamique pour un fluide en écoulement stationnaire recevant de manière algébrique le travail massique utile w_u et le transfert thermique massique q .
- Exprimer le travail massique w_{BC} reçu par l'eau dans la turbine. Donner sa valeur numérique, en s'aidant du diagramme enthalpique.

f) Exprimer le transfert thermique massique $q_{AA'}$ reçu par l'eau liquide quand elle passe de manière isobare de la température T_A à la température $T_{A'}$, dans le générateur de vapeur. Donner sa valeur numérique : on considérera $T_A \approx T_D$.

g) Exprimer le transfert thermique massique $q_{A'B}$ reçu par l'eau quand elle se vaporise complètement dans le générateur de vapeur. Donner sa valeur numérique.

h) Calculer alors le rendement de Rankine de l'installation. Comparer au rendement de Carnot et commenter. Comparer au rendement réel et commenter.

i) Dans quel état se trouve l'eau à la fin de la détente de la turbine ? Donner le titre massique en vapeur à l'aide du diagramme enthalpique. En quoi est-ce un inconvénient pour les parties mobiles de la turbine ?

I.A.3) Cycle de Rankine avec détente étagée

Le cycle réel est plus compliqué que celui étudié précédemment (voir figure 3). En effet, d'une part, la détente est étagée : elle se fait d'abord dans une turbine « haute pression » puis dans une turbine « basse pression ». D'autre part, entre les deux turbines, l'eau passe dans un « surchauffeur ». Les transformations sont maintenant modélisées par

- de A à B : dans le générateur de vapeur, échauffement isobare du liquide à la pression $P_2 = 55$ bar, jusqu'à un état de liquide saturant (état noté A'), puis vaporisation totale isobare jusqu'à un état de vapeur saturante sèche (point B) ;
- de B à C' : détente adiabatique réversible dans la turbine « haute pression », de la pression P_2 à la pression $P_3 = 10$ bar ;
- de C' à B' : échauffement isobare à la pression P_3 , dans le surchauffeur, jusqu'à un état de vapeur saturante sèche (point B') ;
- de B' à C'' : détente adiabatique réversible dans la turbine « basse pression », de la pression P_3 à la pression $P_1 = 43$ mbar ;
- de C'' à D : liquéfaction totale isobare dans le condenseur, jusqu'à un état de liquide saturant ;
- de D à A : compression adiabatique réversible, dans la pompe d'alimentation, de la pression P_1 à la pression P_2 , du liquide saturant sortant du condenseur. On négligera le travail consommé par cette pompe devant les autres énergies mises en jeu.

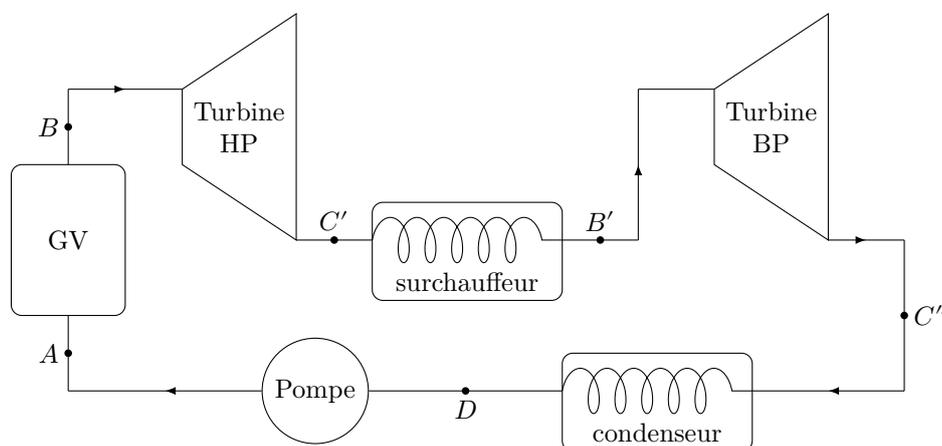


Figure 3 Cycle de Rankine avec une détente étagée

- a) Placer les nouveaux points C' , B' , C'' sur le diagramme enthalpique du document réponse.
- b) Comparer les titres massiques en vapeur des points C' et C'' au titre massique en vapeur du point C . Quel est l'intérêt de la surchauffe ?
- c) À l'aide du diagramme enthalpique, déterminer le nouveau rendement du cycle. Commenter.

Données

Extrait de table thermodynamique relatif à l'équilibre liquide–vapeur de l'eau

θ (°C)	P_{sat} (bar)	Liquide saturant			Vapeur saturante sèche		
		v_l (m ³ ·kg ⁻¹)	h_l (kJ·kg ⁻¹)	s_l (J·K ⁻¹ ·kg ⁻¹)	v_v (m ³ ·kg ⁻¹)	h_v (kJ·kg ⁻¹)	s_v (J·K ⁻¹ ·kg ⁻¹)
30	0,043	1,0047	125,22	0,4348	32,892	2555,92	8,4530
180	10	1,1276	763,18	2,1395	0,119404	2777,84	6,5854
270	55	1,3053	1190,10	2,9853	0,03505	2788,46	5,9226

θ température

s_l entropie massique du liquide saturant

P_{sat} pression de vapeur saturante

v_v volume massique de la vapeur saturante sèche

v_l volume massique du liquide saturant

h_v enthalpie massique de la vapeur saturante sèche

h_l enthalpie massique du liquide saturant

s_v entropie massique de la vapeur saturante sèche

Capacité thermique massique isobare de l'eau

$$c = 4,18 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$$

3 Igloo (CCINP)

Les habitants des régions polaires savent qu'un abri constitué de neige (quinzee, hutte, abri sous arbre, trou à neige, igloo, etc.) offre un rempart efficace contre le froid. Nous allons nous intéresser ici au cas de l'igloo (**figure 1**).



Figure 1 - Igloo

Partie I - Généralités

On considère un matériau solide de section S , de longueur L , calorifugé latéralement et placé a contact parfait de deux sources de températures constantes T_1 et T_2 (**figure 2**). On note $T(x,t)$ la température d'une section d'abscisse x du matériau.

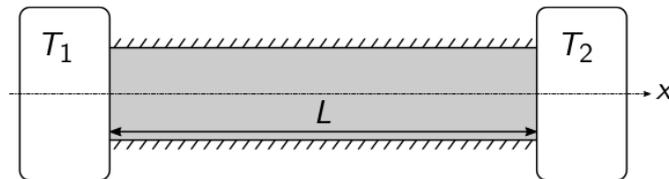


Figure 2 - Matériau au contact de deux sources

Le matériau est caractérisé par sa masse volumique ρ , sa capacité thermique massique c et sa conductivité thermique λ .

I.1 - Régime variable

Q1. Donner une interprétation physique à la loi de Fourier exprimant le vecteur densité volumique de courant thermique selon :

$$\vec{j}_{\text{th}} = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}}(T).$$

Q2. Montrer, à l'aide d'un bilan thermique infinitésimal unidimensionnel, que la température satisfait l'équation différentielle :

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}.$$

Q3. Déterminer l'unité de la grandeur $\tau = \frac{\rho c L^2}{\lambda}$ et préciser sa signification concrète.

Q4. Le phénomène de diffusion thermique peut-il être un processus réversible ? Justifier.

I.2 - Régime stationnaire

On se place en régime stationnaire. On note $\Phi_{12} = \iint_S \vec{j}_{th} \cdot \vec{dS}$ le flux thermique traversant la section S du solide, de la zone de température T_1 vers celle de température T_2 . On appelle résistance thermique conductive R_{th} la grandeur satisfaisant la loi d'Ohm thermique :

$$T_1 - T_2 = R_{th} \Phi_{12}.$$

Q5. Donner l'équation différentielle satisfaite par la température en régime stationnaire et en déduire l'expression de $T(x)$ en fonction de x , T_1 , T_2 et de L .

Q6. Déterminer l'expression littérale de Φ_{12} . Que constate-t-on ?

Q7. Montrer que la résistance thermique conductive du matériau vaut $R_{th} = \frac{L}{\lambda S}$.

On souhaite faire une analogie entre les grandeurs électrocinétique et thermique en régime stationnaire. On note V le potentiel électrique et R la résistance électrique.

Q8. Reproduire le tableau suivant et le compléter en définissant, si nécessaire, les grandeurs non mentionnées par l'énoncé.

Électrocinétique	Thermique
$V_1 - V_2$	
R	
	Φ_{12}
	λ

Lorsqu'un solide de température de surface T_s et un fluide, dont la température loin du solide est notée T_f , sont en contact par le biais d'une surface d'aire S' , on observe un transfert thermique entre le solide et le fluide. Le flux thermique résultant suit la loi de Newton du transfert conducto-convectif $\Phi_{sf} = h(T_s - T_f)S'$, où h est appelé coefficient de transfert conducto-convectif.

Q9. Montrer que la résistance conducto-convective associée à la loi de Newton s'écrit :

$$R_{cc} = \frac{1}{hS'}.$$

Partie II - Bilan thermique d'un igloo

On modélise un igloo par un hémisphère (une demi-sphère) creux de rayon intérieur $r_i = 1,5 \text{ m}$, fabriqué à partir de blocs de neige de conductivité thermique λ et d'épaisseur supposée constante et égale à $L = 30 \text{ cm}$ (**figure 3**).

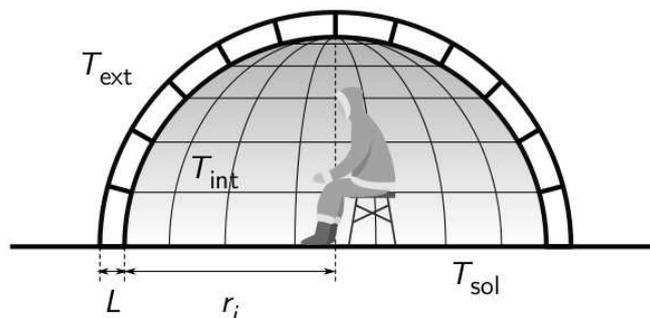


Figure 3 - Vue de l'igloo en coupe

II.1 - Résistance conductive de l'igloo

Une étude expérimentale (**figure 4**) a permis de mesurer la conductivité thermique λ de la neige en fonction de sa masse volumique ρ .

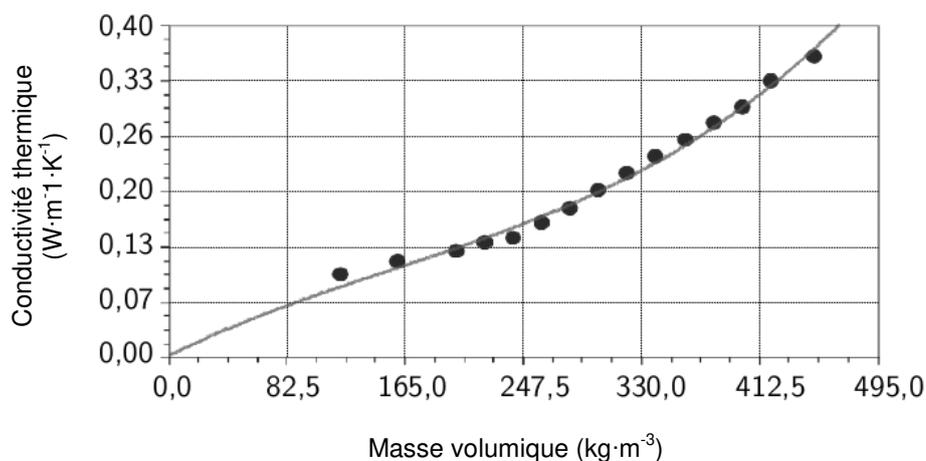


Figure 4 - Conductivité thermique de la neige en fonction de la masse volumique

On note R_{th} la résistance thermique conductive de l'igloo dont l'expression, admise, en géométrie sphérique est :

$$R_{\text{th}} = \frac{L}{2\pi\lambda r_i (r_i + L)}$$

Q10. À partir de la **figure 4**, préciser si le fait de bien tasser les blocs de neige améliore ou non l'isolation de l'igloo.

Q11. Pour une neige de masse volumique $\rho = 20 \cdot 10^1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, estimer la valeur de la conductivité thermique correspondante et calculer la résistance thermique R_{th} .

II.2 - Prise en compte de la conducto-convection

La circulation de l'air provoque de la conducto-convection que l'on prend en compte par le biais de résistances conducto-convectives intérieure $R_{cc,int} = \frac{1}{h_i S_i}$ et extérieure $R_{cc,ext} = \frac{1}{h_e S_e}$. Dans ces expressions, h_i et h_e sont les coefficients de transfert conducto-convectifs intérieur et extérieur tandis que S_i et S_e correspondent aux surfaces intérieure et extérieure de l'igloo. On envisage deux modèles d'association des résistances thermiques précédentes, en parallèle ou en série (**figure 5**).

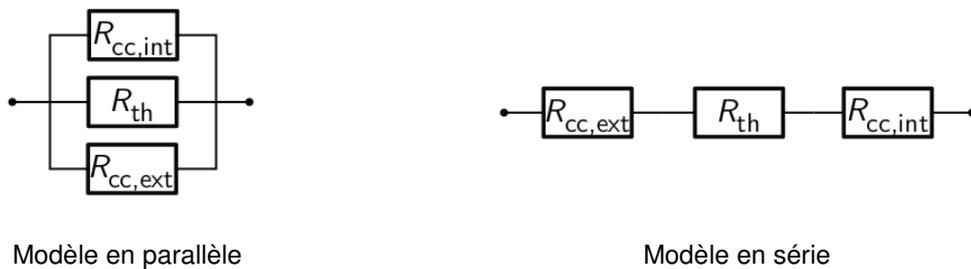


Figure 5 - Circuits équivalents

- Q12.** Préciser, en justifiant votre choix, quel modèle convient.
- Q13.** Déterminer, pour le modèle choisi, l'expression littérale de la résistance thermique équivalente R_{igloo} en fonction de λ , h_e , h_i , L et de r_i .
- Q14.** Cette modélisation ne tient pas compte d'un autre mode de transfert thermique. De quel mode s'agit-il ? Si l'on souhaitait en tenir compte, la résistance thermique associée devrait-elle être placée en série ou en parallèle de celles de conducto-convection ?

II.3 - Température intérieure de l'igloo

Pour étudier le comportement thermique de l'igloo, on propose un modèle électrique analogue représenté sur la **figure 6**. Ce modèle tient compte du sol sur lequel repose l'igloo et de la puissance thermique dégagée par ses occupants. On note T_{sol} la température du sol, R_{sol} sa résistance thermique et P la puissance thermique dégagée par les occupants de l'igloo qui, du point de vue électrique, est analogue à un générateur de courant. La représentation électrique de l'ensemble est donnée sur la **figure 6**.

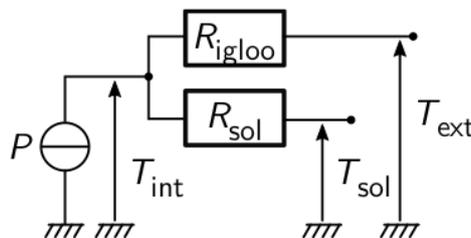


Figure 6 - Modèle électrique complet de l'igloo

- Q15.** Montrer que la température intérieure de l'igloo vaut :

$$T_{int} = \frac{PR_{igloo}R_{sol} + T_{ext}R_{sol} + T_{sol}R_{igloo}}{R_{igloo} + R_{sol}}$$

Les personnes se trouvant à l'intérieur de l'igloo dégagent une puissance thermique $P = 30 \cdot 10^1 \text{ W}$. La température extérieure vaut $T_{\text{ext}} = -40^\circ\text{C}$, celle du sol vaut $T_{\text{sol}} = -20^\circ\text{C}$ et les résistances thermiques valent $R_{\text{igloo}} = 0,15 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$ et $R_{\text{sol}} = 1,3 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$.

Q16. Calculer la température intérieure T_{int} de l'igloo.

Q17. On peut lire sur la page Wikipedia consacrée aux igloos que « *Dans certains igloos, notamment ceux près du détroit de Davis, l'intérieur est quadrillé de peaux de bêtes : cela permet d'augmenter la température de presque 20 °C.* »

Sachant que, lorsque les parois intérieures de l'igloo sont recouvertes de peaux, la résistance thermique de l'igloo augmente de moitié, estimer la nouvelle température intérieure et conclure.

FIN