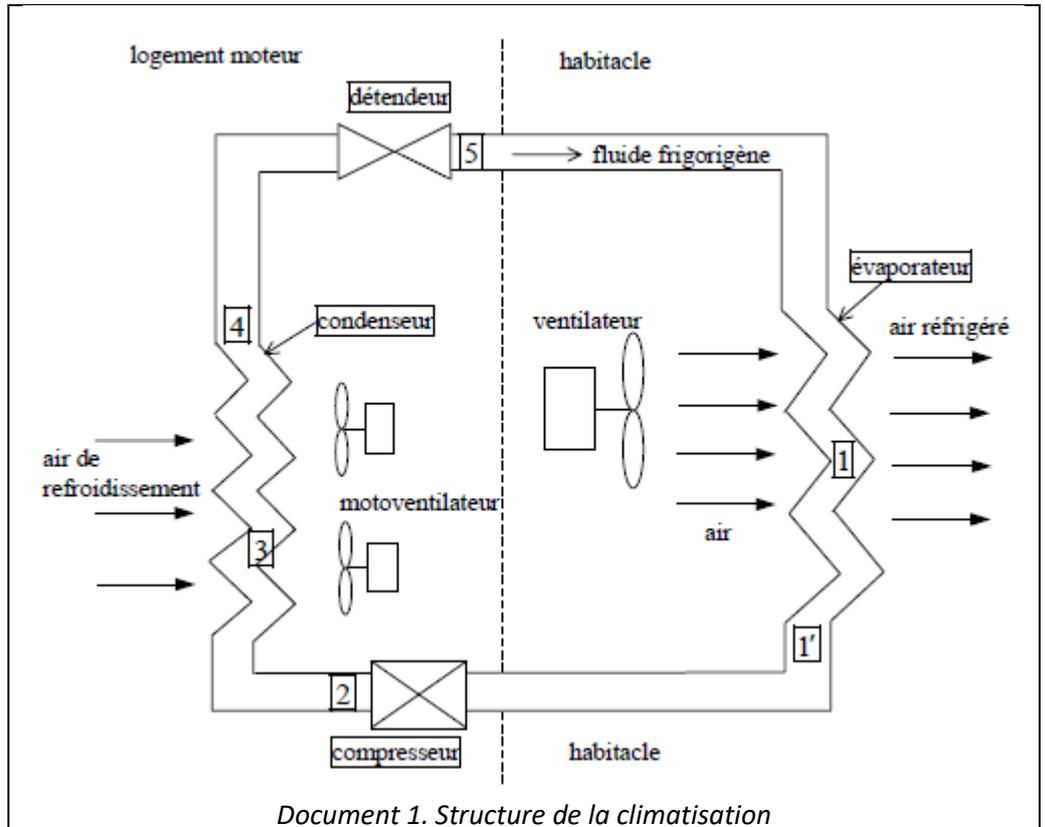


# Devoir maison 4

## 1.1 Climatisation d'une voiture

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, 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  $\gamma$  :  $\gamma = 1,2$

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.

Annexe 1. Diagramme entropique du R134A (A rendre avec la copie)

Les isobares sont en bar avec  $p \in [3,0;50]$ , les isenthalpes en  $\text{kJ.kg}^{-1}$  avec  $h \in [220;500]$

