



EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH  
ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE

## CERN - **ST** Division

CERN-ST-2000-038

February, 2000

### REFROIDISSEMENT DU SPECTROMÈTRE

I. Ruehl

#### Résumé

La haute exactitude du calibrage d'énergie du faisceau LEP est seulement possible jusqu'à 60 GeV. Pour la détermination précise de l'énergie du faisceau à 101 GeV un spectromètre de haute précision a été installé. La fonction de ce spectromètre est d'approvisionner une mesure d'énergie du faisceau avec une précision relative de  $10^{-4}$ . Cette précision est exigée pour la détermination d'orbite faisceau avec une exactitude de 1  $\mu\text{m}$ . La température stable est, entre autres, un paramètre de grande importance. Or, le circuit d'eau déminéralisée standard pour le refroidissement du LEP est inadéquat pour maintenir la température stable. En effet, la température peut changer de plusieurs degrés pendant les phases différentes du fonctionnement du LEP. Ce document décrit un circuit spécifique pour approvisionner une température stable à  $\pm 0,1$  K et une distribution régulière de la température dans la bobine de l'aimant, indépendamment de l'énergie du faisceau LEP.

## 1 INTRODUCTION

Une grande partie de l'équipement du LEP est refroidie par des circuits fermés d'eau déminéralisée. Les circuits d'eau déminéralisée sont refroidis par l'eau primaire qui passe via les tours de refroidissement au PA 2, 4, 6 et 8 (fig. 1). Pendant les années de l'opération LEP, la régulation de la température des circuits d'eau déminéralisée s'est améliorée. Néanmoins, une fluctuation de la température d'eau déminéralisée est inévitable, car la performance des tours de refroidissement dépend beaucoup de la météo. De plus, l'énergie du LEP dépasse la conception (200 GeV) des circuits de refroidissement. La température de sortie de l'eau primaire des tours de refroidissement et par conséquent la température aller de l'eau déminéralisée peut donc varier de 2 à 3 degrés. Cette variation de la température n'a pas encore d'impact important sur le fonctionnement du LEP mais elle en a sur les mesures, comme la position et l'énergie, du faisceau LEP.

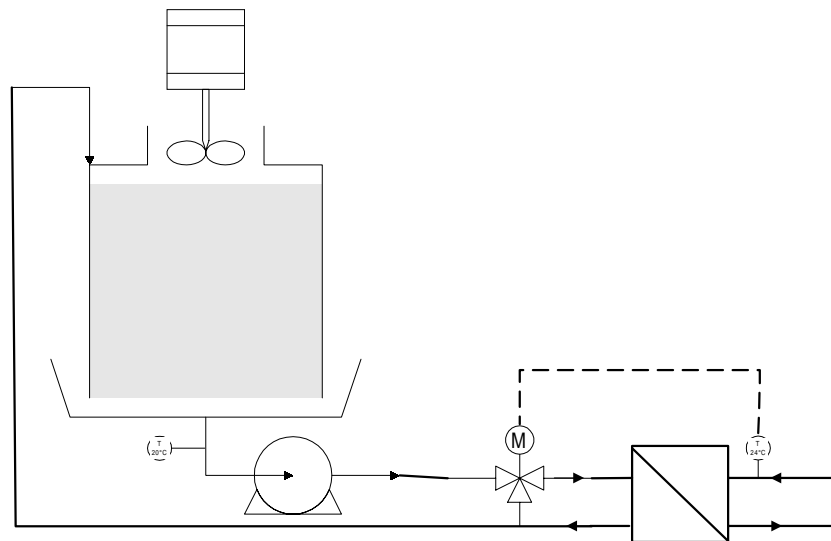


Figure 1 : Circuits eau primaire et eau déminéralisée.

## 2 CALIBRAGE DU FAISCEAU LEP

La haute exactitude du calibrage d'énergie du faisceau LEP est seulement possible jusqu'à 60 GeV. Pour la détermination précise de l'énergie du faisceau à 101 GeV un spectromètre a été installé dans l'octant 2-3. Le spectromètre est un aimant dipôle spécialement adopté et équipé pour mesurer la position du faisceau. Le moyen le plus simple pour mesurer l'énergie d'un faisceau de particules est de courber le faisceau avec une chambre magnétique connue et de mesurer l'angle de courbe à l'aide d'un spectromètre (fig. 2). La fonction de ce spectromètre est d'approvisionner une mesure d'énergie du faisceau avec une précision relative de  $10^{-4}$ , ou 10 MeV erreur pour une mesure d'énergie faisceau à 100 GeV. Cette précision est exigée pour la détermination d'orbite faisceau avec une exactitude de 1  $\mu\text{m}$ .

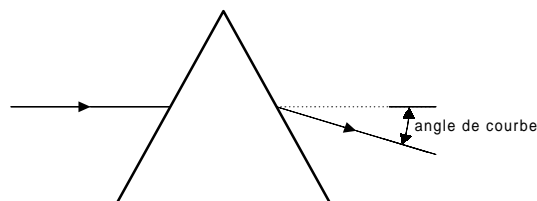
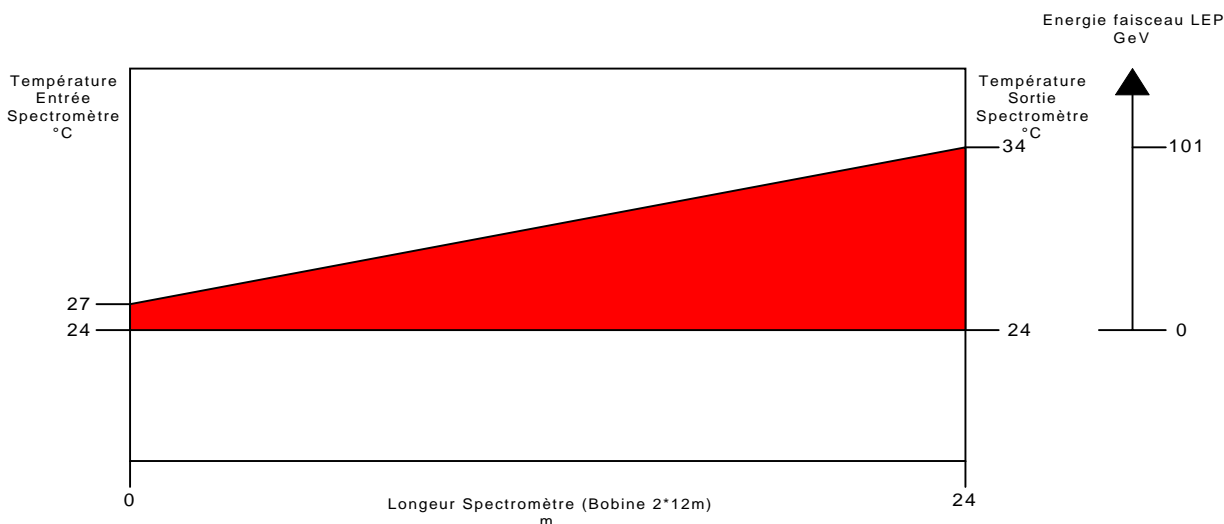


Figure 2 : Principe du spectromètre.

### 3 MESURE DE LA POSITION DU FAISCEAU

Si l'erreur totale de mesure d'énergie doit être  $10^{-4}$ , l'erreur permise pour l'incertitude de mesure de la position du faisceau doit être comprise entre  $5-7 \times 10^{-5}$ .

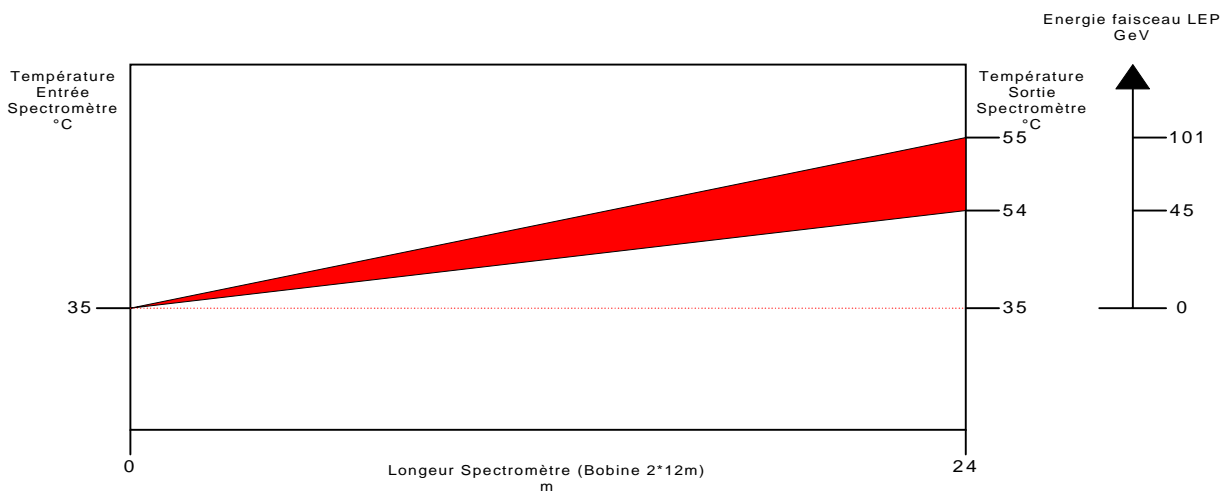
Le coefficient d'expansion thermique des blocs pour la mesure de la position du faisceau  $\Delta L/L \approx 2,5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$  entraîne déjà un grand changement de la position : facteur  $2,5 \times 10^{-5}$  par degré de température. Par conséquent, le circuit d'eau déminéralisée standard pour le refroidissement du LEP est inadéquat pour maintenir la température stable, la température pouvant varier de plusieurs degrés pendant les différentes phases du fonctionnement du LEP (fig. 3).



**Figure 3 :** Distribution normale de la température dans un aimant refroidi par le circuit eau déminéralisée standard.

### 4 UNITE CONTROLE TEMPERATURE (TEMPERATURE CONTROL UNIT – TCU)

Pour minimiser l'erreur provoquée par le changement de la température du circuit d'eau déminéralisée, un deuxième circuit a été équipé d'un appareil (TCU) servant à contrôler et régler la température et le débit. Les deux fonctions principales de l'unité TCU pour contrôler la température sont de maintenir la température constante à l'entrée de la bobine, et de varier le débit pour assurer une distribution régulière de la température dans la bobine avec une température constante à la sortie pendant les différentes phases du fonctionnement du LEP (fig. 4).



**Figure 4 :** Distribution de la température dans le spectromètre refroidi par le TCU.

## 5 COMPOSANTS DE L'UNITE CONTROLE DE TEMPERATURE (TCU)

Pour réaliser ce système (fig. 5), il a fallu utiliser les composants suivants :

- pompe [P] (débit maximum demandé pour la bobine d'aimant : 20 l/min à un  $\Delta p$  de 5 bar),
- échangeur [E] à plaques pour refroidir d'une capacité de 30 kW,
- résistance [R] de 6 kW pour chauffer,
- vanne d'expansion avec remplissage automatique,
- déminéraliseur [D] pour garantir la qualité d'eau dans le circuit secondaire,
- vannes de sécurité [VSA et VSR] qui permettent le refroidissement par le circuit primaire (eau déminéralisée) en cas de défection de l'appareil TCU,
- vanne 3-voie [V1] pour régler le débit dans la bobine de l'aimant,
- système contrôle électronique équipé de deux microprocesseurs (PID), un pour la régulation de la température et un pour la régulation du débit - Régulation adaptée à la vitesse d'augmentation de l'énergie du faisceau de 7,7 GeV/min,
- interface, écran, sondes de température [TI/1], débitmètre [FI/1], pressostat [PI/1], détection fuite, câblage.

Tout le matériel en contact avec l'eau est en acier inoxydable. Tous les composants doivent être assemblés dans un cadre roulant, assez petit pour placer l'unité entière dans une chambre plombée. Cette chambre est spécialement conçue pour protéger le TCU, placé entre un aimant et le mur du tunnel, de la radiation et des champs magnétiques et électriques.

Le système de contrôle électronique (Electronic Control System - ECS) et les microprocesseurs (PID) ont été placés à 25 m du TCU dans une armoire plombée pour connecter, transférer et enregistrer toutes les données dans un programme spécialement développé pour le spectromètre.

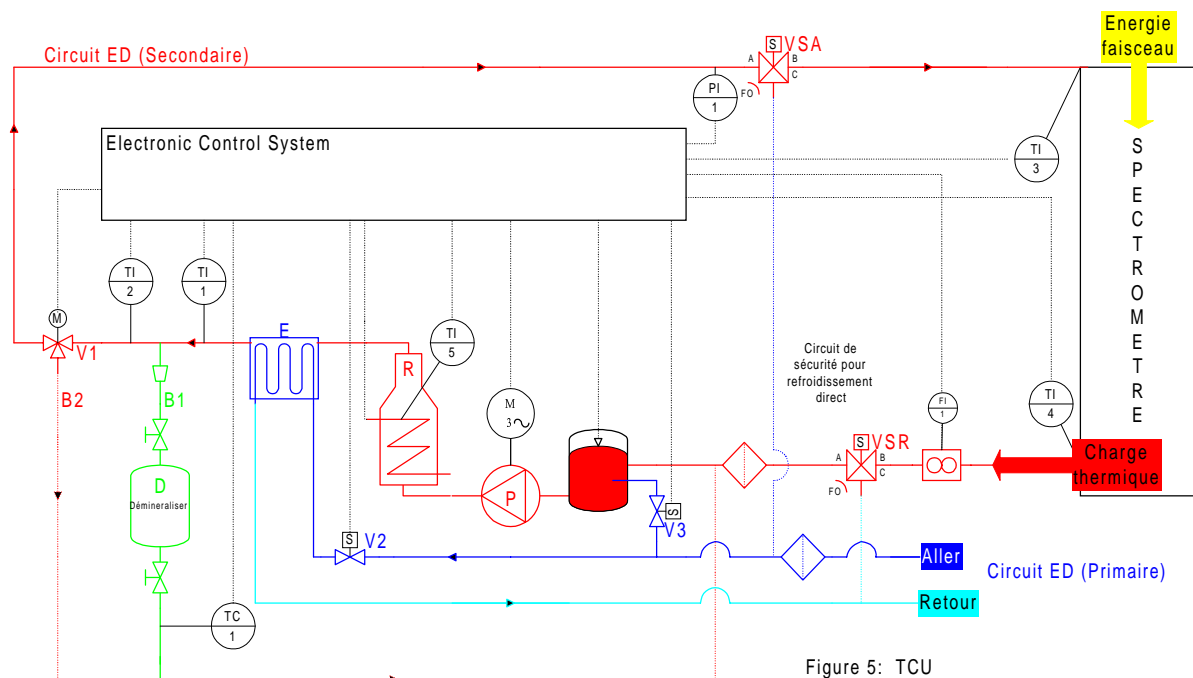


Figure 5 : Unité contrôle température (TCU).

## 6 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La température pour le spectromètre a été réglée à 35 °C.

Le remplissage automatique du circuit d'eau déminéralisée secondaire est garanti par un contrôle du niveau de la vanne d'expansion. Dès que le niveau tombe en dessous de 80 % la vanne V3 (type solénoïde) s'ouvre pour remplir le circuit secondaire avec l'eau déminéralisée du circuit primaire.

La qualité de l'eau déminéralisée du circuit secondaire est garantie par le déminéraliseur [D] installé dans le by-pass B1. L'implantation du déminéraliseur est faite pour ne pas dépasser 40 l/h par litre de résine. Cela donne un volume déminéraliseur d'environ 4 litres pour un débit maximum de 1500 l/h du circuit d'eau déminéralisée secondaire. Le débit qui passe via le déminéraliseur est limité par une réductrice pression/débit. La conductivité est mesurée TC/1 et affichée sur un écran. Une alarme sera transférée quand la conductivité excédera 0,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 6.1 Énergie faisceau inférieure à 2.5 GeV

Le remplissage du LEP à 22,5 GeV nécessite de 10 à 20 minutes. La charge thermique, développée dans la bobine du spectromètre à 22,5 GeV, est inférieure à 1 kW. Dans ce cas, la sonde température TI/3 donnera le signal de chauffer l'eau par la résistance R et la sonde température TI/4 donnera le signal de fermer la vanne V1 (type solénoïde 3-voies) pour réduire au minimum le débit dans la bobine. La plus grande partie de l'eau déminéralisée passera alors par le by-pass B2.

### 6.2 Énergie faisceau supérieure à 22.5 et inférieure à 45 GeV

La rampe met environ trois minutes pour passer de 22,5 à 45 GeV. Le faisceau reste de 1 à 2 heures à 45 GeV pour la polarisation. La charge thermique du faisceau (environ 3,5 kW), n'est pas encore suffisante pour chauffer l'eau à 35 °C. Donc, la sonde température TI/3 continuera à donner toujours le signal de chauffer l'eau et, dans ce cas, la sonde température TI/4 donnera le signal d'ouvrir légèrement la vanne 3-voies.

### 6.3 Énergie faisceau supérieur à 45 GeV

Accélérer le faisceau de 45 à 92 GeV prend environ six minutes. Les petites rampes de 92 à 101 GeV maximum sont beaucoup plus lentes (de 20 à 30 minutes). Pendant l'accélération, la charge thermique à absorber devient beaucoup plus importante. A partir de 60 GeV environ, la charge thermique est déjà assez haute pour chauffer l'eau à 35 °C. Au-dessus de 60 GeV, la sonde température TI/3 donnera le signal de refroidir l'eau par le circuit d'eau déminéralisée primaire. Dans ce cas, la vanne type solénoïde s'ouvrira pour laisser passer l'eau déminéralisée primaire par l'échangeur à plaques E. De plus, la sonde température TI/4 signalera l'ouverture de la vanne V1 à 100 %.

### 6.4 TCU hors service

En cas de panne de l'alimentation électrique, les deux vannes VSA et VSR (type 3-voies, solénoïde) ouvriront le by-pass pour refroidir le spectromètre directement par le circuit d'eau déminéralisée primaire.

Un interrupteur thermique provoquera la même manœuvre dès que la température à l'extérieur de la bobine excédera 60 °C, ce qui signifie que l'appareil TCU est défectueux.

## 7 CONCLUSION

La réalisation de l'unité de contrôle de température a été déterminante pour le groupe SL [1] qui a ainsi pu faire les tests, tracer, etc. beaucoup plus rapidement grâce à un spectre de température réduit.

La performance de ce système a permis au groupe SL de s'approcher de son objectif qui est d'approvisionner la mesure d'énergie du faisceau LEP avec une précision relative de  $10^{-4}$ .

Cet objectif devrait être pleinement atteint durant la dernière année de fonctionnement du LEP.

## REFERENCE

- [1] SL, The LEP Spectrometer Project [<http://www.cern.ch/LEPECAL/spectro/Welcome.html>].