La tension de Hall s'exprime par :

$$U_H = \frac{IB}{neb}$$

où n est la densité des porteurs de charge.

On pose parfois $R_H = \frac{1}{ne}$ constante de Hall.

Il est clair que l'effet est d'autant plus sensible que n est faible c'est pourquoi on utilise généralement les semi-conducteurs.

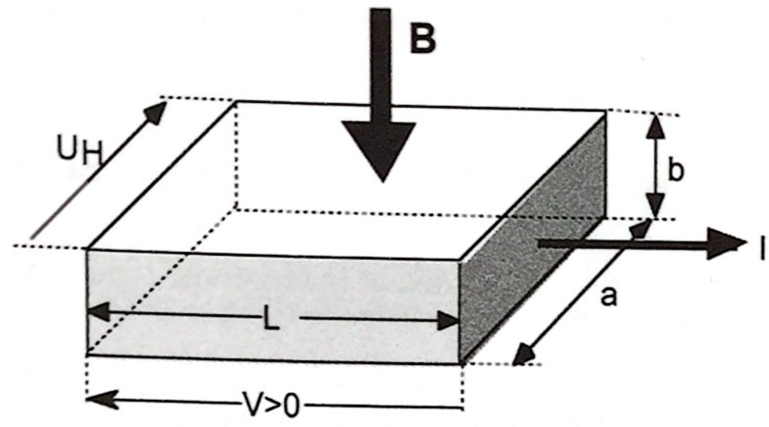


Figure C81

2) Manipulations

Matériel :	• un matériel spécifique : plaquette avec semi-conducteur n ou p (matériel « Phywe » ou autre) présentant 9 bornes (3 pour I, 2 pou U_H, 2 pour le chauffage, 2 pour le thermocouple) • un électroaimant et son alimentation • deux alimentations réglables (pour le courant I et pour le chauffage) • trois voltmètres + trois ampèremètres • un teslamètre pour l'étalonnage de l'électroaimant + une boussole • divers supports • éventuellement (à la place de certains instruments ci-dessus), un dispositif d'acquisition de données : capteur de champ magnétique + interface + ordinateur

On utilise un matériel spécifique, le schéma du montage est représenté sur la figure C82.

La plaquette SC est placée dans l'entrefer d'un électroaimant ; on propose l'étude d'un SC de type n (Ge dopé n). Les dimensions du SC sont : L = 20 mm, a = 10 mm, b = 1 mm.

On note i le courant dans l'électroaimant et I le courant dans le SC.

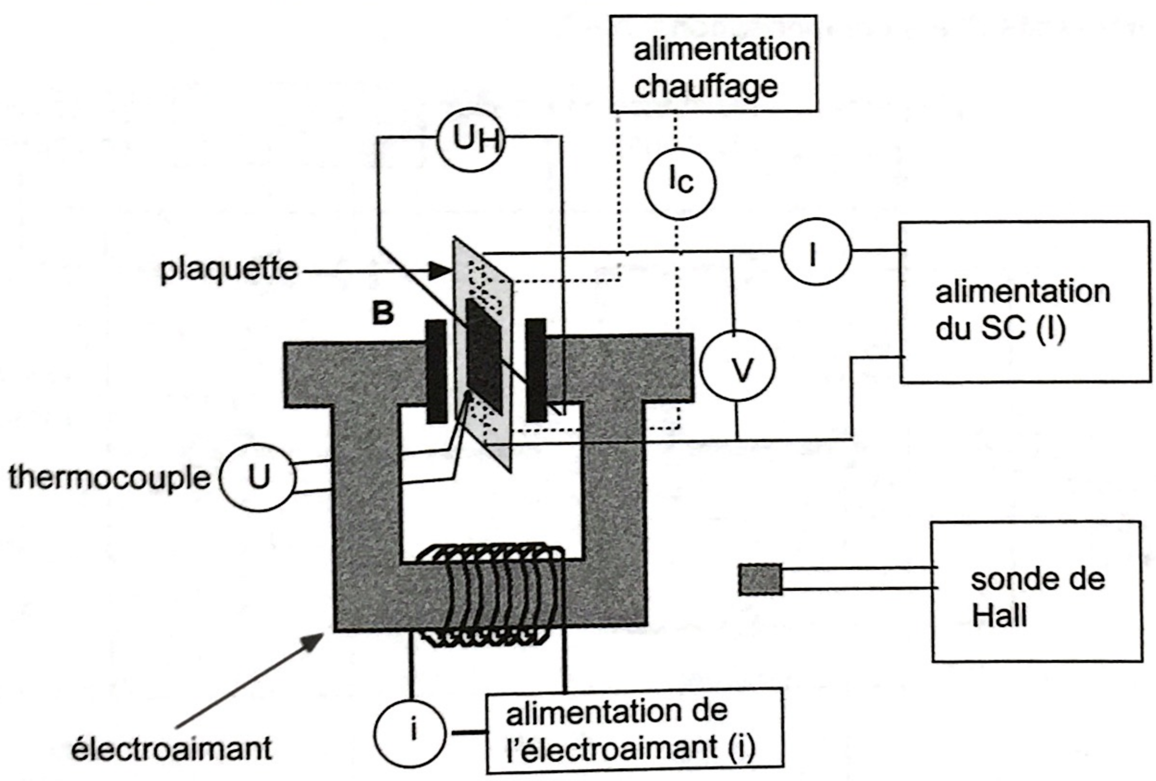


Figure C82 : schéma général du montage

– *Manipulation préliminaire*

À l'aide de la sonde de Hall annexe on étalonne l'électroaimant : relation B = f(i) (cette opération n'est pas indispensable, si on laisse en permanence la sonde dans le montage).

NB : il peut exister un champ rémanent B_o de l'électroaimant ; le champ total est $B = B(i) + B_o$

– Mesure de la résistivité

B étant égal à 0 (i = 0), on mesure U et I, on calcule la résistance R du barreau $R = \frac{U}{I}$. Sachant que $R = \rho\frac{L}{s} = \rho\frac{L}{ab}$ on en déduit la résistivité ρ puis la conductivité $\sigma = \frac{1}{\rho}$.

Connaissant les dimensions de l'échantillon (L = 20 mm, a = 10 mm et b = 1 mm) l'ordre de grandeur de ρ est 2 à 3 Ω.cm et σ environ 50 $\Omega^{-1}m^{-1}$

– Compensation

On alimente le circuit avec un courant constant : I est fixé environ à 25 mA grâce au régulateur inclus dans le dispositif (figure C84) ; attention au *sens* de ce courant I !

Le régulateur impose un courant constant I de l'ordre de 25 mA pour une tension d'alimentation comprise entre 10 et 30 V.

Lorsque B = 0 (i = 0) on remarque que $U_H \neq 0$. Cela vient du fait qu'il existe une chute ohmique rI dans le SC due au non alignement des contacts A et B : agir sur le potentiomètre de compensation pour obtenir $U_H|_{B=0} = 0$ (figure C83).

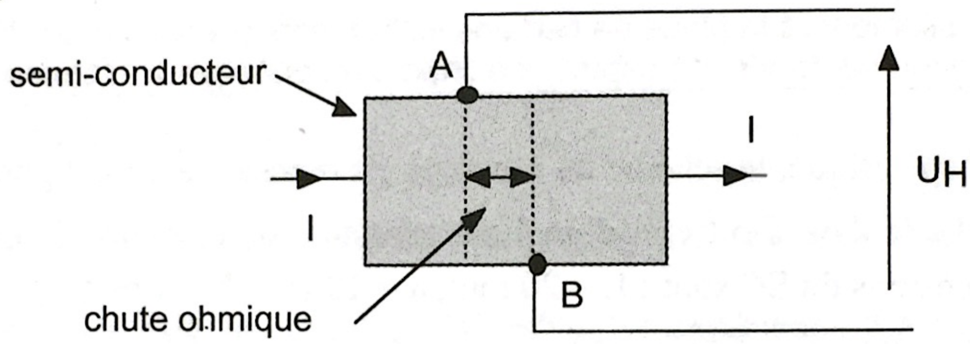


Figure C83 : nécessité d'une compensation

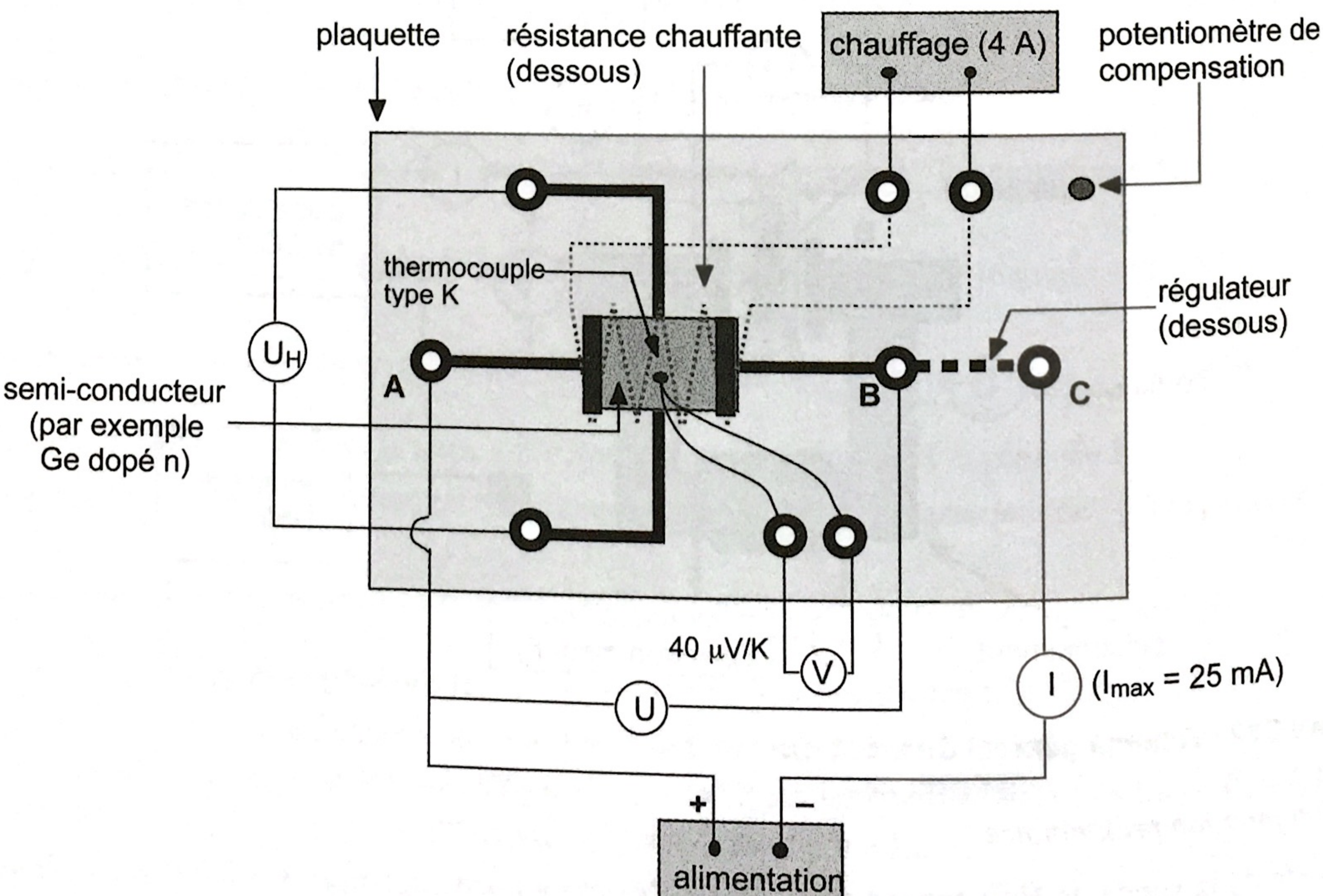


Figure C84 : détail des branchements sur la plaquette (ne jamais brancher l'alimentation entre A et B mais toujours entre A et C)

– Mesure de la tension de Hall

$B \neq 0$, on mesure U_H pour différentes valeurs de B : $U_H = \frac{IB}{neb}$. Si on dispose d'un capteur de champ magnétique étalonné (par exemple « Synchronie »), on mesure directement $U_H = f(B)$ sans utiliser l'étalonnage de l'électro-aimant (qui s'avère donc inutile).

Les résultats sont portés sur un graphe $U_H = f(B)$; on vérifie la proportionnalité de U_H et B ainsi que $U_H(-B) = -U_H(B)$.

– Exploitation

• Connaissant les sens de I, B (boussole) et U_H, on en déduit le signe des porteurs (ici signe moins).

• On détermine la *densité* des porteurs à partir de la pente p de la droite : $p = \frac{\Delta U_H}{\Delta B} = \frac{I}{neb}$.

$n = \frac{I}{peb} = ...\ m^{-3}$ (rappel métaux $n \cong 10^{29}\ m^{-3}$, SC $n \cong 10^{21}\ m^{-3}$, isolant $<10^{14}\ m^{-3}$).

On en déduit la *mobilité* : $\mu = \frac{\sigma}{ne} = ...\ m^2V^{-1}s^{-1} = ...\ cm^2V^{-1}s^{-1}$.

(ordre de grandeur $\mu = 3900\ cm^2V^{-1}s^{-1}$).

3) Influence de la température

– Tension de Hall en fonction de T

On branche l'alimentation du chauffage ; attention à la tension et l'intensité maximum à ne pas dépasser (en général 6 V et $I_C = 4$ A max). En effet :

La sensibilité du thermocouple étant α (en V/K), et T étant le température (en K) à mesurer, la relation entre la fem V et T est (figure C85) :

$$(T - 298)\alpha = V$$

Car le point fixe est la température ambiante 298 K = 25°C.

Généralement, $\alpha = 40\ \mu V/K$, donc :

$$(T - 298).40.10^{-6} = V$$

La température est donc donnée par :

$$T = 298 + 25000V$$

Par ailleurs, sachant que la température à ne pas dépasser est de l'ordre de 425 K (150 °C environ) pour ne pas détériorer la plaquette, la fem maximum délivrée par celui-ci devra être de :

$$V_{max} = (425 - 298) \times 40.10^{-6} = 5\ mV$$

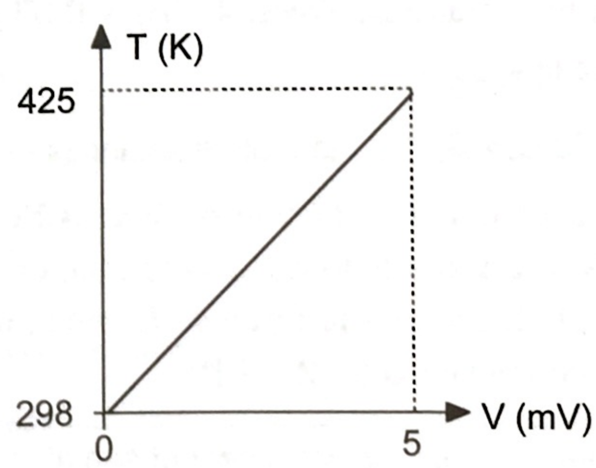


Figure C85

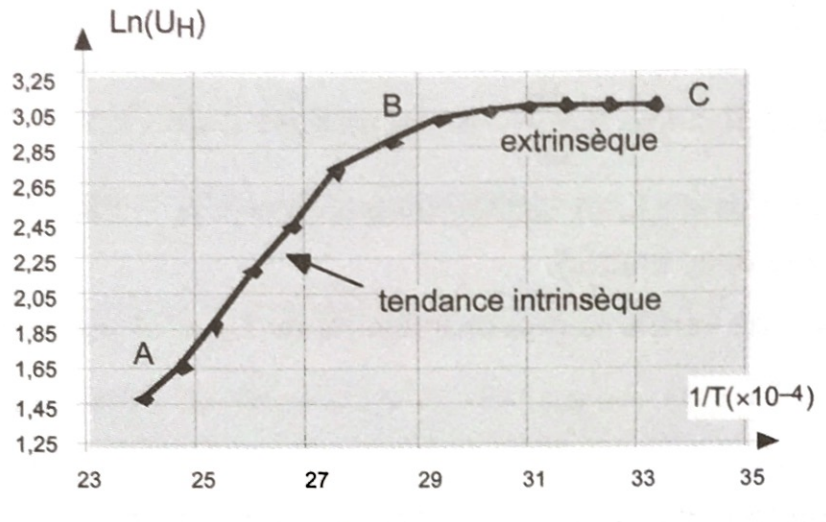
• On se fixe une valeur du champ magnétique B, puis on mesure U_H pour différentes valeurs de T.

On trace ensuite $Ln(U_H) = f(1/T)$.

On doit obtenir une courbe de la forme donnée sur la figure C86a où l'on distingue une région BC extrinsèque (palier) et une région AB à tendance intrinsèque (haute température).

• La pente p de la droite AB permet d'évaluer très sommairement la largeur de la bande interdite du SC car, si on atteint la région complètement intrinsèque on peut écrire :

$$Ln(U_H) = C^{te} + \frac{\Delta W}{2kT} \quad \text{car} \quad U_H = \frac{IB}{neb} = C^{te} \exp(\frac{\Delta W}{2kT})$$



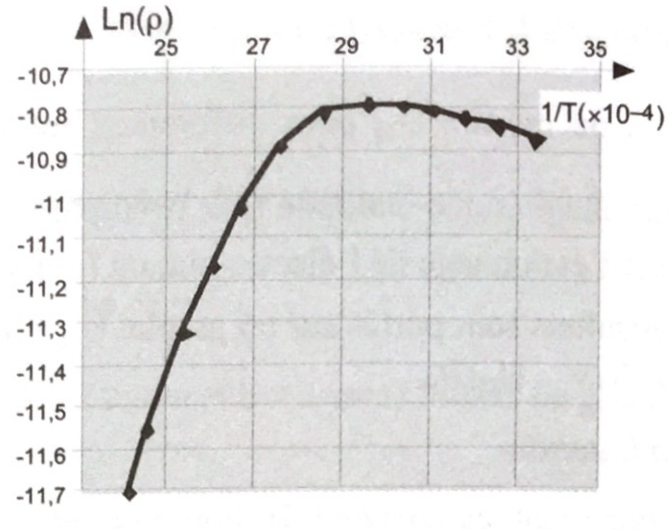


Figure C86 : exemples de courbes $Ln(U_H)$ et $Ln(\rho)$ en fonction de 1/T

Par exemple avec la plaquette Ge on obtient un « gap » de :

$$p = \frac{2,76-1,50}{(27,5-24,3)10^{-4}} = 3937,5 = \frac{\Delta W}{2k} \quad \Rightarrow \Delta W_{(eV)} = 3937,5\frac{2\times 1,38.10^{-23}}{1,6.10^{-19}} = 0,68eV$$

NB : la portion AB de la courbe correspond à un effet Hall avec 2 types de porteurs : les électrons (impuretés + thermiques) et les trous thermiques. Cependant, $\mu_{trou} << \mu_{électron}$, on « observe » donc essentiellement un effet Hall des électrons. En toute rigueur $U_H = \dfrac{p\mu^2_{trous} - n\mu^2_{électrons}}{(p\mu_{trous} + n\mu_{électrons})^2}$ donc il existe une température (qui agit sur n et sur p) pour laquelle on doit avoir une *inversion* de l'effet Hall : $p\mu^2_{trous} = n\mu^2_{électrons}$ (voir la page 395 de la note 11).

⇒ Cette inversion n'est observable que pour un semi-conducteur dopé p.

– *Résistivité en fonction de T*

Mesurer la résistance R du semi-conducteur en fonction de T : $R\big|_{B=0} = \dfrac{U}{I}$. Elle décroît fortement aux hautes températures. Tracer Ln(ρ) = f(1/T) ; la courbe est similaire à celle de la figure C86b. En déduire le « gap ».

Expérience 3 : les magnétorésistances

C'est la variation de la résistance sous l'effet d'un champ magnétique. Généralement R augmente avec B (c'est une fonction quadratique en B pour les champs faibles). Le phénomène, tout comme l'effet Hall, est dû à la force de Lorentz, mais le modèle simple utilisé ci-dessus ne permet pas de rendre compte de la loi R = f(B).

Matériel :	• un électroaimant et son alimentation • une magnétorésistance (contenant du NiSb) • un ohmmètre • un teslamètre

On dispose la magnétorésistance dans l'entrefer de l'électroaimant de telle manière que **j** soit perpendiculaire à **B**.

Afin de connaître le champ B, on place également dans l'entrefer une sonde de Hall.

On fait varier B, on mesure R, puis on trace $R = f(B^2)$.

Expérience 4 : photoconduction, temps de recombinaison (voir le tome 3 à "Semi-conducteur")

La lumière crée des paires électrons-trous, donc la résistance R diminue (la conductivité G = 1/R augmente) si le flux lumineux Φ augmente.