

I Machine frigorifique à absorption

De l'avis de l'historien Hugo Obermaier (1877–1946), dès le paléolithique inférieur (100 000 ans avant Jésus Christ), les hommes ont commencé à utiliser le froid existant dans les grottes pour conserver le gibier. Sans comprendre ces phénomènes, ces hommes utilisaient sans doute l'abaissement de température produit en partie par l'évaporation de l'eau, en partie par la détente de l'air dans les crevasses communiquant avec l'extérieur.

Q1. À partir de considérations simples, expliquer ces deux hypothèses. On pourra raisonner sur l'humidité de l'air et préciser le modèle de détente.

Au début du XIX^e siècle, des procédés d'obtention de froid artificiel ont vu le jour.

La première machine à atteindre une importance industrielle généralisée fut celle du français Ferdinand Carré qui, en 1859, déposa un brevet pour un réfrigérateur à absorption utilisant l'ammoniac comme fluide frigorigène. Son principe est schématisé figure 1.

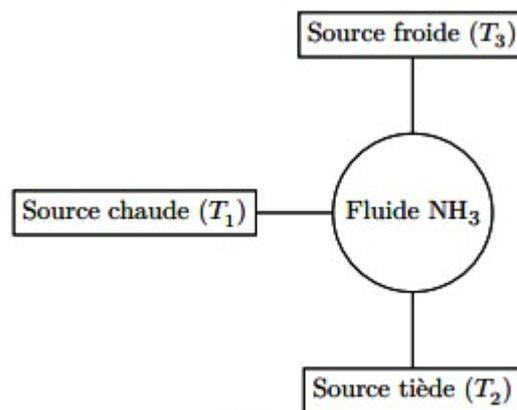


Figure 1

Un réfrigérateur à absorption est un récepteur thermique fonctionnant par contact avec trois « thermostats », sans recevoir de travail mécanique. La source chaude à la température T_1 est constituée par le système de chauffage de la machine (un brûleur par exemple). La source tiède à la température T_2 est constituée par la salle dans laquelle se trouve la machine. La source froide à la température T_3 est constituée par l'enceinte à refroidir. On a $T_1 > T_2 > T_3$. On désigne par Q_1 , Q_2 et Q_3 les transferts thermiques **reçus** par le fluide NH_3 au cours d'un cycle de la machine, respectivement lors des contacts avec les sources chaude, tiède et froide.

Q2 Rappeler le nombre d'électrons de valence de l'atome d'azote et en déduire la formule de Lewis de l'ammoniac NH_3

Q3. Déterminer les signes des transferts thermiques Q_1 , Q_2 et Q_3 .

Q4. Comparer les valeurs absolues $|Q_1|$ et $|Q_2|$. Commenter.

Q5 Définir le coefficient de performance (noté COP) de cette machine et donner son expression littérale.

Q6. En utilisant les deux principes de la thermodynamique sur un cycle, montrer que $\text{COP} \leq \text{COP}_{\text{max}}$. On exprimera COP_{max} en fonction de T_1 , T_2 et T_3 .

Q7. Étudier la limite de COP_{max} lorsque la température T_1 du système de chauffage de la machine devient très grande. Interpréter l'expression obtenue.

II Machine frigorifique à compression de vapeur

On considère une machine frigorifique constituée d'un compresseur, d'un condenseur, d'un détendeur et d'un évaporateur, dans lesquels circule un fluide frigorigène R134a.

Q8. Sur un schéma de principe, identifier les différents transferts énergétiques qui interviennent au sein de la machine entre les différents éléments schématisés figure 2 et donner leur signe

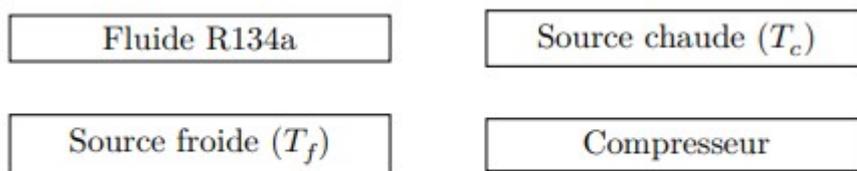


Figure 2

Q 9. Quel est le rôle du condenseur et au contact de quel élément de la figure 2 doit-il être mis ?

Q 10. Quel est le rôle de l'évaporateur et au contact de quel élément doit-il être mis ?

Q 11. Définir le coefficient de performance (COP) de cette machine puis exprimer le coefficient de performance de la machine de Carnot correspondante.

Pour toute la suite, on néglige toute variation d'énergie cinétique massique et d'énergie potentielle massique. De plus, on suppose un régime d'écoulement permanent au débit massique $D_m = 0,2 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$. Pour simplifier, on considère la compression adiabatique et réversible. Le détendeur D, calorifugé et sans parties mobiles, permet une chute de pression. L'évaporateur EV et le condenseur CD sont des échangeurs thermiques isobares. Les notations des états du fluide sont précisées sur la figure 3

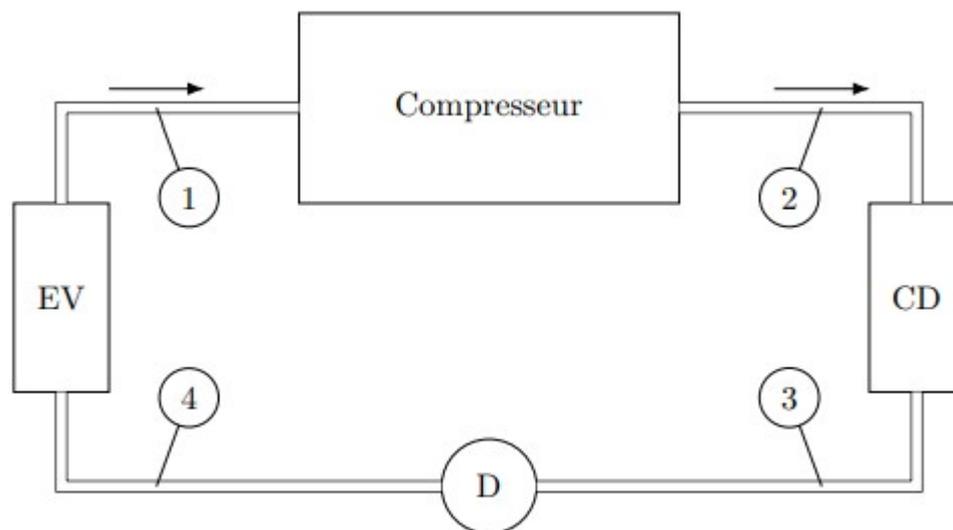


Figure 3

Q 12. Rappeler le premier principe pour un kilogramme de fluide frigorigène en écoulement stationnaire unidimensionnel dans un système à une entrée et une sortie. On notera h l'enthalpie massique, w_i le travail indiqué massique reçu de la part des parties mobiles de la machine et q le transfert thermique massique reçu.

Q 13. Montrer que le fluide subit une détente isenthalpique dans D.

La figure A du document réponse (à rendre avec la copie) représente l'allure du cycle décrit par le fluide dans le diagramme dit « des frigoristes » enthalpie massique h (en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) en abscisse, pression P (en bar) en ordonnée, avec échelle logarithmique.

Aucune connaissance préalable de ce diagramme n'est requise. Seul le point 1, à l'entrée du compresseur, est mentionné sur ce diagramme.

Q 14. En repérant la courbe de saturation et les abaques de température, noter sur le diagramme les domaines où le fluide est à l'état liquide, vapeur sèche et vapeur-humide (ou mélange liquide-vapeur)

Q 15. Dans quel sens est parcouru le cycle ? Lorsqu'un cycle est parcouru dans le sens trigonométrique sur un diagramme de Clapeyron, la quantité de chaleur reçue par cycle est négative et donc fournie à l'extérieur. En est-il de même sur ce cycle dans le diagramme des frigoristes ? sur tout cycle ?

Q 16. Quelle est la forme des isothermes à l'intérieur de la courbe de saturation ?

Q 17. Quelle est la forme des isothermes dans le domaine de la vapeur sèche ? Justifier lorsque l'on peut assimiler la vapeur sèche à un gaz parfait.

Q 18. Porter le numéro de chaque état du fluide (2, 3 et 4) dans chaque case prévue.

Q 19. Noter sur le diagramme, pour chacune des quatre transformations, la nature de la transformation et l'organe (compresseur, condenseur, détendeur, évaporateur) traversé par le fluide.

Q 20. Compléter le tableau du document réponse en s'aidant du diagramme.

Q21 À l'aide du théorème des moments calculer le titre en vapeur à la sortie de l'évaporateur est comparer avec la valeur obtenue à la question précédente .

Q 22. Exprimer, puis calculer, le travail massique indiqué w_{ic} reçu par le fluide dans le compresseur.

Q 23. Exprimer, puis calculer, le transfert thermique massique q_f reçu par le fluide dans l'évaporateur.

Q 24. En utilisant le débit massique, exprimer puis calculer la puissance frigorifique P_f de cette machine.

Q 25. Exprimer, puis calculer, le coefficient de performance de cette installation frigorifique. Le comparer au coefficient de performance de la machine de Carnot correspondante et interpréter la différence observée.

Q 26. On souhaite améliorer la puissance frigorifique de 5 % en sous-refroidissant jusqu'à T'_3 le fluide lors de la condensation isobare. En déduire h'_3 et placer le point 3' sur le diagramme. En déduire T'_3 et la valeur du sous-refroidissement ΔT .

Les fluides utilisés dans les systèmes précédents sont malheureusement des gaz à effet de serre, qui contribuent au réchauffement climatique. Des recherches sont menées pour tenter de trouver de nouveaux gaz frigorifiques moins polluants. Parallèlement, de nouvelles technologies sont à l'étude, pour réaliser des systèmes à haute efficacité énergétique, tout en ayant un impact environnemental faible.

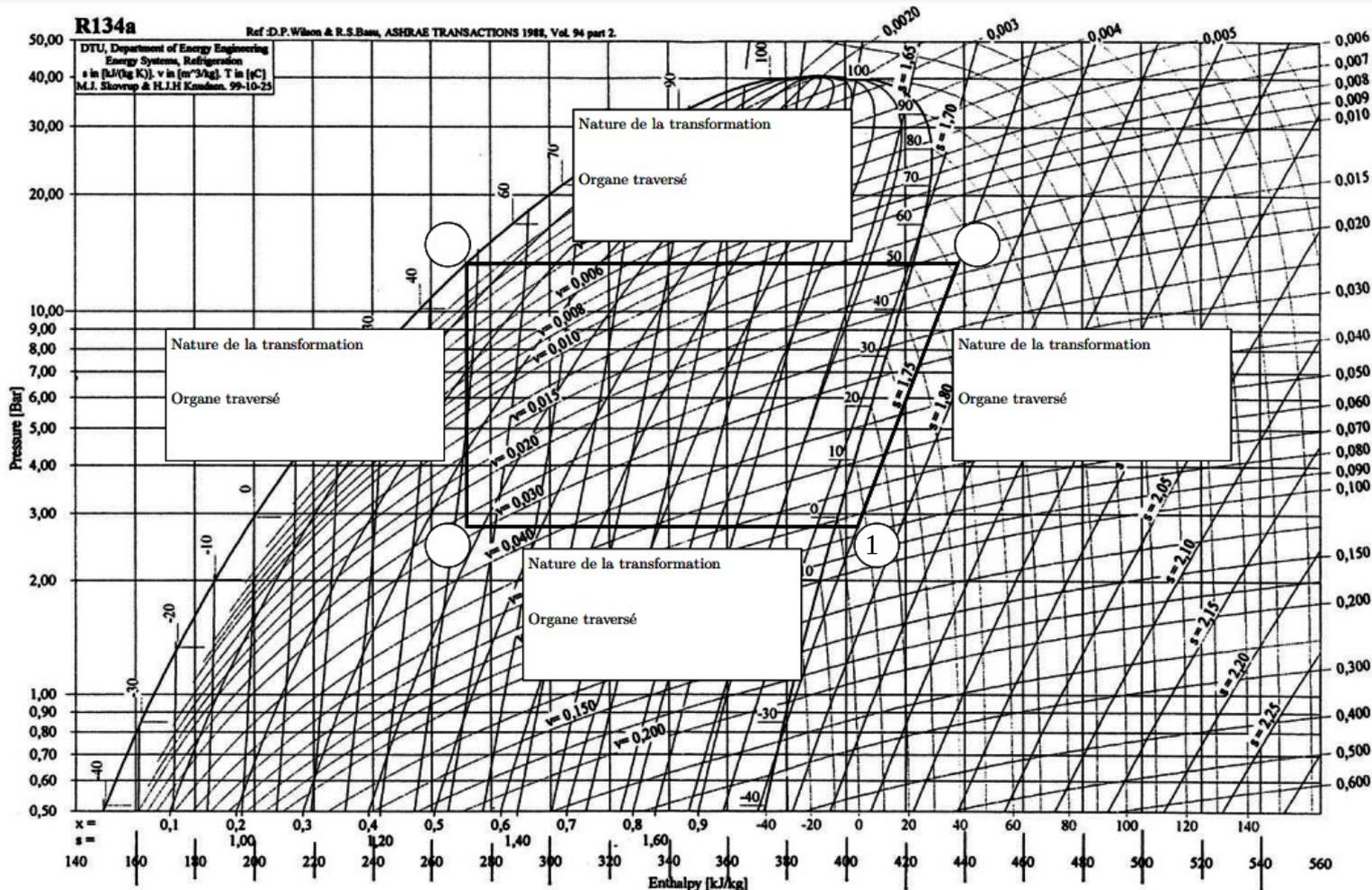


Figure A

État du fluide	1	2	3	4
Pression (bar)				
Température (°C)				
Enthalpie massique (kJ·kg ⁻¹)				
Titre en vapeur				