



HAL
open science

Echangeurs He II/ He II HX-D2 pour les aimants D2 du HL-LHC Bilan

F. Bancel, N. Besson, M. Bon Mardion, P. Bonnay, T. Goy, E. Jaffre, François
Millet, P. Nivelon, Bernard Rousset, D. Duri

► **To cite this version:**

F. Bancel, N. Besson, M. Bon Mardion, P. Bonnay, T. Goy, et al.. Echangeurs He II/ He II HX-D2 pour les aimants D2 du HL-LHC Bilan. Aussois 2024 - 14ème journée de cryogénie et de supraconductivité, AFF-CCS, Oct 2024, Aussois, France. hal-04840494

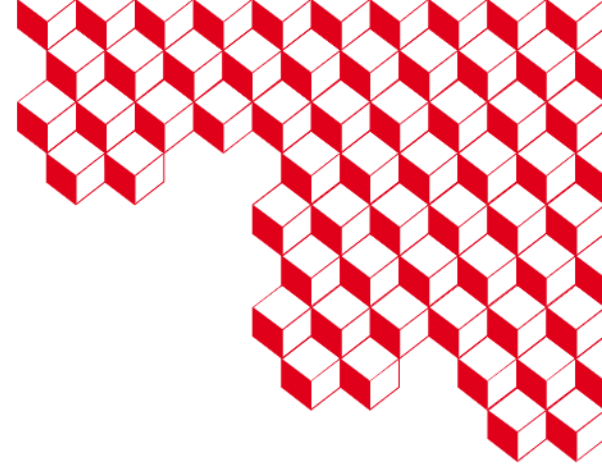
HAL Id: hal-04840494

<https://hal.science/hal-04840494v1>

Submitted on 16 Dec 2024

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.



Echangeurs He II/ He II HX-D2 pour les aimants D2 du HL-LHC Bilan

14es journées de Cryogénie et de Supraconductivité

15-18 octobre 2024

Bancel F., Besson N., Bon Mardion M., Bonnay P., Goy T.,
Jaffre E., Millet F., Nivelon P. & Rousset B.

Présenté par: D. Duri

LRQA
CERTIFIED
ISO 9001

Plan de l'exposé

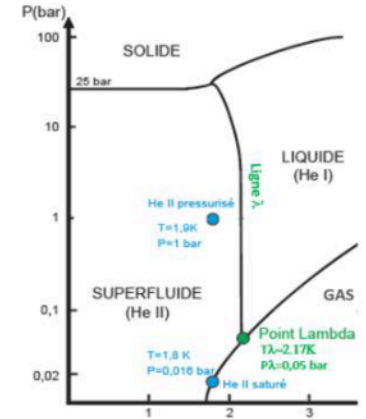
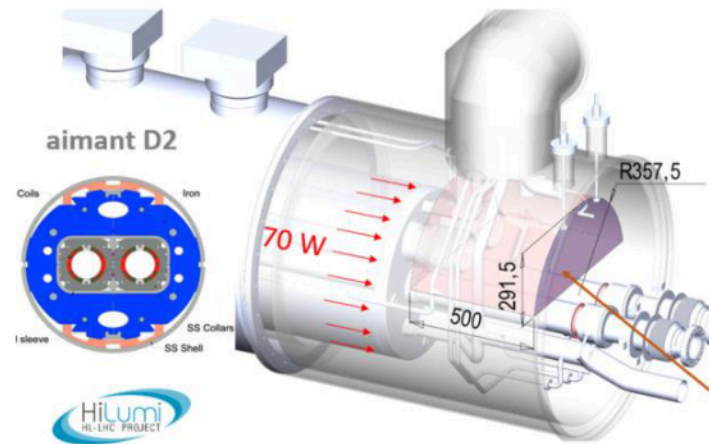
- ❑ Contexte
- ❑ Principe de dimensionnement d'un échangeur He II/He II
- ❑ Test sur un échantillon (portion de tube correspondant au futur faisceau de tubes)
- ❑ Fabrication, assemblage et tests préliminaires
- ❑ Performances thermiques et comparaison avec le code prédictif
- ❑ Conclusions

Contexte

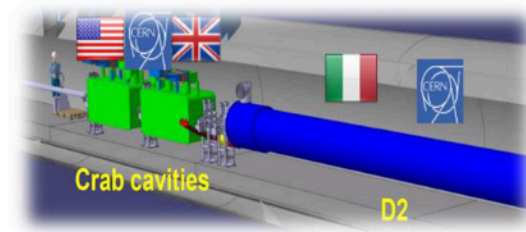
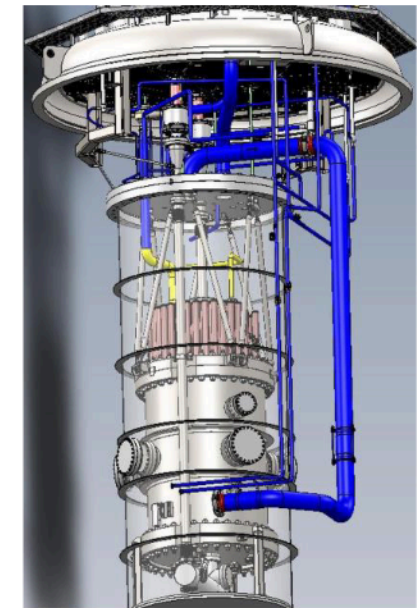
- **Projet HiLumi**
- **Objectif :** Augmenter les performances du LHC (augmentation de sa luminosité d'un facteur 10)
- **Comment le faire ?**
 - Avec des faisceaux de particules plus intenses et plus concentrés
 - Avec de aimants supraconducteurs plus puissants et équipés avec refroidissement à 1.8K



70 W arrivant dans de l'Hel pressurisé à 1.3 bar et à extraire dans l'échangeur HX-D2 avec un $\Delta T < 54 \text{ mK}$ à 2 K



Tubes faisceaux
Intégration échangeur Hell en bout d'aimant D2



↑
Héritage @DSBT: échangeurs Hell(sat)/Hell(pressurisé) de l'expérience SHREK (2012)

Principe de dimensionnement

1/2

$$\Delta T_{\text{He II}} = \frac{q^{3.4} L}{4.4 g(T, P)} \rightarrow \Delta T1 = \frac{W^{3.4} L}{4.4 S_{\text{press}}^{3.4} g(\langle T_{\text{press}} \rangle, P_{\text{press}})}$$

$$\Delta T3 = \frac{W^{3.4} L}{4.4 S_{\text{sat}}^{3.4} g(\langle T_{\text{sat}} \rangle, P_{\text{sat}})}$$

$$\Delta T1 = \Delta T3$$

$$\frac{S_{\text{sat}}}{S_{\text{pres}}} = \left(\frac{g(\langle T_{\text{press}} \rangle, P_{\text{press}})}{g(\langle T_{\text{sat}} \rangle, P_{\text{sat}})} \right)^{\frac{1}{3.4}}$$

Soit $\Delta T1 = \Delta T3$ de la forme :

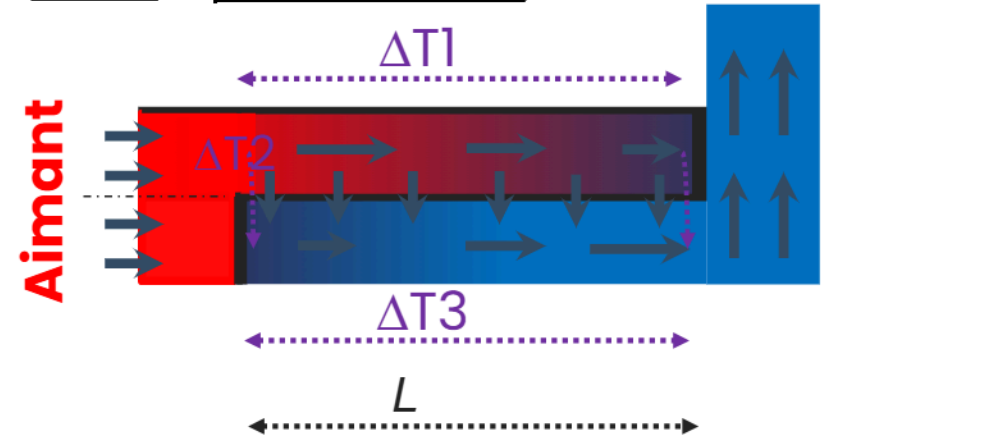
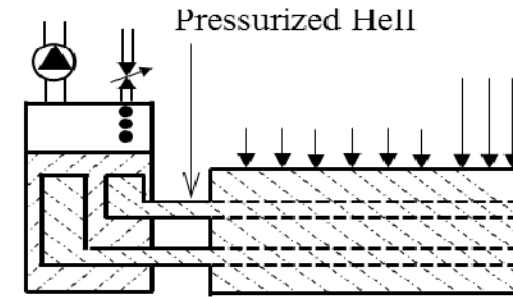
$$\Delta T = A \cdot L$$

$$\Delta T2 = \frac{W}{\pi \cdot nb \cdot d} L \left(\frac{e}{k \left(\frac{T_{\text{sat}} + T_{\text{pres}}}{2} \right)} + \frac{1}{h_{\text{kap}}(T_{\text{sat}})} + \frac{1}{h_{\text{kap}}(T_{\text{pres}})} \right)$$

Soit $\Delta T2$ de la forme :

$$\Delta T = \frac{B}{L}$$

$$\text{Au final : } \Delta T_{\text{tot}} = \Delta T1 + \Delta T2 = A \cdot L + \frac{B}{L}$$



Principe de dimensionnement

2/2

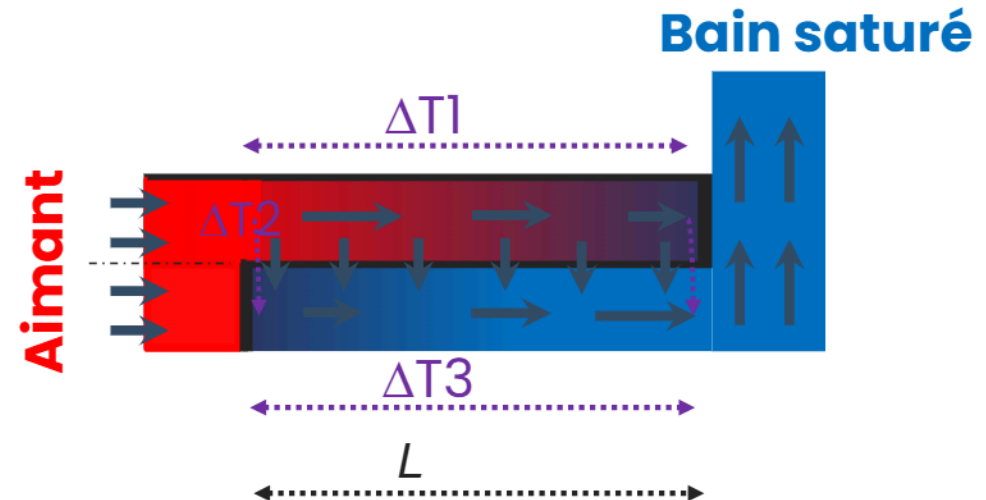
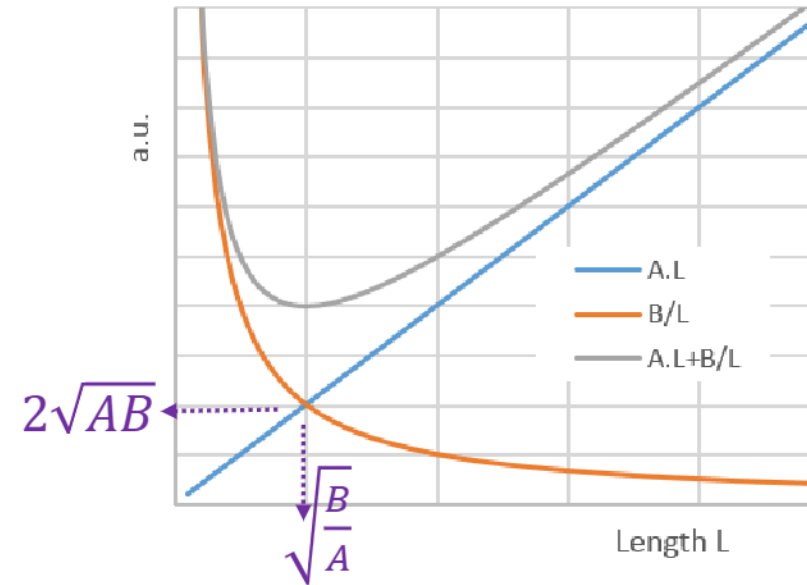
$$\Delta T_{tot} = A \cdot L + \frac{B}{L}$$

Lorsque l'on dérive en fonction de L,
la dérivée s'annule en $L = \sqrt{\frac{B}{A}}$

soit $\Delta T_{tot} = \sqrt{AB} + \sqrt{AB}$

Et on obtient aussi

$$\Delta T_1 (= \Delta T_3) = \Delta T_2 !$$

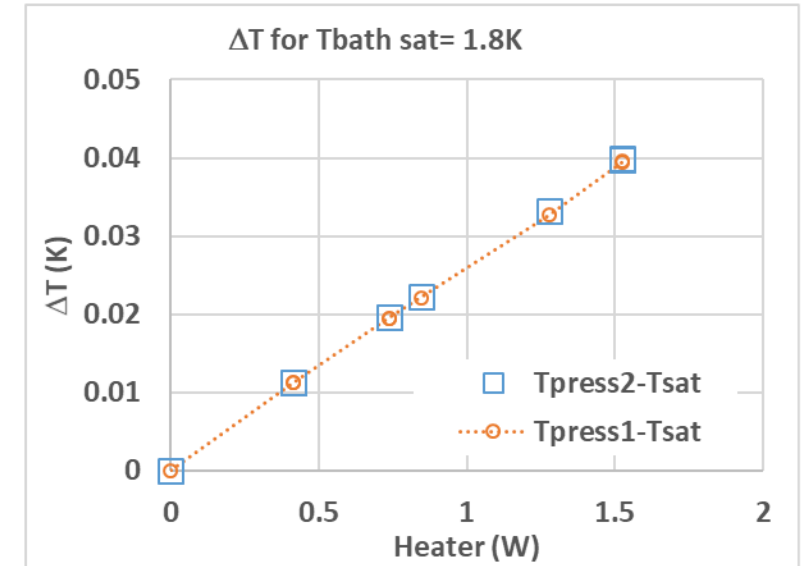
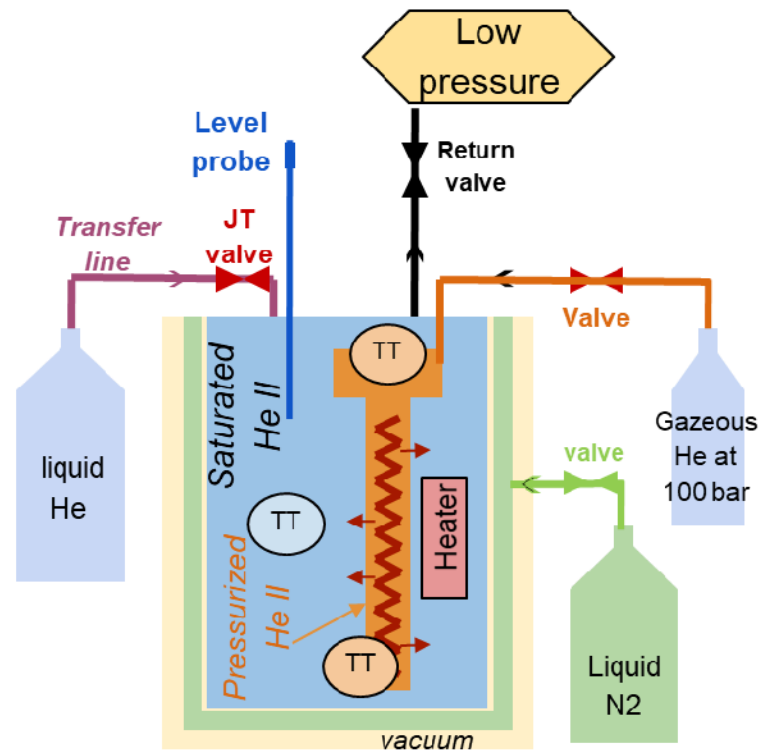


"Evaluation of superfluid helium cooling schemes and application for
HL-LHC recombination dipole D2" <https://doi.org/10.1016/j.cryogenics.2018.08.004>

Mesures coefficient d'échange transverse sur échantillons 1/2

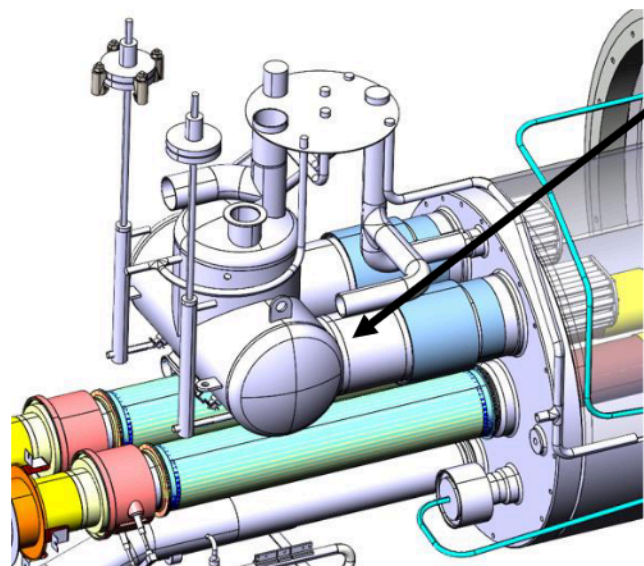
$$\Delta T2 = \frac{W}{S_{lateral} h_{transverse}}$$

Un test dans un petit cryostat permet de mesurer $h_{transverse}$ pour un échantillon de tube (de longueur suffisante pour négliger les effets de bord).



$$h_{transverse} = 3662.7 * T - 4109$$

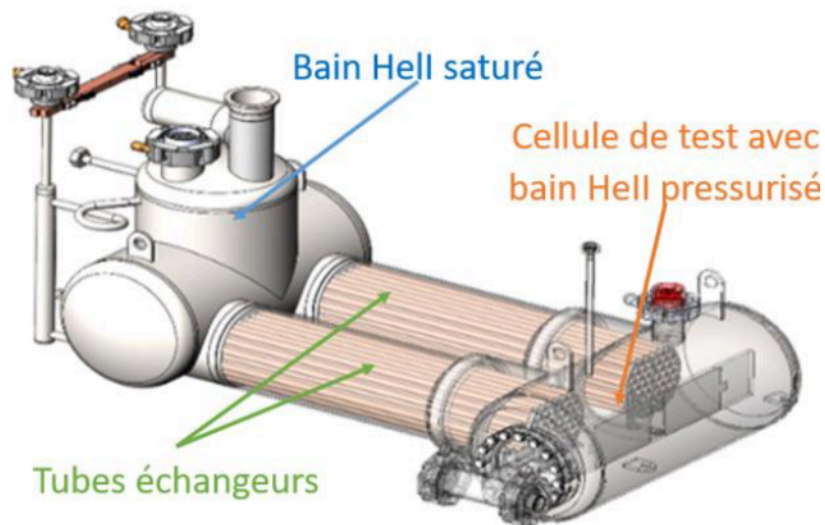
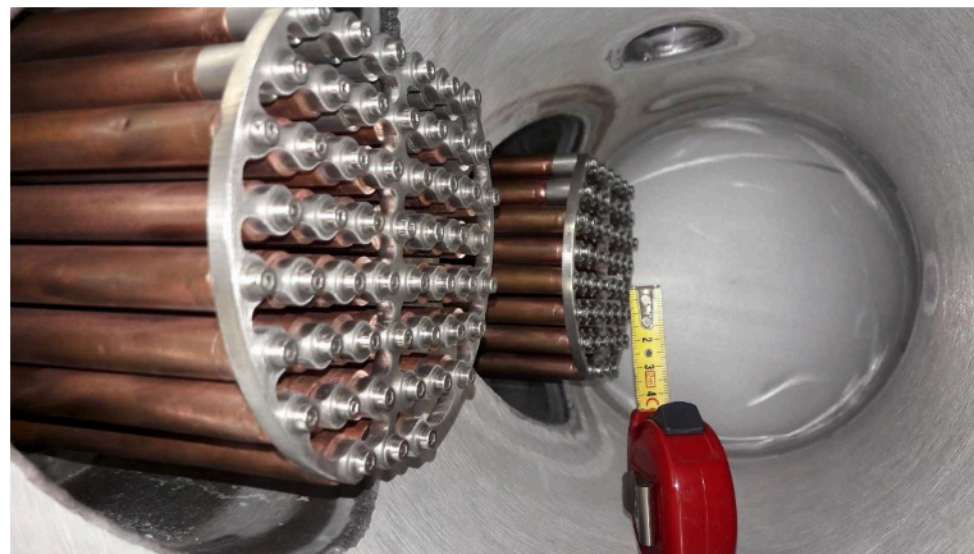
Fabrication, assemblage & tests



Echangeur
HeII-HeII

Interne du bain pressurisé
(chauffage et
thermomètres retirés)

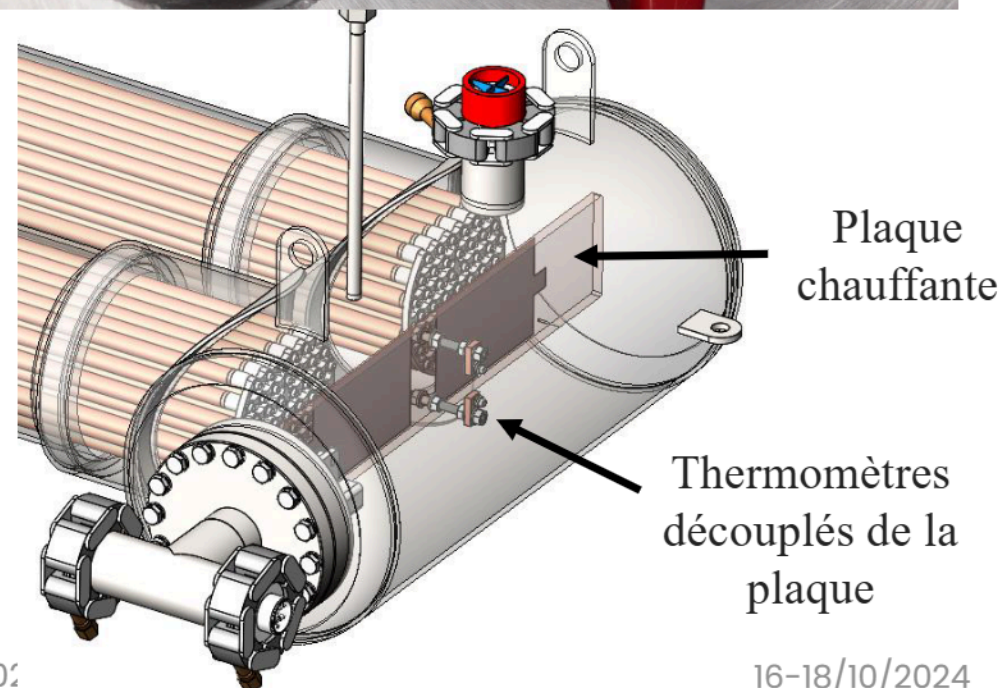
Aimant D2



Bain HeII saturé

Cellule de test avec
bain HeII pressurisé

Tubes échangeurs



Plaque
chauffante

Thermomètres
découplés de la
plaque

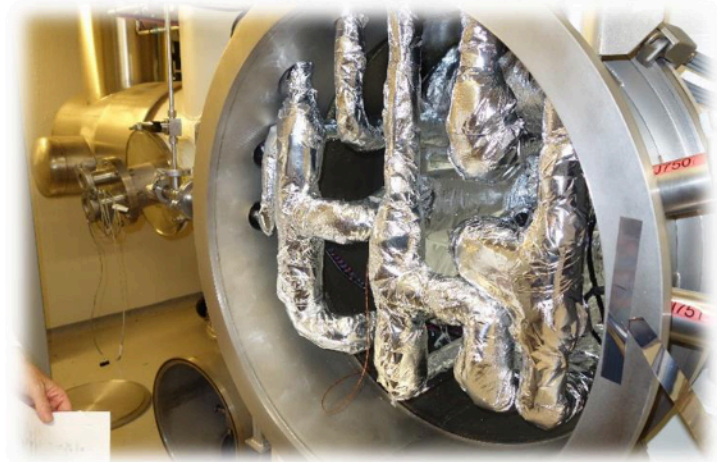
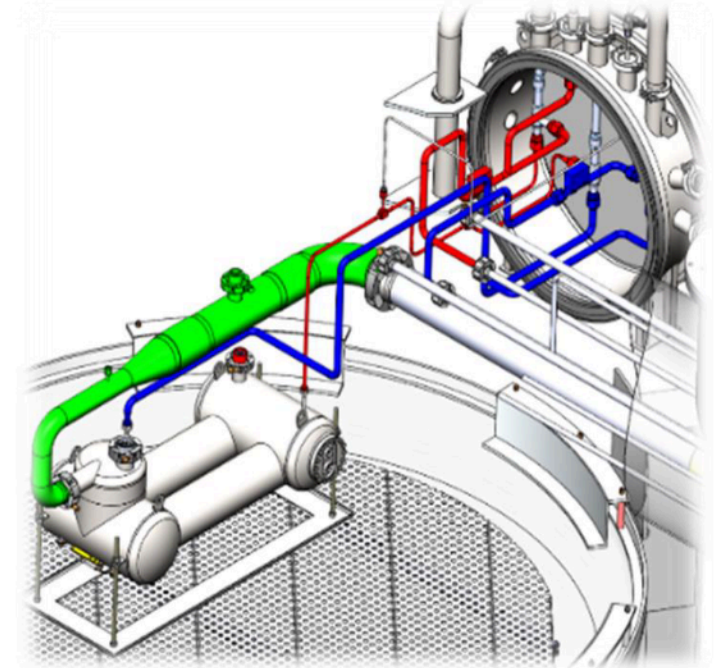
Moyens d'essais cryogéniques : Station 400W@1.8K & CMT



Station 400W@1.8K



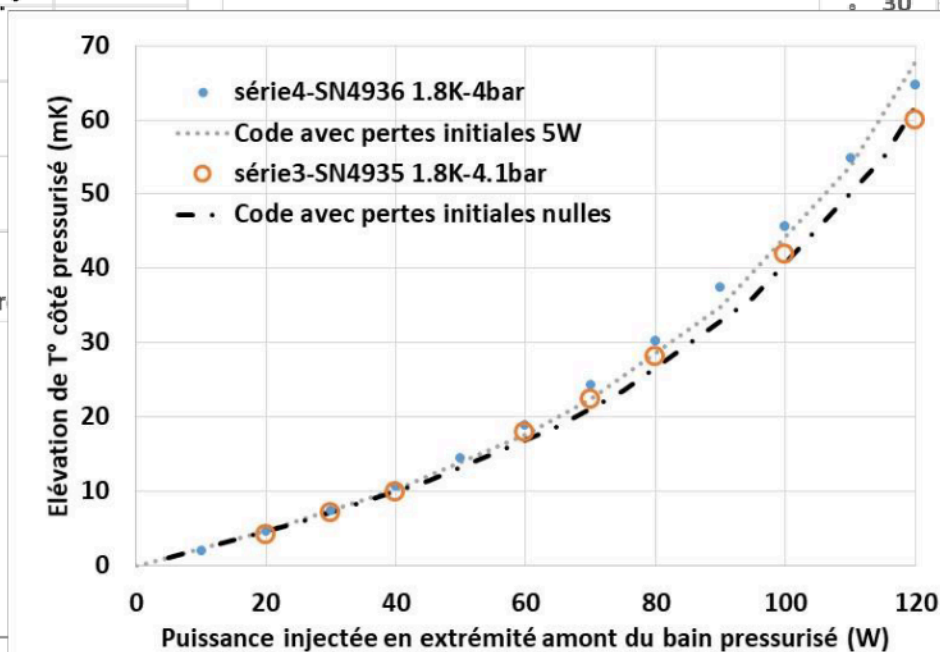
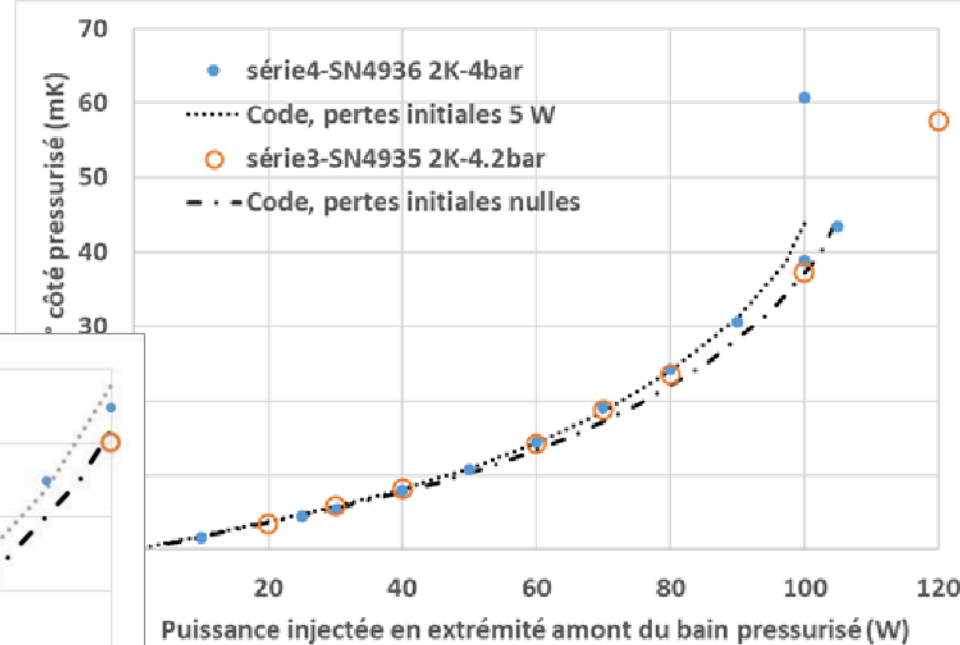
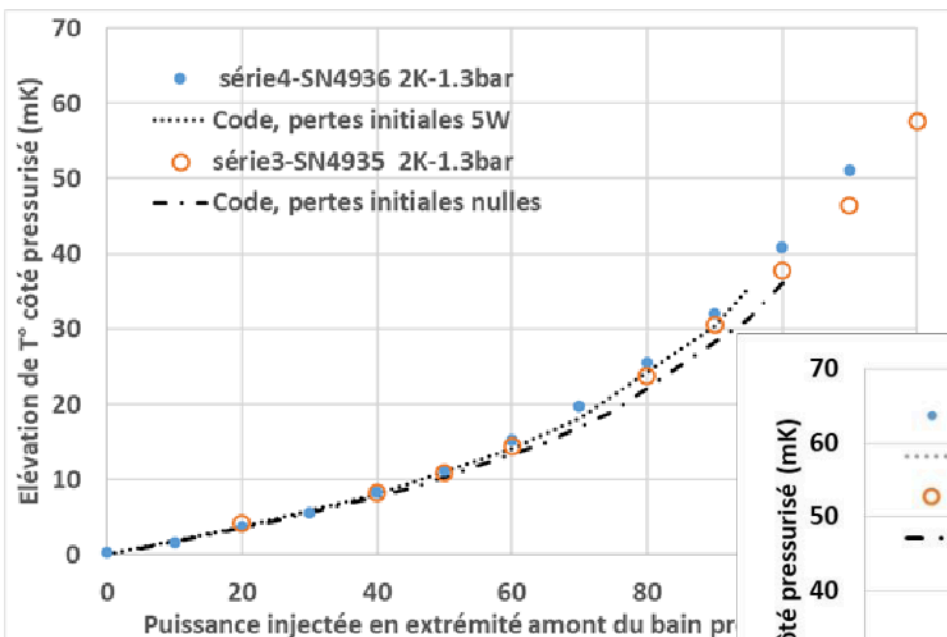
Adaptation du Cryostat Multi-Test pour les tests de performance du prototype HX-D2



Performances thermiques et comparaison avec code prédictif

Spécifications CERN

Température source froide	(K)	2	1.8	2
Pression côté « aimant »	(bar)	1.3	4	4
Puissance injectée côté « aimant »	(W)	70	70	50
Élévation de température maximum côté « aimant »	(mK)	55	220	54



Conclusion

- Procédé de dimensionnement optimal en taille d'un échangeur He II/He II validé
- Résistance de Kapitza Cuivre/He II trouvée de l'ordre de $1100T^3$, valeur élevée identique à celle déjà trouvée pour SHREK (et aussi par nos collègues du CERN pour l'échangeur baïonnette LHC)
- Emploi de soudure FE hétérogène validé même s'il reste un doute sur des fuites à seuil à l'ambiante et bidirectionnel !
- Performances thermiques à 1.8 K et 2 K conformes aux prédictions
- Echangeurs HX-D2 livrés au CERN
- Contrat DSBT/CERN terminé avec une satisfaction des deux parties