

Pompe à chaleur (PAC)

La pompe à chaleur de démonstration du lycée permet de chauffer de l'eau.

Le fluide caloporteur qu'elle utilise est du R134a (aussi appelé 1,1,1,2-tétrafluoroéthane ou HFC-134a).

1. (voir partie 4.3 de la notice technique) À l'entrée de la PAC, régler un débit en volume d'eau de 0,8 L/min, démarrer la PAC et, tout au long de l'expérience, vérifier régulièrement que ce débit d'eau est maintenu.

2. Une fois le régime stationnaire atteint, compléter toutes les lignes où il est écrit "à mesurer". Les autres lignes seront à compléter au fur et à mesure des demandes dans l'énoncé.

Les données, mesures et calculs suivants seront à exprimer **en unités du Système International** (sauf les températures qui peuvent être en °C).

– capacité thermique massique de l'air $c_{\text{air}} = 1006 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

– masse volumique de l'air $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ g/L}$

– débit en volume d'air extérieur (voir question 11) $q_{V \text{ air}} = \dots$

– débit en masse d'air extérieur (voir question 12) $q_{m \text{ air}} = \dots$

– capacité thermique massique de l'eau $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

– masse volumique de l'eau $\rho_{\text{eau}} = 1,000 \text{ kg/L}$

à mesurer – débit en volume d'eau du circuit de chauffage $q_{V \text{ eau}} = \dots$

– débit en masse d'eau du circuit de chauffage (voir question 16) $q_{m \text{ eau}} = \dots$

– masse volumique du R134a liquide (voir question 27) $\rho_{\text{R134a}} = \dots$

à mesurer – débit en volume de R134a liquide $q_{V \text{ R134a}} = \dots$

– débit en masse de R134a (voir question 28) $q_{m \text{ R134a}} = \dots$

à mesurer – tension électrique aux bornes du compresseur $U = \dots$

à mesurer – intensité du courant électrique traversant le compresseur $I = \dots$

Les pressions mesurées sont des pressions relatives (on mesure la pression qu'il y a en plus de la pression atmosphérique de 1,013 bar). Les pressions absolues sont donc pression relative + pression atmosphérique.

à mesurer – haute pression relative $P_{4 \text{ rel}} = \dots$

– haute pression absolue (à calculer) $P_{4 \text{ abs}} = \dots$

à mesurer – basse pression relative $P_{8 \text{ rel}} = \dots$

– basse pression absolue (à calculer) $P_{8 \text{ abs}} = \dots$

à mesurer – température eau entrée condenseur $T_0 = \dots$

à mesurer – température eau sortie condenseur $T_1 = \dots$

à mesurer – température air entrée évaporateur $T_2 = \dots$

à mesurer – température air sortie évaporateur $T_3 = \dots$

à mesurer – température R134a entrée condenseur $T_4 = \dots$

à mesurer – température R134a sortie condenseur $T_5 = \dots$

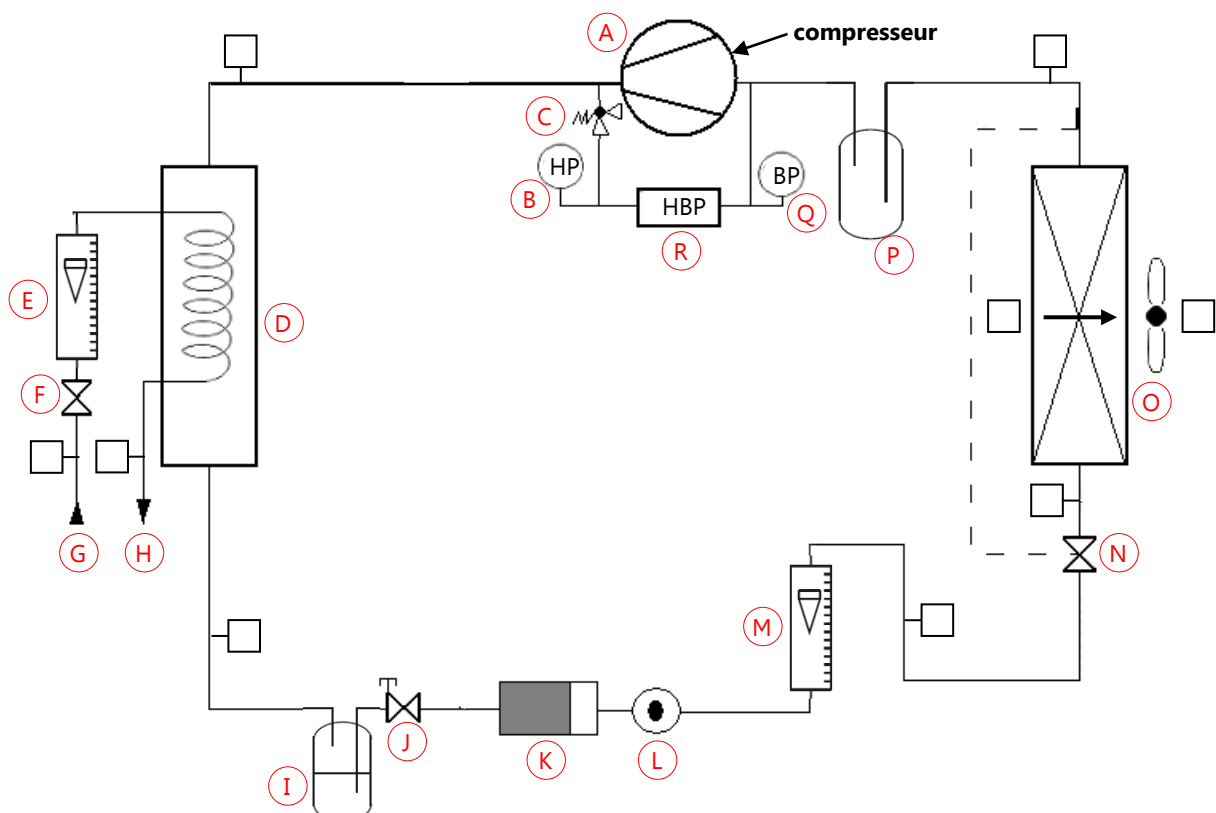
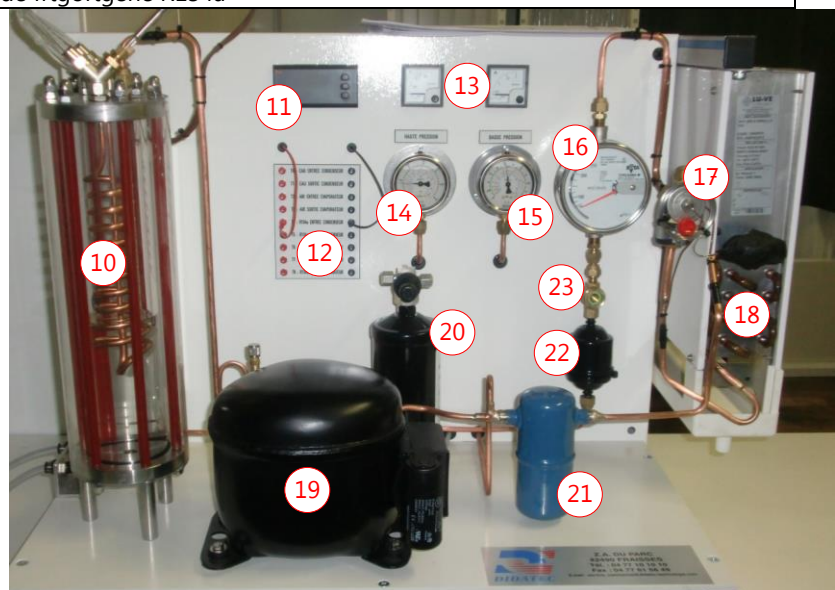
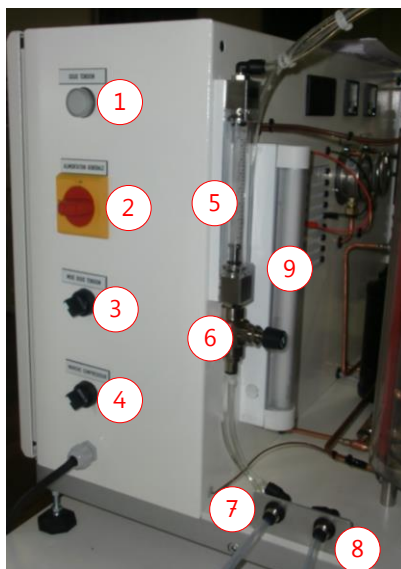
à mesurer – température R134a entrée détendeur $T_6 = \dots$

à mesurer – température R134a entrée évaporateur $T_7 = \dots$

à mesurer – température R134a sortie évaporateur $T_8 = \dots$

3. Compléter le tableau suivant :

n° sur photo	lettre du schéma	nom
		Compresseur
		Détendeur thermostatique à égalisation interne de pression
		Condenseur à eau
		Évaporateur à air
		Tuyau d'entrée d'eau (simulant l'eau du circuit de chauffage ressortant des radiateurs)
		Tuyau de sortie d'eau (simulant l'eau du circuit de chauffage allant vers les radiateurs)
		Débitmètre à flotteur pour l'eau du condenseur
		Vanne de réglage du débit d'eau
		Sectionneur général électrique
		Voltmètre et ampèremètre (mesure du courant et de la tension du compresseur)
		Indicateur numérique de température
		Douilles de raccordement pour la sélection de la température visualisée sur l'indicateur
		Manomètre du fluide R134a (haute pression)
		Manomètre du fluide R134a (basse pression)
		Débitmètre de fluide frigorigène R134a



4. Compléter le texte suivant avec le nom de différents éléments de la PAC :

- aspire le fluide frigorigène qui sort de l'évaporateur sous forme de vapeur. Il assure la compression de ce fluide frigorigène et le véhicule vers le condenseur ;
- transfère de la chaleur du fluide frigorigène au médium de refroidissement (ici de l'eau simulant l'eau du circuit de chauffage allant vers les radiateurs) afin de réchauffer ce dernier ;
- permet de faire passer le fluide d'une haute pression à une basse pression par une détente laminaire, et permet de réguler le débit de fluide frigorigène dans l'évaporateur ;
- transfère la chaleur de l'air extérieur au fluide frigorigène ;
- permet de visualiser la pression du fluide frigorigène.

5. Sur le schéma précédent, indiquer par de nombreuses flèches rouges le sens de circulation du fluide R134a dans le circuit haute pression.

Indiquer par de nombreuses flèches bleues le sens de circulation du fluide R134a dans le circuit basse pression. Repasser en vert les canalisations où circule l'eau.

6. Quel matériau a permis de fabriquer le serpentin du condenseur ? Pourquoi ce matériau ?

7. Observer ce qui se passe au niveau du condenseur.

8. Sur le schéma précédent, dans les 9 carrés vides, écrire T_0 , T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , T_7 et T_8 .

9. Vérifier, en utilisant avec précaution le sens du toucher, comment évolue la température du fluide suite au passage dans le compresseur, dans le condenseur, dans le détendeur et dans l'évaporateur. Faire de même pour l'eau suite au passage dans le condenseur et pour l'air suite au passage dans l'évaporateur.

10. Travail maison à rendre pour la prochaine fois : Rédiger quelques lignes pour décrire le principe de fonctionnement de la PAC en parlant entre autres des températures, des pressions, des changements d'états physiques et des échanges d'énergie (en parlant aussi de l'eau du circuit de chauffage).

11. Déterminer le débit d'air dans l'évaporateur en utilisant la documentation.

ATTENTION : La suite ne peut être traitée qu'une fois les mesures effectuées.

12. Calculer le débit en masse de l'air à partir de son débit en volume.

13. Calculer la puissance du transfert thermique ayant lieu pour l'air dans l'évaporateur.

14. En déduire la puissance du transfert thermique ayant lieu pour le fluide frigorigène dans l'évaporateur.

15. Comparer cette valeur à celle donnée dans la documentation.

16. Calculer le débit en masse de l'eau à partir de son débit en volume.

17. Calculer la puissance du transfert thermique reçue par l'eau dans le condenseur.

18. En déduire la puissance du transfert thermique ayant lieu pour le fluide frigorigène dans le condenseur.

19. Comment peut-on expliquer que le fluide frigorigène cède plus d'énergie à l'eau du circuit de chauffage des radiateurs (au niveau du condenseur) qu'il n'en reçoit de l'air extérieur (au niveau de l'évaporateur) ?

Rappel du premier principe de la thermodynamique (principe de conservation de l'énergie) : Si l'énergie totale d'un système varie, c'est qu'elle a été reçue de son extérieur ou cédée à son extérieur ; l'énergie totale d'un système ne peut être ni créée ni détruite mais elle peut être échangée avec son extérieur.

Au cours d'un cycle de la machine thermodynamique, le fluide revient dans le même état (lorsque le régime stationnaire est atteint). Son énergie est donc la même qu'au début du cycle (il n'accumule pas d'énergie).

Donc, la somme des énergies échangées s'annule : somme énergies reçues + somme énergies cédées = 0.

20. Calculer la puissance électrique $\mathcal{P}_{\text{elec}}$ reçue par le compresseur.

Puis, sachant que le rendement du compresseur est de 85 %, calculer la puissance $\mathcal{P}_{\text{méca}}$ du travail mécanique reçue par le fluide frigorigène.

Rappel : la puissance électrique est $\mathcal{P}_{\text{elec}} = U \cdot I$

avec U la tension électrique et I l'intensité du courant électrique.

21. Montrer que le premier principe de la thermodynamique semble ne pas être vérifié.

Puis (entre autres en comparant T_5 et T_6) expliquer comment on justifie que le premier principe de la thermodynamique est probablement tout de même vérifié.

Rappel d'une des conséquences du premier principe de la thermodynamique (principe de conservation de l'énergie) : au cours d'un cycle de la machine thermodynamique, la somme des énergies échangées s'annule donc somme énergies reçues + somme énergies cédées = 0.

22. Déterminer le coefficient de performance de cette PAC. Que veut dire ce résultat ?

Rappel : coefficient de performance $\text{COP} = \left| \frac{\text{transfert d'énergie utile}}{\text{transfert d'énergie dépensé}} \right| = \left| \frac{Q \text{ ou } W_{\text{utile}}}{Q \text{ ou } W_{\text{dépensé}}} \right|$ et donc $\left| \frac{\mathcal{P}_{\text{utile}}}{\mathcal{P}_{\text{dépensée}}} \right|$

23. En s'aidant des questions précédentes, expliquer comment le COP de cette PAC peut être (un peu) amélioré assez facilement.

24. Montrer que le second principe de la thermodynamique est vérifié au niveau du condenseur (on pourrait faire de même au niveau de l'évaporateur).

25. Sur le diagramme pression-température du fluide R134a, placer un point appelé 4 (correspondant à l'entrée du condenseur), le point 6 (correspondant à l'entrée du détendeur), le point 8 (correspondant à la sortie de l'évaporateur) puis le point 7 (à la même pression que le point 8 mais sur la courbe d'équilibre liquide-vapeur). Puis représenter le cycle du fluide frigorigène en reliant les points 4, 6, 7, 8 et 4 par des segments de droite.

Rappel : mis à part au niveau du compresseur et du détendeur, l'ensemble des transformations dans une machine frigorifique se fait à pression constante.

26. Grace au diagramme précédent, vérifier qu'aux points 4 et 8 tout le fluide frigorigène est gazeux et qu'au point 6 tout le fluide frigorigène est liquide.

27. Grace à ce même diagramme, déterminer la masse volumique du R134a lorsqu'il est liquide.

28. Calculer le débit en masse de R134a à partir de son débit en volume et de sa masse volumique.

29. Sur le diagramme enthalpie-pression du fluide R134a (l'enthalpie H est associée à l'énergie), placer le point 4 (correspondant à l'entrée du condenseur), le point 6 (correspondant à l'entrée du détendeur), le point 8 (correspondant à la sortie de l'évaporateur) puis le point 7 (à la même pression P que le point 8 et à la même enthalpie H que le point 6). Puis représenter le cycle du fluide frigorigène en reliant les points 4, 6, 7, 8 et 4 par des segments de droite.

30. Grace à ce nouveau diagramme, vérifier à nouveau qu'aux points 4 et 8 tout le fluide frigorigène est gazeux et qu'au point 6 tout le fluide frigorigène est liquide.

31. Grace à ce même diagramme, vérifier la valeur de la masse volumique du R134a lorsqu'il est liquide.

32. Puis, en s'aidant de ce diagramme, déterminer les puissances des transferts thermiques lors de la condensation à pression constante (point 4 au point 6). Puis comparer aux résultats précédents.

Donnée : à pression constante, la puissance du transfert thermique reçu par le fluide est $\mathcal{P}_{\text{th}} = q_m \cdot \Delta H$ avec q_m le débit en masse du fluide et ΔH la variation d'enthalpie du fluide.

33. Faire de même pour déterminer les puissances des transferts thermiques lors de l'évaporation à pression constante (point 7 au point 8). Puis comparer aux résultats précédents.