

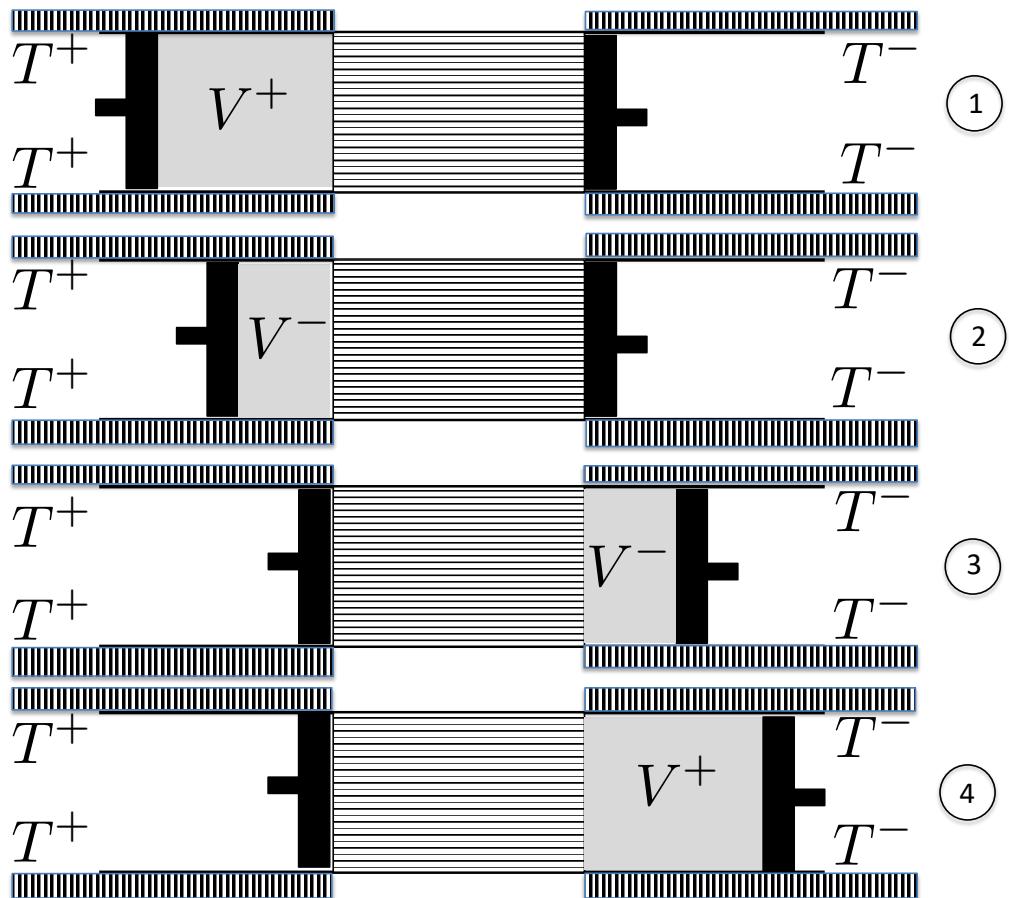
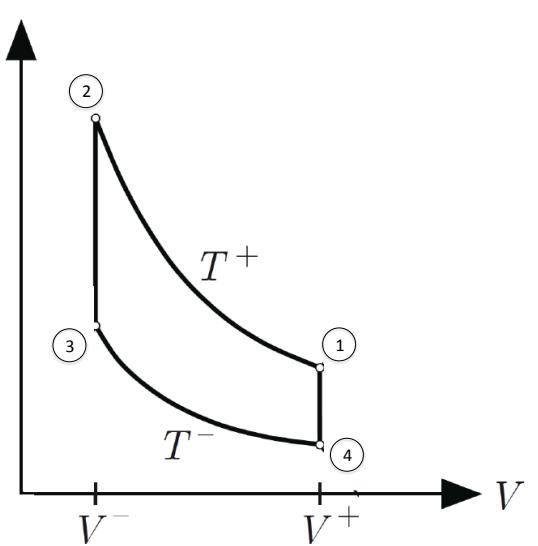
Nom :

N° Sciper :

Prénom :

A. Machine de Stirling linéaire (4/10 points)

Le cycle de Stirling (à droite) est opéré sur un gaz parfait avec la machine linéaire qu'on a représentée (en-dessous) aux états 1, 2, 3 et 4 du gaz. Pendant l'isochore 2-3, le gaz qui a la température T^+ passe à travers le régénérateur (stries horizontales) et en ressort à la température T^- . Pendant l'isochore 2-3, le gaz du côté chaud est à la pression p_2 et le gaz du côté froid est à la pression p_3 . Pendant l'isochore 4-1, le gaz se réchauffe en passant à travers le régénérateur et en ressort à la température T^+ ; la pression vaut p_4 du côté froid et p_1 du côté chaud. Les réservoirs de chaleur (stries verticales) sont aux températures T^+ et T^- . Les transferts thermiques associés aux isothermes 1-2 et 3-4 se font avec les réservoirs. Equations d'état : du gaz parfait, $pV = NRT$ et $U = cNRT$, du régénérateur, $U_r = C_V T$, avec C_V indépendant de la température.



Questions et réponses sur la page suivante !

1. **(0.5 point)** Le processus 2-3 comprend une action mécanique du piston à la source chaude, et une action mécanique du piston à la source froide. Calculer le travail W_{23}^+ opéré sur le gaz à la source chaude. On suppose que les actions mécaniques des pistons sont des processus réversibles.

$$W_{23}^+ = \dots$$

2. **(0.5 point)** Le piston à la source froide donne lieu à un travail W_{23}^- . Montrer que le travail total $W_{23} = W_{23}^+ + W_{23}^-$ du processus isochore 2-3 est donné par $W_{23} = (T^+ - T^-)NR$.

3. **(0.5 point)** Déterminer le transfert thermique Q_{23} qui a lieu entre le gaz et le régénérateur pendant l'isochore 2-3, en fonction de $(T^+ - T^-)$.

$$Q_{23} = \dots$$

Ci-après, on peut considérer Q_{23} connu.

4. **(0.5 point)** Que vaut le changement de température ΔT_r du régénérateur pendant l'isochore 2-3.

$$\Delta T_r = \dots$$

5. **(0.5 point)** Comme Q_{23} est un processus interne à la machine, il n'y a pas de transfert thermique avec l'environnement pendant le processus 2-3. Quel est par conséquent le potentiel thermodynamique (F, G, H, U) qui est conservé pendant les processus isochores tels qu'ils sont définis ici ? Rappeler ici les grandes lignes de votre démonstration que vous aurez faite sur les pages annexes.

Grandeur conservée : ...

6. **(0.5 point)** Que vaut le transfert thermique Q_{41} ?

$$Q_{41} = \dots$$

7. **(0.5 point)** Que vaut le changement d'entropie du gaz pendant le processus isotherme 1-2 ?

$$\Delta S_{12} = \dots$$

8. **(0.5 point)** Est-ce que $T^+S_{12} + T^-S_{41}$ est une grandeur positive ou négative ? Justifier.

$$(T^+\Delta S_{12} + T^-\Delta S_{41}) \begin{cases} > 0 \\ \text{ou } ? \\ < 0 \end{cases}$$

1. (**0.5 point**) Calculer le travail W_{23}^+ opéré sur le gaz à la source chaude. On suppose que les actions mécanique des pistons sont des processus réversibles.

$$W_{23}^+ = \int_{V_2^+}^{V_3^+} (-p) dV = \int_{V_2}^0 (-p_2) dV = p_2 V_2 = p_2 V^- = NRT^+$$

2. (**0.5 point**) Montrer que le travail $W_{23} = W_{23}^+ + W_{23}^-$ du processus isochore 2-3 est donné par $W_{23} = (T^+ - T^-)NR$.

$$W_{23} = W_{23}^+ + W_{23}^- = p_2 V_2 - p_3 V_3 = (T^+ - T^-)NR$$

3. (**0.5 point**) Déterminer le transfert thermique Q_{23} entre le gaz et le régénérateur qui a lieu pendant l'isochore 2-3, en fonction de $(T^+ - T^-)$.

$$Q_{23} = U_3 - U_2 - W_{23} = -(c+1)(T^+ - T^-)NR \quad (\leq 0 \Rightarrow \text{la chaleur sort du gaz})$$

Ci-après, on peut considérer Q_{23} connu.

4. (**0.5 point**) Que vaut le changement de température ΔT_r du régénérateur pendant l'isochore 2-3.

$$\Delta T = \frac{-Q_{23}}{C_V} \quad (-Q_{23} \text{ car } Q_{23} \text{ sort du gaz})$$

5. (**0.5 point**) Comme Q_{23} est un processus interne à la machine, il n'y a pas de transfert thermique avec l'environnement pendant le processus 2-3. Quel est par conséquent le potentiel thermodynamique (F, G, H, U) qui est conservé pendant les processus isochores tels qu'ils sont définis ici ? Rappeler ici les grandes lignes de votre démonstration faite sur les pages annexes.

Grandeur conservée : l'enthalpie du gaz, car pour le système entier (avec régénérateur), on a :

$$U_3 - U_2 = p_2 V_2 - p_3 V_3 \Rightarrow p_2 V_2 + U_2 = p_3 V_3 + U_3 \Rightarrow H_2 = H_3$$

6. (**0.5 point**) Que vaut le transfert thermique Q_{41} ?

$$Q_{41} = -Q_{23}$$

parce qu'il s'agit des mêmes conditions expérimentales, avec un renversement du temps.

7. (**0.5 point**) Que vaut le changement d'entropie du gaz pendant le processus isotherme 1-2 ?

$$\begin{aligned} dU = TdS - pdV = cNRdT = 0 \Rightarrow dS = \frac{p}{T} dV = NR \frac{dV}{V} \Rightarrow \\ \Delta S_{12} = NR \ln \left(\frac{V^-}{V^+} \right) = NR \ln \left(\frac{p_1}{p_2} \right) \leq 0 \end{aligned}$$

L'entropie est fournie à la source chaude.

8. (**0.5 point**) Est-ce que $T^+ \Delta S_{12} + T^- \Delta S_{34}$ est une grandeur positive ou négative ? Justifier.

$$(T^+ \Delta S_{12} + T^- \Delta S_{34}) \begin{cases} > 0 \\ \text{ou } ? \\ < 0 \end{cases}$$

Ceci représente la chaleur échangée avec l'environnement. Comme on donne du travail à la machine, qui fonctionne donc selon un cycle calorifique, le transfert thermique est négatif (la chaleur est donnée au système), i.e. cette grandeur est négative.

Nom : _____

Prénom :

N° Sciper :

B. Chaleur latente par Clausius Clapeyron (3/10 points)

On veut analyser l'expérience suivante. Une quantité d'eau N_0 est placée soudainement dans une boîte rigide. Cette boîte a des parois adiabatiques, sauf la paroi diatherme qui la met en contact thermique avec un réservoir de chaleur, de température T . L'eau va s'évaporer jusqu'à ce que le système, constitué du liquide et de la vapeur, atteigne l'équilibre. On peut donc représenter le système thermodynamique baigné comme étant composé de deux sous-systèmes séparés par une paroi mobile et perméable.

On admet les hypothèses suivantes :

- en tout temps, les sous-systèmes sont en équilibre thermique avec le réservoir de chaleur (la paroi diatherme entre chaque sous-système et le réservoir de chaleur est fixe).
 - le changement de volume de l'eau (dû à l'évaporation) est négligeable, c'est-à-dire, le volume du liquide V_2 et le volume du gaz V_1 sont fixes.
 - la vapeur est un gaz parfait, pour lequel $p_1V_1 = N_1RT_1$, où R est la constante des gaz parfait (8.3 joule /(mole kelvin)).
 - Le volume molaire du liquide, v_2 , est mille fois plus petit que celui du gaz, v_1 .
 - Quand ΔN moles passent de l'état liquide à l'état gazeux à la température T , le système reçoit un transfert thermique $Q = T\Delta N(s_1 - s_2)$ où s_1 et s_2 sont les chaleurs molaires des deux phases.



Questions et réponses au verso !

1. **(0.5 point)** L'équilibre est caractérisé par un extremum de l'énergie libre F du système. Montrer sur les feuilles annexes qu'il s'agit d'un minimum. Rappeler ici la définition de F et exploiter $\dot{U} = P_Q$ pour prouver que $\dot{F} \leq 0$. On admet que pendant le processus qui aboutit à l'équilibre, $\Pi_S \neq 0$. Ecrire ci-dessous F en fonction de U et de S , l'entropie du système. Ecrire Π_S en fonction de \dot{S} et de P_Q . En déduire \dot{F} .

$$F =$$

$$\Pi_S =$$

$$\dot{F} =$$

2. **(0.5 point)** Partant de $dF = 0$, expliquer pourquoi $\mu_1 = \mu_2$ à l'équilibre.

3. **(0.5 point)** On peut répéter l'expérience pour plusieurs valeurs de la température, dans un petit domaine autour d'une valeur T donnée et mesurer p_1 en fonction de T . On en déduit une valeur expérimentale P' de la dérivée dp_1/dT à T . En utilisant la formule de Clausius-Clapeyron $\frac{dp_1}{dT} = \frac{\ell_{21}}{T(v_1 - v_2)}$, déduire de P' une expression de la chaleur latente molaire ℓ_{21} en fonction de T et de la pression p_1 de la vapeur à la température T , en négligeant le volume molaire du liquide devant celui du gaz ($v_2 \ll v_1$).

$$\ell_{21} =$$

4. **(1.0 point)** Estimer ℓ_{21} par un argument de physique statistique basé sur la formule de Boltzmann pour l'entropie molaire $s = R \ln \Omega$ où Ω est le nombre de configurations d'une mole. Considérer que le rapport du nombre de configurations Ω_1/Ω_2 est égal au rapport v_1/v_2 . En déduire une estimation numérique de ℓ_{21} à 20°C, en spécifiant les unités utilisées :

$$\ell_{21} =$$

1. **(0.5 point)** L'équilibre est caractérisé par un extremum de l'énergie libre F du système. Montrer sur les feuilles annexes qu'il s'agit d'un minimum. Rappeler ici la définition de F et exploiter $\dot{U} = P_Q$ pour prouver que $\dot{F} \leq 0$. On admet que pendant le processus qui aboutit à l'équilibre, $\Pi_S \neq 0$. Ecrire ci-dessous F en fonction de U et de S , l'entropie du système. Ecrire Π_S en fonction de \dot{S} et de P_Q . En déduire \dot{F} .

$$F = U - TS \quad \Pi_S = \dot{S} - \frac{P_Q}{T} \quad \dot{F} = \dot{U} - T\dot{S} = P_Q - T \left(\Pi_S + \frac{P_Q}{T} \right) = -T\Pi_S \leq 0$$

Remarque : Dans le cadre de ce problème spécifique, on peut argumenter que $dF_i = \mu_i dN_i$ pour $i=1, 2$. Donc $\dot{F} = (\mu_1 - \mu_2) \dot{N}_1$. Au début, on sait (c'est là que l'argument est spécifique à ce problème) que l'eau s'évapore, donc $\mu_1 < \mu_2$ et $\dot{N}_1 > 0$. Donc $\dot{F} \leq 0$.

2. **(0.5 point)** Partant de $dF = 0$, expliquer pourquoi $\mu_1 = \mu_2$ à l'équilibre.

$$\begin{aligned} dF &= -SdT - p_1 dV_1 - p_2 dV_2 + \mu_1 dN_1 + \mu_2 dN_2 \\ dT &= 0 \text{ (couplage au bain)} \quad dV_1 = dV_2 = 0 \text{ (donnée)} \quad dN_1 = -dN_2 \text{ (conservation matière)} \\ \Rightarrow dF &= (\mu_1 - \mu_2) dN_1 \quad dF = 0 \Rightarrow \mu_1 = \mu_2 \end{aligned}$$

3. **(0.5 point)** On peut répéter l'expérience pour plusieurs valeurs de la température, dans un petit domaine autour d'une valeur T donnée et mesurer p_1 en fonction de T . On en déduit une valeur expérimentale P' de la dérivée dp_1/dT à T . En utilisant la formule de Clausius-Clapeyron $\frac{dp_1}{dT} = \frac{\ell_{21}}{T(v_1 - v_2)}$, déduire de P' une expression de la chaleur latente molaire ℓ_{21} en fonction de T et de la pression p_1 de la vapeur à la température T , en négligeant le volume molaire du liquide devant celui du gaz.

$$\ell_{21} = P' \frac{T^2 R}{p_1}$$

Remarque : Il est faut d'écrire $P' = RT/v_1$, qu'on obtient si on suppose la loi des gaz parfaits. Or ici, la pression se réfère à celle sur la ligne de coexistence de phase, et quand bien même la pression est celle du gaz, sa dépendance en température est donnée par la formule de Clausius-Clapeyron, pas par $pV = NRT$.

Hors examen : l'expérimentateur trouve que la pression p_1 vaut 22 mbar à une température de 20°C. Il trouve que la pression varie de 40 mbar quand la température varie de 30°C. On en tire $\ell_{lg} = 43 \text{ kJ/mol}$.

4. **(1.0 point)** Estimer ℓ_{21} par un argument de physique statistique basé sur la formule de Boltzmann pour l'entropie molaire $s = R \ln \Omega$ où Ω est le nombre de configurations d'une mole. Considérer que le rapport du nombre de configurations Ω_g/Ω_l est égal au rapport v_1/v_2 . En déduire une estimation numérique de ℓ_{21} en spécifiant les unités utilisées.

Il faut se souvenir que la chaleur latente vaut $\ell_{21} = T(s_1 - s_2)$. Alors,

$$\ell_{21} = T(s_1 - s_2) = TR \ln \left(\frac{v_1}{v_2} \right) \approx 17 \text{ kJ/mol}$$

5. Hors examen On veut estimer comment la pression saturante p_2 varie avec la température. Pour se faire, on suppose que $\mu_1(p_0)$ et $\mu_2(p_0)$ sont connus à une certaine pression standard p_0 . Comme $\partial\mu/\partial p = v$, le volume molaire, qui est indépendant de la pression pour le liquide, est qui vaut RT/p_2 pour le gaz, on a :

$$\begin{aligned}\mu_1(p_2) &= \mu_1(p_0) + v_1(p_2 - p_0) \\ \mu_2(p_2) &= \mu_2(p_0) + RT \ln \left(\frac{p_2}{p_0} \right)\end{aligned}$$

A l'équilibre, $\mu_1(p_2) = \mu_2(p_2)$, ce qui donne

$$\mu_1(p_0) + v_1(p_2 - p_0) = \mu_2(p_0) + RT \ln \left(\frac{p_2}{p_0} \right)$$

On suppose qu'on peut négliger le terme $v_1(p_2 - p_0)$ dans cette expression parce que le volume molaire du liquide est très petit et on a pris la précaution de prendre la pression standard p_0 voisine de p_2 à l'équilibre. Ainsi, on obtient une dépendance exponentielle,

$$p_2 = p_0 \exp \left(\frac{-\Delta\mu}{RT} \right)$$

avec $\Delta\mu = \mu_2(p_0) - \mu_1(p_0)$ qui est positif, si la pression p_0 est dans un domaine de pression où le liquide est la phase stable. On en déduit,

$$\frac{dp_2}{dT} = \frac{\Delta\mu}{RT^2} p_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{dp_2}{dT} \frac{RT^2}{p_2} = \Delta\mu$$

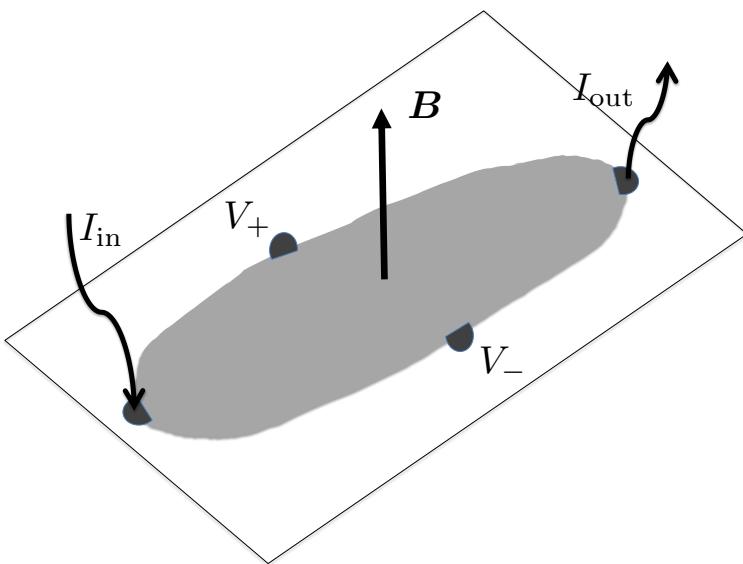
Nom :

N° Sciper :

Prénom :

B. Méthode de van der Pauw pour l'effet Hall (3/10 points)

On veut mesurer l'effet Hall sur une couche mince métallique déposée sur un substrat plat et isolant. La couche est d'épaisseur constante, homogène et sans trou (représentée ci-dessous par la zone grise). Sur le bord de cette couche mince, quatre contacts sont établis qu'on peut considérer comme ponctuels (leur taille est infiniment plus petite que celle de l'échantillon). Perpendiculairement à la couche, un champ d'induction magnétique \mathbf{B} uniforme est appliqué sur tout l'échantillon. Le courant I_{in} injecté dans la couche et le courant sortant, I_{out} , sont indépendant de l'intensité du champ d'induction \mathbf{B} .



On fera les hypothèses suivantes :

- Le gradient du potentiel électrique φ est donné par

$$\nabla \varphi = -\rho \mathbf{j}(\mathbf{x}) - \mathcal{H}(\mathbf{j}(\mathbf{x}) \times \mathbf{B})$$

où ρ , la résistivité du métal, et \mathcal{H} , le coefficient de Hall, sont des grandeurs scalaires indépendantes de \mathbf{B} .

- La mesure est faite en régime stationnaire.
- La densité des électrons du métal, n_e , est indépendante du temps et de la position.
- La température est partout la même et elle est indépendante du temps (pas d'effet Joule, pas même au voisinage des contacts).
- La couche métallique est si mince qu'on peut admettre $j_z(\mathbf{x}) = 0$, où z est la direction normale au plan.
- Le métal est à considérer comme une substance où il n'y a aucun effet convectif ($\nabla \mathbf{v} = \mathbf{0}$). Dans ce cas, l'équation de continuité pour la densité n_e d'électrons est donnée par

$$\dot{n}_e + \nabla \cdot \mathbf{j}_e = 0$$

où \mathbf{j}_e est la densité de courant d'électrons. La charge électronique par mole d'électrons est donnée par q_e .

Questions et réponses au verso !

1. (**1.0 point**) Montrer (sur les feuilles en annexe) qu'on peut écrire (notation : $\nabla_x \varphi = \partial \varphi / \partial x$),

$$\begin{pmatrix} \nabla_x \varphi \\ \nabla_y \varphi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\rho & \rho_{xy} \\ -\rho_{xy} & -\rho \end{pmatrix} \begin{pmatrix} j_x \\ j_y \end{pmatrix} \quad \text{avec } \rho_{xy} = \dots$$

2. (**0.5 point**) Expliquer (d'abord sur les feuilles annexes et ensuite, en rappelant ici les étapes essentielles) pourquoi on a la relation,

$$\frac{\partial j_x}{\partial x} + \frac{\partial j_y}{\partial y} = 0$$

3. (**1.0 point**) La première question donne une relation entre la densité de courant électrique $\mathbf{j}(\mathbf{x})$ et $\nabla \varphi$, qu'on peut écrire,

$$\begin{pmatrix} j_x \\ j_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sigma & \sigma_{xy} \\ -\sigma_{xy} & -\sigma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nabla_x \varphi \\ \nabla_y \varphi \end{pmatrix}$$

Appliquer cette relation phénoménologique au résultat de la deuxième question et l'appliquer encore une fois pour calculer le rapport que voici des dérivées des composantes de la densité de courant :

$$\frac{\frac{\partial j_y}{\partial x}}{\frac{\partial j_x}{\partial y}} = \dots$$

4. (**0.5 point**) Exprimer le changement de $\nabla \varphi$ en fonction de ρ_{xy} et de \mathbf{j} quand le champ d'induction magnétique est varié de $\mathbf{B} = 0$ à $\mathbf{B} \neq \mathbf{0}$, c'est-à-dire, trouver la différence,

$$\begin{pmatrix} \nabla_x \varphi(\mathbf{B}) \\ \nabla_y \varphi(\mathbf{B}) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \nabla_x \varphi(\mathbf{0}) \\ \nabla_y \varphi(\mathbf{0}) \end{pmatrix} = \dots$$

1. **(1.0 point)** Montrer (sur les feuilles en annexe) qu'on peut écrire (notation : $\nabla_x \varphi = \partial \varphi / \partial x$),

$$\begin{pmatrix} \nabla_x \varphi \\ \nabla_y \varphi \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\rho & 0 & 0 \\ 0 & -\rho & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} j_x \\ j_y \\ j_z \end{pmatrix} - \mathcal{H} \begin{vmatrix} \hat{x} & j_x & 0 \\ \hat{y} & j_y & 0 \\ \hat{z} & j_z & B \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} -\rho & 0 & 0 \\ 0 & -\rho & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} j_x \\ j_y \\ j_z \end{pmatrix} - \mathcal{H}B \begin{pmatrix} j_y \\ -j_x \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \nabla_x \varphi \\ \nabla_y \varphi \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\rho & 0 & 0 \\ 0 & -\rho & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} j_x \\ j_y \\ j_z \end{pmatrix} + \mathcal{H}B \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} j_x \\ j_y \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\rho_{xy} = -\mathcal{H}B$$

2. **(0.5 point)** Expliquer (d'abord sur les feuilles annexes et ensuite, en rappelant ici les étapes essentielles) pourquoi on a la relation,

$$\frac{\partial j_x}{\partial x} + \frac{\partial j_y}{\partial y} = 0$$

De l'équation de continuité, sous l'hypothèse qu'on est en régime stationnaire, on a $\nabla \cdot \mathbf{j}_e = 0$. Or $\mathbf{j} = q_e \mathbf{j}_e$. Le résultat à montrer exprime simplement que $\nabla \cdot \mathbf{j} = 0$.

3. **(1.0 point)** La première question donne une relation entre la densité de courant électrique $\mathbf{j}(\mathbf{x})$ et $\nabla \varphi$, qu'on peut écrire,

$$\begin{pmatrix} j_x \\ j_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sigma & \sigma_{xy} \\ -\sigma_{xy} & -\sigma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nabla_x \varphi \\ \nabla_y \varphi \end{pmatrix}$$

Appliquer cette relation phénoménologique au résultat de la deuxième question et l'appliquer encore une fois pour calculer le rapport,

$$\frac{\frac{\partial j_y}{\partial x}}{\frac{\partial j_x}{\partial y}} = \dots$$

On a successivement,

$$\begin{aligned} \nabla_y j_x &= -\sigma \nabla_y \nabla_x \varphi + \sigma_{xy} \nabla_y^2 \varphi & \nabla_x j_x &= -\sigma \nabla_x^2 \varphi + \sigma_{xy} \nabla_x \nabla_y \varphi \\ \nabla_x j_y &= -\sigma_{xy} \nabla_x^2 \varphi - \sigma \nabla_x \nabla_y \varphi & \nabla_y j_y &= -\sigma_{xy} \nabla_x \nabla_y \varphi - \sigma \nabla_y^2 \varphi \end{aligned}$$

Le deuxième set d'équations et l'équation de continuité implique $\nabla_x^2 \varphi + \nabla_y^2 \varphi = 0$. Alors le premier set d'équation donne $\nabla_y j_x - \nabla_x j_y = 0$, donc le rapport vaut 1.

4. **(0.5 point)** Exprimer le changement de $\nabla \varphi$ en fonction de ρ_{xy} et de \mathbf{j} quand le champ d'induction magnétique est varié de $\mathbf{B} = 0$ $\mathbf{B} \neq \mathbf{0}$, c'est-à-dire,

$$\begin{pmatrix} \nabla_x \varphi(\mathbf{B}) \\ \nabla_y \varphi(\mathbf{B}) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \nabla_x \varphi(\mathbf{0}) \\ \nabla_y \varphi(\mathbf{0}) \end{pmatrix} = \rho_{xy} \begin{pmatrix} j_y \\ -j_x \end{pmatrix}$$

Hors examen

Remarque : On a donc deux équations différentielles pour le courant électrique $\mathbf{j}(\mathbf{x})$ qui sont indépendantes du champ magnétique \mathbf{B} . Comme les conditions au bord ne changent pas quand on varie le champ magnétique, on a le même champ de courant électrique $\mathbf{j}(\mathbf{x})$ avec ou sans champ.

Remarque : La tension électrique qu'on mesure dans cette expérience est donnée par la différence de potentiel entre deux positions du film, $\varphi(\mathbf{x}_1) - \varphi(\mathbf{x}_2)$. Elle dépend de ρ_{xy} (qui dépend de \mathcal{H} et de \mathbf{B}), et du champ de courant $\mathbf{j}(\mathbf{x})$ qui lui ne dépend pas de \mathbf{B} . C'est ce que voulait dire van der Pauw dans ses articles.

- (1) J. Van Der Pauw, *A method of measuring the resistivity and Hall coefficient on lamellae of arbitrary shape*, Philips Technical Review Volume 26 1958/1959
- (2) J. Van Der Pauw, *A method of measuring specific resistivity and Hall coefficient of disc of arbitrary shape*, Philips Technical Review Volume 13 1958