

Problème II L'utilisation du CO₂ comme fluide pour les machines frigorifiques

Le dioxyde de carbone (CO₂) peut être utilisé comme fluide thermodynamique, en particulier pour les groupes froids des supermarchés. On représente le cycle d'une machine thermique ditherme sur le diagramme du CO₂. Pour obtenir une efficacité importante le cycle utilisé est le cycle 1-2-3-4-1 tracé sur le diagramme du document 11. On parle de cycle transcritique.

Le tableau suivant précise les points importants de ce cycle et les associe aux organes principaux de la machine frigorifique :

point du cycle	1		2		3		4		1
organe traversé		compresseur		refroidisseur		détendeur		évaporateur	
température (°C)	-20		145		?		-30		-30
pression (bar)	14,3		100		100		14,3		14,3
enthalpie massique (kJ·kg ⁻¹)	448		566		240		240		448

E1. Indiquer l'état physique du fluide au point 1 du cycle.

E2. Déterminer la composition du fluide au point 4.

E3. Déterminer la pression dans l'évaporateur, notée $P_{\text{évap}}$.

E4. La compression adiabatique du dioxyde de carbone s'effectue dans un compresseur au cours de la transformation 1 → 2. En justifiant la réponse, indiquer si cette transformation est réversible.

E5. Dans le domaine gazeux, les courbes d'entropie massique constante présentent une pente toujours positive dans le diagramme pression – enthalpie massique. Justifier cette propriété.

E6. Cette machine frigorifique fonctionne sous une haute pression, notée P_h , préciser la valeur de cette pression maximale.

E7. Le circuit du fluide ne contient pas de condenseur (plus précisément un liquéfacteur) mais un refroidisseur nommé « gas cooler ». Déterminer températures θ_e et θ_s respectivement à l'entrée et à la sortie du « gas cooler ».

E8. Le dioxyde de carbone subit une détente au cours du cycle. Préciser entre quels points cette détente s'effectue et la caractéristique de cette détente.

E9. Le point de coordonnées $h = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ et $P = 74 \text{ bar}$ est un point remarquable. Indiquer son nom et sa température.

E10. On voudrait savoir si au point G , représenté sur le diagramme fourni du document 11, le CO_2 obéit à l'équation du gaz parfait. Donner les valeurs de la pression, notée P_G , de la température, notée T_G et du volume massique, noté v_G en ce point G . On donne la constante massique du CO_2 : $r = R/M = 1,89 \times 10^2 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ où R est la constante des gaz parfaits et M la masse molaire du dioxyde de carbone. Conclure.

E11. Expliquer comment il est possible par la simple observation des courbes isothermes et isenthalpiques dans le domaine gazeux de déterminer le caractère parfait ou non du gaz étudié.

E12. En supposant que les échanges thermiques du CO_2 avec les sources atteignent l'équilibre thermique en fin de transformation, calculer les valeurs de la température T_F de la source froide et de la température T_C de la source chaude pour cette machine.

E13. Établir l'expression de l'efficacité maximale, notée $e_{\max}$ d'un groupe réfrigérant en fonction des températures des sources. Calculer numériquement cette efficacité maximale dans le cas de la machine étudiée.

~~**E14.**~~ Rappeler l'expression du premier principe de la thermodynamique pour un système en écoulement en utilisant les grandeurs énergétiques massiques.

~~**E15.**~~ En déduire l'expression puis la valeur de l'échange thermique massique avec la source froide.

~~**E16.**~~ Exprimer puis calculer la valeur de l'échange thermique massique avec la source chaude

~~**E17.**~~ Exprimer l'efficacité réelle, notée e_F de cette machine frigorifique et calculer sa valeur numérique.

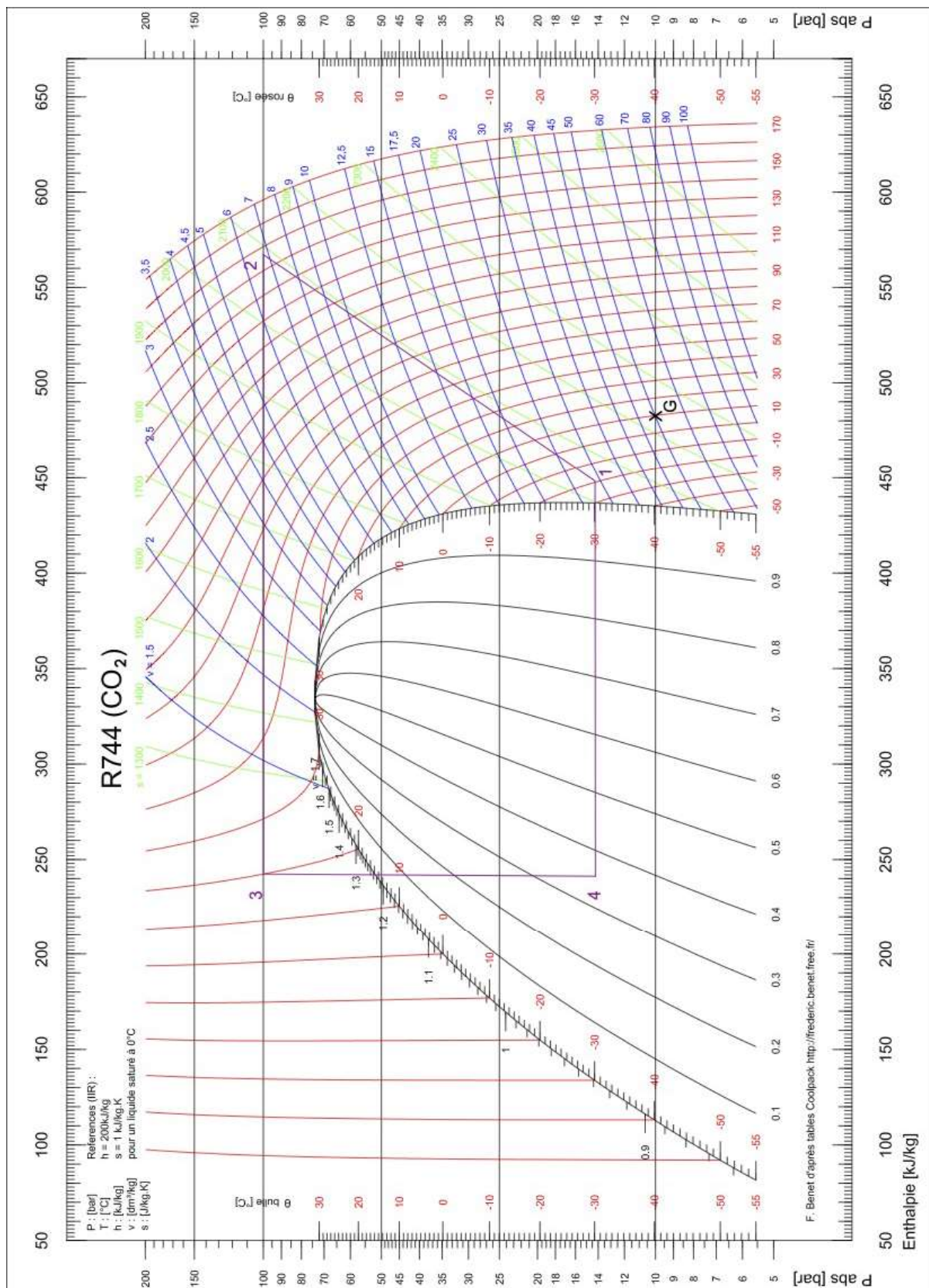
Données utiles à la partie E :

Conversion d'unités :

$$T (\text{K}) = 273 + T (^\circ\text{C})$$

$$P (\text{bar}) = 10^5 \times P (\text{Pa})$$

Document 11 : Cycle du CO₂ sur un diagramme pression enthalpie massique



FIN DU SUJET