

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2019

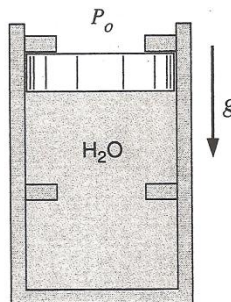
Toute documentation permise
Calculatrices : modèles autorisés seulement
Durée de l'examen : 3 heures

Total : 20 pts

**16-CH-A1 BILAN DES TRANSFORMATIONS ET THERMODYNAMIQUE
CHIMIQUE**

(4pts) 1. Changement d'état

De la vapeur d'eau, initialement à 1 MPa et 500 °C, est confinée à l'intérieur d'un système cylindre-piston tel qu'illustré à la figure. La masse du piston et la pression atmosphérique sont telles que le piston flotte librement lorsque la pression interne est de 500 kPa. Le système possède deux crans d'arrêt et le volume correspondant au cran d'arrêt supérieur est $V_{max} = 3$ L, celui du bas est $V_{min} = 1$ L. Le système est alors refroidi en transférant de chaleur à l'entourage jusqu'à ce que le piston flotte sur le cran d'arrêt inférieur.



- a) Déterminez l'état final de l'eau.
- b) Sur un diagramme PVT illustrez le procédé.
- c) Calculez le travail fait par le système (kJ).
- d) Qualitativement, quelles sont les variations d'entropie pour le système, l'entourage et la variation totale? Justifiez brièvement vos réponses.

(4 pts) 2. Séchage de cristaux de soude caustique

Des cristaux de soude caustique mouillés doivent être séchés à l'aide d'un séchoir rotatif opérant en régime permanent à la pression atmosphérique. Les cristaux contiennent 40 % en masse d'eau et sont alimentés à 21 °C. À la sortie, ils doivent contenir moins de 15 % en masse d'eau. De l'air chaud est alimenté en contre-courant par rapport aux cristaux, au taux de 10 m³/kg cristaux mouillés et les conditions de l'air sont les suivantes :

$$\text{entrée: } T_1 = 104^\circ\text{C}; T_{H1} = 32^\circ\text{C}$$

$$\text{sortie: } T_2 = 37.7^\circ\text{C}; T_{H2} = 31^\circ\text{C}$$

où T_{H1} et T_{H2} sont les températures humides à l'entrée et à la sortie.

À l'aide de la Figure 1,

- Calculez la quantité d'eau contenue dans l'air à la sortie.
- Calculez la teneur en eau des cristaux à la sortie. Est-ce que le séchoir est satisfaisant? **Vous pouvez supposer que l'air à l'entrée est sec et se comporte comme un gaz parfait.**

(4 pts) 3. Compression du dioxyde de carbone

À l'aide du diagramme ci-joint (Fig. 2)

- calculez la puissance requise pour comprimer 1 kg/s de CO₂ vapeur saturée à 0 °C jusqu'à 10 MPa. Posez que la compression est adiabatique, les variations d'énergies potentielle et cinétique négligeables et que le rendement est de 70 %.
- Quelle est la température finale?
- Si le CO₂ était un gaz parfait ($R = 0.1889$ kJ/kg.K et $C_p^\circ = 0.842$ kJ/kg.K, constant), quelle serait la puissance requise, en supposant le même rendement et mêmes T et P initiales et P finale?

(4pts) 4. Azéotrope

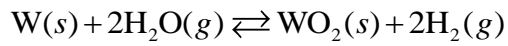
À 50 °C, la solution binaire du 1,4-dioxane (1) et eau(2) présente un azéotrope à $x_1 = 0.554$ et $P = 22.3$ kPa. À cette température, les tensions de vapeur sont: $P_1^{sat} = 15.6$ kPa et $P_2^{sat} = 12.4$ kPa .

- Déterminez les coefficients d'activité pour les deux composants à l'azéotrope. Indiquez clairement les hypothèses requises.

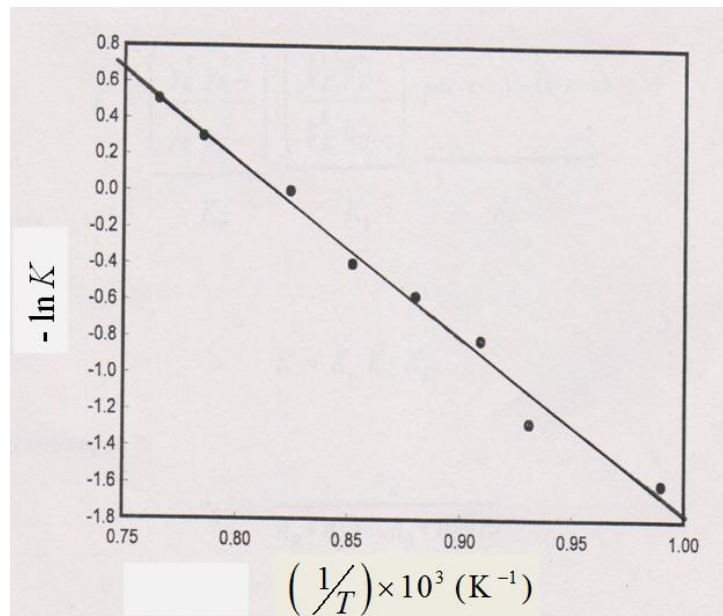
b) Déterminez les paramètres de l'équation de van Laar (à deux constantes).

(4pts) 5. Oxydation du tungstène

La réaction de la vapeur d'eau au tungstène solide permet de libérer de l'hydrogène selon l'équilibre suivant:



La constante d'équilibre K pour la réaction à 1 atm est présentée à la figure suivante en terme de $-\ln K$ vs. $1/T$ (où \ln est le logarithme naturel).



Constante d'équilibre pour l'oxydation du tungstène

- Pour $T = 900^\circ\text{C}$, déterminez le rapport des pressions partielles, $P_{\text{H}_2} / P_{\text{H}_2\text{O}}$, à l'équilibre. Indiquez clairement les hypothèses requises.
- À l'aide de cette figure et d'une relation thermodynamique, obtenez la chaleur de réaction par mole d'eau convertie. Est-ce une réaction endothermique ou exothermique?

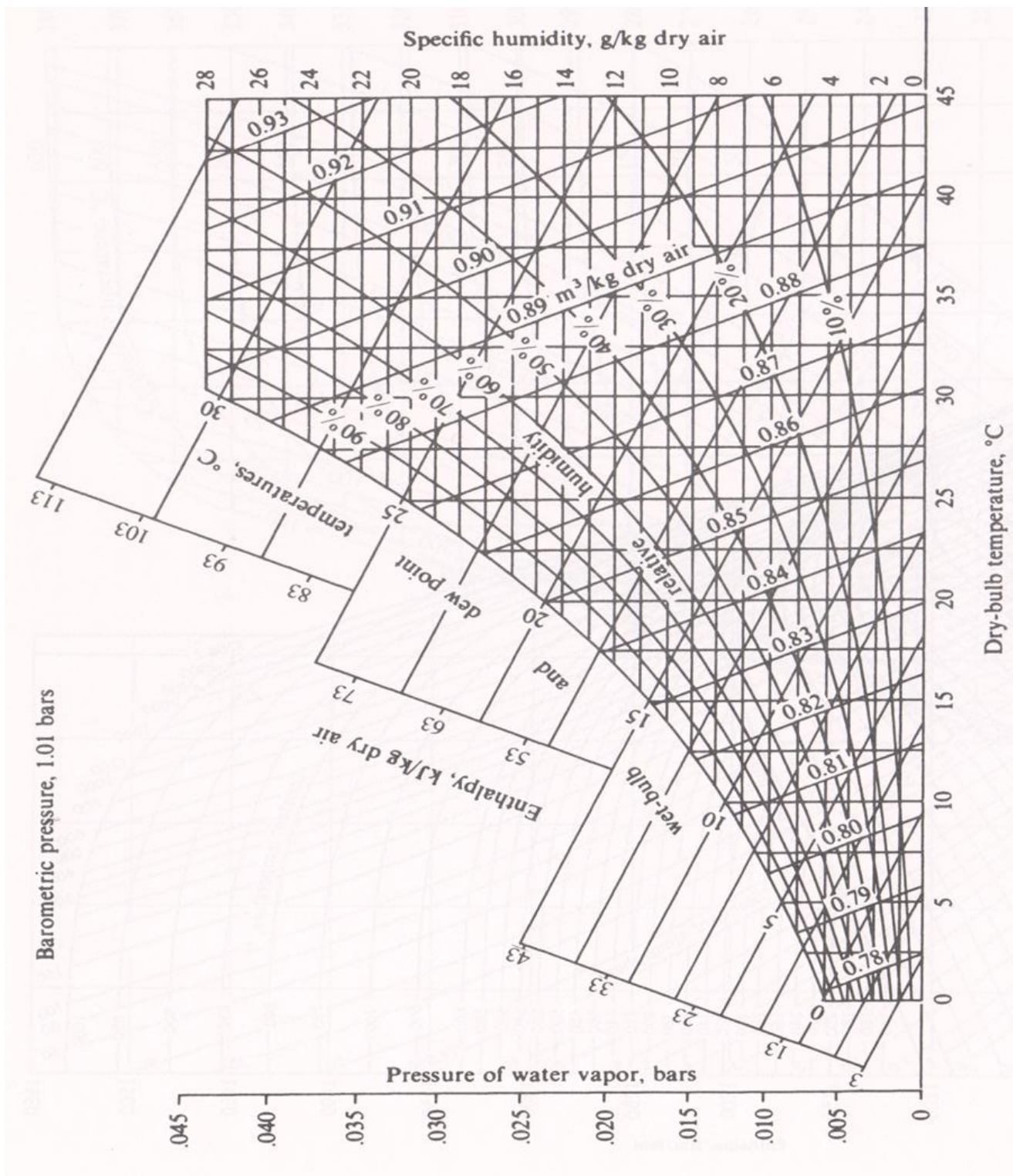


Fig. 1 Charte psychrométrique

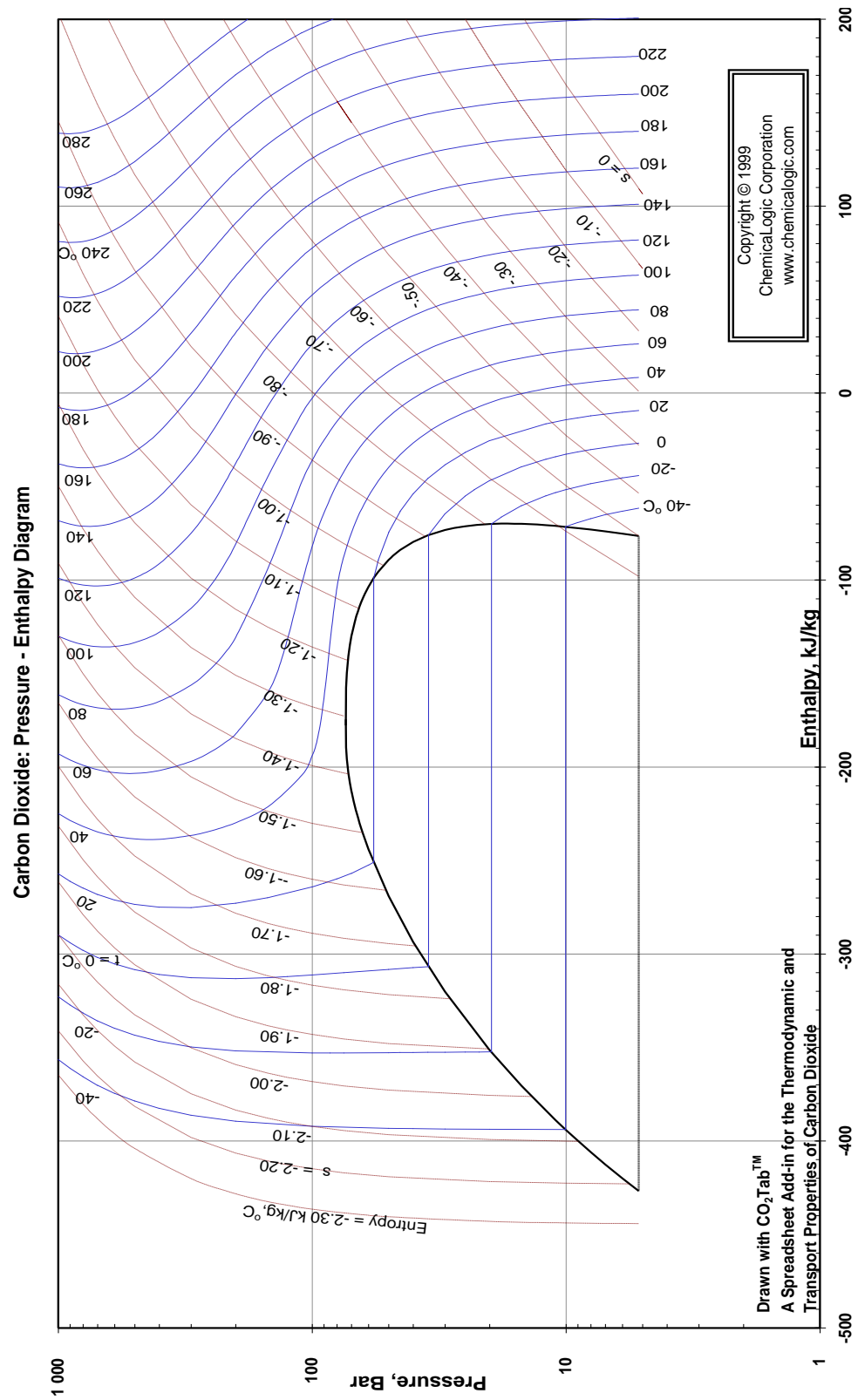


Fig. 2 Diagramme de Mollier pour le CO₂ (N.B. 1 bar = 10⁵ Pa)