

## Autour de la pompe à chaleur (d'après banque PT 2024)

L'usage de la calculatrice et de tout dispositif électronique est interdit

Dans le cadre de la rénovation énergétique des bâtiments afin de lutter contre le réchauffement climatique, il est préconisé l'installation de pompe à chaleur. En effet, ce dispositif permet d'effectuer des économies d'énergie pour le chauffage des habitations et la production d'eau sanitaire.

### 1 — Modèle ditherme

1. Présenter sous forme de schéma annoté le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur ditherme fonctionnant entre une source chaude thermostatée (de température  $T_C$ ) et une source froide thermostatée (de température  $T_F$ ).
2. On considère comme système thermodynamique le fluide de la pompe à chaleur. Préciser, en justifiant, les signes de  $Q_C$ , transfert thermique reçu par le système de la part de la source chaude, de  $Q_F$ , transfert thermique reçu par le système de la part de la source froide, et de  $W$ , travail mécanique reçu de la part du système mécanique sur un cycle de fonctionnement.
3. Définir l'efficacité (ou COP) de cette pompe à chaleur. L'exprimer en fonction uniquement des transferts thermiques  $Q_C$  et  $Q_F$ .
4. Déterminer l'expression de l'efficacité (ou COP) de la pompe à chaleur en fonction de  $T_C$  et  $T_F$ , de l'entropie créée au cours d'un cycle de fonctionnement que l'on notera  $S_c$  et de  $W$ . Donner son ordre de grandeur pour une machine réelle.
5. Représenter graphiquement l'évolution du COP en fonction de  $S_c$  (en considérant  $W$ ,  $T_C$  et  $T_F$  constants).
6. Interpréter physiquement le cas  $S_c = 0$ .

### 2 — Fonctionnement de la pompe à chaleur à fluide R410A

Le schéma de principe d'une telle installation est présenté dans la figure 1.

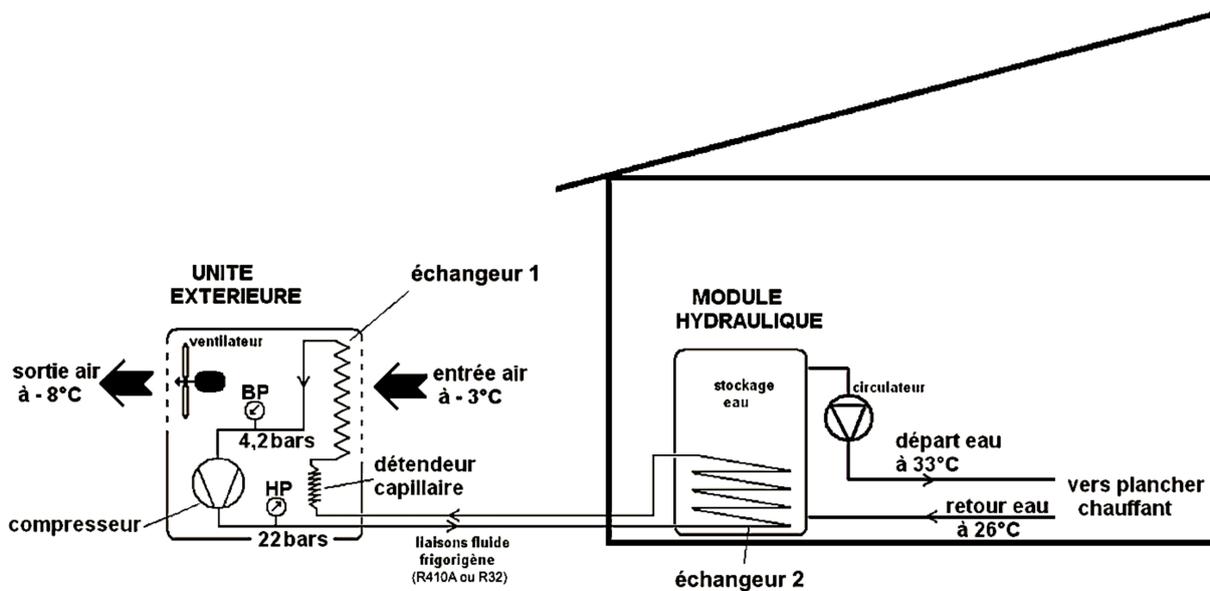


FIGURE 1

7. À l'aide de la figure 1, identifier la source chaude et la source froide ainsi que le système mécanique qui échange un travail avec le fluide de la pompe à chaleur.

On étudie dans cette partie le fonctionnement réel de la pompe à chaleur fonctionnant avec le fluide R410A. Cette pompe à chaleur est composée des organes thermodynamiques suivants : un compresseur, un condenseur (dans lequel a lieu une liquéfaction), un détendeur et un évaporateur.

Le fluide R410A subit alors les transformations décrites suivant, en régime permanent d'écoulement :

- 1 → 2 : le fluide à l'état gazeux sous la pression  $P_b = 4,2$  bar et à la température de  $-12$  °C subit une compression isentropique jusqu'à la pression  $P_h = 22$  bar dans un compresseur ;
- 2 → 3 : le gaz entre dans le condenseur où il y subit dans un premier temps un refroidissement isobare selon une surchauffe, pour atteindre un état de vapeur juste saturante ;
- 3 → 4 : toujours dans le condenseur, le fluide subit une liquéfaction jusqu'au liquide juste saturé à la pression  $P_h$  ;
- 4 → 5 : le liquide subit alors un sous-refroidissement isobare jusqu'à la température de  $30$  °C et sort du condenseur ;
- 5 → 6 : le liquide entre dans le détendeur (adiabatique et sans partie mobile) pour y subir une détente jusqu'à la pression  $P_b$  ;
- 6 → 7 : le fluide entre dans l'évaporateur pour y subir une vaporisation totale à la pression  $P_b$  pour se retrouver sous forme de vapeur juste saturante ;
- 7 → 1 : avant de sortir de l'évaporateur, la vapeur juste saturante subit une surchauffe avant de rentrer dans le compresseur.

On négligera les variations d'énergies cinétique et potentielle massiques devant la variation d'enthalpie massique. On négligera les pertes de charge dans les canalisations.

Sur la figure 1 figurent les deux échangeurs (échangeur 1 et échangeur 2) de la pompe à chaleur : l'un est le condenseur, l'autre est l'évaporateur.

8. Au contact de quelle source doit être mis le condenseur? Identifier l'échangeur concerné, présent sur la figure 1, en justifiant la réponse.
9. Au contact de quelle source doit être mis l'évaporateur? Identifier l'échangeur concerné, présent sur la figure 1, en justifiant la réponse.
10. Déterminer la nature de la transformation subie par le fluide à travers le détendeur.
11. La transformation subie par le fluide dans le compresseur est considérée comme isentropique dans un premier temps. Comment peut-on justifier cette hypothèse?

On fournit le diagramme enthalpique en annexe du fluide R410A.

12. À l'aide de la description donnée, représenter les différents points du cycle effectué par le fluide R410A noté 1 à 7 sur le diagramme fourni en annexe. On précisera le sens d'évolution le long de ce cycle.
13. Sans s'aider des isotitres figurant sur le diagramme fourni, déterminer le titre massique du seul point du cycle dans un état diphasique. Commenter.
14. Déterminer à l'aide du diagramme :
  - le travail massique indiqué reçu par le fluide de la part du compresseur ;
  - le transfert thermique massique reçu par le fluide à la traversée du condenseur ;
  - le transfert thermique massique reçu par le fluide à la traversée de l'évaporateur.
15. Quel est l'intérêt de la surchauffe?
16. Calculer l'efficacité de la pompe à chaleur fonctionnant avec le fluide R410A (on donnera le résultat avec deux chiffres significatifs). Quel est l'intérêt d'une pompe à chaleur par rapport à un chauffage électrique?
17. En réalité, la transformation subie par le fluide à la traversée du compresseur n'est pas isentropique. L'efficacité réelle vaut 90 % de l'efficacité calculée à la question précédente et le reste du cycle est inchangé. Quelle est alors la température en sortie du compresseur?

### 3 — Remplacement du fluide R410A par le fluide R32

Dans la majorité des modèles de pompes à chaleur air/eau, la production de chaleur était réalisée avec un fluide dénommé R410A, un gaz fluoré qui est progressivement retiré du marché depuis 2016, au bénéfice d'un autre gaz, le R32, considéré comme plus compatible avec la question environnementale.

La réglementation européenne CE 517/2014, ou réglementation F-Gaz, a été mise en place dans l'ensemble de l'Union européenne afin de cadrer l'usage des fluides fluorés. Entrée en vigueur au 1<sup>er</sup> janvier 2015, elle a pour objectif final de réduire les émissions de gaz à effet de serre à hauteur de 80 % d'ici 2050.

Répondant aux exigences européennes sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre, le gaz R32 est un atout pour les nouvelles pompes à chaleur arrivant sur la marché. Ses différents avantages sont :

- un impact 75 % moins élevé sur l'environnement par rapport aux autres fluides frigorigènes tels que le R410A grâce à un RPG (pouvoir de réchauffement global) à 675 kgéq CO<sub>2</sub> ;
- un gain de performance de 6 à 7 % par rapport aux équipements alimentés en R410A ;
- une performance augmentée permettant de réaliser des économies sur la facture énergétique et de rendre l'habitat moins énergivore ;
- une composition le rendant plus manipulable, avec la possibilité de le charger dans le système de chauffage à l'état liquide comme gazeux, contrairement au R410A ;
- une plus grande facilité au recyclage, car c'est un composant unique et donc totalement pur, et un impact nul sur la couche d'ozone.

On fait l'hypothèse que le cycle subit par le fluide R32 est approximativement le même que celui du fluide R410A. Les valeurs massiques pour les points 1 à 7 sont données dans le tableau suivant :

point	1	2	3	4	5	6	7
$h$ (en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	518	588	512	268	254	254	510

18. Vérifier le gain de performance annoncé dans le descriptif précédent.

#### 4 — Chauffage de la maison par plancher chauffant

La pompe à chaleur précédemment étudiée sert à chauffer de l'eau contenue dans le ballon de stockage présent sur la figure 1. Cette eau *via* un circulateur (une pompe) est envoyée dans un tuyau serpentin dans le plancher de la maison.

19. Rappeler la relation de Bernoulli dans le cadre d'un écoulement parfait stationnaire, homogène et incompressible d'une fluide soumis à la seule force de pesanteur.

On travaillera par la suite dans ce cadre.

Un technicien doit intervenir sur le ballon de stockage d'eau; pour cela, il doit le vidanger complètement. On considère ce ballon comme un cylindre de rayon  $R$  et de hauteur  $H$ . Il est complètement rempli sur une hauteur  $H_0$  ( $H_0 < H$ ). Un trou en son sommet permet le contact avec l'atmosphère.

Un tuyau de vidange, de rayon  $r$ , est placé en son centre sur sa base, permettant de vidanger l'eau du ballon à l'atmosphère.

Le technicien ouvre le robinet à  $t = 0$ . On cherche à estimer le temps que prendra la vidange totale du ballon.

On représente sur la figure 2 le ballon à un instant quelconque de la vidange. La surface libre est alors repérée par la coordonnées  $z(t)$ . À l'instant  $t = 0$  de la vidange, on a  $z(0) = H_0$ .

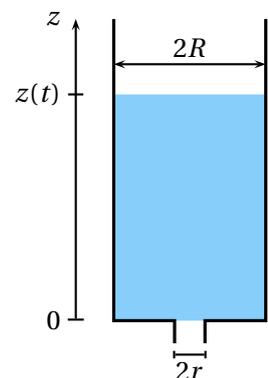


FIGURE 2 – Ballon d'eau chaude

20. Montrer que l'on peut mettre la vitesse  $v_0$  de l'eau au niveau du robinet de vidange sous la forme

$$v_0 = -\frac{R^2}{r^2} \frac{dz}{dt}.$$

21. Le ballon est tel que  $R = 0,50$  m et  $r = 5,0$  mm.

En appliquant la relation de Bernoulli, déterminer la vitesse  $v_0$  en fonction de la hauteur de liquide notée  $z(t)$ , de l'accélération de la pesanteur notée  $g$ .

22. En déduire l'expression de  $z(t)$  en fonction de  $g$ ,  $r$ ,  $R$ ,  $H_0$  et  $t$ .

23. Déterminer alors l'expression littérale du temps nécessaire à la vidange complète du ballon.

24. Effectuer l'application numérique. On prendra  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  et  $H_0 = 2,0$  m.

