



HAL
open science

Augmentation de la puissance du réfrigérateur hélium de la centrale cryogénique du post-accélérateur d'ions lourds à cavités supraconductrices de Saclay

Ph. Bredy, D. Braud, C. Cure, J. Fouan, C. Gaudron, J. Lottin

► To cite this version:

Ph. Bredy, D. Braud, C. Cure, J. Fouan, C. Gaudron, et al.. Augmentation de la puissance du réfrigérateur hélium de la centrale cryogénique du post-accélérateur d'ions lourds à cavités supraconductrices de Saclay. *Journal de Physique III*, 1991, 1 (2), pp.163-171. 10.1051/jp3:1991114 . jpa-00248570

HAL Id: jpa-00248570

<https://hal.science/jpa-00248570>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Classification
Physics Abstracts
07.20M — 29.15D

Augmentation de la puissance du réfrigérateur hélium de la centrale cryogénique du post-accélérateur d'ions lourds à cavités supraconductrices de Saclay

Ph. Bredy ⁽¹⁾, D. Braud ⁽¹⁾, C. Cure ⁽²⁾, J. P. Fouan ⁽¹⁾, C. Gaudron ⁽¹⁾ et J. C. Lottin ⁽²⁾

⁽¹⁾ Section du Tandem et du Post-accélérateur Supraconducteur, DPhN/STAS/STP, Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France

⁽²⁾ Service des Techniques Instrumentales des Particules Élémentaires, DPhE/STIPE, Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France

(Reçu le 6 mars 1990, révisé le 31 mai 1990, accepté le 28 juin 1990)

Résumé. — Afin d'obtenir la puissance de réfrigération à 4,5 K nécessaire au fonctionnement de la totalité des cavités supraconductrices du post-accélérateur d'ions lourds, deux compléments importants ont été apportés à la centrale cryogénique déjà existante. Il s'agit d'une part de l'accroissement du débit d'hélium dans le réfrigérateur, et d'autre part de l'installation d'un système de détente alternative « humide » en parallèle avec la vanne de détente Joule-Thomson. Une série de mesures montre que les besoins du post-accélérateur sont alors parfaitement couverts.

Abstract. — In order to increase the 4.5 K refrigeration capacity of our refrigerator for the superconducting cavity heavy ion booster, an additional helium compressor and a wet reciprocating expander have been installed. Measurements have been carried out and show that the obtained refrigeration capacity matches the accelerator requirements.

Pendant la première phase de fonctionnement (1988) de l'ensemble Van De Graff tandem 9 MV et post-accélérateur à cavités HF (cf. Figs. 1 et 2), une série de développements ont été entrepris. Nous présentons ici la part de développements relative à l'ensemble cryogénique du post-accélérateur ; le point de départ de ces développements était un manque évident de puissance froide pour l'utilisation de l'ensemble de toutes les cavités supraconductrices en HF.

1. Bilan des puissances dissipées dans l'installation.

Les consommations à 4,5 K ont été évaluées suivant trois méthodes :

- en comptabilisant les retours de gaz d'un cryostat complètement isolé sur lui-même (Fig. 3) ;
- en comptabilisant les retours de gaz d'un cryostat dont le niveau est maintenu constant, ce qui inclut les pertes du cryostat et de la ligne de transfert ;
- en mesurant l'évolution du niveau en LHe sur un cryostat non alimenté.

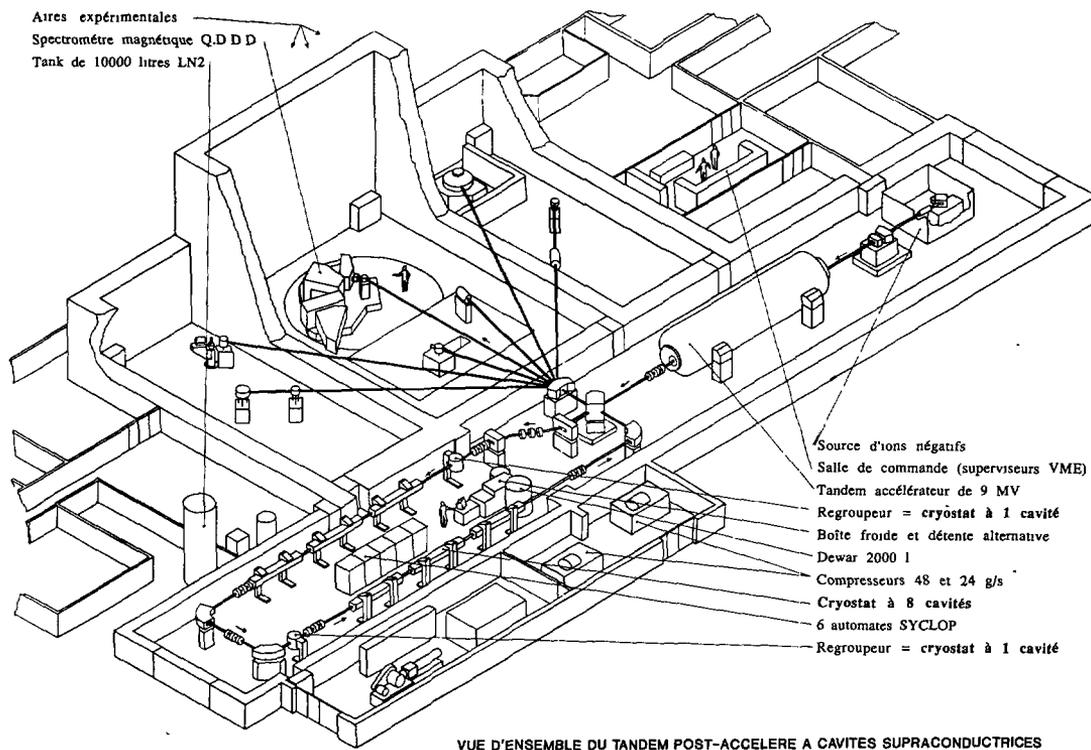


Fig. 1. — Vue d'ensemble de l'accélérateur Tandem Van de Graaff et Post-accelérateur Linéaire d'ions lourds à cavités supraconductrices de Saclay.

[Overview of the Superconducting cavity heavy ion booster of Saclay.]

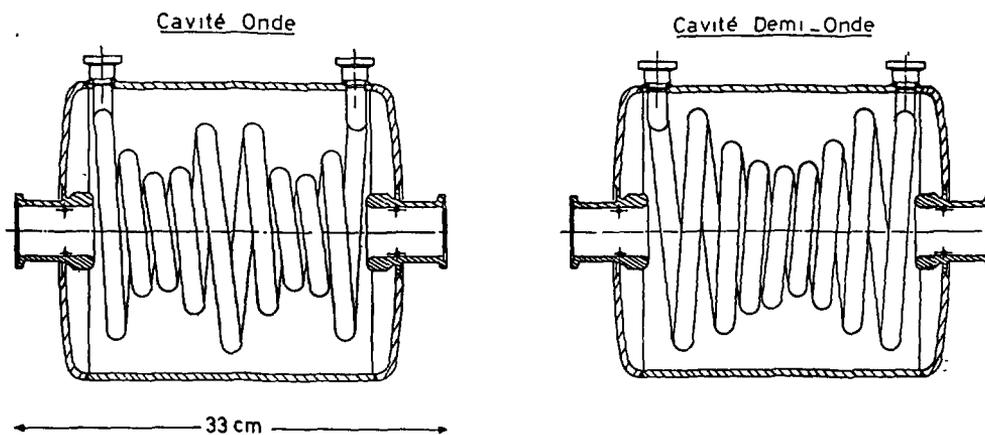


Fig. 2. — Les deux types de cavités supraconductrices utilisées (le refroidissement est réalisé par bain d'hélium sur l'enceinte et circulation forcée dans l'hélice).

[The two different models of superconducting resonators used (cooling is performed by the helium bath on the body and by forced flow in the helix).]

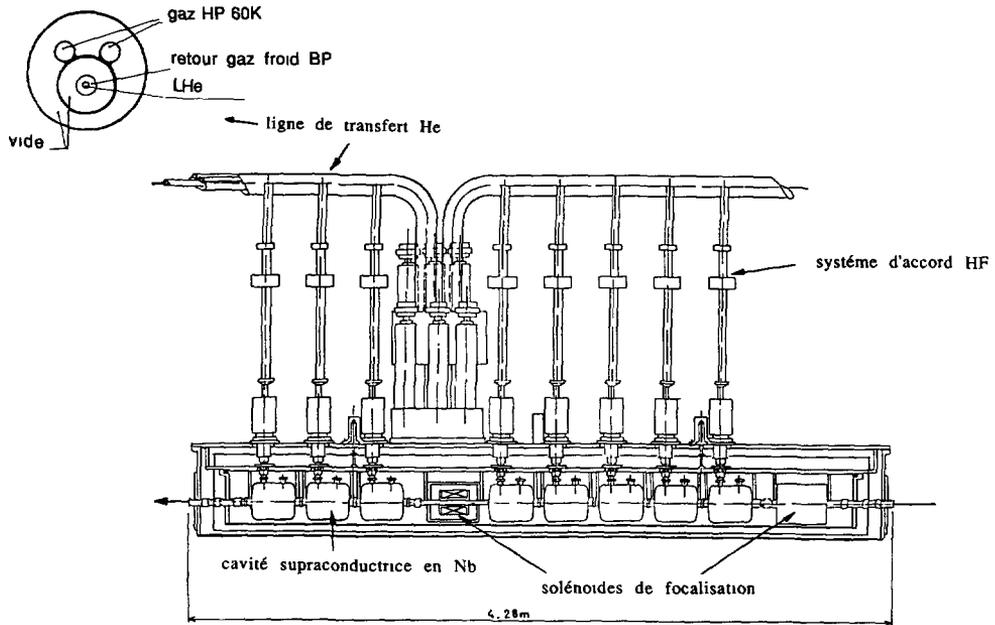


Fig. 3. — Vue en coupe d'un cryostat à 8 cavités.

[Transversal view of an 8 cavities cryostat.]

Les pertes liées aux amenées de courant sont converties en puissance à partir des puissances de réfrigération et des vitesses de liquéfaction propres au liquéfacteur. Les pertes dues à la HF dans les cavités sont évaluées en leur substituant (au moyen d'une résistance chauffante) la quantité de chaleur qui conserve le cryostat en l'état (niveau constant d'hélium liquide).

Les consommations des écrans et de la ligne de transfert à 60 K sont évaluées par l'écart de température entre le départ du gaz à 15 bars et son retour au réfrigérateur.

Consommation à 4,5 K sans haute fréquence dans les cavités supraconductrices :

ligne de transfert ($L = 72 m$)	23 W
1 cryostat à 8 cavités	15 W
1 cryostat à 1 cavité	8 W
amenées de courant (6 paires soit au total 7,2 l LHe/h)	20 à 25 W

Pertes dues au champ haute fréquence (H.F.) :

au champ accélérateur de 1,6 MV/m	1,4 W/cavité
au champ accélérateur de 2,2 MV/m	2,6 W/cavité

Bilan à 4,5 K :

sans HF	environ 150 W
avec 50 cavités en HF	220 à 285 W

Consommation à 60 K

écrans + ligne de transfert	695 W
-----------------------------	-------

La puissance de réfrigération à 4,5 K nécessaire au fonctionnement en régime établi de l'ensemble du post-accélérateur (lignes Nord et Sud : 8 cryostats avec 50 cavités accélératrices

et 12 solénoïdes supraconducteurs de focalisation) a donc été évaluée à environ 300 W ; deux compléments importants ont alors été apportés à l'ensemble cryogénique afin d'obtenir une capacité de réfrigération suffisante.

2. Modifications apportées au groupe de réfrigération.

Le réfrigérateur du post-accélérateur est l'HÉLIAL 4001 de l'Air liquide à deux turbines de détente en série. Pour ce type de machine et en général pour le cycle de Claude, on peut présenter schématiquement la puissance de réfrigération disponible vers 4 K comme étant d'une part fonction du débit d'hélium à travers le système de détente à froid et d'autre part fonction du titre en liquide de l'hélium après cette détente. L'augmentation de la puissance par l'accroissement du débit est à réaliser au niveau du groupe de compression d'hélium et dans des limites qui ne bouleversent pas les différents gradients de température dans la ligne d'échange. L'augmentation du titre du mélange après détente peut quand à elle être réalisée en remplaçant l'habituelle vanne de détente Joule-Thomson (détente idéalement adiabatique, isenthalpique et sans travail externe) par une machine de détente avec récupération de travail (idéalement adiabatique, isentropique et avec récupération de travail) (cf. Fig. 4a).

Le groupe de réfrigération initial était constitué d'un compresseur à vis lubrifiée, d'un module de déshuilage et d'une boîte froide HÉLIAL de l'Air liquide (HÉLIAL 4001 à deux turbines en série).

L'augmentation du débit de gaz (d'un facteur 1,5) est réalisée en installant un compresseur supplémentaire de 24 g/s en parallèle au compresseur initial de 48 g/s (groupe de compression QUIRI à vis MYCOM avec déshuileur CIRRUS).

Le système de détente alternative avec extraction de travail est une machine Koch Process Systems, à deux pistons travaillant en opposition de phase. Les diamètres et courses des pistons (2" x 2") permettent actuellement le passage d'environ 20 g/s d'hélium pour une

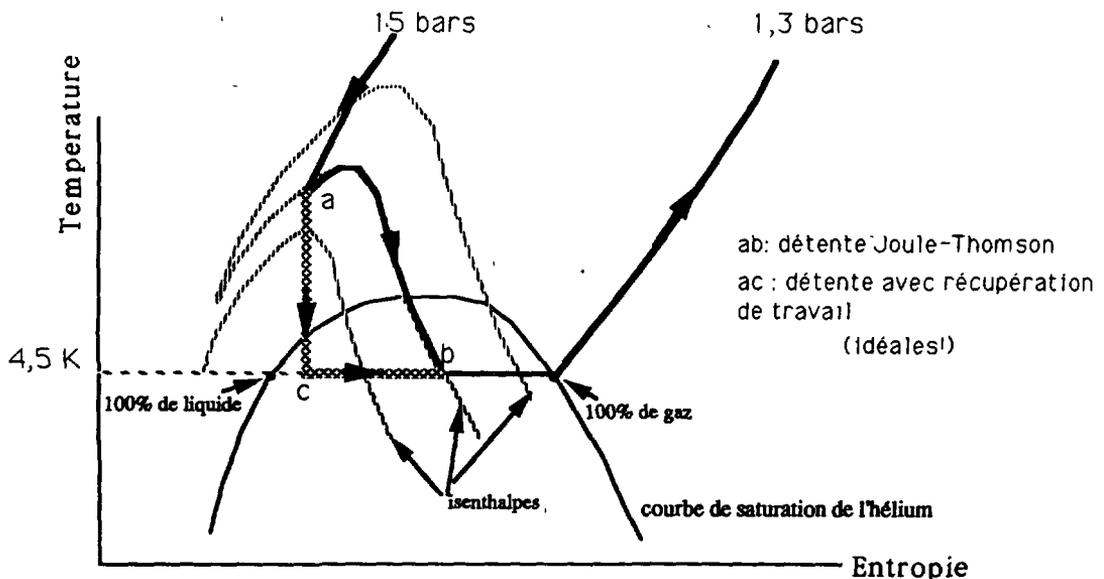


Fig. 4a. — Schéma des deux types de détente dans le diagramme T-S de l'hélium, effet sur le titre après détente.

[Two different expansion in T-S diagram of helium, effect on liquid ratio after expansion.]

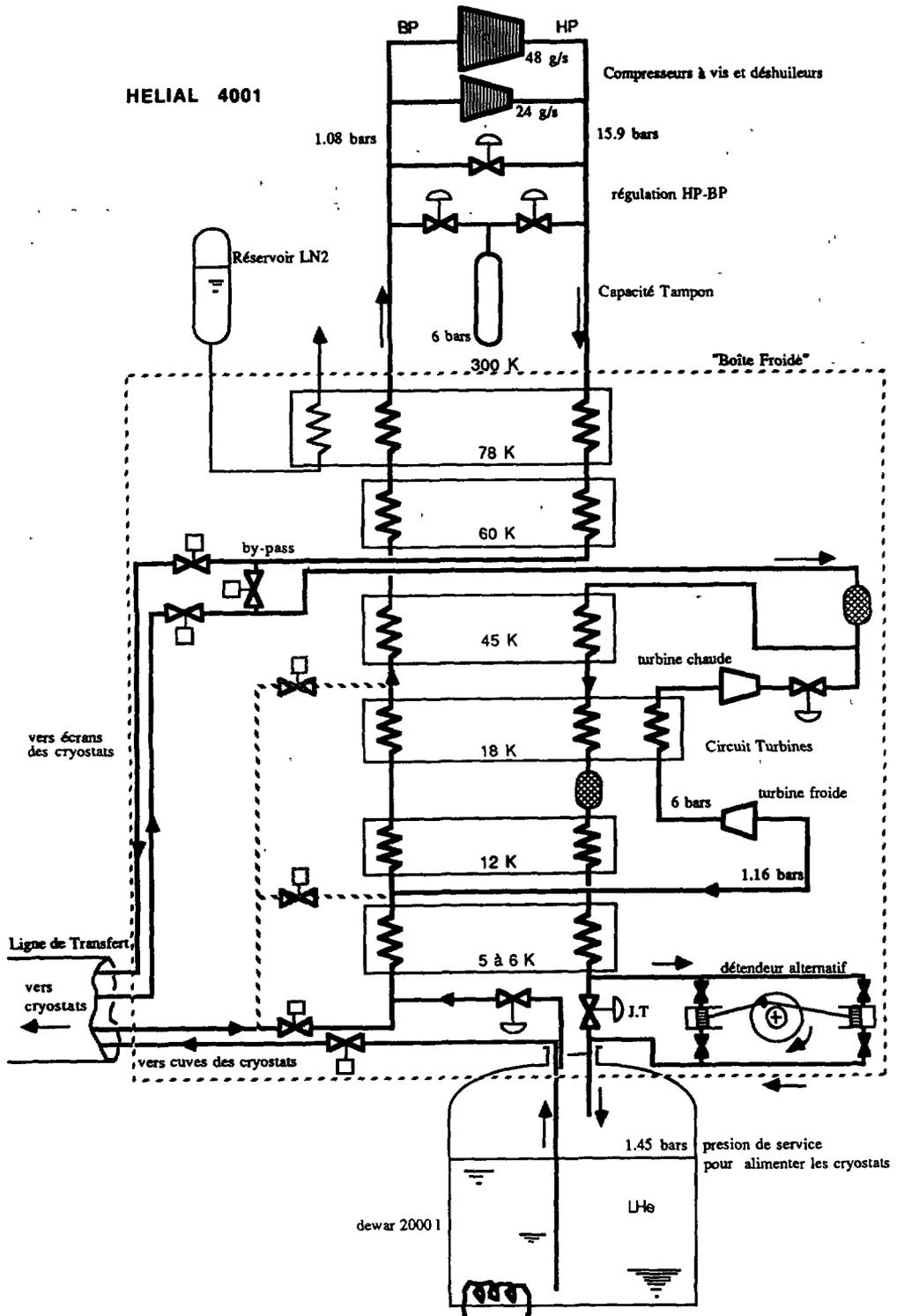


Fig. 4b. — Schéma de principe du réfrigérateur hélium.

[Helium refrigerator simplified diagram.]

vitesse de rotation de 60 tr/min. Ce détendeur est monté en parallèle sur la vanne Joule-Thomson (J.T.) du réfrigérateur Hérial de l'Air liquide. Afin de conserver la vanne J.T. comme organe de régulation de la température en sortie turbines, le nouvel ensemble garde le système initial et a été complété par un contrôle automatique de la vitesse de rotation du détendeur qui conserve une faible ouverture de la J.T. (quelques % de la pleine ouverture). Les essais et l'usage ont montré une bonne stabilité en régime établi.

La figure 4b schématise l'ensemble de la centrale cryogénique.

En plus de l'augmentation de puissance froide, ces modifications ouvrent un ensemble de combinaisons qui doivent permettre une meilleure adaptation de la centrale cryogénique aux différentes configurations et états (transitoires ou réguliers) que l'on rencontre pendant le fonctionnement du post-accélérateur :

- | | |
|---|---------|
| — démarrage liquéfacteur | état 01 |
| — remplissage des cryostats en LHe à partir de 77 K
et mise des écrans sous HP à 60 K | état 02 |
| — redémarrage du liquéfacteur
après arrêt accidentel avec cryostats
pleins en LHe | état 03 |
| — fonctionnement régulier de 50 cavités supraconductrices
en HF et des 12 solénoïdes de focalisation | état 04 |

3. Essais en mode réfrigérateur.

Les mesures sont réalisées à niveau constant dans le dewar de 2 000 l et le réfrigérateur est totalement découplé des cryostats (pas de circulation de gaz à 60 K dans les écrans, ni d'hélium liquide dans les cuves des cryostats). La capacité de réfrigération est connue par la puissance électrique dissipée par une chaufferette à l'intérieur du dewar ; la phase vapeur produite retourne alors directement vers la ligne d'échange de la boîte froide.

Quatre configurations sont actuellement disponibles :

- a) compresseur 48 g/s + vanne J.T. seule
- b) compresseur 48 g/s + détendeur alternatif
- c) compresseurs 48 + 24 g/s + vanne J.T. seule
- d) compresseurs 48 + 24 g/s + détendeur alternatif.

Les résultats de ces mesures sont présentés sur la figure 5.

Ces essais ont mis en évidence de nouveaux optimums de fonctionnement pour la valeur de consigne du paramètre de contrôle de la détente (température du gaz en sortie turbines). La puissance de réfrigération est, suivant la configuration choisie, de 260 à 500 W ; l'étendue de cette plage a permis depuis une relative souplesse pour gérer les différentes phases de refroidissement du post-accélérateur, ce qui correspond (en reprenant la notation du paragraphe précédent) à :

- la configuration a pour l'état 01 du post-accélérateur
- les configurations b ou c pour l'état 02
- la configuration d pour l'état 03
- la configuration b dans l'état 04.

Des modifications du système de contrôle-commande permettront ultérieurement de tester les deux configurations compresseur 24 g/s + J.T. ou détendeur afin d'en connaître les possibilités et éventuellement d'en exploiter les avantages (par exemple, le maintien à moindre coût de l'installation en veille à 4,5 K avec le plus petit des deux compresseurs).

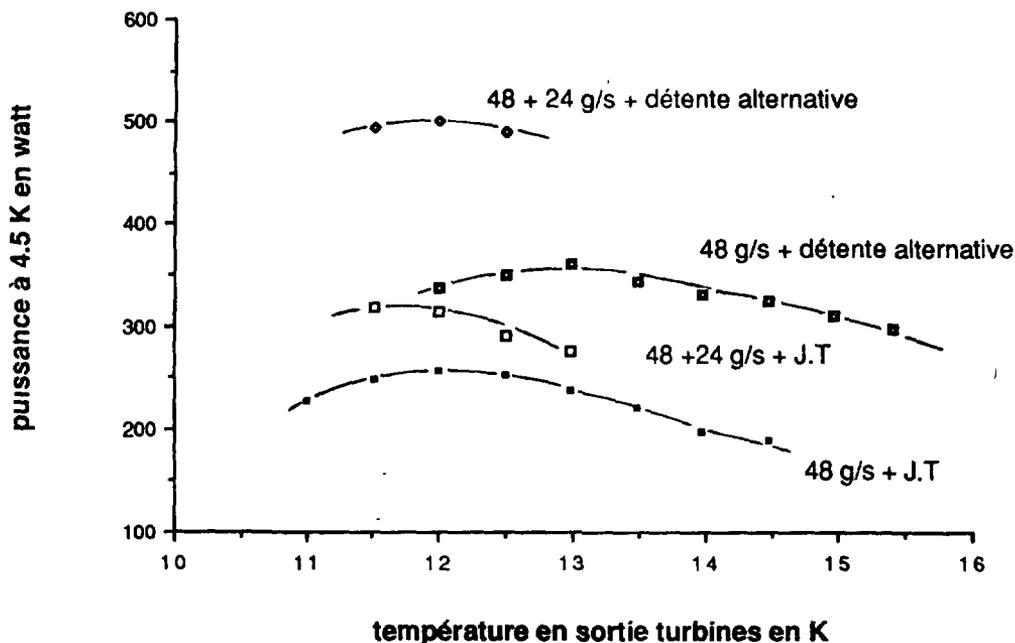


Fig. 5. — Puissance disponible à 4,5 K en fonction de la température en sortie du circuit turbines.

[Refrigerating capacity at 4.5 K as a function of the second turbine outlet temperature.]

4. Essais en mode liquéfacteur.

Ces mesures ont permis essentiellement de mieux cerner les possibilités de l'ensemble boîte froide — détendeur « humide » — compresseurs. Elles ont été réalisées à niveau constant dans le dewar de 2 000 l en transvasant le liquide produit dans un dewar auxiliaire où il est évaporé, réchauffé et comptabilisé avant de retourner en basse pression. Le schéma de principe est représenté sur la figure 6.

Contrairement aux essais précédents, il n'a pas été possible d'utiliser le deuxième compresseur parce que le circuit turbines de la boîte froide de l'HÉLIAL 4001 n'est pas dimensionné pour ce type d'utilisation (uniquement liquéfaction) et tout le débit supplémentaire est alors dérouté avant la boîte froide.

Deux configurations ont donc été mesurées :

- a) compresseur 48 g/s + vanne J.T.
- b) compresseur 48 g/s + détendeur alternatif.

Les résultats sont reportés sur la figure 7 et montrent des débits de liquéfaction optimaux de 92 l/h (cas a) et de 102 l/h (cas b). Pour ce dernier cas, il n'a pas été possible d'explorer des températures de sortie turbines inférieures à 15,6 K en raison du fait qu'en dessous de cette limite, la vitesse de rotation du détendeur devient trop faible et l'ensemble mécanique « cale » : la cylindrée et les réglages du détendeur alternatif sous sa configuration actuelle (correspondant plutôt au mode réfrigérateur) ne sont pas en effet prévus pour des débits « J.T. » aussi faibles que ceux rencontrés dans le mode liquéfacteur pur (débit en limite supérieure dans le circuit turbines mais faible dans la branche J.T. + détendeur).

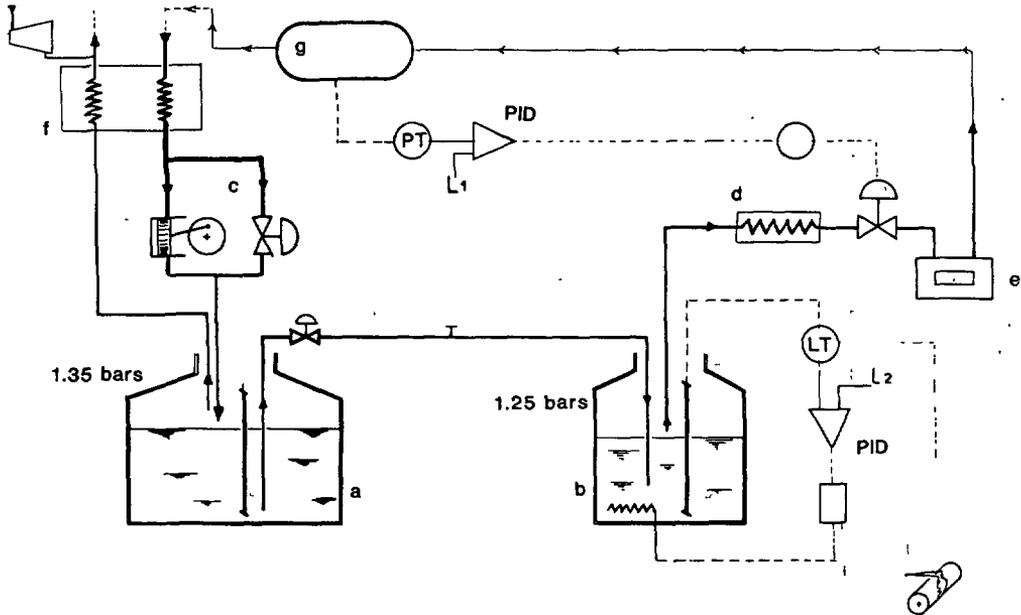


Fig. 6. — Schéma de principe des mesures en mode liquéfacteur. a) dewar 2 000 l, b) dewar 500 l, c) détendeur + J.T., d) réchauffeur, e) compteur, f) boîte froide, g) capacité tampon.

[Schematic of liquefaction performance measurements.]

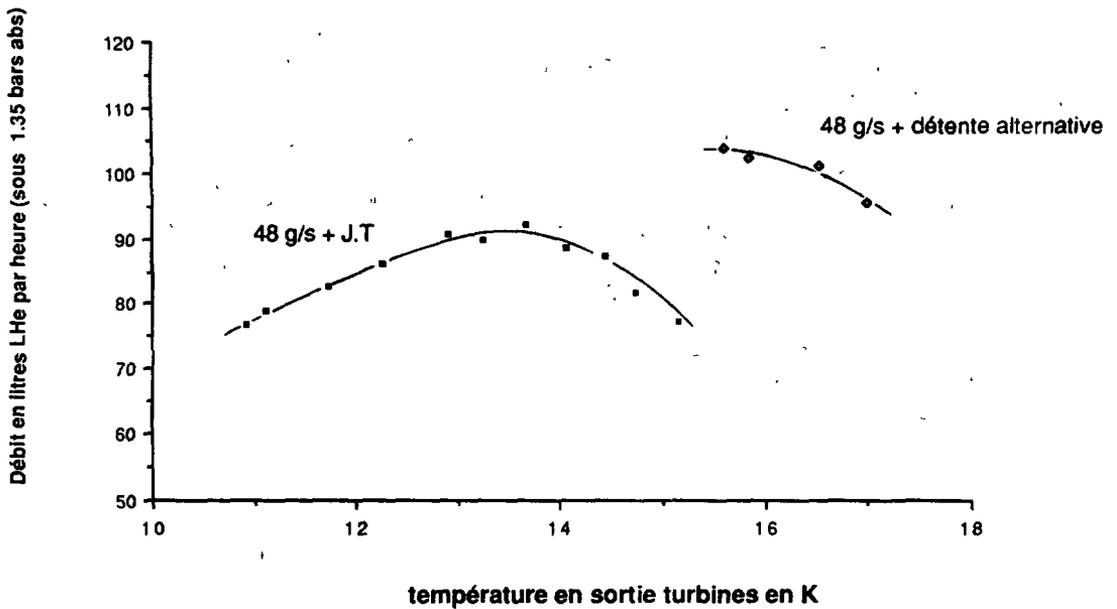


Fig. 7. — Vitesse de liquéfaction à 4,5 K mesurées à niveau constant en fonction de la température en sortie du circuit turbines.

[Constant level liquefaction rate at 4.5 K as a function of turbine outlet temperature.]

Conclusions.

Depuis ces mesures, plusieurs séquences de fonctionnement avec l'ensemble des cryostats du post-accélérateur ont montré que les besoins cryogéniques de l'installation étaient maintenant parfaitement couverts par la centrale de réfrigération.

L'ensemble des résultats obtenus a permis, outre une meilleure connaissance des possibilités de la centrale cryogénique du post-accélérateur, une optimisation relative des régimes de marche en fonction des différents états de l'installation. Ainsi, à chaque phase du fonctionnement du post-accélérateur, nous pouvons faire correspondre la configuration au meilleur « rendement ». L'intérêt de la détente « humide » a été mis en évidence et nous avons pu recueillir des informations intéressantes sur ce type de machine.