

Devoir surveillé n° 3

14 octobre 2024

durée 2h

L'usage de la calculatrice n'est pas autorisé

La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte.

Si au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale à l'enseignant se trouvant dans la salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Ce sujet est composé de deux parties qui doivent chacune être traitée : chimie et physique. Vous disposez de 1h00 pour la chimie et 3h00 pour la physique, la copie de chimie est à remettre au surveillant après le temps imparti.

Tout nouvel exercice est à commencer sur une nouvelle copie double.

Partie Chimie**I- La chimie de l'azote : quelques applications industrielles**

Données :

$pKa(HNO_3/NO_3^-) = -1,37$; $pKa(HNO_2/NO_2^-) = 3,3$; $pKa(NH_4^+/NH_3) = 9,2$; $R = 8,3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$;
 $M(NO_3^-) = 62 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(N) = 14,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

$E^\circ(NO_3^-/NO) = 0,96 \text{ V}$; $E^\circ(Fe^{3+}/Fe^{2+}) = 0,77 \text{ V}$; $E^\circ(MnO_4^-/Mn^{2+}) = 1,5 \text{ V}$.

aide au calculs :

$$\frac{325}{278} = 7,41 \cdot 10^{-1} \quad \frac{278}{365} = 1,35$$

1- Teneur en élément azote d'un engrais

L'ammonitrate est un engrais azoté solide, bon marché, très utilisé dans l'agriculture. Il est vendu par sac de 500 kg et contient du nitrate d'ammonium $NH_4NO_3(s)$. Les indications fournies par le fabricant d'engrais sur le sac à la vente stipule que le pourcentage en masse de l'élément azote N est de 34,4%.

Afin de vérifier l'indication du fabricant, on dose les ions ammonium NH_4^+ présents dans l'engrais en introduisant dans un bécher $V_1 = 10,0 \text{ mL}$ d'une solution préparée en dissolvant 6,00 g d'engrais dans une fiole jaugée de $V_0 = 250 \text{ mL}$. Cette solution est dosée à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium $NaOH$ de concentration $c = 0,200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. A l'équivalence, le volume de soude ajouté V_E est de 14,0 mL.

1- Le nitrate d'ammonium est très soluble dans l'eau. Ecrire la réaction de dissolution correspondante.

2- L'ion ammonium NH_4^+ est-il un acide ou une base selon Brønsted ? Justifier la réponse.

3- Ecrire l'équation de la réaction correspondant au titrage.

4- La figure donnée en annexe (à rendre avec la copie) représente la courbe $pH = f(V_{NaOH})$. Indiquer une méthode graphique pour trouver le point d'équivalence. Donner les coordonnées de ce point.

5- Quelles sont toutes les espèces chimiques présentes dans le mélange réactionnel à l'équivalence? Justifier le pH basique de la solution en ce point.

6- Donner la formule littérale permettant de calculer la quantité de matière d'ions NH_4^+ dans la fiole jaugée en fonction des données. En déduire la quantité de nitrate d'ammonium présente dans cette fiole. Faire l'application numérique.

7- Calculer la masse d'azote (arrondie au gramme près) présente dans l'échantillon. Les indications du fabricant sont-elles correctes?

2- Pollution par les nitrates : dosage indirect des nitrates contenus dans une eau

Les nitrates ne sont dangereux pour la santé que s'ils sont en trop grande concentration dans l'eau. L'Organisation Mondiale de la Santé préconise, pour une personne, de ne pas consommer plus de 3,65 mg d'ions nitrate par kilogramme de masse corporelle et par jour. La législation française impose donc une teneur inférieure à $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ dans les eaux de consommation. Des analyses sont effectuées régulièrement pour vérifier la potabilité de l'eau, en particulier la teneur en ions nitrates.

Principe du dosage :

Lors du dosage indirect, on ajoute un excès de sel de Mohr, de formule $Fe(SO_4)_2(NH_4)_2 \cdot 6H_2O_{(s)}$, à un volume connu d'eau. Dans le sel de Mohr, le fer est à l'état d'oxydation $+II$.

Les ions $Fe^{2+}_{(aq)}$ en excès sont ensuite dosés par des ions permanganate MnO_4^- . La concentration en nitrate dans l'eau s'en déduit.

Protocole expérimental du dosage :

Pour effectuer ce dosage, on introduit dans cet ordre, dans un erlenmeyer, $V_0 = 50,0 \text{ mL}$ d'eau, puis 10 mL de solution d'acide sulfurique H_2SO_4 à $5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $V_1 = 100,0 \text{ mL}$ d'une solution aqueuse de sel de Mohr de concentration molaire $c_1 = 1,00 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. Après 45 min de chauffage au bain-marie, on dose ensuite les ions $Fe^{2+}_{(aq)}$ en excès à l'aide d'une solution de permanganate de potassium $KMnO_4$ de concentration $c_2 = 3,00 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On repère l'équivalence grâce au changement de couleur du mélange réactionnel, et on trouve un volume équivalent $V = 11,0 \text{ mL}$ pour l'eau analysée.

8- Ecrire les deux demi-équations d'oxydo-réduction des couples $NO_3^-/NO_{(g)}$ et $Fe^{3+}/Fe^{2+}_{(aq)}$.

9- En déduire l'équation de la réaction d'oxydo-réduction ayant lieu dans l'erlenmeyer avant le dosage. Justifier le fait que cette réaction est quasi-totale.

10- En déduire une relation entre la quantité de matière de Fe^{2+} restants présente dans l'erlenmeyer et les quantités de matière initiales des réactifs.

11- Ecrire la réaction du dosage des ions $Fe^{2+}_{(aq)}$ par les ions permanganates.

12- Donner l'expression littérale permettant de calculer la quantité d'ions NO_3^- présents dans l'échantillon d'eau. Le calcul donne $2,78 \cdot 10^{-5}$ moles d'ions NO_3^- .

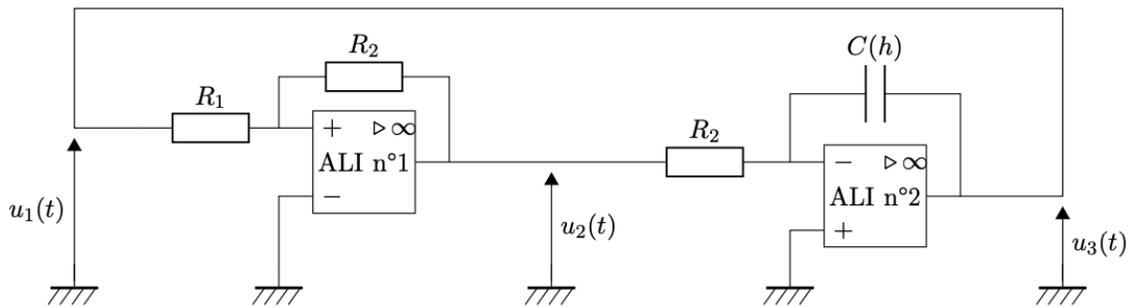
13- Peut-on considérer que l'eau dosée soit considérée comme potable ?

14- Quel volume de cette eau un enfant de 35 kg peut-il boire par jour sans préjudices pour sa santé ?

Partie Physique

I- Conditionnement d'un pluviomètre

Un pluviomètre est constitué d'un condensateur cylindrique dont l'espace inter-armature peut se remplir d'eau. La modification de la permittivité diélectrique de l'isolant change la valeur de la capacité du condensateur, notée $C(h)$ avec h la hauteur d'eau dans le pluviomètre. Pour mesurer la capacité électrique $C(h)$ du pluviomètre, ce dernier est inséré dans le multivibrateur astable présenté à la figure suivante, constitué de deux amplificateur linéaires intégrés (ALI). Nous allons montrer que la période des tensions électriques dans ce montage est proportionnelle à la capacité du pluviomètre.



On suppose que les deux ALI de ce montage sont idéaux et alimentés par une tension continue. On note $\pm V_{sat}$ leur tension de saturation.

1. Rappeler les valeurs des courants de polarisation, de l'impédance d'entrée, de l'impédance de sortie, et du gain statique pour un ALI réel.

On étudie tout d'abord la première partie du montage, comprise entre les tensions $u_1(t)$ et $u_2(t)$ sur la figure ci-dessus.

2. Justifier que l'ALI $n^\circ 1$ fonctionne en régime saturé.
3. Exprimer le potentiel de l'entrée non-inverseuse de l'ALI $n^\circ 1$ en fonction de R_1 , R_2 , $u_1(t)$ et $u_2(t)$.
4. En supposant que $u_2(t) = +V_{sat}$, déterminer la tension seuil U_1^- correspondant au basculement de l'ALI $n^\circ 1$.
5. En supposant que $u_2(t) = -V_{sat}$, déterminer la tension seuil U_1^+ correspondant au basculement de l'ALI $n^\circ 1$.

On étudie maintenant la seconde partie du montage, comprise entre les tensions $u_2(t)$ et $u_3(t)$ sur la figure ci-dessus.

6. Justifier que l'ALI $n^\circ 2$ fonctionne en régime linéaire.
7. Montrer que la tension $u_2(t)$ peut s'exprimer sous la forme :

$$u_2(t) = -k \frac{du_3}{dt}$$

avec k une constante positive que l'on exprimera en fonction des composants du montage.

On étudie enfin le montage dans son ensemble . On suppose que le potentiel en sortie de l'ALI $n^\circ 1$ bascule à $+V_{sat}$ à l'instant $t = 0$, les tensions vérifient donc : $u_2(t = 0^+) = +V_{sat}$ et $u_3(t = 0^+) = U_1^+$.

8. Déterminer l'expression de la tension $u_3(t)$, tant que l'ALI $n^\circ 1$ n'a pas basculé, en fonction du temps t , de la tension de saturation V_{sat} et des composants du montage.
9. Exprimer l'instant t_1 , où le potentiel en sortie de l'ALI $n^\circ 1$ bascule à $-V_{sat}$, en fonction des composant du montage.
10. Déterminer l'expression de la tension $u_3(t)$, après le basculement de l'ALI $n^\circ 1$, en fonction du temps t , de la tension de saturation V_{sat} et des composant du montage.

11. Exprimer l'instant t_2 , où le potentiel en sortie de l'ALI $n^\circ 1$ bascule à $+V_{sat}$, en fonction des composant du montage.
12. Représenter graphiquement l'évolution des tensions $u_2(t)$ et $u_3(t)$ entre les instants $t = 0$ et $t = t_2$.
13. Exprimer la période T des oscillations de ces tensions en fonction des composants du montage.

II- Montage à ALI

Sur les différentes figures, l'ALI sera représenté par un triangle. Les parties II-1. et II-5. sont indépendantes.

II-1 Etude d'un dipôle

On considère le circuit de la figure 1 dans lequel l'ALI est supposé idéal.

1. Dans l'hypothèse d'un fonctionnement en régime linéaire, déterminer l'impédance d'entrée $Z_e = \frac{V_e}{I_e}$ du circuit de la figure 1. Tracer la caractéristique $V_e = f(i_e)$ en régime linéaire : on exprimera les limites du domaine de validité de V_e en fonction de V_{sat} , R_1 , R_2 et R_3 .

Préciser les valeurs I_1 et I_2 de I_e correspondant aux valeurs limites de V_e .

2. Compléter la caractéristique $V_e = f(I_e)$ du circuit de la figure 1. dans les régions qui correspondent à un fonctionnement non-linéaire de l'ALI. On donnera l'expression de V_e en fonction de I_e lorsque I_e varie au-delà des valeurs I_1 et I_2 précédemment déterminées. On précisera la valeur des pentes sur chaque partie.

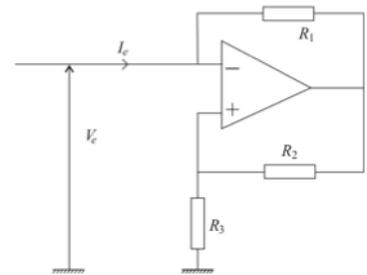


FIGURE 1 – Montage à amplificateur

II-2 Visualisation expérimentale de la caractéristique du dipôle

On considère à présent le montage de la figure 2. Ce dernier est celui de la figure 1 auquel on a rajouté une résistance R_g et un générateur de fonction idéal qui délivre une tension $E(t)$.

Lorsque la tension du générateur est continue, $E(t) = E_0 = cste$, le couple (V_e, I_e) prend alors la valeur (V_{e0}, I_{e0}) . Ce point de la caractéristique $V_e = f(I_e)$ est appelé *point de fonctionnement* du circuit.

L'ALI est encore supposé idéal.

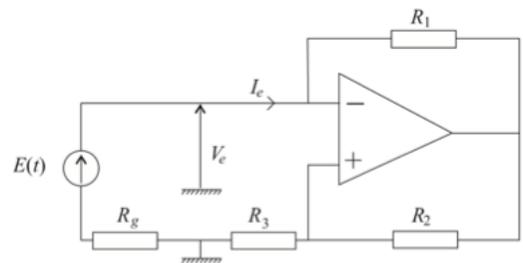


FIGURE 2 – Montage avec entrée

3. Indiquer comment on pourrait visualiser la caractéristique $V_e = f(I_e)$ à l'oscilloscope à l'aide du montage de la figure 2. Préciser les branchements et les difficultés.

4. Dans le cas $E_0 = 0\text{ V}$, quelle est l'autre relation que l'on peut écrire entre V_e et I_e ? Représenter cette courbe sur le même graphe que celui de la question 2.

En déduire les différentes possibilités en fonction de R_g pour le point de fonctionnement du circuit dans le cas $E_0 = 0\text{ V}$.

II-3 Stabilité du point de fonctionnement

Lorsqu'on réalise expérimentalement le montage de la figure 2 avec $E = 0\text{ V}$ et $R_g < \frac{R_1 R_3}{R_2}$, on constate que le point de fonctionnement du montage se trouve arbitrairement soit en un point $M(I_{e01}, V_{e01})$ associé à

un courant I_{e01} négatif, soit en un point $P(I_{e02}, V_{e02})$ associé à un courant I_{e02} positif. Ces deux points sont distincts et présentent la propriété d'être symétriques l'un de l'autre par rapport à l'origine O du plan (I_e, V_e) .

5. Dans quel régime se trouve l'ALI si le point de fonctionnement du montage est situé en M ou en P ? On justifiera la réponse en représentant ces points sur la caractéristique.

Pour expliquer que les seuls points de fonctionnement accessibles soient les points M ou P lorsque $R_g < \frac{R_1 R_3}{R_2}$ et $E = 0V$, on ne peut plus supposer que l'ALI soit de gain infini. Dans le régime linéaire, on peut le modéliser par un amplificateur de différence dont la fonction de transfert harmonique s'écrit :

$$\frac{V_s}{\epsilon} = \frac{A_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}$$

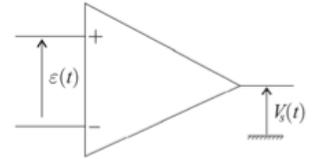


FIGURE 3 – ALI réel

Les courants d'entrée i_+ et i_- sont toujours considérés comme nuls.

6. Rappeler les ordres de grandeur des constantes A_0 et $f_0 = \omega_0/2\pi$ pour un ALI usuel. En utilisant la modélisation de l'ALI définie par la figure 3, établir l'équation différentielle vérifiée en régime linéaire par le courant $I_e(t)$ du montage de la figure 2 dans le cas où $E(t) = 0$. On utilisera le paramètre $\alpha = R_3/(R_2 + R_3)$.

7. En prenant en compte le fait que $\alpha A_0 \gg 1$, montrer que l'équation différentielle de la question 6 permet de justifier l'observation expérimentale relative aux points de fonctionnement.

8. Supposons que le point de fonctionnement du système soit M . Quelle est alors la valeur de la tension en sortie de l'ALI?

Exprimer l'entrée différentielle ϵ en fonction de V_{sat} , I_e et des valeurs des résistances. Que se passe-t-il si une perturbation du montage entraîne une augmentation de I_e ? Pour quelle valeur de I_e la sortie de l'ALI va-t-elle basculer?

II-4 Réalisation d'un oscillateur

L'ALI est à nouveau supposé idéal et en régime linéaire. On adjoint maintenant au circuit de la figure 1 une résistance R , un condensateur C et une bobine idéale d'inductance L pour obtenir le montage de la figure 4.

9. Ecrire l'équation différentielle régissant le courant I_e traversant la résistance R en supposant que le circuit de la figure 1 soit modélisable, en première approximation, par un dipôle d'impédance $Z_e = -\frac{R_1 R_3}{R_2}$.

10. A quelle condition le montage de la figure 4 est-il le siège d'une oscillation purement sinusoïdale? Que vaut alors la fréquence f_c d'oscillation? La condition précédente n'étant jamais rigoureusement réalisable, indiquer à quelle condition on constate effectivement le démarrage d'une oscillation.

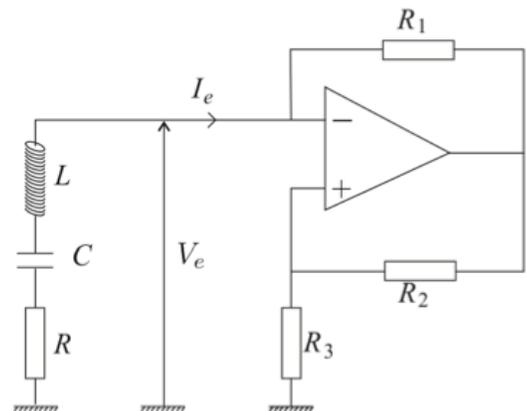


FIGURE 4 – Oscillateur

II-5 Stabilisation de l'amplitude des oscillations

11. On considère encore le montage de la figure 4. Dans ce cas, la bobine est assimilée à une inductance idéale. Montrer que l'équation différentielle vérifiée par I_e peut se mettre sous la forme :

$$\left\{ L \frac{d^2 I_e}{dt^2} + R_T \frac{dI_e}{dt} + \frac{1}{C} I_e = 0 \right\}$$

Dans quel type d'oscillations se trouve l'amplitude du courant I_e si $R_T < 0$?

12. On constate expérimentalement que sous la condition $R_T < 0$, une oscillation d'amplitude constante apparaît après un régime transitoire. Quelle est l'origine physique de la limitation de l'amplitude des oscillations ? Cette limitation apparaît-elle dans l'équation différentielle de la question 12 ?

13. On suppose maintenant que la sortie de l'ALI est saturée et vaut $\pm V_{sat}$. Quelle est alors la nouvelle équation différentielle vérifiée par l'intensité I_e ? Que peut-on dire de l'évolution de I_e dans ce cas ?

III - Gel d'un lac en hiver

Nous sommes en hiver et la température extérieure est de -10°C ; le lac de Joux gèle et devient la plus grande patinoire naturelle d'Europe.

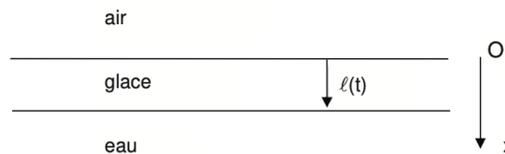


On se propose de modéliser la croissance de la couche de glace à la surface du lac, en régime quasi-stationnaire. On note $H = 30\text{ m}$ la profondeur du lac, et $S = 10\text{ km}$ sa surface.

On suppose que l'eau est en permanence à la température de fusion $T_e = 273\text{ K}$.

L'air au-dessus du lac est à la température constante et uniforme $T_a = 263\text{ K}$ et à la pression atmosphérique $P_0 = 1\text{ bar}$.

Libre de glace à l'instant $t = 0$, le lac se couvre progressivement d'une couche de glace dont l'épaisseur à l'instant t est $l(t)$; comme le montre la figure suivante, la position d'un point du lac est repérée par son abscisse x , l'axe Ox étant vertical descendant et l'origine O étant au niveau de la surface du lac.



Les caractéristiques de la glace sont les suivantes :

- masse volumique $\rho = 990\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- conductivité thermique $\lambda = 2,1\text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.
- enthalpie massique de fusion (à $T_e = 273\text{ K}$) $\Delta h_{fus} = 335\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- capacité thermique massique $c_g = 2,1\text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

On fait les deux hypothèses suivantes relatives aux transferts thermiques convectifs :

- Le transfert thermique par convection à l'interface glace-air, pour une surface S de glace, pendant la durée dt , est donné par la relation $\delta Q_c = h(T_0(t) - T_a) \cdot S \cdot dt$, où $T_0(t) = T(x=0, t)$ est la température de la glace en $x=0$. La température T_0 est comprise entre T_a et T_e ($T_a < T_0 < T_e$) de sorte que ce transfert s'effectue de la glace vers l'air. On donne $h = 42 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

- Le transfert thermique par convection à l'interface eau-glace est négligé, de sorte que la température à cette interface est constamment à la température de l'eau : $T(x=l, t) = T_e$.

1. Etablir l'équation de diffusion thermique dans la glace :

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \mu \cdot c_g \frac{\partial T}{\partial t}$$

2. Dans l'hypothèse où $T_0(t)$ varie lentement (régime quasi-stationnaire), justifier que la température $T(x)$ dans la glace (pour x variant de 0 à l) peut s'écrire sous la forme : $T(x) = ax + b$ où les constantes a et b sont à exprimer en fonction de T_0 , T_e et de l .

3. Le gel de l'eau induit un transfert thermique de l'eau vers l'air. Que vaut ce transfert thermique massique q lors du gel de 1 kg d'eau ?

4. Que vaudrait le transfert thermique Q cédé par l'eau lors du gel de la totalité du lac ? On donnera le résultat sous forme d'une puissance de 10.

5. Entre les dates t et $t + dt$, $l(t)$ varie de dl . Exprimer, pour cet intervalle de temps dt , le transfert thermique δQ_1 cédé par l'eau lors de sa solidification, en fonction notamment de q .

6. Exprimer, pour ce même intervalle de temps, le transfert thermique conductif δQ_2 dans la couche de glace du bas vers le haut, en fonction notamment de la différence ($T_e - T_0(t)$).

7. Calculer le rapport $l_0 = \frac{\lambda}{h}$ en précisant son unité.

8. La continuité du flux thermique à l'interface glace-air impose : $\delta Q_c = \delta Q_2$. En déduire l'expression de $T_0(t)$ en fonction de T_e , T_a , l_0 et de $l(t)$.

9. La continuité du flux thermique à l'interface eau-glace impose : $\delta Q_2 = \delta Q_1$. En déduire que $l(t)$ vérifie l'équation différentielle de la forme suivante :

$$\frac{dl}{dt} + \frac{l}{l_0} \frac{dl}{dt} = v_0$$

où v_0 est une constante homogène à une vitesse, que l'on exprimera en fonction de h , μ , q , T_e et T_a .

10. Intégrer l'équation précédente et montrer que $l(t)$ vérifie une équation du second degré.

11. En déduire l'expression de $l(t)$ tant que le lac n'est pas gelé dans sa totalité.

12. En fonction de l_0 et v_0 , exprimer un temps caractéristique τ de l'évolution de $l(t)$, et en donner un ordre de grandeur sachant que v_0 est de l'ordre de $10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

13. En fonction de l_0 , λ , c_g et μ , exprimer un temps caractéristique τ' de la diffusion dans la glace sur la longueur l_0 , et en donner un ordre de grandeur. Conclure sur l'hypothèse du régime quasi-stationnaire faite à la question 5.

IV - Transport d'eau de chauffage dans un pipeline

Pour assurer la quasi-totalité du chauffage urbain l'Islande utilise l'eau chaude contenue dans des cavités impénétrables souterraines. Après pompage il y a transport de ces eaux chaudes jusqu'aux zones habitées par pipelines.

Aide aux calculs : $\ln(4/3) \approx 0,3$.

Donnée : $\vec{\text{grad}}(T) = \frac{\partial T}{\partial r} \vec{e}_r + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} \vec{e}_\theta + \frac{\partial T}{\partial z} \vec{e}_z$. en coordonnées cylindriques.



On se propose ici une solution d'isolation thermique. Le pipeline est une canalisation cylindrique d'axe Oz , de rayon intérieur R_i et de longueur $L \gg R_i$. L'eau chaude y circulant a une température T_i uniforme. La canalisation est recouverte d'une couche d'isolant, matériaux homogène d'épaisseur e , de conductivité thermique λ et de capacité thermique massique c . On adopte le modèle suivant :

- i- seule la conduction radiale, dans la direction perpendiculaire à Oz est prise en compte ;
- ii- la conduction radiale ne s'opère que dans la couche d'isolant pour $r > R_i$;
- iii- on néglige l'épaisseur de la paroi du pipeline, alors $T(R_i^-) = T(R_i^+) = T_i$;
- iv- la paroi extérieure de l'isolant est en contact avec l'air extérieur à température T_0 .

1- Rappeler la loi de Fourier en donnant les noms de grandeurs qui y figurent. Quelle est leur signification physique ? Préciser le rôle du signe dans cette loi.

On suppose le régime stationnaire établi.

2- Justifier que le flux thermique Φ qui traverse un cylindre de rayon $R_i < r < R_i + e$ et de longueur L est indépendant de r .

3- Exprimer le flux thermique Φ en fonction des données. En déduire la loi de température $T(r)$ en fonction de Φ .

Donnée : $\vec{\text{grad}} T = \frac{\partial T}{\partial r} \vec{e}_r + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} \vec{e}_\theta + \frac{\partial T}{\partial z} \vec{e}_z$ en coordonnées cylindriques.

4- Définir la résistance thermique R_{th} de la couche d'isolant et l'exprimer en fonction de λ , R_i , e et L .

5- Faire l'application numérique pour 1 m de pipeline avec les valeurs $e = 10$ cm, $R_i = 30$ cm, $\lambda = 0,25$ W.K⁻¹.m⁻¹. On donne $\ln(4/3) \approx 0,3$.

On considère maintenant que l'eau chaude est en translation par rapport au tuyau : un phénomène de conducto-convection se produit en $r = R_i^-$ avec un coefficient de Newton $h = 50$ W.K⁻¹.m⁻². De même en $r = (R_i + e)^+$, on tient compte du phénomène conducto-convectif avec l'air en prenant $h' = 10$ W.K⁻¹.m⁻². Le phénomène de conducto-convection est décrit par la loi de Newton qui donne un flux :

$$\varphi_{cc} = h(T_{solide} - T_{fluide}) \cdot S_{contact}.$$

- 6- Tracer l'allure du profil de température $T(r)$ entre R_i^- et $(R_i + e)^+$.
- 7- Déterminer l'expression des deux résistances associées à la conducto-convection. Faire l'application numérique pour $L = 1$ m
- 8- Quel est le schéma électrique équivalent? Quelle est la conductance G_{lin} thermique par unité de longueur de tuyau?
- 9- Estimer un ordre de grandeur de G_{lin} .

NOM Prénom _____

Annexe

Chimie de l'azote, partie 1-, Question 4-

