

## Epreuve de Physique C - Thermodynamique

Durée 2 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de 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.

---

L'usage de calculatrices est autorisé.

À rendre avec la copie 1 document réponse non plié.

### AVERTISSEMENT

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.

La climatisation est désormais présente sur plus de 9 véhicules neufs sur 10. Les avantages de ce dispositif sont essentiellement un plus grand confort, un air moins humide et une vigilance accrue du conducteur grâce à la fraîcheur de l'air de l'habitacle du véhicule. Elle est composée d'un circuit d'air pulsé par ventilateur et d'un circuit frigorifique constitué d'un compresseur, d'un condenseur, d'un détendeur et d'un évaporateur, dans lesquels circule un fluide frigorigène. Le fluide utilisé par la majorité des véhicules en circulation est le R134a, qui devrait être interdit dans l'Union Européenne à partir de 2011 car c'est un gaz nocif et à effet de serre (1400 fois plus élevé que celui du CO<sub>2</sub>). Par ailleurs la climatisation augmente notablement la consommation de carburant et requiert un entretien sérieux et régulier (fuites de fluide frigorigène, usure des joints,...)

Après l'étude du principe de fonctionnement d'une climatisation, le problème aborde certains aspects de sa conception ainsi que la surconsommation entraînée par son fonctionnement. Pour indication, à 2400 tr/mn, le moteur de la voiture développe une puissance motrice de 30 kW.

Dans tout le problème, la climatisation étudiée assure le maintien d'une température de l'habitacle de la voiture égale à 20°C pour une température de l'air extérieur égale à 35°C, grâce à un débit massique constant  $D_m$ . On se référera à ces valeurs s'il en est besoin dans la suite du problème.

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 l'on raisonne sur 1 kg de fluide. On considère, sauf mention explicite de l'énoncé, que le fluide thermodynamique a les mêmes propriétés qu'un gaz parfait lorsqu'il est sous forme de vapeur.

#### Données numériques

Fluide thermodynamique	$r = 85 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$	
	$\gamma = c_p/c_v = 1,12$	
	Basse pression = 3 bar	Haute pression = 13 bar
	$D_m = 0,15 \text{ kg.s}^{-1}$	
Air	$c_p \text{ air} = 1005 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$	

### PRINCIPE

1/ Sur UN schéma de principe, identifier les différents transferts énergétiques à l'œuvre dans le système d'une climatisation entre les différents éléments ci-dessous et les représenter au moyen d'une flèche. A quel élément peut-on identifier l'air pulsé ?

Fluide R134a	Source chaude
Source froide	Compresseur

2/ Quel est le rôle du condenseur au sein du système ? Au contact duquel ou desquels éléments ci-dessus doit-il être mis ?

3/ Quel est le rôle de l'évaporateur au sein du système ? Au contact duquel ou desquels éléments ci-dessus doit-il être mis ?

4/ Le compresseur impose la haute pression.

À quel type de transformation idéale assimile-t-on fréquemment la transformation subie par le fluide dans le compresseur ? Pouvez-vous le justifier ? Selon quelle loi évolue la température du fluide lors d'une telle transformation ?

5/ Le détendeur impose la basse pression. À quel type de transformation idéale assimile-t-on fréquemment la transformation subie par le fluide dans le détendeur? Pouvez-vous le justifier ?

6/ L'air de l'habitacle est chargé de vapeur d'eau. Le processus de climatisation peut aider à déshydrater cet air, grâce à un phénomène de condensation, évitant ainsi d'avoir à désembuer les parois vitrées de la voiture. Où peut se produire SPONTANÉMENT cette déshydratation ? Pourquoi ?

Etude du DIAGRAMME $\log(P)$ , $h$ (ANNEXE 1)
---

On notera  $h$ ,  $w$  et  $q$  les enthalpies, transferts thermiques massiques échangés par le fluide. On portera en indice les lettres comp, d, e et cond pour les grandeurs relatives au compresseur, détendeur, évaporateur et condenseur. Les transferts thermiques ( $w, q$ ) seront donnés algébriquement.

7/ Identifiez l'état du fluide dans chaque zone délimitée par la courbe de saturation. Pour un fluide qui se comporte comme un gaz parfait quelle est l'allure des isothermes dans un diagramme ( $\log P$ ,  $h$ ) ? Établissez-en l'équation. Qu'en est-il pour le fluide utilisé ? Y a-t-il un domaine dans lequel il peut se comporter comme un gaz parfait ? Pourquoi ?

8/ Dans quel sens est parcouru le cycle ? Justifiez.

9/ À partir de l'état 1 du fluide – voir annexe 1 Document à joindre à la copie, compléter le schéma en portant le numéro de chaque état du fluide dans la case prévue. Donner, pour chaque transformation  $[N, N+1]$ , la nature de la transformation et le nom de l'organe traversé par le fluide. *On prendra soin évidemment de respecter le sens réel parcouru par le fluide dans la numérotation : le fluide passe d'un état  $N$  à un état  $N+1$  et non l'inverse.*

10/ D'après le diagramme quelle est la nature de la transformation du fluide dans le compresseur ? Quelles sont les caractéristiques de la transformation et du compresseur qui peuvent le justifier ?

11/ Quelle est la valeur du travail massique échangé dans le compresseur ? Quel est son signe ? Quel doit être son signe ?

12/ Quelle est la valeur du transfert thermique massique avec l'air de l'habitacle ? Quel est son signe ? Quel doit être son signe ?

13/ Définir l'efficacité ou coefficient de performance de l'installation. Calculer sa valeur numérique. Ce résultat vous paraît-il raisonnable ?

14/ Donner l'expression de l'efficacité d'une machine thermique idéale fonctionnant entre les températures extrêmes du cycle. La comparer à la valeur précédente.

15/ Comment est modifié le cycle si la transformation dans le compresseur n'est plus idéalisée ?

16/ Quelle surconsommation relative entraîne le fonctionnement de la climatisation lorsque le moteur tourne à 2400tr/mn ?

ETUDE DU BLOC DETENDEUR –SONDE (ANNEXE 2)
---

La fonction du bloc détendeur-sonde (annexe 2) est de réduire la pression et de contrôler le débit du fluide frigorigène, lequel est fonction de la plus ou moins grande section de passage au niveau de l'orifice de détente. Cette section est rendue variable par le déplacement de l'ensemble diaphragme-tige-bille ( [6] ). La sonde thermostatique ( [3] ) renferme un fluide dont la pression augmente avec la température de commande qui détermine celle de l'habitacle. Plus le ressort ( [7] ) est comprimé, moins

la bille bouche l'orifice de passage du liquide haute pression ( [ 1 ] ) qui ressort à l'état de fluide basse pression ( [ 2 ] ) avant de pénétrer dans l'évaporateur. En sortie d'évaporateur, le fluide pénètre dans le haut du détendeur ( [ 4 ] ) et se trouve au contact de la sonde thermostatique qui commande ( [ 6 ] ). Puis il ressort en ( [ 5 ] ) afin de pénétrer dans le compresseur.

17/ Si la température du fluide en sortie ( [ 5 ] ) est inférieure à la valeur de consigne qui assure le bon fonctionnement de la climatisation, le détendeur doit-il augmenter ou diminuer le débit ? augmenter ou diminuer la basse pression ? On prendra bien soin d'argumenter la réponse.

18/ La valeur de consigne de la température de la sonde thermostatique est imposée par le réglage de la climatisation : lorsque l'automobiliste demande une température de l'habitacle plus fraîche, la température de la sonde diminue. Le diaphragme ( [ 6 ] ) sépare deux compartiments au contact, l'un du fluide de la sonde thermostatique, l'autre du fluide venant de l'évaporateur. Expliquez alors comment peut fonctionner la régulation de débit et de pression.

19/ Comment est modifiée l'efficacité du cycle lorsque l'on abaisse la température de l'habitacle ? Pourquoi ?

#### ETUDE DU DIAGRAMME ENTROPIQUE (T,s)

20/ Calculer la variation d'entropie de l'unité de masse du fluide lors du passage dans le détendeur en exploitant les données thermodynamiques suivantes :

Fluide R134a	Entropie liquide saturant ( $\text{kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ )	Entropie vapeur saturante ( $\text{kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ )
0°C	1,003	1,717
50°C	1,245	1,707

21/ Connaissant l'entropie massique de la vapeur saturante et celle du liquide saturant, comment placer le point figuratif de l'état du fluide en sortie du détendeur ?

22/ Déterminer l'expression T(s) d'une isobare pour un gaz parfait.

23/ Tracer l'allure du cycle parcouru par le fluide dans un diagramme ( T, s ) en prenant soin de porter clairement les valeurs des abscisses et ordonnées des différents points figuratifs, en les affectant du numéro établi à la question 9.

24/ Donner en le justifiant le sens de parcours du cycle. Quel est alors le signe du travail total échangé par le fluide lors de ce cycle ? Est-ce cohérent avec la nature du cycle ?

#### ETUDE DU CIRCUIT D'AIR PULSE

Pour assurer la régulation de température de l'habitacle, de l'air chaud de l'extérieur est aspiré puis refroidi par le système de climatisation et enfin chassé vers l'intérieur de la voiture.

25/ Quelle est la puissance transférée à l'air de l'habitacle par le système de climatisation ? Où s'opère ce transfert ?

26/ Dédurre des données en début d'énoncé le débit massique d'air pulsé nécessaire au bon fonctionnement de l'installation.

27/ La puissance du ventilateur nécessaire pour créer cette circulation d'air est de 600W. Quelle surconsommation relative cela représente-t-il lorsque le moteur tourne à 2400tr/mn ?