

**ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC**  
**SESSION DE MAI 2026**

***Note au sujet de la propriété intellectuelle des modèles d'examen de l'Ordre des ingénieurs du Québec***

*Les modèles d'examen se trouvant sur le site internet de l'Ordre des ingénieurs du Québec sont la propriété exclusive de l'Ordre et leur utilisation est strictement limitée à des fins académiques et personnelles. Toute reproduction, distribution ou utilisation commerciale non autorisée de ces modèles constitue une violation de la propriété intellectuelle et est strictement interdite. L'Ordre se réserve le droit de prendre toutes les mesures légales appropriées contre toute utilisation non autorisée de ses modèles d'examen.*

Toute documentation permise

Calculatrices : modèles autorisés seulement

Durée de l'examen : 3 heures

**17-PH-A2 PHYSIQUE STATISTIQUE**

## 1 Questions conceptuelles (10 points)

Note : Pour obtenir la totalité des points, donner une réponse **courte** et **précise**.

- a) (2 points) En physique statistique, l'énergie, le nombre de particules, la température et la présence d'un réservoir sont des propriétés importantes. Pour les trois ensembles de la physique statistique (microcanonique, canonique, et grand canonique), quelles sont les propriétés imposées et dérivées ?
- b) (2 points) Que représente la fonction de partition  $Z$  ?
- c) (2 points) Que sont des particules indiscernables ? Donner un exemple.
- d) (2 points) Décrire le concept d'irréversibilité en physique statistique. Donner un exemple.
- e) (2 points) Qu'est-ce qu'une propriété émergente ? Donner un exemple.

## 2 Fonction de partition d'un gaz (10 points)

Soit la fonction de partition suivante décrivant un gaz classique,  $Z = V^N \left( \frac{2\pi}{m\beta} \right)^{6N/2}$ .

Tous les symboles prennent leurs significations habituelles :  $V$  est le volume,  $N$  est le nombre de particules, et  $\beta = (k_B T)^{-1}$ .

- a) (4 points) Calculer l'énergie moyenne.
- b) (3 points) Dédire le nombre de degrés de liberté des particules formant ce gaz.
- c) (3 points) À quoi correspondent ces degrés de liberté ?

## 3 Système à trois niveaux (10 points)

Soit **un** système à trois niveaux ( $n = 0, 1, 2$ ) occupé par une particule. L'énergie du système est,

$$\begin{aligned} E_0 &= 0 \\ E_1 &= \epsilon \\ E_2 &= 3\epsilon. \end{aligned}$$

Ce système est en équilibre avec un réservoir à une température  $T$ .

- a) (2 points) Donner la fonction de partition.
- b) (2 points) Déterminer la probabilité  $\mathbb{P}(n)$  que ce système soit au niveau  $n$ .
- c) (2 points) Donner  $\mathbb{P}(n)$  dans la limite  $T \rightarrow 0$ . **Expliquer.**
- d) (2 points) Calculer  $\mathbb{P}(n)$  dans la limite  $T \rightarrow \infty$ . **Expliquer.**
- e) (2 points) Dans la limite  $T \rightarrow \infty$ , déterminer l'entropie  $S$ . Indice : le calcul est en principe très simple.

#### 4 Ensemble grand canonique (10 points)

**Note :** Pour un système composé de  $M$  cellules **discernables**, la grande fonction de partition se calcule aisément à partir de  $\Xi_M = (\Xi_1)^M$ , où  $\Xi_1$  est la fonction de partition pour une cellule.

Soit une cellule dans laquelle nous pouvons retrouver zéro, une ou deux particules. L'énergie est alors

$$E(N) = \begin{cases} 0 & \text{si } N = 0 \text{ ou } N = 1 \\ \epsilon & \text{si } N = 2. \end{cases} \quad (1)$$

Cette définition de l'énergie permet d'exprimer une répulsion entre les particules, car il en coûte plus d'énergie pour ajouter la deuxième particule que la première.

- a) (3 points) Calculer les fonctions de partition  $Z_{N=0}$ ,  $Z_1$  et  $Z_2$ .

Considérons maintenant un réseau de  $M$  cellules discernables.

- b) (3 points) Calculer la fonction de partition  $\Xi_1$  et donner  $X_M$ .  
c) (2 points) Donner le nombre moyen de particules par cellule  $\langle N \rangle / M$ .  
d) (2 points) Quelle est la condition que le potentiel chimique devra respecter pour avoir  $\langle N \rangle / M \geq 1$ .