

Devoir Surveillé 2

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.

Partie I - Utiliser une source d'énergie gratuite

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.

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.

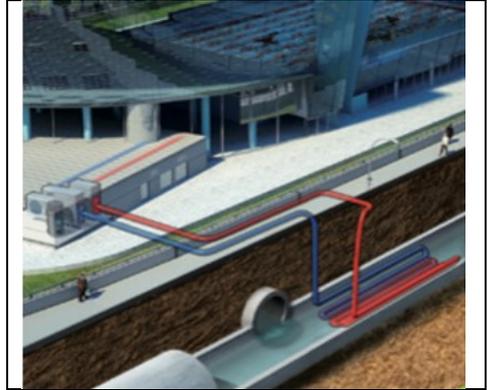


Figure 1

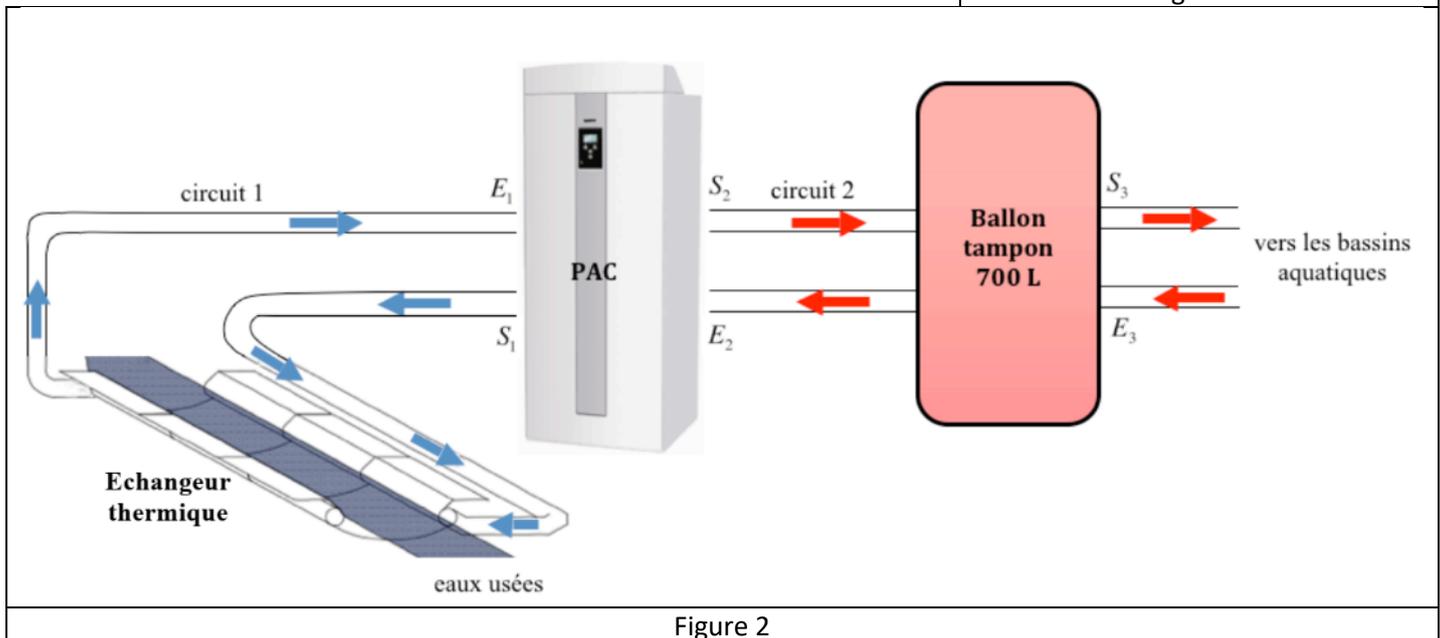


Figure 2

I.A) Dimensionnement du chauffage du complexe aquatique

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

Soit le parallélépipède représenté sur la Figure 3. 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 $x + dx$.

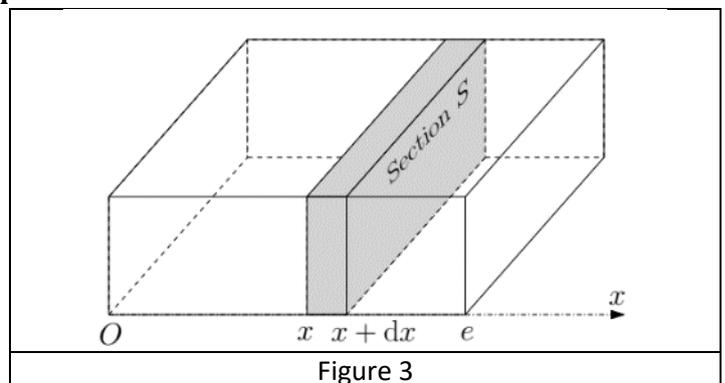


Figure 3

- Les notations utilisées sont :
- masse volumique du matériau ρ ;
 - capacité thermique massique c ;
 - conductivité thermique λ ;
 - vecteur densité de flux thermique $\vec{j}(x, t) = j(x, t)\vec{u}_x$;
 - 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 une relation entre $\frac{\partial j}{\partial x}$ et $\frac{\partial T}{\partial t}$.

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.A.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 .

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

$$\vec{j}_{cc} = h(T_{2,p} - T_{2,f})\vec{u}_x$$

Où \vec{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.A.3) Chauffage du complexe aquatique

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 un complexe dans des conditions hivernales. La température extérieure est constante égale à $T_{ext} = -4^\circ C$. On cherche à estimer la puissance du chauffage P_{ch} nécessaire pour maintenir la température intérieure constante à $T_{int} = 20^\circ C$.

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 4 ;

- 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 5). 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.

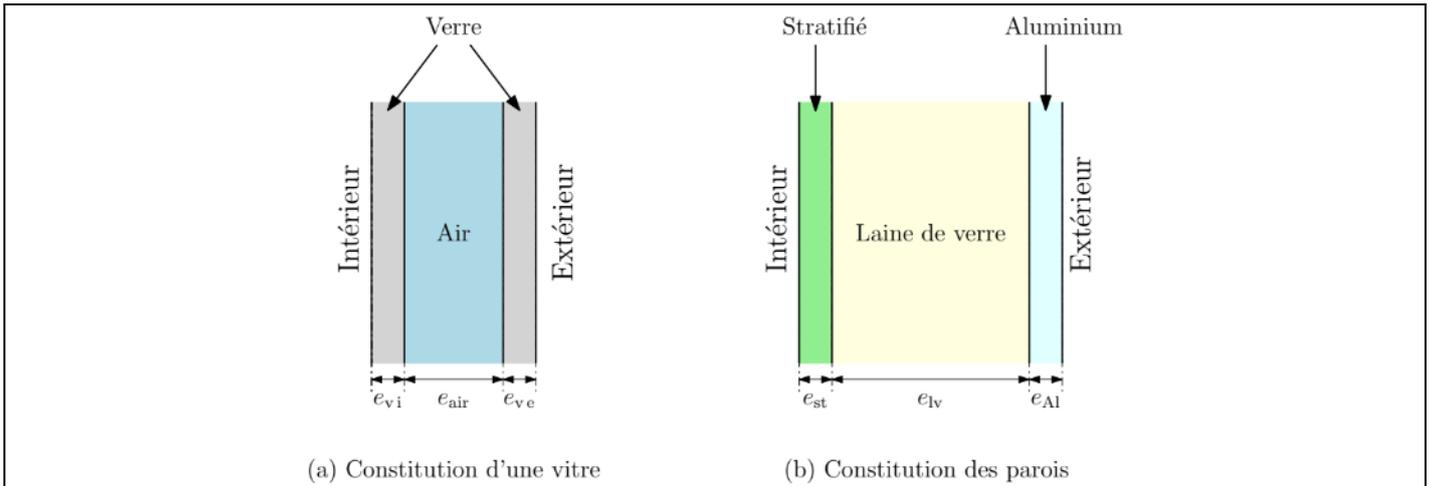


Figure 4. Constitution des parois et des vitres

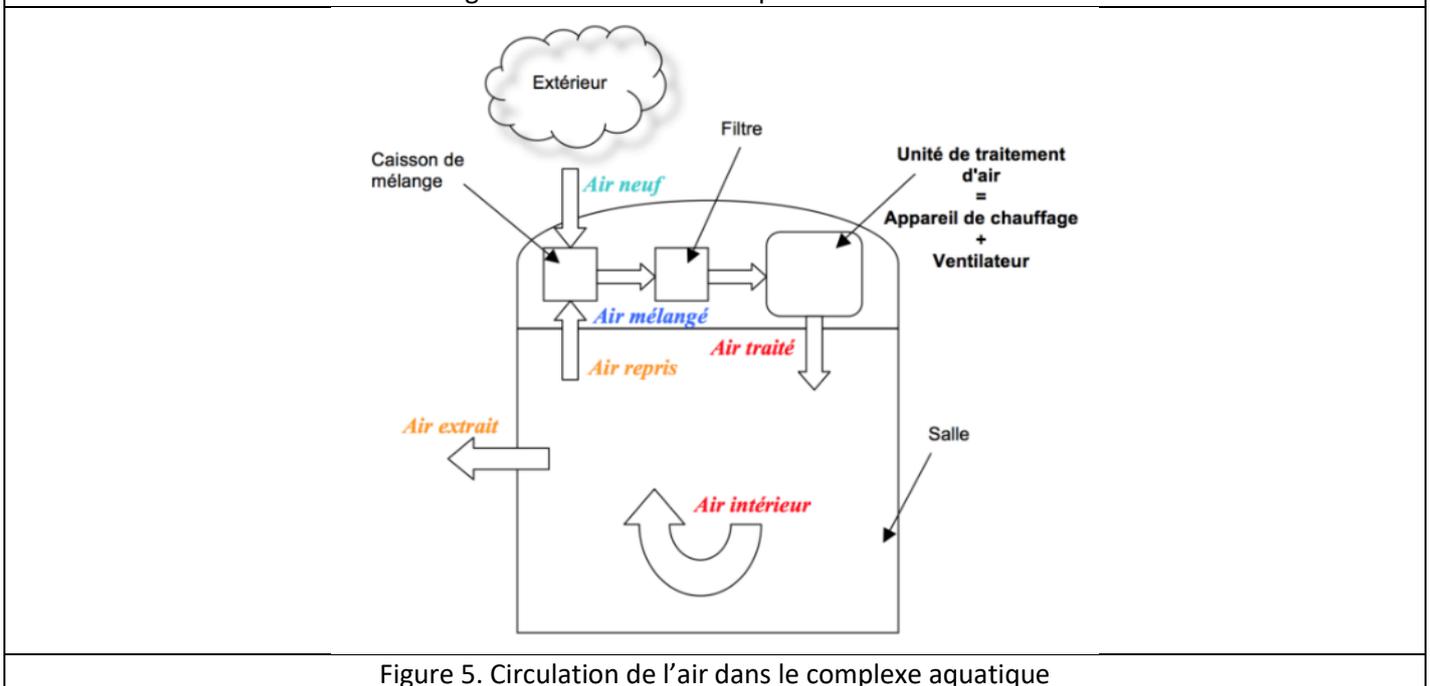


Figure 5. Circulation de l'air dans le complexe aquatique

- 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 piscine pleine de nageurs ou vide (justifier) ?
- 13) On se place dans l'hypothèse de la question précédente. En précisant toutes les étapes du raisonnement et des calculs, estimer la valeur de la résistance thermique équivalente totale du complexe (R_{tot}).
- 14) En précisant toutes les étapes du raisonnement et des calculs, estimer la valeur de P_{ch} permettant de maintenir la température intérieure constante.
- 15) Que devient cette valeur si on suppose la piscine pleine de nageurs ?

Données :

Complexe aquatique	L (longueur)	50
	l (largeur)	30
	h (hauteur)	5
	e_{Al}	5 mm
	e_{lv}	25 mm
	e_{st}	5 mm
	Capacité maximum	500 personnes

Vitres	Nombre	10
	L_v (largeur)	2 m
	H_v (hauteur)	2 m
	e_{air}	10 mm
	e_{vi}	5 mm
	e_{ve}	5 mm

Conductivités thermiques	Aluminium	λ_{Al}	$250 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
	Laine de verre	λ_{lv}	$0,05 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
	Stratifié	λ_{st}	$1 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
	Air	λ_{air}	$0,05 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
	Verre	λ_v	$1 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Masse volumique de l'air		ρ_{air}	$1,2 kg \cdot m^{-3}$
Puissance thermique dégagée par un nageur		P_{pass}	50 W
		h_i	$10 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
		h_e	$25 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
		D_V	$1800 m^3 \cdot h^{-1}$
		c_p	$1000 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

I.B) Etude de la pompe à chaleur

I.B.1) Etude d'une pompe à chaleur idéale

Le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur est rappelé Figure 6. 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.

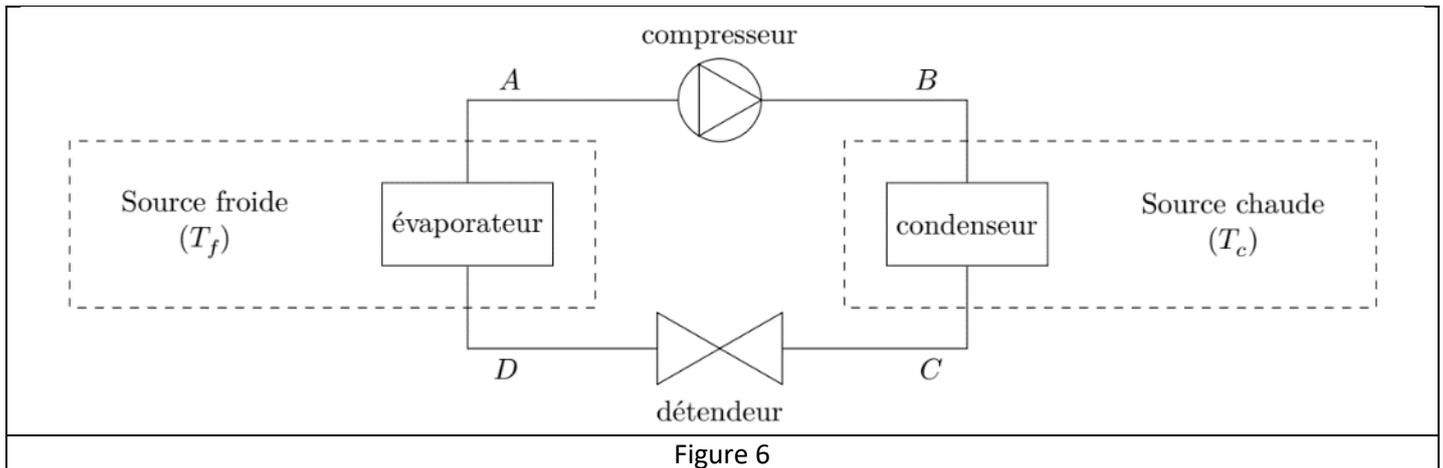


Figure 6

16) 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 .

17) Établir l'expression de η en fonction de T_f et T_c .

18) Calculer η pour $T_f = 17^\circ\text{C}$ et $T_c = 47^\circ\text{C}$. Commenter la valeur obtenue.

I.B.2) Étude de la pompe à chaleur du centre aquatique

19) 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 $v =$ en $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$; les isentropiques sont marqués avec $s =$ en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; les isotitres $x =$ sont gradués sur l'échelle des abscisses. La puissance prélevée à la source froide est $\dot{Q}_f = 60\text{kW}$.

20) Identifier (type de transformation et lieu de la transformation) et justifier la nature des quatre transformations $1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 5$, $5 \rightarrow 6$ et $6 \rightarrow 1$ du cycle.

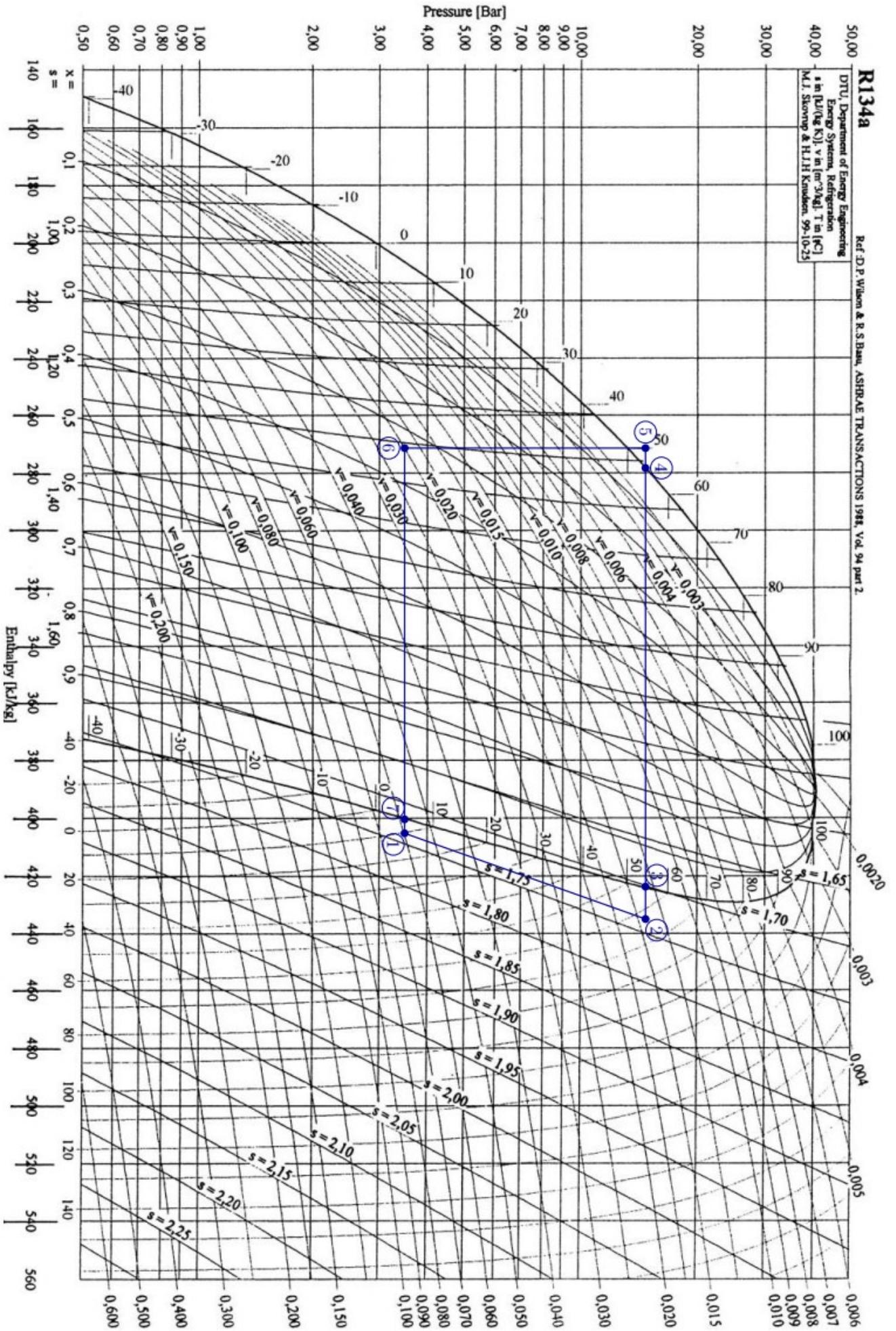
21) Tracer le même cycle dans le diagramme entropique (T,s) fourni en Annexe 1.

22) Quel est l'intérêt de la transformation $7 \rightarrow 1$? Quel est l'intérêt de la transformation $4 \rightarrow 5$?

23) Appliquer le premier principe lors de l'étape D-A. À l'aide d'une lecture graphique, en déduire le débit massique D_m du fluide caloporteur de la pompe à chaleur.

24) Appliquer le premier principe lors de l'étape A-B et B-C. À l'aide d'une lecture graphique, en déduire l'efficacité théorique η_{th} de la pompe à chaleur.

25) 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 7b. La Figure 7a présente un tronçon d'échangeur de 1m de longueur. On réalise ainsi un module d'échangeur de longueur L_0 par la mise en série de tronçons de 1m.

Après mise en série des tronçons, le fluide circule dans un module selon le schéma technique de la Figure 7c (vue de dessus du module). Il se réchauffe progressivement au contact des eaux usées, de température T_e supposées 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-retours, soit $N = 4$ passages du fluide sur la longueur du tronçon considéré. Le module est donc équivalent au schéma théorique de la Figure 8.

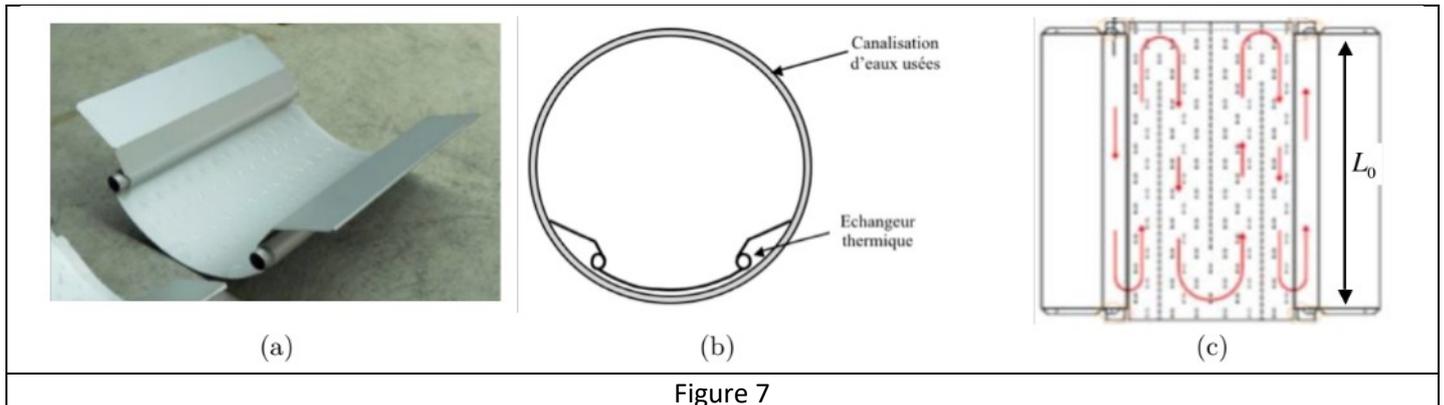


Figure 7

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, $c_e = 4180 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ 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 $\alpha = 143 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$.

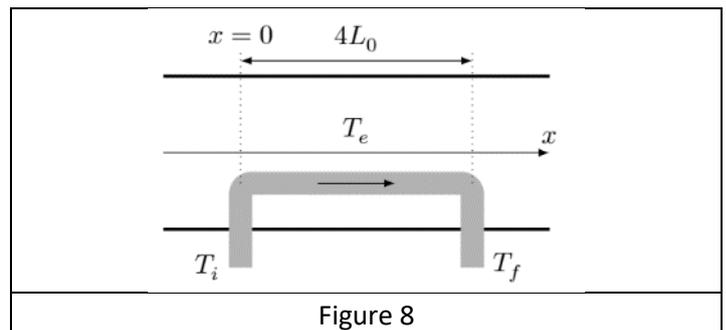


Figure 8

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

26) En appliquant le premier principe, montrer que l'équation différentielle satisfaite par $T(x)$ peut s'écrire :

$$\frac{dT}{dx} + aT(x) = aT_e$$

On exprimera a en fonction de D_{m_0} , α et c_e .

27) Montrer que $T(x)$ s'écrit sous la forme :

$$T(x) = T_e + A \exp\left(-\frac{x}{l_c}\right)$$

On exprimera A et l_c en fonction de D_{m_0} , α , c_e , T_i et T_e . Quelle est la signification physique de l_c ?

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

On impose $T_e = 16^\circ C$, $T_i = 12,5^\circ C$ et $T_f = 15,5^\circ C$. Ces températures correspondent au fonctionnement hivernal envisagé. En tenant compte des pertes thermiques dans les canalisations du circuit 1 (Figure 2), les températures T_{E1} et T_{S1} du circuit 1 en entrée et en sortie de l'évaporateur de la pompe à chaleur sont alors $T_{E1} = 15,0^\circ C$ et $T_{S1} = 13,0^\circ C$.

28) 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_{S1} et T_{E1} . Faire l'application numérique.

29) 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 .

30) Exprimer L en fonction de l_c, T_i, T_f, T_e et N_m . Faire l'application numérique. Conclure.

31) 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 ?

I.D) Réguler la température de l'air

Cette partie propose l'étude d'un dispositif simple de régulation thermique de l'air, réalisable avec des composants électroniques bon marché. Le cahier des charges est explicité ci-dessous.

Le régulateur thermique permet de maintenir la température T d'une pièce autour d'une valeur de consigne T_c pouvant varier entre 5°C et 30°C . Celui-ci déclenche la mise en marche du système de chauffage lorsque $T \leq T_c - \Delta T$ et la stoppe lorsque $T \geq T_c + \Delta T$.

On impose $\Delta T = 0,20^\circ\text{C}$. Le déclenchement du système de chauffage se fait pour un signal de commande positif, l'arrêt pour un signal de commande négatif.

Le régulateur dispose d'une sonde de température permettant la mesure de T . On utilise comme capteur de température une thermistance CTN (pour Coefficient de Température Négatif), dont la résistance R diminue avec l'augmentation de la température T . Le dispositif de régulation est réalisé à l'aide du montage représenté Figure 9 dans lequel $R(T)$ est la résistance CTN et $E(T_c)$ est fonction de la température de consigne T_c selon la loi $E(T_c) = \alpha_0 + \alpha T_c$, avec T_c en $^\circ\text{C}$ et où les coefficients α_0 et α sont des constantes à dimensionner par la suite. L'ALI du bloc 2 est supposé idéal, de tensions de saturation $\pm V_{sat} = \pm 15\text{V}$.

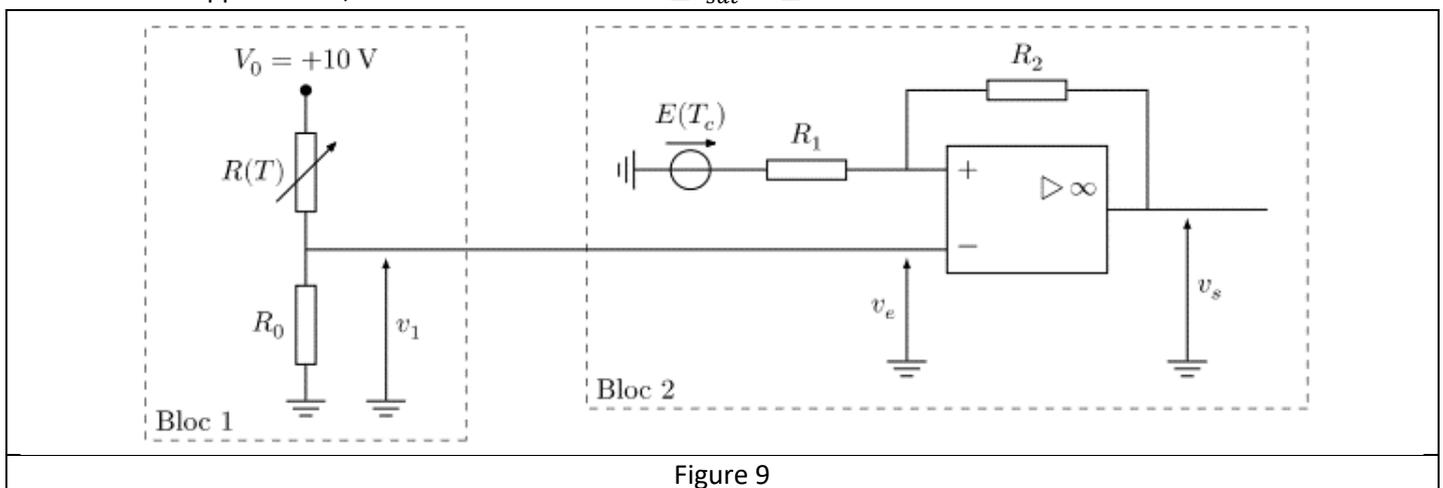


Figure 9

I.D.1) Etude du capteur de température

On utilise dans la suite une thermistance CTN EPCOS B57164K0331J000. La notice du constructeur fournit les valeurs suivantes :

T ($^\circ\text{C}$)	-5	0	5	10	15	20	25	30	35
R (Ω)	1142	914,3	736,4	597,2	487,1	399,8	330	273,8	228,4

La courbe $R(T)$ est non linéaire. On souhaite cependant obtenir une tension $v_1(T)$ fonction affine de T . C'est la fonctionnalité du Bloc 1.

32) Déterminer l'expression littérale de $v_1(T)$ en fonction des données du problème.

On impose $R_0 = 330\Omega$. On trouve alors $v_1(T) = a + bT$ avec $a = 2,66\text{V}$ et $b = 93,0\text{mV} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

I.D.2) Etude du bloc 2

Afin de simplifier l'étude, on impose dans un premier temps $E = 0$.

33) Tracer la caractéristique $v_s = f(v_e)$. Un raisonnement détaillé est attendu, on justifiera en particulier le fait que l'ALI fonction en régime saturé.

34) Quelle est la fonction réalisée par le montage ?

35) Reprendre l'étude du tracé $v_s = f(v_e)$ dans le cas où $E \neq 0$.

36) Déterminer les expressions littérales des grandeurs caractéristiques du tracé.

I.D.3) Etude du dispositif complet

37) Pourquoi est-il nécessaire d'imposer une tension $v_1(T)$ fonction affine de T ?

On suppose R_1 fixée.

38) Exprimer R_2 en fonction de b , ΔT , V_{sat} et R_1 .

39) Exprimer le coefficient α_0 en fonction de a , b , ΔT et V_{sat} .

40) Exprimer le coefficient α en fonction de b , ΔT et V_{sat} .

41) On prend $R_1 = 100\Omega$. Calculer les valeurs de R_2 , α_0 et α . Commenter ces valeurs.

Partie II – Etude d'une « chaufferette »

Une chaufferette (Figure 10) 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 $(CH_3COO^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)} + 3H_2O_{(l)})$.

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).



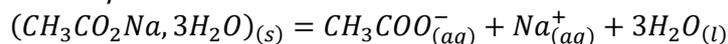
Figure 10

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.

II.A) Détermination de l'enthalpie standard de fusion de l'acétate de sodium trihydraté

II.A.1) Première méthode : à partir des tables

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



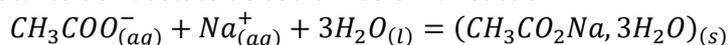
42) A partir des données thermodynamiques, déterminer la valeur de l'enthalpie standard de la réaction de fusion $\Delta_{fus}H^0$ du solide.

43) Que peut-on déduire du signe de cette grandeur ?

II.A.2) Deuxième méthode : par calorimétrie

Le contenu d'une chaufferette ($m = 136,0g$) sous forme liquide et placé dans un calorimètre à la température $T_i = 22,0^\circ C$.

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 :



Lorsque l'équilibre thermique est atteint, la température du système est $T_f = 82,0^\circ C$.

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

On suppose que $\Delta_{fus}H^0$ est indépendant de la température T.

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

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

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

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

46) 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 , $\Delta_{fus}H^0$ et M , la masse molaire du solide.

47) 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.

48) En déduire l'enthalpie standard de fusion de l'acétate de sodium hydraté, $\Delta_{fus}H^0$. Conclure.

II.B) Détermination de la stœchiométrie de l'acétate de sodium hydraté

L'objectif est de mesurer et donc déterminer le taux d'hydratation de l'acétate de sodium, soit la valeur de $x = 3$ dans : $(CH_3CO_2Na, xH_2O)_{(s)}$.

Pour cela, on dissout une masse $m_0 = 138,8mg$ du solide contenu dans la chaufferette dans $V_0 = 100,0mL$ d'eau : on obtient une solution d'acétate de sodium $(CH_3COO^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)})$, de volume V_0 , qui est dosée par pHmétrie et par conductimétrie à l'aide d'une solution d'acide chlorhydrique (H_3O^+, Cl^-) de concentration $C_a = 0,100mol.L^{-1}$.

II.B.1) Préliminaires

49) Le pKa du couple $CH_3COOH/CH_3COO^-_{(aq)}$ est égal à 4,8. Donner le diagramme de prédominance du couple.

50) Ecrire l'équation de la réaction du dosage entre l'ion éthanoate $CH_3COO^-_{(aq)}$ et H_3O^+ . Calculer sa constante d'équilibre et conclure.

51) Déterminer la masse molaire M , en grammes, de l'acétate de sodium hydraté en fonction de x .

52) Quel matériel utilise-t-on pour mesurer 100,0 mL d'eau ? Faire le schéma du dosage en donnant le nom des différents instruments.

II.B.2) Résultats expérimentaux

On donne en annexe 2 les deux courbes donnant le pH et la conductance G mesurés en fonction du volume d'acide versé V_a .

Utilisation de la courbe $pH = f(V_a)$

53) Déterminer le volume V_{e1} à l'équivalence en précisant sur l'annexe 2 la méthode utilisée pour déterminer ce volume. Calculer les différentes incertitudes selon les types d'erreurs et en déduire le résultat sous la forme :

$$V_{e1} = (\quad \pm \quad) mL$$

54) Quel indicateur coloré aurait-pu permettre de « voir » le point d'équivalence ? Quelle serait le changement de couleur observé ? Justifier

Utilisation de la courbe $\sigma = f(V_a)$

55) Justifier qualitativement l'allure de la courbe. On fera un tableau indiquant le sens de variation des concentrations de chaque ion (en négligeant la dilution) ainsi que la variation de la conductivité en cours de dosage.

56) Déterminer le volume V_{e2} à l'équivalence en précisant la méthode utilisée. Comme dans la question 54, on donnera le résultat sous la forme :

$$V_{e2} = (\quad \pm \quad) mL$$

57) Quelle méthode vous paraît-elle la plus précise ?

58) Exprimer la quantité de matière $n_{CH_3COO^-_{(aq)}} = n$ présents dans la prise d'essai en fonction de V_e et C_a .

59) Calculer numériquement cette quantité de matière. On donnera le résultat sous la forme :

$$n = (\quad \pm \quad) mol$$

60) En déduire la valeur numérique de x , nombre de molécules d'eau dans l'acétate de sodium hydraté.

Données :

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

	$CH_3CO_2Na_{(s)}$	$(CH_3CO_2Na, 3H_2O)_{(s)}$	$CH_3COO^-_{(aq)}$	H_2O	Na^+	H_3O^+	Cl^-
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					
Conductivités molaires ioniques à 298 K en $mS.m^2.mol^{-1}$			4,1		5,0	35,0	7,6

- Masses molaires en $g.mol^{-1}$: $M(C) = 12,0$ $M(O) = 16,0$ $M(H) = 1,0$ $M(Na) = 23,0$

- Formule de Kohlrausch : $\sigma = \sum_{ions} c_i \lambda_i$ avec λ_i la conductivité molaire de l'ion i , c_i sa concentration

- Indicateurs colorés acido-basiques :

Nom	Teinte acide (de HIn)	Zone de virage	Teinte basique (de In ⁻)
hélianthine	rouge	3,1 – 4,4	jaune
rouge de méthyle	rouge	4,2 – 6,2	jaune
bleu de bromothymol (BBT)	jaune	6,0 – 7,6	bleu
phénolphtaléine	incoloré	8,2 – 10,0	rose-violet

- Incertitudes

Mesures et incertitudes (type B)

Type d'erreur	Incertitude associée
Lecture d'une grandeur X sur une règle graduée	$\Delta X = \frac{d}{\sqrt{12}} \sim 0,3d$
Détermination d'une grandeur X par double lecture sur une règle graduée (cas d'une longueur L obtenue par différence de deux longueurs $L_1 - L_2$)	$\Delta X = \frac{d}{\sqrt{6}} \sim 0,4d$
Grandeur X obtenue à l'aide d'un instrument dont la tolérance est donnée par le constructeur (cas d'un teslamètre, d'une pipette jaugée, d'une fiole jaugée, ...)	$\Delta X = \frac{t}{\sqrt{3}} \sim 0,6d$
Mesure d'un volume V en utilisant une burette graduée	$\Delta V = \sqrt{\left(\frac{t}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d}{\sqrt{6}}\right)^2}$

- d désigne la plus petite graduation de l'instrument de mesure
- t désigne la tolérance de l'instrument de mesure

Tolérance de la verrerie jaugée utilisée au laboratoire :

Burettes graduées

Capacité (mL)	25	25	50
Graduation	1/10	1/20	1/10
Classe A	0,030	0,030	0,050

Pipettes jaugées

Capacité (mL)	1	2	5	10	20	25	50
Classe A	0,006	0,008	0,010	0,015	0,020	0,025	0,035

Formules de propagation des incertitudes

$$c = a + b \text{ ou } c = a - b$$

$$\Delta c = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2}$$

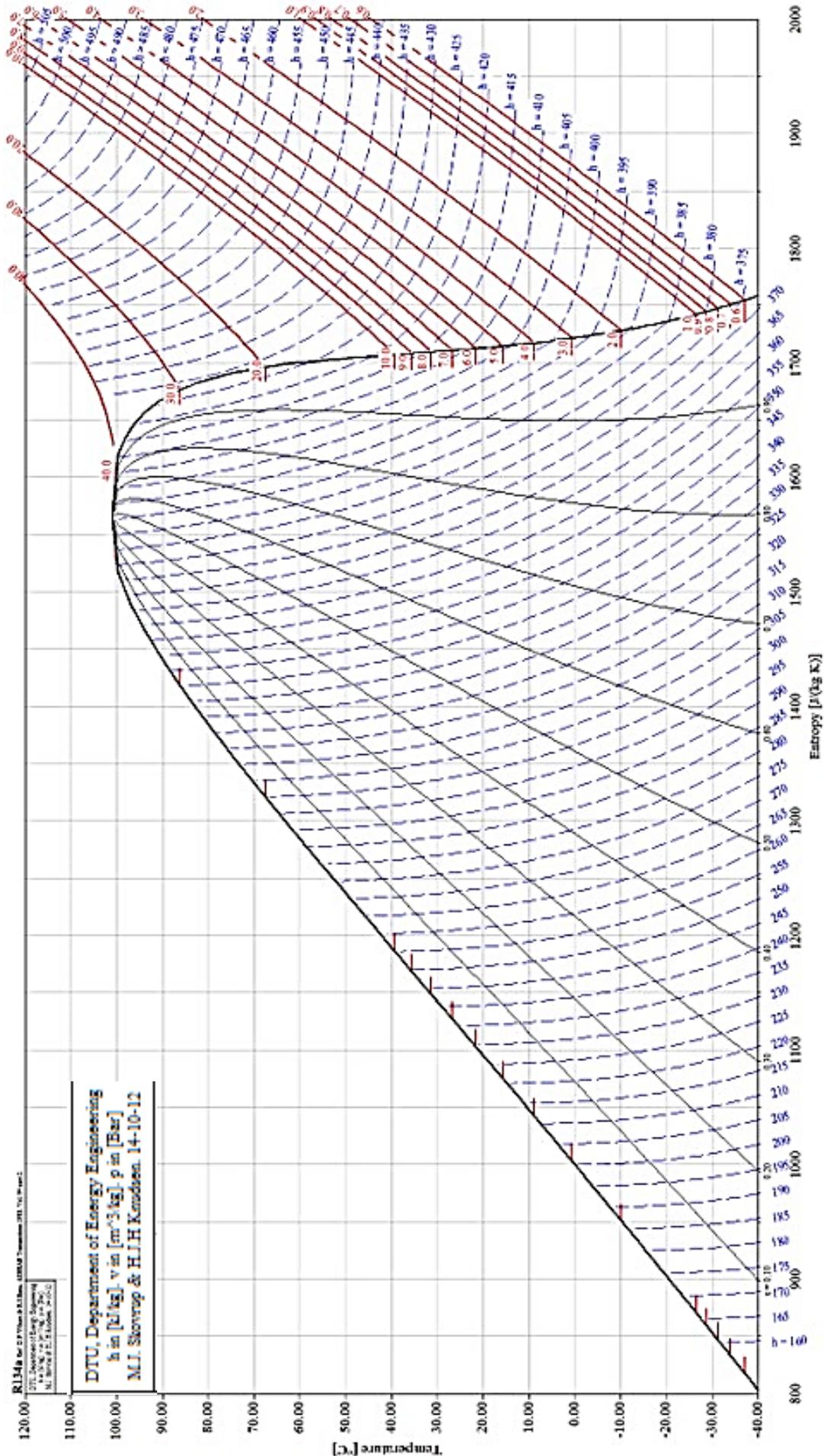
$$c = ab \text{ ou } c = \frac{a}{b}$$

$$\frac{\Delta c}{c} = \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2}$$

$$c = ka \text{ (} k \text{ constante)}$$

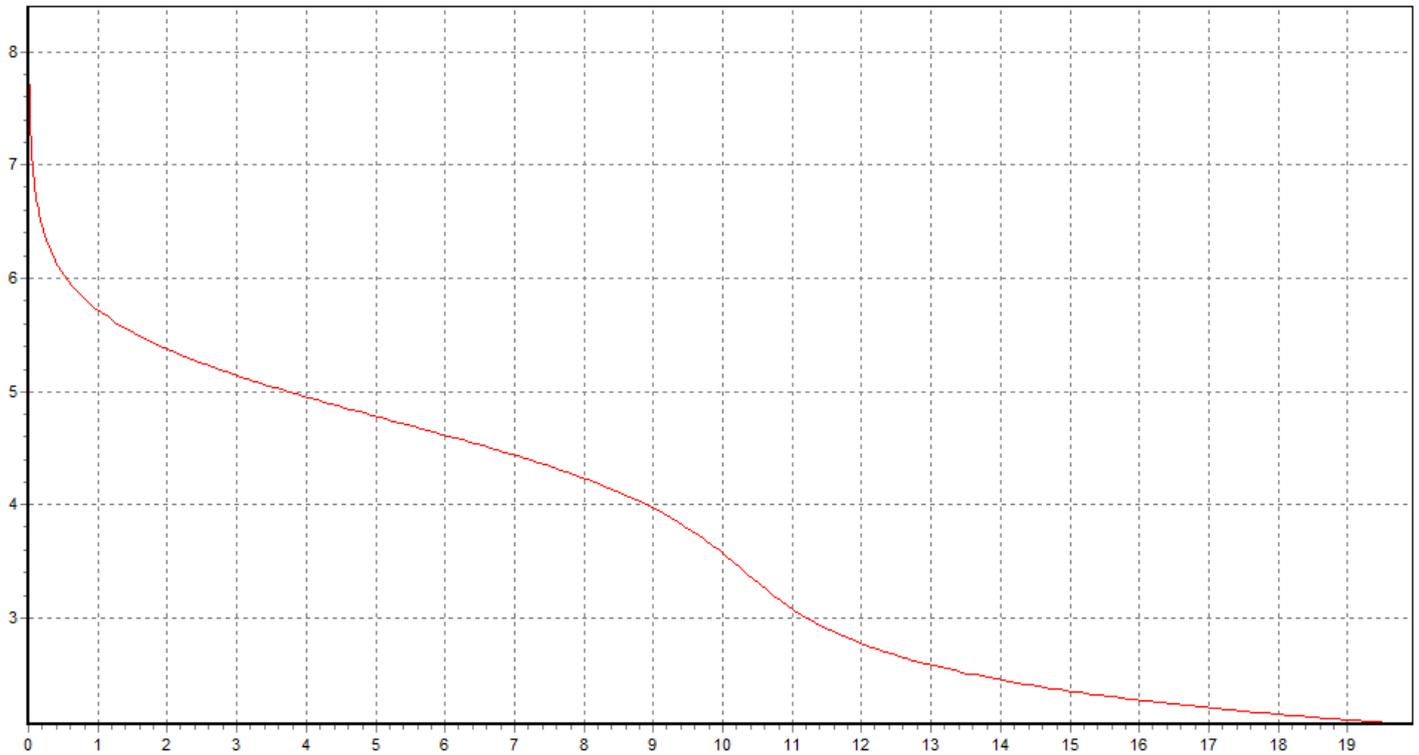
$$\Delta c = k\Delta a$$

Annexe 1 : Diagramme (T,s) du R134A

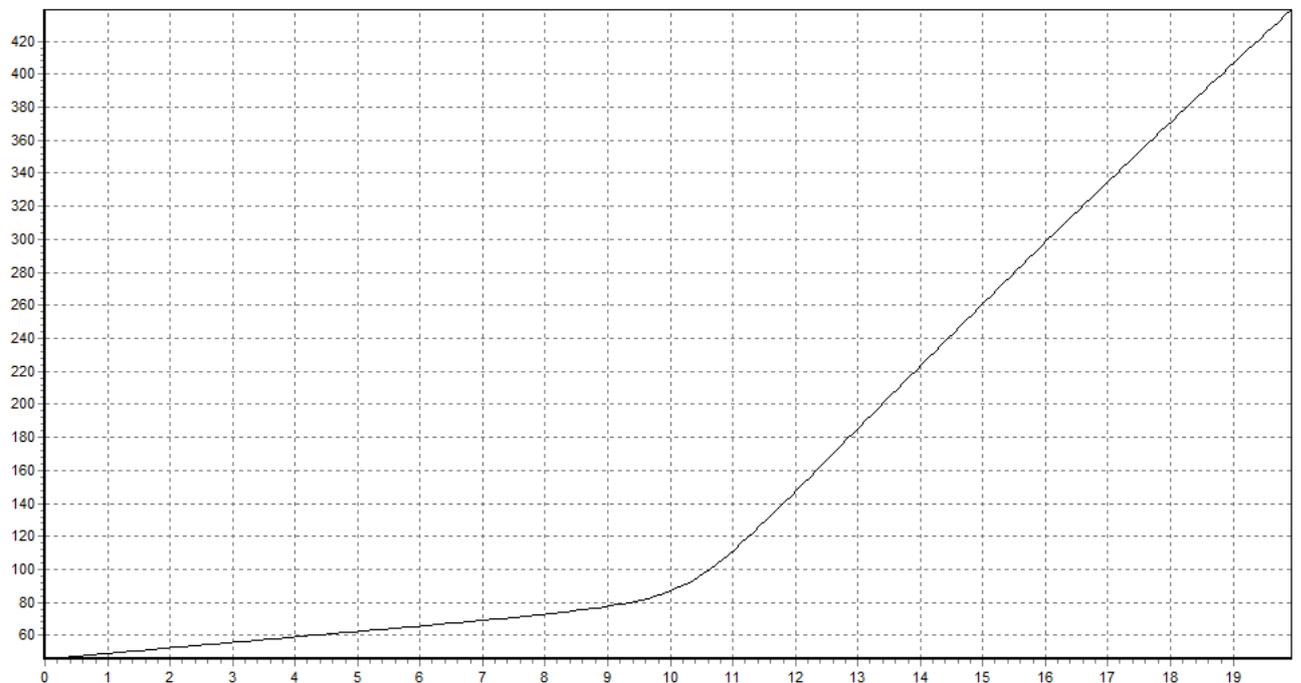


Annexe 2 : Dosage de 100 mL d'une solution aqueuse d'acétate de sodium par de l'acide chlorhydrique de concentration 0,100 mol/L

Dosage pHmétrique $pH = f(V_a)$



Dosage conductimétrique $\sigma = f(V_a)$



Annexe 3. Aide aux calculs	
I.A	
$\frac{5,05}{2,26} = 2,2$	$\frac{8,8 \times 2,2}{9,02} = 2,1$
$\frac{2,4}{2,1} = 1,1$	$0,6 \times 24 = 14$
I.B	
$\frac{32}{3} = 11$	
$\frac{60}{135} = 0,44$	$\frac{135}{60} = 2,25$
$\frac{165}{30} = 5,5$	$\frac{30}{165} = 0,18$
$\frac{165 \times 0,44}{19} = 3,9$	$\frac{19}{165 \times 0,44} = 0,26$
I.C	
$\frac{3}{4,18} = 0,72$	$\frac{7,2 \times 4,18}{4 \times 143} \ln(7) = 0,102$
I.D	
$9,3 \times 0,2 = 1,9$	$\frac{15 - 1,9 \cdot 10^{-2}}{1,9 \cdot 10^{-2}} = 7,9 \cdot 10^2$
$2,66 \times 15 = 40$	$\frac{40}{15 - 1,9 \cdot 10^{-2}} = 2,7$
$9,3 \times 15 = 140$	$\frac{140}{15 - 1,9 \cdot 10^{-2}} = 9,3 \cdot 10^{-2}$
II.A	
$136 \times 12 = 1632$	$28 \times 6 = 168$
II.B	
$\left(\frac{0,06}{10,2}\right)^2 = 3,5 \cdot 10^{-5}$	$\sqrt{1,3} = 1,1$
$\frac{1,388}{18 \times 1,02} = 7,6 \cdot 10^{-2}$	$\frac{82}{18} = 4,6$

Données (Partie I.A) : (modifications en gras)

Complexe aquatique	L (longueur)	50
	l (largeur)	30
	h (hauteur)	5
	e_{Al}	5 mm
	e_{lv}	25 mm
	e_{st}	5 mm
	Capacité maximum	500 personnes

Conductivités thermiques	Aluminium	λ_{Al}	$250 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
	Laine de verre	λ_{lv}	$0,05 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
	Stratifié	λ_{st}	$1 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
	Air	λ_{air}	$0,05 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
	Verre	λ_v	$1 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Masse volumique de l'air		ρ_{air}	$1,2 kg \cdot m^{-3}$
Puissance thermique dégagée par un nageur		P_{pass}	50 W
		h_i	$10 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
		h_e	$25 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
		D_V	$1800 m^3 \cdot h^{-1}$
		c_p	$1000 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$