

Nous décrivons également sommairement un cryostat avec bobine supraconductrice de 2 tesla utilisé pour des mesures d'effet Hall et de magnétorésistance à 4,2 °K.

### III.1 CRYOSTAT A TEMPÉRATURE RÉGLABLE. —

III.1.a *Principe.* — Pour pouvoir réguler en température, l'enceinte de pression est placée dans un courant d'hélium gazeux provenant du bain cryogénique que l'on fait évaporer par apport Joule de 90 à 250 mW et on chauffe le haut de l'enceinte à l'aide d'une résistance pour obtenir la température désirée (Fig. 2).

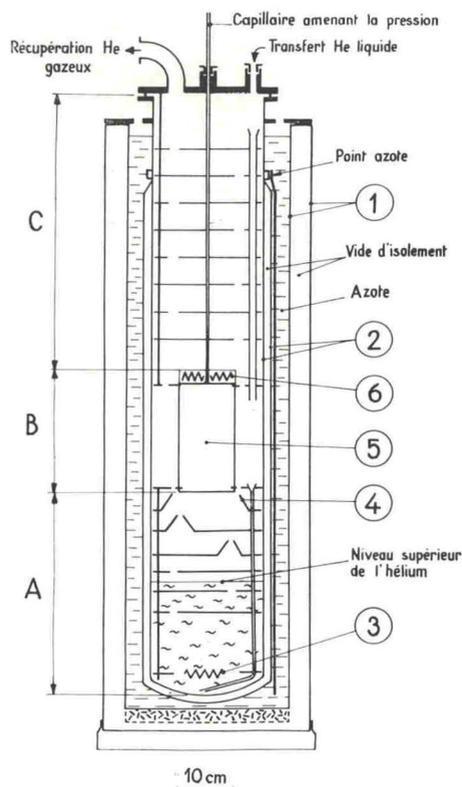


FIG. 2. — Cryostat à température variable.

- ① Vase azote. ② Vase hélium. ③ Résistance d'évaporation.  
④ Collecteur en cuivre. ⑤ Enceinte de pression. ⑥ Résistance de chauffage de l'enceinte.

Les pertes spontanées du cryostat correspondent environ à 150 mW (0,2 l d'hélium liquide par heure), la consommation d'hélium pour la régulation varie de 0,1 à 0,35 l d'hélium liquide par heure selon la température réglée. La puissance dissipée pour le chauffage de l'enceinte est fournie par un amplificateur de puissance commandé à partir d'un bloc de régulation. Cette puissance peut être au maximum de 22 watts. Pendant la régulation, elle peut varier de zéro à cette valeur, de façon continue. L'enceinte de pression doit être découplée au maximum du bain d'hélium liquide et la résistance de chauffage est le plus possible en contact thermique avec l'enceinte et non avec le gaz, afin d'éviter des convections entre l'enceinte et le bain cryogénique. Ce principe de régulation a déjà été utilisé dans d'autres montages, notamment pour les

mesures de résistivités à basse température, par Lauriat et Péro [11].

III.1.b *Réalisation.* — Le vase à azote en acier inoxydable ① a une hauteur de 1 200 mm et un diamètre intérieur de 320 mm. Le vase à hélium ② a une hauteur utile de 1 100 mm et un diamètre intérieur de 200 mm.

L'intérieur du cryostat comprend trois parties :

— A la partie inférieure du vase hélium A, se trouve l'étage d'évaporation de l'hélium qui va constituer la source froide pour le refroidissement et la régulation de température de l'enceinte de pression. Il comporte une résistance d'évaporation de 100  $\Omega$  ③ plongeant dans l'hélium liquide. Au-dessus du niveau maximum d'hélium liquide (6 l), se situe une série d'écrans en acier inoxydable poli, qui assure le découplage entre le bain et l'enceinte de pression. Certains de ces écrans présentent des passages coniques pour éviter les convections dans le gaz. A la partie supérieure de l'étage se trouve un collecteur conique en cuivre ④ qui guide le courant d'hélium gazeux à la partie inférieure de l'enceinte.

— A l'étage intermédiaire B se situe l'enceinte de pression ⑤ qui contient l'échantillon et la source chaude pour la régulation en température, qui est constituée par une résistance de 12  $\Omega$  ⑥ en fil de constantan bobinée dans un boîtier circulaire et mise en contact thermique avec l'enceinte.

— La partie C est constituée par une série d'écrans en acier inoxydable poli, qui a pour but de réduire les pertes par radiation et convection. Ces écrans sont fixés sur 3 tubes minces en acier inoxydable de diamètre 6 mm qui servent également à soutenir l'enceinte de pression.

III.1.c *Mesure de la température.* — La température de l'extérieur de l'enceinte est mesurée à l'aide d'une diode à arsénure de gallium (2) dont l'avantage est d'avoir un large domaine d'utilisation. Pour un courant de 1 mA, la variation de résistance par degré est de 2 ohms à 300 °K, de 0,5 ohm à 4 °K avec un minimum de 0,4 ohm entre 10 et 30 °K pour une valeur d'environ 1 000 ohms. La mesure est effectuée par la méthode à 4 points avec un courant constant de 1 mA.

III.1.d *Fonctionnement et régulation de température.* — L'évaporation spontanée de l'hélium pendant le transfert permet d'atteindre la température de 4,2 °K au niveau de l'enceinte. Pour conserver cette température pendant un temps assez long après le transfert, il faut faire évaporer de l'hélium à l'aide de la résistance d'évaporation par apport Joule d'environ

(2) Diode AsGa Phylatron Corporation.

100 mwatts. Le refroidissement du cryostat et de l'enceinte depuis la température de l'azote liquide consomme environ 5 l d'hélium liquide.

La régulation de la température est obtenue par le chauffage de l'enceinte par l'intermédiaire d'un dispositif commandé par l'écart entre une tension de référence et la tension du capteur de température.

Le dispositif de régulation comprend (Fig. 3) :

- un organe de mesure : diode AsGa,
- un organe de référence : potentiomètre,
- un organe de comparaison : enregistreur <sup>(3)</sup>,
- un organe de pondération et d'amplification qui agit directement sur la température de l'enceinte.

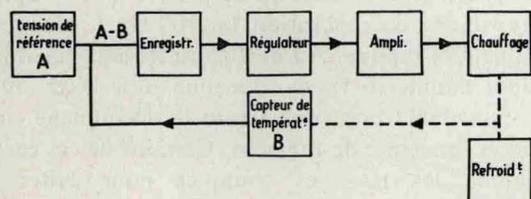


FIG. 3. — Schéma du dispositif de régulation de température.

Pour régler l'enceinte à la température désirée, au-dessus de 4,2 °K, on affiche la tension de référence correspondant pour la diode à cette température. Cette tension est mise en opposition avec celle délivrée par la diode et la différence est envoyée sur l'enregistreur où on peut suivre directement la qualité de la régulation (Fig. 4). Mécaniquement lié à l'index de mesure de l'enregistreur, le curseur d'un potentiomètre envoie au régulateur les informations sur le décalage de la mesure par rapport au zéro et sur la vitesse à laquelle le décalage évolue <sup>(4)</sup>.

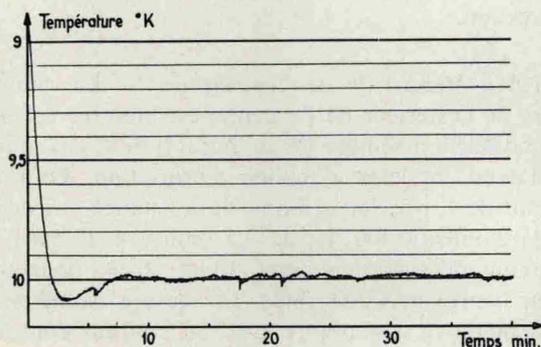


FIG. 4. — Exemple d'enregistrement de température régulée.

La figure 4 montre un enregistrement de température à 10 °K. L'optimisation des réglages varie avec la température et est plus délicate vers les hautes températures (au-dessus de 30 °K) notamment à cause de

<sup>(3)</sup> Enregistreur MECI, gamme 1 mV à 25 mV à zéro central.

<sup>(4)</sup> Régulation de température MECI-CAT, licence Leeds-Northrup.

l'accroissement de chaleur spécifique de l'acier de l'enceinte qui augmente la constante de temps entre la résistance de chauffage et le capteur de température. La qualité de la régulation lue directement sur l'enregistreur montre que pour des réglages optimisés la température ne varie pas plus de 0,1 °K sur la partie extérieure de l'enceinte.

### III.2 CRYOSTAT AVEC BOBINE SUPRACONDUCTRICE.

— Dans le même ensemble de vases à azote et à hélium que dans le cryostat à température variable, nous avons réalisé un cryostat pour effectuer des mesures sous pression avec un champ magnétique. La bobine supraconductrice et l'enceinte de pression baignent dans le bain d'hélium liquide. Ce dispositif est utilisé pour faire des mesures d'effet Hall et de magnétorésistance sur des échantillons soumis à une pression hydrostatique allant jusqu'à 16 kbar.

La figure 5 donne la disposition à l'intérieur du cryostat de la bobine et de l'enceinte de pression décrite dans cet article. La bobine supraconductrice est en fil de Niobium-Titane coétrivé dans une gaine de cuivre <sup>(5)</sup>, le champ magnétique induit est de 2 tesla avec une homogénéité de  $10^{-5}$  dans un volume de 2 cm<sup>3</sup> au centre de la bobine. Elle a une longueur de 350 mm et un diamètre intérieur de 150 mm. Le courant est de 32 A pour le champ maximum. Les descentes de courant sont constituées de deux tresses de cuivre raccordées à 30 cm au-dessus de la bobine à des tresses

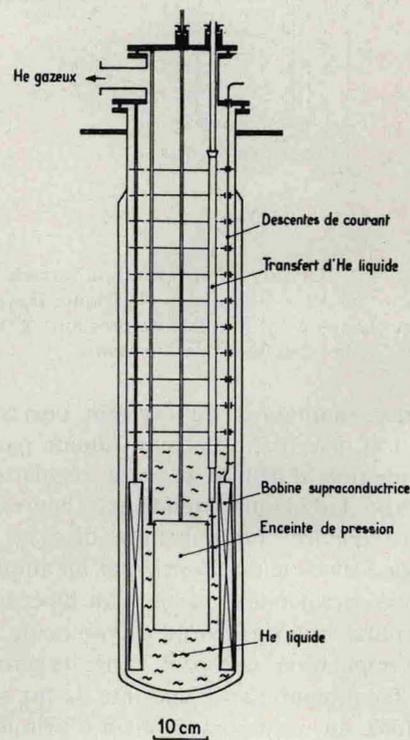


FIG. 5. — Cryostat à 4 °K pour mesures magnétiques.

<sup>(5)</sup> Fabriqué par la Compagnie Thomson-Houston.