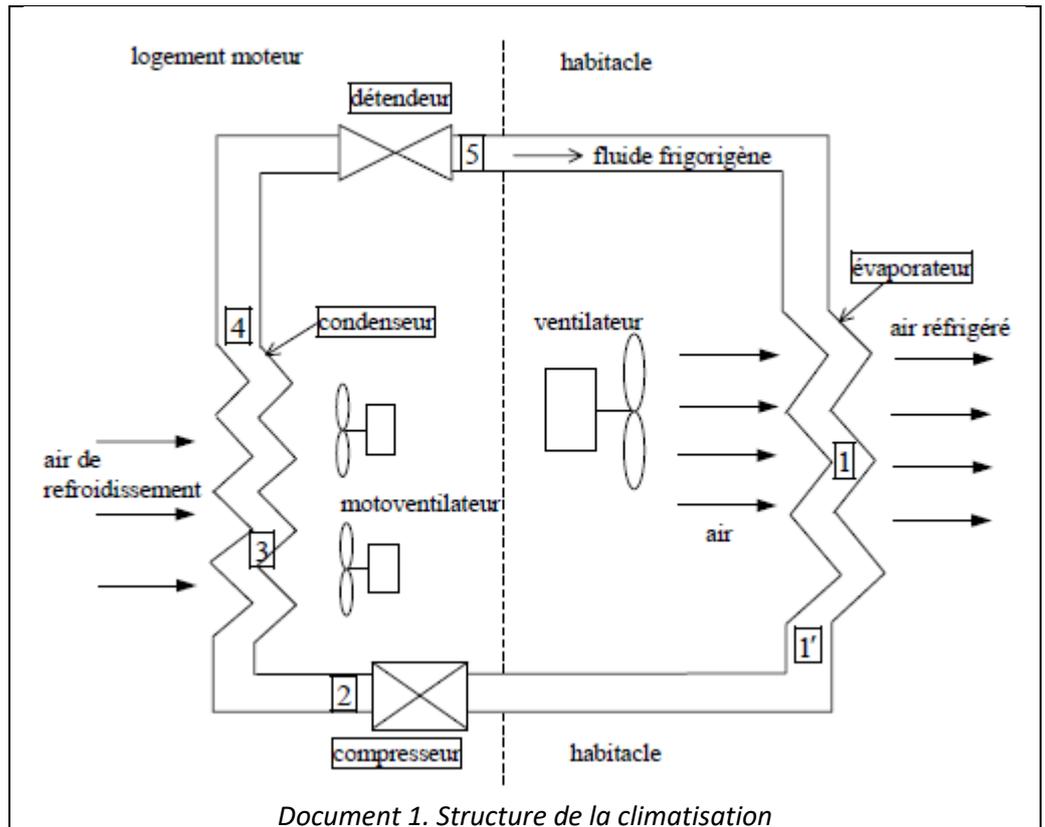


10 Exercices type écrit (à faire en DM pour le 03/10/2018)

10.1 Climatisation d'une voiture (Niveau CCP)

La quasi-totalité des véhicules neufs sont aujourd'hui équipés d'une climatisation. Destiné à maintenir dans l'habitacle un débit d'air et une température régulée, le système de climatisation se compose : d'un circuit d'air pulsé dans lequel un débit d'air est créé par la rotation d'un ventilateur, et d'un circuit frigorifique composé d'un compresseur, d'un condenseur, d'un détendeur et d'un évaporateur, dans lesquels circule un fluide frigorigène dont la vaporisation dans l'évaporateur absorbe de l'énergie provenant de l'habitacle, permettant ainsi la régulation de température souhaitée (Document 1).



Pour refroidir l'air intérieur du véhicule, un fluide frigorigène effectue en continu des transferts énergétiques entre l'intérieur, l'extérieur du véhicule et le compresseur. Le fluide frigorigène utilisé depuis 1995, en remplacement du fréon utilisé jusqu'alors est du tétrafluoroéthane, connu sous l'appellation R134A.

1) Etablir l'expression de la variation d'enthalpie massique $\Delta h_{GP}(T, P)$ et de l'entropie massique $\Delta s_{GP}(T, P)$ d'un

gaz parfait en fonction de la température T , de la pression P , de la masse molaire M du gaz, et de $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ où c_p

et c_v désignent respectivement la capacité thermique massique à pression constante, et la capacité thermique massique à volume constant.

2) Dans le diagramme entropique (document réponse 1 p31), expliquer la forme des courbes isobares dans le domaine de la vapeur assimilée à un gaz parfait.

3) Etablir l'expression de l'enthalpie massique $h(T, x)$ et de l'entropie massique $s(T, x)$ d'un fluide diphasé (liquide, vapeur) en fonction de l'enthalpie massique de la phase liquide en équilibre avec la vapeur $h_l(T)$, de l'enthalpie massique de vapeur en équilibre avec la phase liquide $h_v(T)$, de l'entropie massique de la phase liquide en équilibre avec la vapeur $s_l(T)$, ainsi que du titre massique en vapeur x et de la température T .

4) Donner alors les expressions de $h(T, x)$ et $s(T, x)$ en fonction de x , $h_l(T)$ (ou $s_l(T)$ respectivement) et de $L_v(T)$.

5) On suppose la compression adiabatique réversible dans le compresseur. Calculer T_2 .

6) Tracer le cycle décrit par le fluide dans le circuit frigorifique sur le diagramme entropique (Annexe 1) en faisant figurer la courbe de saturation et en indiquant clairement la température T_i , la pression p_i et l'état du fluide (liquide, vapeur ou diphasé) pour chaque état i ($i = 1, 1', 2, 3, 4, 5$) lorsque ces grandeurs sont connues.

Document 2. Description du cycle

On désire maintenir une température $T_F = 293K (20^\circ C)$ dans l'habitacle, la température de l'extérieur étant $T_F = 308K (35^\circ C)$.

Dans un premier temps, on considère que le fluide décrit, entre les pressions p_B et p_H , le cycle suivant :

Compresseur : A la sortie de l'évaporateur, de l'état 1' où il se trouve à l'état de vapeur sèche, le fluide est comprimé jusqu'à l'état 2.

Condenseur : Le condenseur situé à l'avant du véhicule entre le radiateur de refroidissement du moteur et des motoventilateurs de refroidissement, est un échangeur thermique dans lequel le fluide frigorigène échange de l'énergie avec le flux d'air crée par les motoventilateurs.

Dans la première partie du condenseur, le fluide passe de l'état 2 à l'état 3 en se refroidissant à la pression constante p_H jusqu'à ce que sa température atteigne la température de vapeur saturante correspondant à p_H . La condensation totale du fluide s'effectue ensuite dans la partie centrale à la pression p_H (état 4).

Détendeur : Dans le détendeur, parfaitement calorifugé et ne comportant pas de pièces mobiles, le fluide, de l'état 4, subit une détente isenthalpique jusqu'à la pression p_B , au cours de laquelle, une partie du fluide se vaporise (état 5).

Evaporateur : L'évaporateur est un échangeur thermique placé dans l'habitacle devant un ventilateur commandé par le conducteur, soufflant l'air qui se refroidit en échangeant de l'énergie avec le fluide frigorigène.

Le fluide frigorigène, partiellement vaporisé en 5 achève de se vaporiser à la pression p_B jusqu'à l'état 1.

Pour être sûr que le compresseur n'aspire que de la vapeur sèche (le liquide peu compressible peut provoquer la rupture de certaines pièces), la vapeur est surchauffée à la pression constante p_B de la température T_1 à la température T_1' (état 1').

Régulation du débit du liquide frigorigène : Le fonctionnement correct du compresseur exige que la température à la sortie de l'évaporateur T_1' soit supérieure à celle du changement d'état T_B afin d'éviter les traces de liquide dans le compresseur. La température T_1' reste égale à une valeur de consigne $T_0 = 283K$.

On étudie dans la suite l'évolution du fluide au cours d'un cycle en régime permanent. Le débit massique est $D_m = 0,1kg.s^{-1}$.

Document 3. Données

Pour le fluide R134A, on donne :

La capacité thermique du liquide : $c = 1,35kJ.kg^{-1}.K^{-1}$.

La capacité thermique massique du gaz à pression constante : $c_p = 0,488kJ.kg^{-1}.K^{-1}$.

Le rapport γ : $\gamma = 1,2$

La masse molaire du fluide R134A : $M = 102g.mol^{-1}$.

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

On suppose que le fluide à l'état liquide est incompressible et qu'il se conduit à l'état vapeur comme un gaz parfait.

On suppose que les conduites reliant les différents appareils sont parfaitement calorifugées et que la pression qui y règne est constante. On néglige toutes les variations de vitesse du fluide et on raisonne sur 1 kg de fluide.

Température de changement d'état	$T_B = 278K (5^\circ C)$	$T_H = 323K (50^\circ C)$
Pression de vapeur saturante	$p_B = 3,5bar$ avec $p_B = p(T_B)$	$p_H = 14bar$ avec $p_H = p(T_H)$
Chaleur latente massique de vaporisation	$L_v(T_B) = 196kJ.kg^{-1}$	$L_v(T_H) = 150kJ.kg^{-1}$

On rappelle que $h_v(T)$ et $h_l(T)$ sont respectivement l'enthalpie massique de la vapeur saturante et l'enthalpie massique du liquide saturant à la température T.

10.2 Centrale 2016 Physique-Chimie 1

En régime permanent d'écoulement, le fluide R134a subit les transformations suivantes (on peut se reporter à la figure 5)

- $1 \rightarrow 2$: le fluide à l'état gazeux sous la pression P_b est comprimé dans un compresseur à piston. Il ressort à la pression P_h . On considère que cette compression est isentropique ;
- $2 \rightarrow 3$: le gaz se refroidit de façon isobare jusqu'au condenseur (seau de droite contenant une masse d'eau m_c). On parle de désurchauffe. Au point 3 le gaz est assimilé à de la vapeur saturante sèche ;
- $3 \rightarrow 3'$: le gaz se condense au contact thermique de l'eau du condenseur (seau de droite) jusqu'au liquide saturé ;
- $3' \rightarrow 4$: dans le tuyau de cuivre, le liquide se refroidit de façon isobare jusqu'au détendeur. On parle de sous-refroidissement ;
- $4 \rightarrow 5$: le liquide subit une détente dans le détendeur ; il commence à se vaporiser ; la pression de sortie est P_b (manomètre de gauche). Cette détente peut être considérée comme adiabatique ;
- $5 \rightarrow 6$: le fluide poursuit sa vaporisation à la pression P_h notamment dans le serpentin évaporateur baignant dans de l'eau (seau de gauche contenant une masse d'eau m_e) ;
- $6 \rightarrow 1$: dans le tuyau de cuivre, le gaz se réchauffe de façon isobare jusqu'à l'entrée du compresseur. On parle de surchauffe. Elle permet de s'assurer qu'aucune goutte de liquide ne pénètre dans le compresseur.

On obtient le tableau 2.

	1	2	3	3'	4	5	6
P (bar)	2,9	6,8	6,8	6,8	6,8	2,9	2,9
θ (°C)	12	44	26	26	19	0	0
T (K)	285	317	299	299	292	273	273
x	vapeur sèche	vapeur sèche	1	0	Liquide	x_5	1
v ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	0,073	0,033	0,030	$8,3 \times 10^{-4}$	$8,1 \times 10^{-4}$	0,012	0,070
h ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	408	430	412	233	226	h_5	396
s ($\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)	1,76	s_2	1,72	1,13	1,09	1,08	1,72

Tableau 2

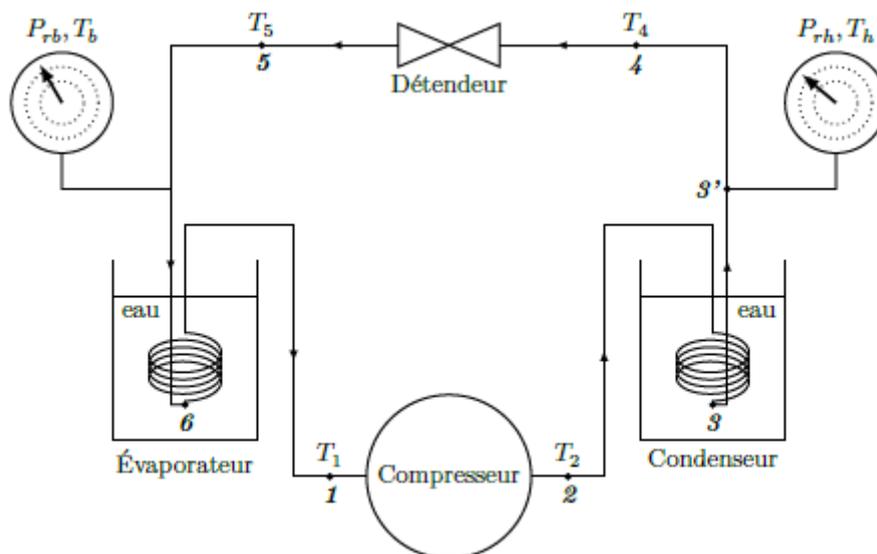


Figure 5 Schéma d'ensemble de la pompe à chaleur

II.B – Diagramme enthalpique

On considère le diagramme enthalpique (ou diagramme des frigoristes) fourni sur le document réponse. Sur ce diagramme, on peut identifier la courbe de saturation composée de la courbe d'ébullition (liquide saturé, $x = 0$,

courbe de gauche) et de la courbe de rosée (vapeur saturante sèche, $x = 1$, courbe de droite). On peut également identifier les isotitres, les isothermes, les isentropiques et les isochores.

II.B.1) Commenter l'allure des isothermes dans chaque domaine (vapeur sèche, état diphasé, phase liquide).

II.B.2) Placer les points **1**, **2**, **3**, **3'**, **4**, **5** et **6** sur le diagramme des frigoristes et tracer le cycle parcouru par le fluide.

II.B.3)

a) Lors du changement d'état $A \rightarrow B$ d'un corps pur à la température T , quelle relation a-t-on entre $\Delta s_{AB}(T)$ et $\Delta h_{AB}(T)$?

b) Vérifier numériquement cette relation pour $T = 299 \text{ K}$.

c) Déterminer graphiquement la valeur de l'enthalpie massique de vaporisation du fluide R134a pour $T = 273 \text{ K}$. Commenter l'ordre de grandeur en comparant à des ordres de grandeur connus.

II.B.4) Déterminer la valeur de la fraction massique $x = m_g/m$ au point **5**.

NB : Document réponse en p. 32