Devoir surveillé 3

L'emploi des calculatrices personnelles est interdit.

Instructions générales

Les candidats sont invités à porter une attention particulière à la rédaction. 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 encadrés et non justifiés ne seront pas pris en compte.

Toute application numérique ne comportant pas d'unité ne donnera pas lieu à attribution de points.
Le candidat prendra soin de bien numéroter les questions et d'y répondre dans l'ordre sur sa copie.

Si au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

ATTENTION :
- La rédaction doit être faite à l'encre noire ou bleue. Les couleurs doivent être réservées à l'encadrement des résultats et/ou les schémas.
- Les encres vertes et violettes sont interdites.
- Sont interdits également : les stylos plumes, les correcteurs type « Typex » ou « blanco », les stylos à friction.

Nous suivrons au cours de ce problème le passage d'un patient dans un hôpital où il a rendez-vous pour réaliser un électrocardiogramme. Le patient arrive dans un premier temps dans la salle d'attente de l'hôpital, dont nous étudierons le chauffage. Lors de son attente, le patient achète un jus de fruit au distributeur automatique de la salle d'attente. Nous étudierons son fonctionnement, ainsi que le conservateur alimentaire se trouvant dans le jus. Puis, nous étudierons l'activité électrique du cœur qui sera relevée lors de l'examen. Enfin, en sortant de son examen, la température extérieure ayant bien baissé, le patient décide de se réchauffer les mains grâce à des chaufferettes, dont nous étudierons la composition.

Aides aux calculs :		
Partie I		
$\frac{1}{2,5} = 0,4$	$\frac{5}{3,4} = 1,5$	$\frac{1}{6,8} = 0,15$
$\frac{1,5 \times 3,5}{3,65} = 1,4$	$\frac{2,5}{1,4} = 1,8$	$\frac{2}{3,4} = 0,6$
$1,2 \times 2,5 = 3,0$		
Partie II		
$\frac{1,35}{3,0} = 0,45$	$\frac{2,71}{5,2} = 0,52$	$1,35 \times 1,05 = 1,42$
$3,08 \times 8,31 = 25,6$		
Partie IV		
$136 \times 12 = 1632$	$28 \times 6 = 168$	

I) Dimensionnement du chauffage de la salle d'attente de l'hôpital

I.1) Equation de la diffusion thermique dans une paroi solide

Soit le parallélépipède représenté sur la Figure 1. On considère le problème unidimensionnel suivant l'axe (Ox) (toutes les grandeurs ne dépendant a priori que de x, éventuellement du temps t et sont uniformes sur toute section orthogonale à (Ox)).

On suppose qu'un flux thermique traverse ce volume. L'épaisseur de la paroi (suivant (Ox)) est e et sa section S. On a également représenté une petite tranche comprise entre x et $x + dx$.

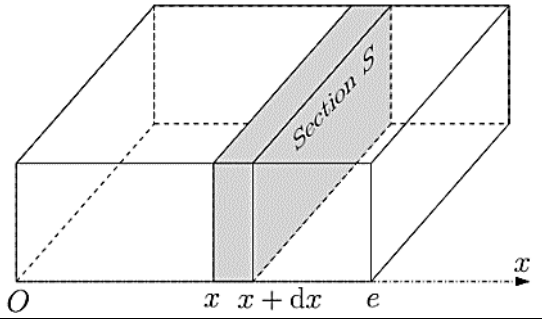


Figure 1

Les notations utilisées sont :
- masse volumique du matériau ρ ;
- capacité thermique massique c ;
- conductivité thermique λ ;
- vecteur densité de flux thermique $\vec{j}(x,t) = j(x,t)\overrightarrow{u_x}$;
- champ de température dans le parallélépipède $T(x,t)$.

1) Exprimer le transfert thermique δQ_{in} entrant de la tranche d'épaisseur dx pendant la durée dt en fonction de $\frac{\partial j}{\partial x}$ et des données.

2) Exprimer la variation d'enthalpie dH de cette tranche pendant cette même durée dt au cours de laquelle la température varie de dT.

3) En appliquant un résultat de la thermodynamique que l'on rappellera, en déduire que :

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\partial j}{\partial x}$$

4) Rappeler l'expression de la loi de Fourier (dans ce cas particulier unidimensionnel).

On peut déduire de ce qui précède l'équation dite de la chaleur ou de la diffusion thermique :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

5) Donner, en le justifiant à partir des résultats des questions 3 et 4, l'expression de D en fonction des données.

I.2) Régime stationnaire

Dans cette sous-partie le système est en régime stationnaire. On suppose que :

$$\begin{cases} T(x=0) = T_1 \\ T(x=e) = T_2 \end{cases}$$

6) Déterminer l'expression de $T(x)$.

7) En déduire l'expression de la densité de flux thermique $j(x)$, ainsi que la puissance thermique P_{th} traversant une section quelconque de surface S orthogonale à (Ox) et orientée dans le sens des x positifs. Que peut-on dire du champ $\vec{j}(x)$ dans le volume étudié ?

8) Définir la résistance thermique R_{th} du volume et l'exprimer en fonction de λ, S et e.

I.3) Loi de Newton

On suppose qu'en plus des phénomènes purement diffusifs s'ajoutent des phénomènes conducto-convectifs aux interfaces paroi / fluide (air) ; pour simplifier on ne les prendra en compte qu'en $x = e$.

La modélisation de ces phénomènes par la loi de Newton consiste à supposer qu'il existe une discontinuité de température entre la paroi et le fluide et un flux thermique entre les deux de sorte que

$$\overrightarrow{j_{cc}} = h\left(T_{2,p} - T_{2,f}\right)\overrightarrow{u_x}$$

Où $\overrightarrow{j_{cc}}$ est la densité de flux conducto-convectif sortant de la paroi, h le coefficient de conducto-convection de l'interface paroi/fluide, $T_{2,p}$ la température en $x = e$ de la paroi et $T_{2,f}$ la température de l'air côté droit.

9) Quelle est la puissance thermique P_{th} échangée par conducto-convection à travers la surface S en $x = e$?

10) En déduire l'expression de la résistance thermique R_{cc} équivalente à ajouter en série à R_{th} pour modéliser la conducto-convection en $x = e$.

I.4) Chauffage de la salle d'attente

Cette partie est moins guidée que le reste du sujet et fait plus appel à l'analyse des documents et à un raisonnement personnel construit. Le nombre de points attribué à cette partie tient compte de ces spécificités.

On considère des conditions hivernales. La température extérieure est constante égale à $T_{ext} = -5°C$. On cherche à estimer la puissance du chauffage P_{ch} nécessaire pour maintenir la température intérieure constante à $T_{int} = 20°C$.

On fait dans un premier temps les hypothèses suivantes :

- le régime est stationnaire ;
- les vitres et le reste des parois (latérales, sol et toit) sont constituées de plusieurs couches comme schématisé en Figure 2 ;
- les vitres sont par ailleurs le siège de phénomènes conducto-convectifs côté intérieurs (coefficient h_i) et côté extérieur (coefficient h_e) ;
- en outre, l'air intérieur est en permanence renouvelé par de l'air neuf de l'extérieur et ce avec un débit volumique D_V (Figure 3). La puissance thermique nécessaire pour l'amener de la température extérieure à la température intérieure s'écrit :

$$P_{air\ neuf} = \rho_{air} D_V c_p (T_{int} - T_{ext})$$

Où c_p est la capacité thermique massique à pression constante de l'air et ρ_{air} est la masse volumique de l'air considérée comme constante et uniforme.

11) Pourquoi les valeurs des coefficients conducto-convectif verre / air sont-elles différentes (h_i et h_e) pour l'intérieur et l'extérieur du complexe ?

12) On souhaite se placer dans un premier temps dans la situation la plus défavorable (celle qui nécessitera la plus grande valeur de P_{ch}). Doit-on supposer la salle d'attente pleine de monde ou vide (justifier) ?

13) On se place dans l'hypothèse de la question précédente.

a) Déterminer la résistance thermique d'une vitre, R_v, en tenant compte des phénomènes conductifs et convectifs.

b) Déterminer la résistance thermique équivalente à l'ensemble des vitres, $R_{v,tot}$.

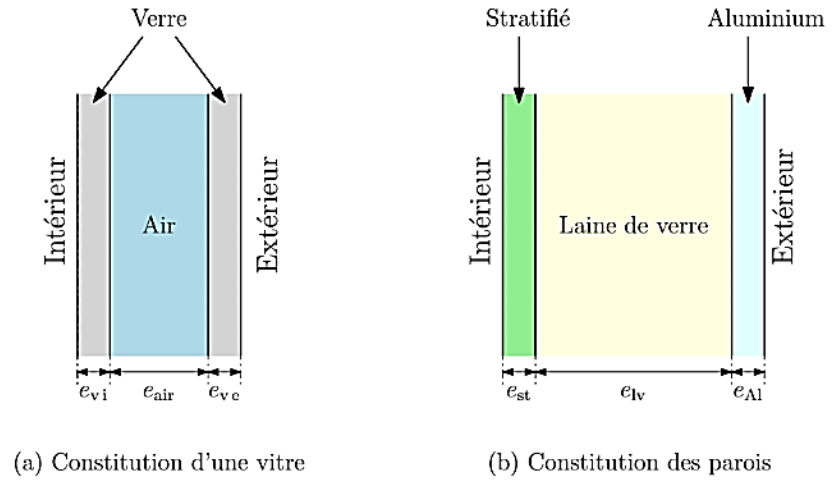
c) Quelle est la surface, S_p, des parois ? Faire l'application numérique.

d) Déterminer la résistance thermique équivalente à l'ensemble des parois, $R_{th,p}$.

e) Estimer alors la valeur de la résistance thermique équivalente totale de la salle (R_{tot}).

14) En précisant toutes les étapes du raisonnement et des calculs, estimer la valeur de P_{ch} permettant de maintenant la température intérieure constante.

15) Que devient cette valeur si on suppose la salle d'attente pleine ?



(a) Constitution d'une vitre (b) Constitution des parois

Figure 2. Constitution des parois et des vitres

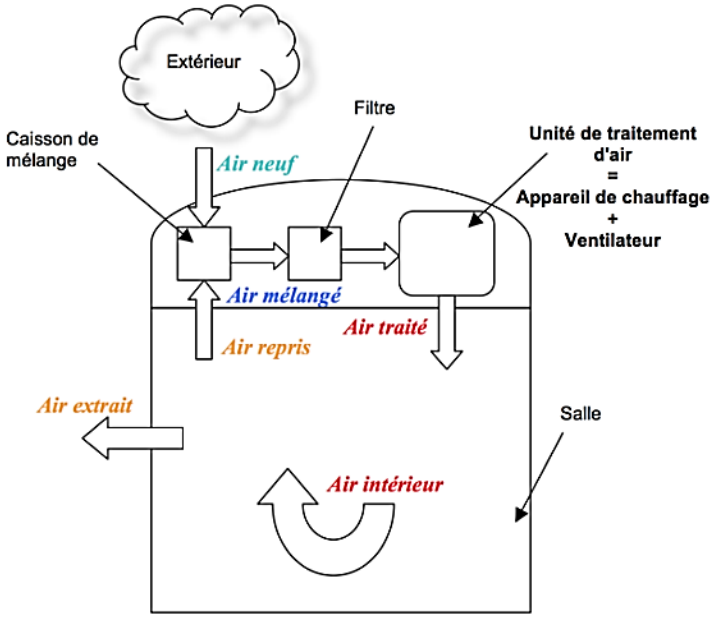


Figure 3. Circulation de l'air dans la salle d'attente

Données sur la salle d'attente	L (longueur)		20 m
	l (largeur)		10 m
	h (hauteur)		2,5 m
	e_{Al}		5 mm
	e_{lv}		25 mm
	e_{st}		5 mm
	Capacité maximum		50 personnes
Données sur les vitres	Nombre		10
	L_v (largeur)		1 m
	H_v (hauteur)		1 m
	e_{air}		10 mm
	e_{vi}		5 mm
	e_{ve}		5 mm
Conductivités thermiques	Aluminium	λ_{Al}	$250\ W.m^{-1}.K^{-1}$
	Laine de verre	λ_{lv}	$0{,}05\ W.m^{-1}.K^{-1}$
	Stratifié	λ_{st}	$1\ W.m^{-1}.K^{-1}$
	Air	λ_{air}	$0{,}05\ W.m^{-1}.K^{-1}$
	Verre	λ_v	$1\ W.m^{-1}.K^{-1}$
Masse volumique de l'air	ρ_{air}		$1{,}2\ kg.m^{-3}$
Puissance thermique dégagée par une personne	P_{pers}		50 W
Coefficient de conducto-convection côté intérieur	h_i		$10\ W.m^{-2}.K^{-1}$
Coefficient de conducto-convection côté extérieur	h_e		$25\ W.m^{-2}.K^{-1}$
Débit volumique de l'air neuf	D_V		$1800\ m^3.h^{-1}$
Capacité thermique masque à pression constante de l'air	c_p		$1000\ J.kg^{-1}.K^{-1}$
Données pour la partie I			

II) Distributeur automatique de boissons

II.1) Etude de la machine frigorifique

On considère une machine frigorifique constituée d'un compresseur, d'un condenseur, d'un détendeur et d'un évaporateur, dans lesquels circule un fluide frigorigène R134A.

16) Sur un schéma de principe, identifier les différents transferts énergétiques qui interviennent au sein de la machine entre les différents éléments schématisés en Figure 4 et donner leur signe.

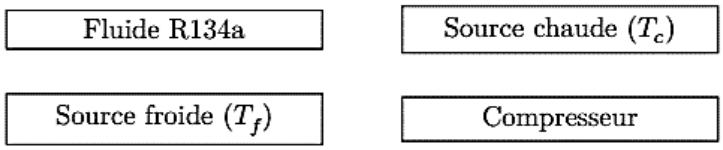


Figure 4

17) Quel est le rôle du condenseur et au contact de quel élément de la Figure 4 doit-il être mis ?

18) Quel est le rôle de l'évaporateur et au contact de quel élément doit-il être mis ?

19) Définir le coefficient de performance (COP) de cette machine puis montrer que le coefficient de performance de la machine de Carnot correspondante s'exprime sous la forme :

$$COP_{Carnot} = \frac{T_f}{T_c - T_f}$$

Pour toute la suite, on néglige toute variation d'énergie cinétique massique et d'énergie potentielle massique. De plus, on suppose un régime d'écoulement permanent au débit massique $D_m = 0{,}2\ kg.s^{-1}$.

Pour simplifier, on considère la compression adiabatique et réversible. Le détendeur D, calorifugé et sans parties mobiles, permet une chute de pression. L'évaporateur EV et le condenseur CD sont des échangeurs thermiques isobares. Les notations des états du fluide sont précisées sur la Figure 5.

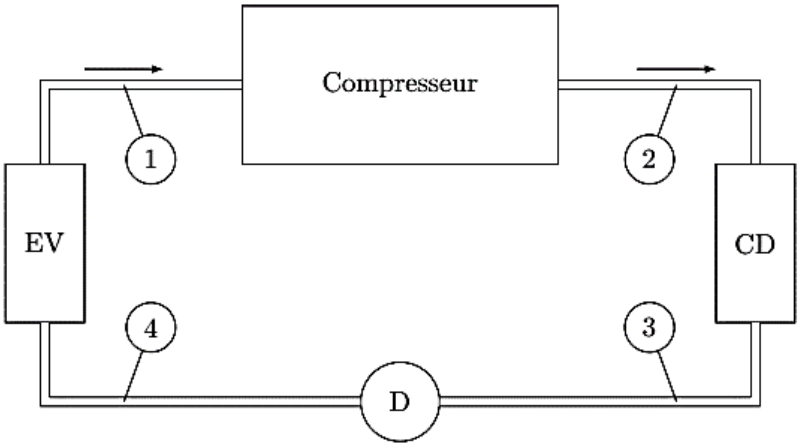


Figure 5

20) Rappeler l'expression du premier principe pour un kilogramme de fluide frigorifique en écoulement stationnaire unidimensionnel dans un système à une entrée et une sortie. On notera h l'enthalpie massique, w_i le travail indiqué massique reçu de la part des parties mobiles de la machine et q le transfert thermique massique reçu.

21) Montrer que le fluide subit une détente isenthalpique dans D.

L'annexe 1 (à rendre avec la copie) représente l'allure du cycle décrit par le fluide dans le diagramme dit « des frigoristes » : enthalpie massique h (en $kJ.kg^{-1}$) en abscisse, pression P (en bar) en ordonnée, avec échelle logarithmique. Aucune connaissance préalable de ce diagramme n'est requise.
Seul le point 1, à l'entrée du compresseur, est mentionné sur ce diagramme.

22) En repérant la courbe de saturation et les abaques de température, noter sur le diagramme les domaines où le fluide est à l'état liquide, vapeur sèche et vapeur-humide (ou mélange liquide-vapeur).

23) Dans quel sens est parcouru le cycle ? Justifier.

24) Quelle est la forme des isothermes à l'intérieur de la courbe de saturation ? Justifier.

25) Quelle est la forme des isothermes dans le domaine de la vapeur sèche ? Justifier lorsque l'on peut assimiler la vapeur sèche à un gaz parfait.

26) Porter le numéro de chaque état du fluide (2, 3 et 4) dans chaque case prévue.

27) Noter sur le diagramme, pour chacune des quatre transformations, la nature de la transformation et l'organe (compresseur, condenseur, détendeur et évaporateur) traversé dans le fluide.

28) Compléter le tableau de l'annexe 1 en s'aidant du diagramme.

29) Exprimer, puis calculer, le travail massique indiqué w_{ic} reçu par le fluide dans le compresseur.

30) Exprimer, puis calculer, le transfert thermique massique q_f reçu par le fluide dans l'évaporateur.

31) En utilisant le débit massique, exprimer puis calculer la puissance frigorifique P_f de cette machine.

32) Exprimer, puis calculer, le coefficient de performance de cette installation frigorifique. La comparer au coefficient de performance de la machine de Carnot correspondante et interpréter la différence observée.

33) On souhaite améliorer la puissance frigorifique de 5% en sous-refroidissant jusqu'à T'_3 le fluide lors de la condensation isobare. En déduire h'_3 et placer le point 3' sur le diagramme. Montrer alors que $T'_3 \approx 42°C$ et le sous-refroidissement $\Delta T = 6°C$.

II.2) Etude du conservateur agroalimentaire, l'acide benzoïque

L'acide benzoïque est un conservateur alimentaire ayant pour code E210. Un conservateur empêche la multiplication et le développement de certaines bactéries. Grâce aux additifs de conservation, les aliments ont des dates de péremption plus longues. L'acide benzoïque est notamment utilisé dans les jus de fruit pour lesquels les industriels préconisent une concentration d'acide benzoïque d'environ $0{,}3\ g.L^{-1}$.

On s'intéresse dans cette partie à la réaction de dissolution de l'acide benzoïque dans l'eau :

$$Ph-COOH_{(s)} = Ph-COOH_{(aq)} \qquad (II.1)$$

34) Exprimer la constante d'équilibre en fonction des activités des différentes espèces. Que valent ces activités ?

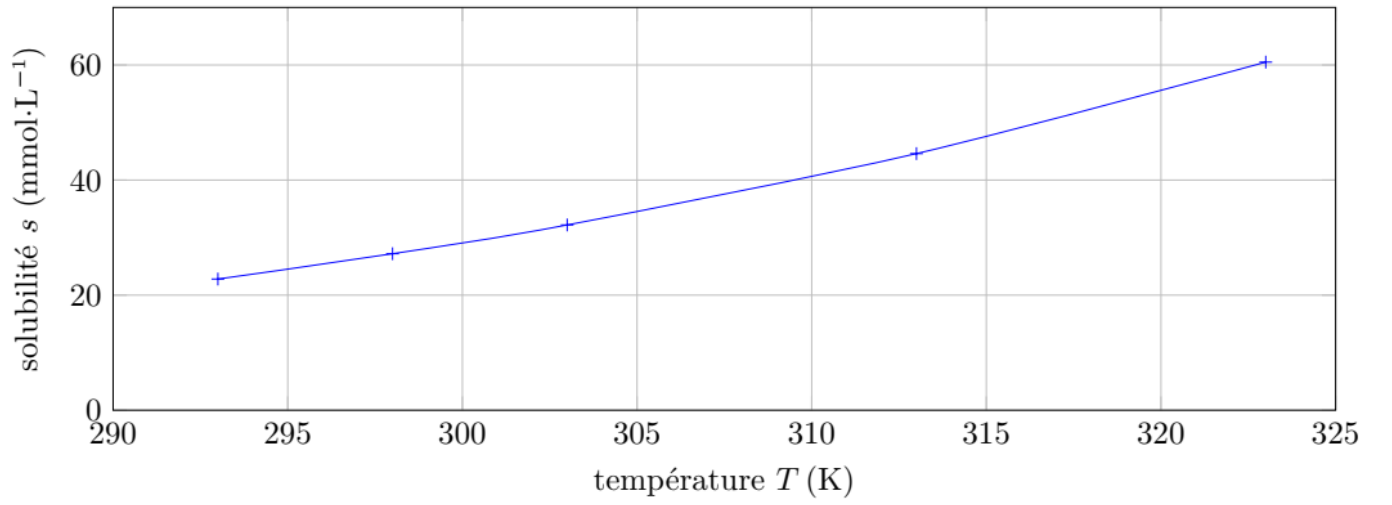


Figure 6. Influence de la température sur la solubilité de l'acide benzoïque

35) A 25°C, en s'aidant de la Figure 6, justifier que la préconisation d'une concentration en acide benzoïque de $0{,}3\ g.L^{-1}$ ne pose aux industriels aucun problème de dissolution de l'acide benzoïque.

36) Exprimer la constante d'équilibre K_1^0, de la réaction $(II.1)$ en fonction de la solubilité, s. Déterminer en justifiant le signe de l'enthalpie standard de réaction $\Delta_r H^0$.

37) En supposant l'enthalpie standard de réaction $\Delta_r H^0$ constante, montrer que :

$$ln(K^0) = cte - \frac{\Delta_r H^0}{RT}$$

A l'aide des différentes courbes de la figure B du document réponse (à rendre avec la copie), déterminer alors l'enthalpie standard de la réaction étudiée, $\Delta_r H^0$.

A 36°C, la constante d'équilibre de la réaction de dissolution de l'acide benzoïque vaut $3{,}94 \times 10^{-2}$. On ajoute de l'acide benzoïque solide dans de l'eau. On verse ensuite quelques millilitres d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium $(Na^+ + HO^-)$. L'acide benzoïque $Ph-COOH_{(aq)}$ réagit pour donner du benzoate de sodium $(Ph-COO^- + Na^+)$ suivant l'équation de la réaction :

$$Ph-COOH_{(aq)} + Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)} = Ph-COO^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)} + H_2O_{(l)} \qquad (II.2)$$

38) Comment varie la concentration de l'acide benzoïque en phase aqueuse lors de l'ajout de la solution d'hydroxyde de sodium ? En déduire le sens de déplacement de l'équilibre $(II.1)$.

Les valeurs dépendantes de la température sont fournies à 298 K.
Formules brutes du radical phényl $(Ph-)$: C_6H_5-
Masse molaire de l'acide benzoïque : $M_{C_7H_6O_2} = 122\ g.mol^{-1}$
Température : $T(K) = \theta(°C) + 273$
Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}31\ J.K^{-1}.mol^{-1}$
Relation de Van't Hoff :

$$\frac{dln\big(K(T)\big)}{dT} = \frac{\Delta_r H^0(T)}{RT^2}$$

Données de la partie II.2

III) Activité électrique du Coeur

Le coeur est un muscle qui se contracte de façon régulière. Cette contraction des muscles lui permet d'assurer la circulation sanguine dans tout le corps. On distingue deux types de tissus dans le coeur : le tissu nodal, responsable de l'élaboration et de la conduction de l'influx (activité électrique), et le tissu myocardique responsable de la contraction après stimulation par le tissu nodal.

Gradient en coordonnées sphériques :

$$\overrightarrow{gradV} = \frac{\partial V}{\partial r}\overrightarrow{u_r} + \frac{1}{r}\frac{\partial V}{\partial \theta}\overrightarrow{u_\theta} + \frac{1}{rsin\theta}\frac{\partial V}{\partial \varphi}\overrightarrow{u_\varphi}$$

Données de la partie III

III.1) Champ et potentiel électrostatiques

Dans un premier temps, on se propose d'étudier le champ électrique dû à la présence de charges ponctuelles avant de passer à la modélisation électrique du cœur.

39) Soit une charge ponctuelle $q > 0$ placée en un point O fixe. Donner l'expression du vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ et du potentiel électrostatique V créé par q en un point M quelconque de l'espace situé à une distance r de O. On suppose que le potentiel électrostatique est nul à l'infini.

40) Rappeler la définition d'une ligne de champ et d'une surface équipotentielle. Quelles sont-elles sur l'exemple précédent de la charge ponctuelle $q > 0$ située en O ? En faire une représentation dans un plan passant par O.

41) On considère deux charges fixes positionnées sur un axe (Oz) : une charge $-q < 0$ au point A d'abscisse $x = -a$ et une charge $q > 0$ au point B d'abscisse $x = a$. Faire un schéma. Déterminer le vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ et le potentiel électrostatique V au point O, milieu de $[AB]$.

Un dipôle électrique est constitué de deux charges $-q$ située en A et $+q$ située en B ; on lui associe un moment dipolaire électrique $\vec{p} = q\overrightarrow{AB}$, de norme $p = qd$ avec $d = AB$. On repère un point M quelconque de l'espace par $\vec{r} = \overrightarrow{OM}$ avec O le milieu de $[AB]$ (Figure 7). En coordonnées sphériques et à grande distance des deux charges, c'est-à-dire pour $r = OM \gg d$, on montre que le potentiel électrostatique V au point M s'crit :

$$V = \frac{pcos\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{\vec{p}\cdot\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$$

Ce potentiel électrostatique est associée à un champ électrostatique $\vec{E}$.

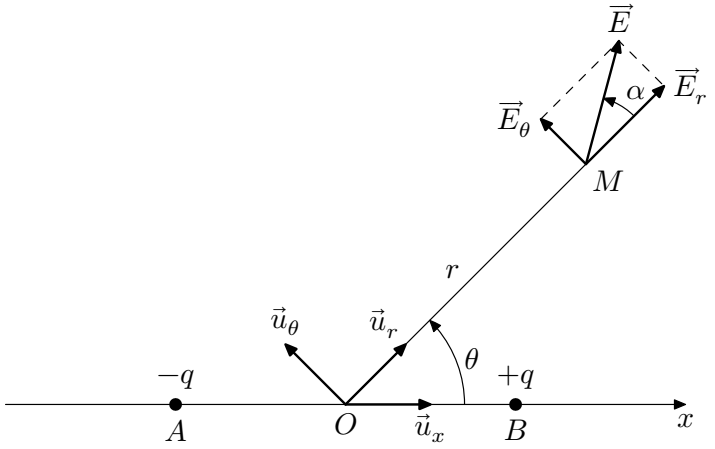


Figure 7. Dipôle électrique et coordonnées associées

42) Montrer que les composantes E_r et E_θ du champ électrostatique $\vec{E}$ à grande distance des deux charges ($r \gg d$) s'écrivent :

$$E_r = \frac{pcos\theta}{2\pi\varepsilon_0 r^3} \; et \; E_\theta = \frac{psin\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$$

43) Montrer qu'on obtient la relation suivante entre l'angle θ et l'angle α que fait le champ $\vec{E}$ avec l'axe (OM) :

$$tan\alpha = \frac{1}{2} tan\theta$$

44) Déterminer et dessiner le champ $\vec{E}$ pour $\theta = 0$ et $\theta = \frac{\pi}{2}$.

III.2) Activité cardiaque

L'enregistrement de l'activité cardiaque électrique au cours du temps est réalisée en mesurant une différence de potentiel entre deux points du corps. On appelle dérivation un système de deux électrodes exploratrices entre lesquelles on mesure une différence de potentiel. Dans l'étude des dérivations dites périphériques (ou des membres) les électrodes sont placées soit au poignet droit (point R) de potentiel V_R, soit au poignet gauche (point L) de potentiel V_L, soit à la jambe gauche (point F) de potentiel V_F. Par hypothèse, les points R, L et F sont aux sommets d'un triangle équilatéral (Figure 8). On définit enfin une électrode de référence au potentiel V_W constant dont on précise les caractéristiques ci-après.

Une dérivation unipolaire correspond à une différence de potentiel entre une électrode exploratrice et l'électrode de référence alors qu'une dérivation bipolaire correspond à une différence de potentiel entre deux électrodes exploratrices.

45) Combien peut-on construire de dérivation unipolaire ? de dérivation bipolaire ?

46) Quel intérêt y-a-t-il à associer ces deux types de dérivations ?

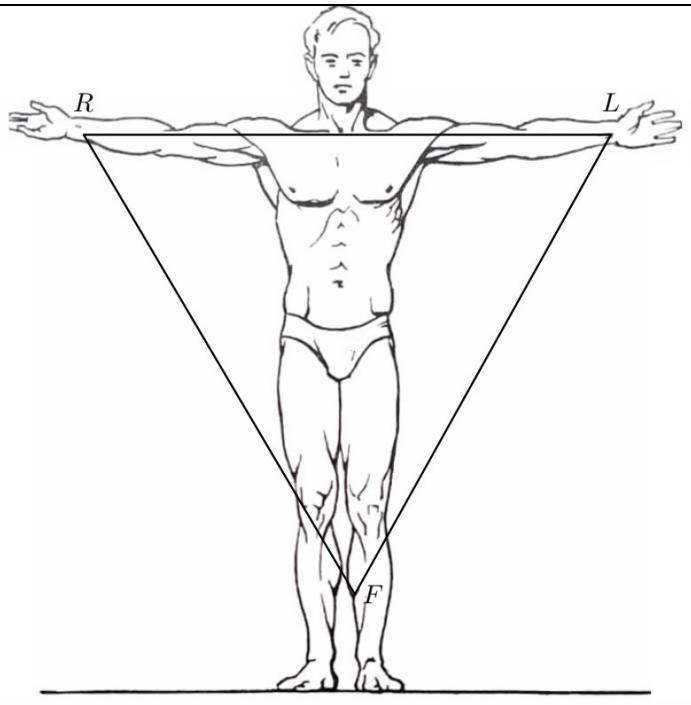


Figure 8. Dérivations périphériques

La théorie d'Einthoven permet d'expliquer les tracés observés dans les dérivations périphériques (enregistrement à grande distance du coeur).

- *Hypothèse* 1 : à chaque moment du cycle cardiaque le coeur est assimilable à un dipôle électrique dont le vecteur moment dipolaire $\vec{p}$ varie en module, direction et sens au cours du cycle cardiaque.
- *Hypothèse* 2 : l'origine de $\vec{p}$ peut être considérée comme fixe et correspond au centre électrique O du coeur.
- *Hypothèse* 3 : le centre de gravité du triangle équilatéral formé par R, L et F est occupé par le centre électrique O du cœur.

47) A l'aide de l'expression du potentiel créé par un dipôle donnée précédemment, exprimer les trois potentiels V_R, V_L et V_F en fonction, notamment, des distances $r_R = OR$, $r_L = OL$ et $r_F = OF$ et du vecteur moment dipolaire $\vec{p}$. On n'introduira pas de variables angulaires.

48) Qu'imposent les hypothèses 2 et 3 pour le calcul précédent ?

49) Que vaut $\overrightarrow{r_R} + \overrightarrow{r_L} + \overrightarrow{r_F}$? En déduire la possibilité de définir par le calcul une électrode de référence de potentiel V_W nul. On parle alors de borne centrale de Wilson. En pratique comment réaliser cette borne de Wilson ?

IV) Etude d'une « chaufferette »

Une chaufferette (Figure 9) est un petit appareil de chauffage (souvent portable) qui permet de se réchauffer. Les chaufferettes sont constituées d'une enveloppe plastique dans laquelle on trouve de l'acétate de sodium hydraté $(CH_3CO_2Na, xH_2O)_{(s)}$ et une pièce métallique fine en forme de lentille qui peut être tordue de manière réversible.

La chaufferette est initialement mise dans de l'eau bouillante jusqu'à ce que l'ensemble de l'acétate de sodium hydraté initialement solide $(CH_3CO_2Na, 3H_2O)_{(s)}$ soit transformé en liquide $\left(CH_3COO^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)} + 3H_2O_{(l)}\right)$.

La chaufferette est alors sortie hors de l'eau bouillante et laissée à refroidir à température ambiante. L'acétate de sodium hydraté reste alors liquide (phénomène de surfusion).

Lorsque la pièce métallique est déformée, l'acétate de sodium liquide se solidifie entraînant un échange d'énergie avec l'extérieur sous forme de transfert thermique. On cherche à déterminer l'enthalpie standard de fusion de l'acétate de sodium trihydraté.

Figure 9

IV.1) Première méthode : à partir des tables

La fusion de l'acétate de sodium trihydraté solide se fait selon la réaction suivante :

$$(CH_3CO_2Na, 3H_2O)_{(s)} = CH_3COO^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)} + 3H_2O_{(l)} \quad (IV.1)$$

50) A partir des données thermodynamiques, déterminer la valeur de l'enthalpie standard de la réaction de fusion $\Delta_r H_1^0$ du solide.

51) Que peut-on déduire du signe de cette grandeur ? Expliquer pourquoi la chaufferette est mis dans de l'eau bouillante pour transformer l'acétate de sodium hydraté en liquide.

IV.2) Deuxième méthode : par calorimétrie

Le contenu d'une chaufferette ($m = 136{,}0g$) sous forme liquide est placé dans un calorimètre à la température $T_i = 22{,}0°C$.

Un grain d'acétate de sodium solide $(CH_3CO_2Na, 3H_2O)_{(s)}$, de masse négligeable, est introduit et provoque la solidification brutale de la totalité de l'acétate de sodium selon la réaction :

$$CH_3COO^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)} + 3H_2O_{(l)} = (CH_3CO_2Na, 3H_2O)_{(s)} \quad (IV.2)$$

Lorsque l'équilibre thermique est atteint, la température du système est $T_f = 82{,}0°C$.

La pression reste constante au cours de l'expérience. On néglige les échanges thermiques avec l'extérieur.

On suppose que $\Delta_r H_1^0$ est indépendant de la température T.

Le calorimètre et ses accessoires ont une capacité thermique $C_{calo} = 28J.K^{-1}$.

On considère une suite de transformations pour le système {calorimètre et accessoires, acétate de sodium hydraté}

52) Exprimer l'enthalpie standard de la réaction $(IV.2)$ de solidification $\Delta_r H_2^0$ en fonction de $\Delta_r H_1^0$.

53) Que peut-on dire de la variation d'enthalpie ΔH_{tot} au cours de la transformation chimique du système {intérieur du calorimètre} ?

54) Exprimer la variation d'enthalpie ΔH_{calo} du système {calorimètre + accessoires} en fonction de C_{calo}, T_i et T_f.

55) Si la solidification s'effectue à température constante, que vaut la variation d'enthalpie ΔH_1 due uniquement à la réaction chimique ? On l'exprimera en fonction de m, $\Delta_r H_1^0$ et M, la masse molaire du solide.

56) Exprimer la variation d'enthalpie ΔH_2 du solide si sa température passe de T_i à T_f en fonction de T_i, T_f, m et c_p, sa capacité thermique massique.

57) En déduire l'enthalpie standard de fusion de l'acétate de sodium hydraté, $\Delta_r H_1^0$. Conclure.

- Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}31 J.K^{-1}.mol^{-1}$

	$CH_3CO_2Na_{(s)}$	$(CH_3CO_2Na, 3H_2O)_{(s)}$	$CH_3COO^-_{(aq)}$	H_2O	Na^+
Masses molaires en $g.mol^{-1}$	82,0	136,0		18,0	
Enthalpie standard de formation à 298 K en kJ.mol^{-1}		-1658	-500	-300	-240
Capacité thermique massique en $J.g^{-1}.K^{-1}$		2,0			

Données de la partie IV