

**SESSION 2005**

# **BREVET TECHNICIEN SUPÉRIEUR**

## **CHIMISTE**

### **Physique**

**Durée : 2 heures**

**Coefficient : 3**

**Matériel autorisé :**

**Calculatrice de poche à fonctionnement autonome, sans imprimante et sans dispositif de communication externe (circulaire n° 99-186 du 16/11/99).**

**Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.**

**Le sujet comporte 7 pages, numérotées de 1 à 7.**

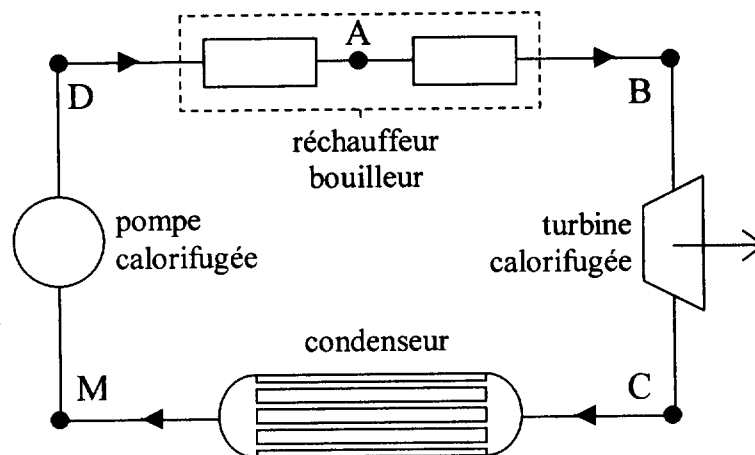
**Les annexes, page 4/7 et 5/7, sont à rendre avec la copie.**

**Code sujet : CHPHY-P05**

## PREMIER EXERCICE : ÉTUDE DU CYCLE THERMODYNAMIQUE D'UNE MACHINE À VAPEUR

Les centrales thermiques ou nucléaires utilisent une machine à vapeur pour faire tourner un alternateur et produire ainsi de l'énergie électrique. Le fonctionnement d'une machine à vapeur peut être modélisé dans une approche simplifiée par un cycle de Rankine.

Un fluide, ici de l'eau, subit des transformations dont certaines consistent à réaliser des échanges thermiques avec deux sources de chaleur, chaque source étant à température constante. Ces échanges peuvent provoquer des transitions de phase liquide  $\leftrightarrow$  vapeur.



Étapes du cycle :

- vaporisation A-B à pression constante  $P_1 = 50$  bar du fluide dans le bouilleur,
- détente isentropique B-C de la vapeur juste saturante dans la turbine calorifugée (c'est lors de cette étape que de l'énergie est fournie sous forme de travail à l'extérieur de la machine à vapeur), jusqu'à  $P_2 < P_1$ ,
- condensation totale C-M à pression constante  $P_2 = 0,10$  bar dans le condenseur,
- compression isentropique M-D du liquide juste saturant au départ, de  $P_2$  à  $P_1$ , dans la pompe calorifugée,
- échauffement D-A à pression constante  $P_1$ .

Étude du cycle :

1. Indiquer quelle information donnée dans la description du cycle permet de conclure que la vaporisation est complète en B.

Le diagramme  $T-s$  fourni permet de visualiser l'évolution de l'eau au cours du cycle. On peut voir sur ce diagramme la courbe de saturation (courbe de rosée et courbe d'ébullition se rejoignant au point critique), qui délimite la zone « état liquide », la zone « état vapeur » et la zone « coexistence liquide-vapeur ».

On remarquera également la continuité des courbes isobares et isenthalpes sur tout le domaine représenté, avec parfois une ou deux ruptures de pente.

2. Indiquer sur le diagramme (**annexe 1, page 4/7, à rendre avec la copie**) où sont situées les zones « état liquide », « état vapeur » et « coexistence liquide-vapeur ».

3. En observant les courbes isobares du diagramme  $T-s$  fourni (**annexe 1, page 4/7, à rendre avec la copie**), expliquer pourquoi on peut admettre que le point M est pratiquement confondu avec le point D sur ce diagramme, bien que les états M et D soient différents.

4. Dessiner précisément le cycle de Rankine sur le diagramme fourni.

5. Par lecture graphique aussi précise que possible, compléter le tableau figurant en **annexe 2, page 5/7, à rendre avec la copie**. On pourra s'aider d'une règle graduée pour affiner les graduations des axes et les relevés.

On rappelle l'expression du premier principe de la thermodynamique pour un fluide *en écoulement permanent entre une entrée et une sortie de machine* sans variation d'énergie cinétique ni variation d'énergie potentielle :

$$\Delta h = h_{\text{sortie}} - h_{\text{entrée}} = w + q$$

( $h, w, q$  : grandeurs massiques ;  $w$  : travail utile fourni par la machine)

6. Calculer l'énergie thermique (ou « quantité de chaleur »)  $q_{DB}$  reçue par 1,00 kg d'eau, au cours du transfert thermique avec la source chaude.

7. Calculer le travail reçu  $w_{BC}$  dans la turbine calorifugée. Commenter son signe.

8. Calculer le travail reçu  $w_{MD}$  à la pompe calorifugée.

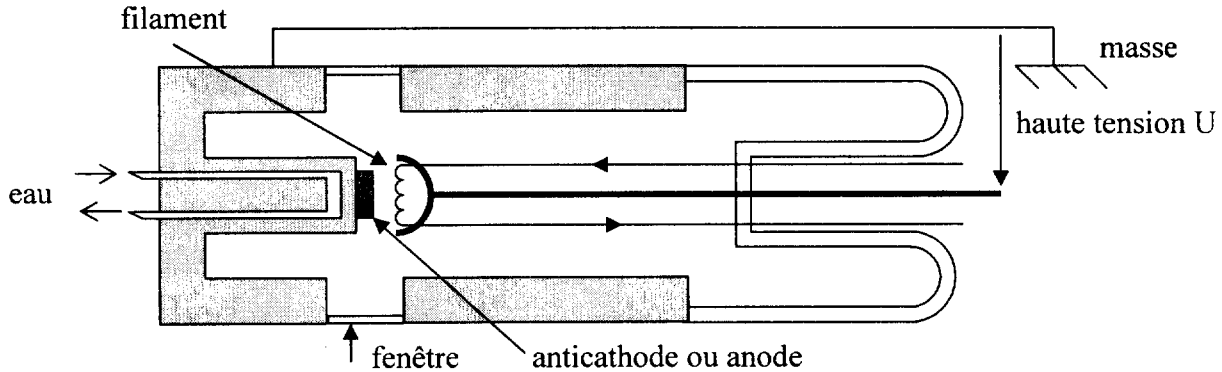
9. Calculer l'énergie thermique  $q_I$  reçue par 1,00 kg d'eau, au cours du transfert thermique avec la source froide.

10. Calculer le rendement  $\rho$  de ce cycle moteur.

## DEUXIÈME EXERCICE : PRODUCTION ET UTILISATION DE RAYONS X POUR L'ÉTUDE D'UN CRISTAL

### 1. Appareillage

Un tube à rayons X de Coolidge est schématisé ci-dessous.

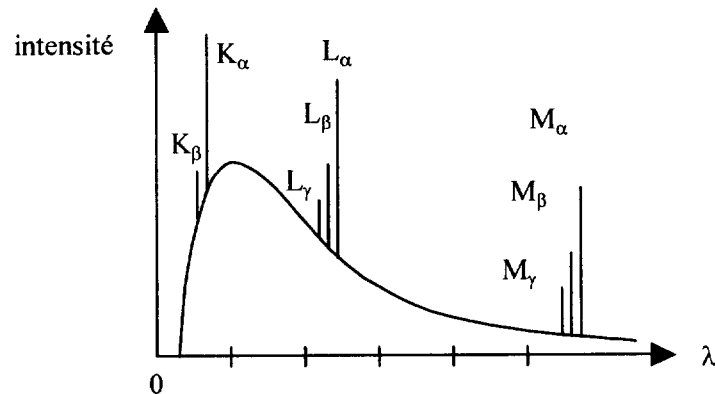


1.1. Rappeler brièvement le principe de fonctionnement d'un tube de Coolidge en indiquant notamment le rôle du filament, de la haute tension et de l'anticathode.

1.2. Expliquer qualitativement en quoi le rendement énergétique proche de 1 % de cet émetteur de rayonnement impose un refroidissement par eau.

### 2. Spectre du rayonnement à la sortie du tube

Le spectre d'émission est formé d'un fond continu sur lequel se superposent des raies d'émission intenses.



#### 2.1. Étude du fond continu

2.1.1. On admet que certains électrons sont arrêtés brutalement dans l'anticathode. Exprimer leur énergie cinétique  $E$  à l'arrivée sur l'anticathode en fonction de la haute tension  $U$ .

2.1.2. En admettant que cette énergie est intégralement convertie en énergie de rayonnement X, montrer que la longueur d'onde X alors émise est donnée par :

$$\lambda_0 = \frac{k}{|U|}$$

On exprimera  $k$  en fonction de  $h$ ,  $c$  et  $e$  et on calculera sa valeur.

**Données :** charge élémentaire :  $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$   
 constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$   
 célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

2.1.3. Indiquer à quoi correspond  $\lambda_0$  sur le spectre d'émission. Préciser si cette caractéristique dépend du matériau de l'anticathode ; justifier la réponse.

## 2.2. Étude du spectre de raies

2.2.1. À l'aide d'un diagramme énergétique représentant les niveaux d'énergie K, L, M d'un atome de l'anticathode, expliquer le processus physique en deux étapes qui génère des raies d'émission.

2.2.2. Ces raies sont-elles caractéristiques du matériau de l'anticathode ? Justifier.

2.2.3. On fournit les valeurs des deux longueurs d'onde de raies X émises par un atome de cobalt :

longueur d'onde (nm)	$\lambda_{K\alpha}$	$\lambda_{K\beta}$
	0,179	0,162

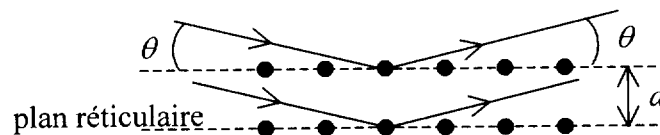
Ainsi que l'énergie de liaison (en eV) d'un électron situé sur la couche indiquée de l'atome de cobalt :

Couche	K	L	M
énergie	$7,71 \times 10^3$	$7,65 \times 10^2$	$3,64 \times 10^1$

Justifier les valeurs des longueurs d'onde données ci-dessus à partir des énergies de liaison de l'atome de cobalt.

## 3. Analyse cristallographique

On envoie un faisceau parallèle du rayonnement précédent de longueur d'onde  $\lambda_{K\alpha} = 0,179$  nm sur un cristal dont le réseau est cubique simple. On relève sur la figure de diffraction une raie d'ordre  $n = 1$  pour un angle  $\theta = 15,5^\circ$ . Cette raie correspond à la famille des plans réticulaires parallèles aux faces des mailles cubiques.



3.1. Montrer que la loi de Bragg s'écrit dans ce cas :  $2d \times \sin\theta = n\lambda_{K\alpha}$ .

3.2. Calculer le paramètre de maille  $a$ .

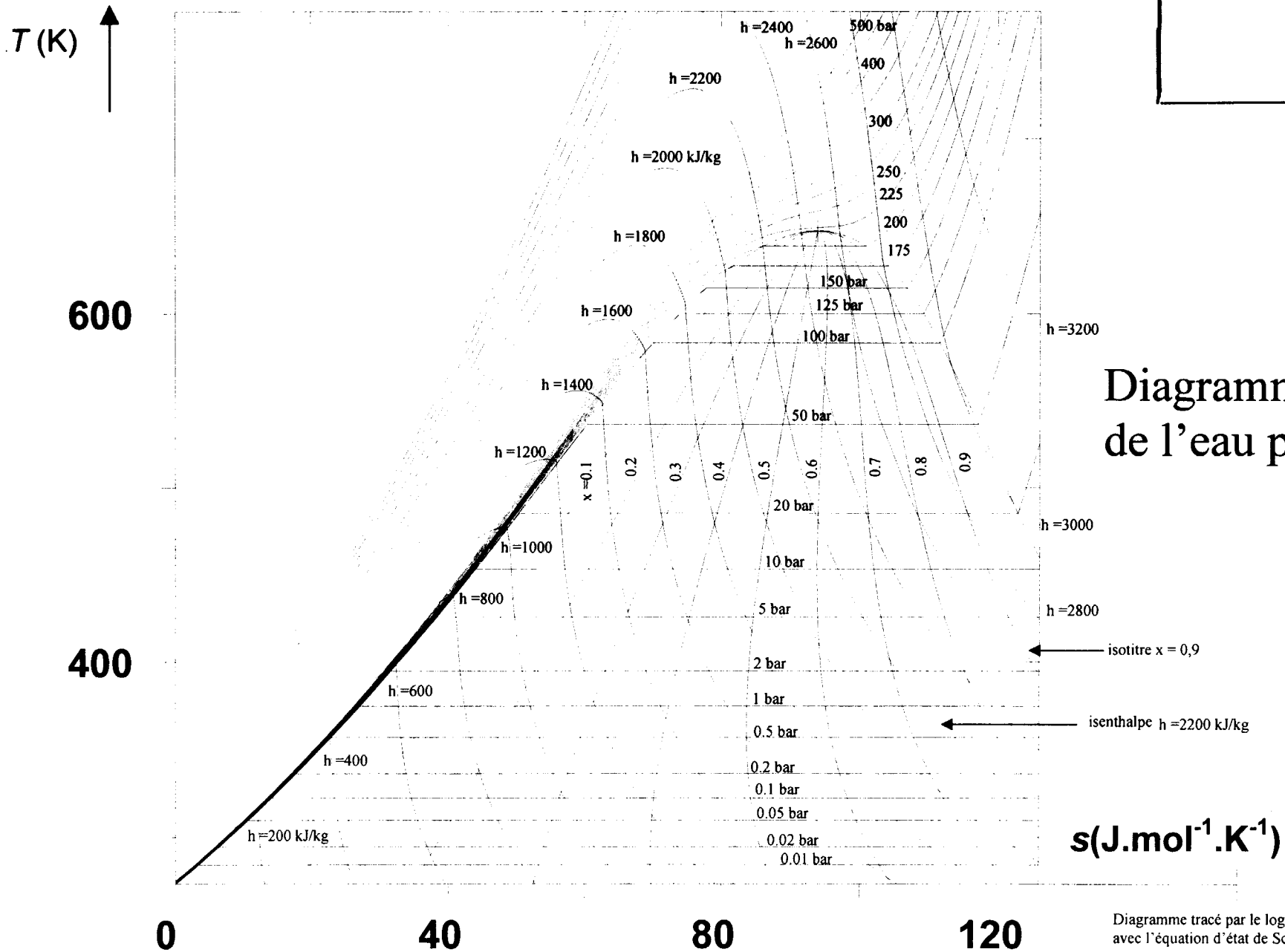


Diagramme  $T-s$   
de l'eau pure.

Diagramme tracé par le logiciel Diagsim1.0  
avec l'équation d'état de Schmidt et Wenzel.

Origine :  $s = 0$  et  $h = 0$  fixée à  $T = 273,16 \text{ K}$  ; cela ne change rien aux valeurs des variations  $\Delta h$  ou  $\Delta s$ .

## ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE

État	A	B	C	M	D
$P$ (bar)	50	50	0,10	0,10	50
$T$ (K)					
$h$ (kJ.kg <sup>-1</sup> )	1324	3018	2075	235	239
$s$ (J.K <sup>-1</sup> .mol <sup>-1</sup> )					14