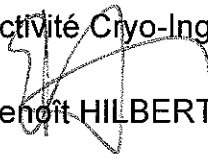


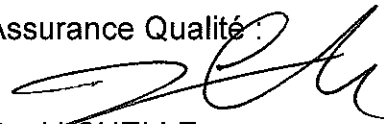



LIGNES LHC - QRL

CALCULS THERMIQUES

**NOTE DE SYNTHESE POUR LE
SECTEUR 7-8**

Activité Cryo-Ingénierie  Benoît HILBERT	Chargé d'affaire : Hadi MOUSSAVI 	Diffusion : Equipe PROJET CERN
Vérification :  François BARBIER	Assurance Qualité :  David CHELLE	
Auteur :  Patrick BRAVAIS	Date : 3 juin 2003 09 avril 2003 29 janvier 2003 12 Avril 2005	

ENREGISTREMENT DES MODIFICATIONS

INDICE DE LA MODIF	DATE	N° DE LA D.M.	EVOLUTION DU DOCUMENT (Pages retirées ou ajoutées ou modifiée)	JUSTIFICATION DE LA MODIF (En l'absence de D.M.)
(0) (1)	22/10/2002 29/01/2003		Création Modifications suite aux remarques de la PRR du secteur 7-8. Ajout des test boxes, du rayonnement sur les points fixes et barrières à vide	<p>Modifications sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> . Température bride PF / BF . Flux des espaceurs A et B . Flux de la ligne E <p>Modification sur Services Modules</p> <ul style="list-style-type: none"> . Ligne LD2 en plus sur QRLAB . vannes ajoutées/enlevées dans une douzaine de Service Modules . + 25% sur l'isolation des QRLGi <p>Corrections mineures sans impact (tresse des BV2, rayonnement sur PF)</p> <p>Informations ajoutées sur les calculs des espaceurs à 4 et 5 tubes ainsi que sur le rayonnement PF/BV et BV2</p> <p>Corrections sur les éléments spéciaux du secteur 7-8 (coudes, step et special length)</p> <p>Prise en compte des espaceurs 5 tubes</p>
(2) (3)	09 avril 2003 3 juin 2003		Explication du calcul des tests boxes Modification de la matière des embases porte-roue (annexe espaceur type B). Seul le bilan 80K est impacté.	
(4)	12 Avril 2004		Toutes pages modifiées	

Sommaire

1. OBJET	5
2. DOCUMENTS DE REFERENCE.....	5
3. GENERALITES / METHODE	6
3.1 GENERALITES	6
3.2 REMARQUES.....	6
4. DONNEES / HYPOTHESES DE CALCUL	7
4.1 REMARQUE GENERALE.....	7
4.2 CONDITIONS DE SERVICE DES DIFFERENTS CIRCUITS [R1].....	7
4.3 PRINCIPALES HYPOTHESES DE CALCULS	8
4.3.1 <i>Isolation des tubes</i>	8
4.3.2 <i>Conductibilités thermiques des matériaux</i>	8
4.3.3 <i>Résistances thermiques de contact</i>	10
4.4 LES DIFFERENTS ELEMENTS DE LA LIGNE	11
4.4.1 <i>Pertes thermiques des vannes cryogéniques</i> :.....	11
4.4.2 <i>Barrières à vide et points fixes</i>	12
4.4.3 <i>Les espaceurs</i>	14
4.4.4 <i>Echangeur HX100</i>	19
4.4.5 <i>Pertes thermiques moyennes dues à l'instrumentation</i>	19
5. BILANS THERMIQUES ET CONCLUSION	20
5.1 CALCULS DE DETAILS	20
5.2 BILAN THERMIQUE PAR ELEMENT	20
5.3 EVOLUTION PAR ELEMENT	20
5.3.1 <i>Evolution sur l'espaceur type A</i>	21
5.3.2 <i>Evolution sur l'espaceur type B</i>	22
5.3.3 <i>Point fixe</i>	23
5.3.4 <i>Barriere a vide longitudinale</i>	23
5.3.5 <i>Barriere a vide transversale</i>	24
5.3.6 <i>Isolation</i>	24
5.3.7 <i>Elements speciaux</i>	25
5.3.8 <i>Test boxes</i>	25
5.4 BILAN THERMIQUE SUR LE SECTEUR 7-8.....	26
ANNEXE 1 : ESPACEUR DE TYPE A.....	27
ANNEXE 2 : ESPACEUR DE TYPE B.....	29
ANNEXE 3 : POINT FIXE.....	32
ANNEXE 4 : BARRIERE A VIDE LONGITUDINALE	34
ANNEXE 5 : BARRIERE A VIDE DU JUMPER.....	36
ANNEXE 6 : DETAILS ISOLATION	39

ANNEXE 7 : DETAIL VANNES.....	41
ANNEXE 8 : BILAN PAR ELEMENT.....	43
ANNEXE 9 : BILAN DU SECTEUR 7-8.....	50

1. OBJET

Ce document a pour objet la présentation des calculs des entrées de chaleur réalisés par Air Liquide lors de l'étude des lignes (QRL) de distribution d'hélium à température cryogénique qui alimenteront les aimants supraconducteurs de l'accélérateur de particules LHC du CERN.

2. DOCUMENTS DE REFERENCE

- [R1] Spécification technique du CERN, IT/2399/LHC/LHC (révision 2.0).
- [R2] "Lignes LHC - Proposition technique pour la ligne de distribution cryogénique d'hélium pour l'accélérateur LHC", C1026.NT.0(0)
- [R3] Dossier de plans C1105.
- [R4] "Lignes LHC - Calcul des pertes thermiques", DTA/PRET/GB/BH/98.1098(1).
- [R5] Rapport d'essais de super-isolants, C1026.NT.09(0)
- [R6] "Eléments de cryogénie", Conte, Ed. Masson, 1970.
- [R7] "Cryogénie – Ses applications en supraconductivité", Document Techniques de l'ingénieur, 1995.
- [R8] Propriétés physiques des matériaux à basse température", données issues de CRYOCOMP V3.0.
- [R9] Summary of valve requirements
LHC-QRL-NOT-1283 rev 1.3
- [R10] Note de calculs "Conduction sur centreur époxy type A par éléments finis" réalisée par la société de calcul et d'ingénierie "2+2" (à l'aide du logiciel COSMOS-M).
- [R11] Caractérisation thermique de différents alliages d'aluminium et d'assemblages pour les écrans 80 K
C1105-NT-011 (0)
- [R12] Revue critique du modèle thermique QRL
C1105-NT-155 (0)

3. GENERALITES / METHODE

3.1 GENERALITES

Le principe général de ces calculs est le suivant. Une fois que le cheminement des flux de chaleur a été identifié, à travers les différents types de supports (points fixes, barrières et espaceurs) et l'isolation essentiellement, les résistances thermiques des différentes parties de ce cheminement sont évaluées à partir des propriétés physiques des matériaux et de la géométrie considérée. Ces résistances thermiques sont "empilées" sur un schéma équivalent (par analogie avec le calcul de circuits électriques). Les températures des extrémités sont connues : ce sont généralement 300 K et les températures froides du système. Les températures intermédiaires sont déterminées de façon itérative pour obtenir la constance du flux de chaleur le long d'un même "chemin" de transfert. Les flux de chaleur sur les circuits froids sont alors connus.

Dans la majorité des cas, les contributions des différents éléments, par conduction, ont ainsi pu être évaluées par un calcul très simple ne faisant intervenir que la loi de Fourier pour des géométries unidimensionnelles, c'est-à-dire $W = A / L \times \int k(T) \times dT$ en Watt (où A est la section [m²], L la distance [m] séparant les deux points à température T₁ et T₂, et k(T) la valeur de la conductibilité thermique du matériau considéré à la température T en Watt/m.K). Pour des géométries plus compliquées (à savoir les espaceurs), un calcul utilisant la méthode des éléments finis (sur une géométrie bi-dimensionnelle) a été effectué pour déterminer les résistances thermiques équivalentes.

Dans le cas d'un contact sec -sans utilisation d'un produit d'interface pour améliorer le contact- entre deux solides, le flux de chaleur transmis varie avec la nature et les températures des deux solides en présence, et avec la force appliquée : voir [R7] et paragraphe 4.3.3.

3.2 REMARQUES

Voir [R1] pour la terminologie employée ci-dessous.

La configuration géométrique et le découpage des cellules standards retenus par Air Liquide sont détaillés dans le dossier de plans C1105.

Les calculs présentés dans cette note de synthèse ont pour base la géométrie de cette cellule standard. Ils ont pour but de valider la conception de la ligne dans son ensemble, c'est-à-dire de montrer que dans la géométrie proposée, les entrées de chaleur n'excéderont pas celles spécifiées par le CERN.

Les cellules standards constituent essentiellement les arcs de l'accélérateur. De chaque côté des arcs se trouvent des zones de plus courte longueur (JR, LSS, ou DS) présentant de nombreuses singularités (au niveau de la longueur des différents tronçons et de leur nature). Ces singularités sont, en fait, une succession irrégulière d'éléments (points fixes ou barrières à vide, centreurs, ...) apparaissant dans une cellule standard et ayant, donc, été calculés.

Un bilan détaillé de chaque secteur sera effectué au fur et à mesure de l'avancement du projet. Dans un premier temps, seul le bilan thermique du secteur 7-8 a été réalisé. Le bilan thermique du secteur 7-8 a été effectué en tenant compte de ses singularités : tous les Services Modules du secteur 7-8 ont été identifiés et « calculés », tous les tronçons singuliers ont été pris en compte.

4. DONNEES / HYPOTHESES DE CALCUL

Sont présentées dans ce paragraphe les différentes hypothèses de calcul.

4.1 REMARQUE GENERALE

Comme spécifiée par le CERN, la mise en froid des différents circuits peut se faire de façon non uniforme : pour se prémunir d'entrées de chaleur intempestives dues à la contraction différentielle des tubes portés à différentes températures, une attention particulière a été portée à ce point de la spécification.

4.2 CONDITIONS DE SERVICE DES DIFFERENTS CIRCUITS [R1]

Tubes	Description	Diamètre interne [mm]	Température de service [K]	Pression de service [MPa]
B	Retour pompage	267	3.8 - 4.2	0.0016
C	Alimentation 4.5K	100	4.6	0.36
D	Retour 20 K	150	20	0.13
E	Alimentation 50 K	80	50 - 65	1.95
F	Retour 75 K	80	65 - 75	1.9
Y	Enceinte sous vide	610/650	ambiante	vide

4.3 PRINCIPALES HYPOTHESES DE CALCULS

4.3.1 ISOLATION DES TUBES

Les entrées de chaleur, à travers l'isolation multi-couches, représentent une partie importante de la charge sur les tubes froids. Le tableau suivant donne la nature de l'isolant, le nombre de bi-couches et les flux considérés pour chacune des zones. Une bi-couche comprend une couche réfléchissante (Mylar ou Al) et une couche isolante (fibre de verre).

Tubes ou écran	Nature de l'isolant	Nombre de bi-couches	Flux
B	Mylar bi-aluminisé / fibre de verre	10	41 mW/m² (75 - 4,5 K)
C	Mylar bi-aluminisé / fibre de verre	10	41 mW/m² (75 - 4,5 K)
D	Mylar bi-aluminisé / fibre de verre	10	41 mW/m² (75 - 4,5 K)
F / Ecran 75 K	Aluminium / fibre de verre	30	1 W/m ² (300 - 75 K)
Singularités*	Mylar bi-aluminisé / fibre de verre	10	56 mW/m² (75 - 4,5 K)

(*) Singularités : 0.5 m par service modules, points fixes, barrières à vide et espaceurs

Les entrées de chaleur à travers l'isolation ont été estimées à partir de valeur de flux surfaciques mesurées par le CERN, des références d'Air Liquide dans le domaine et d'essais communs réalisés dans le cadre de ce projet entre le CERN et Air Liquide. Voir [R5].

Le flux thermique transmis à travers l'isolation entre 300 et 70 K est intercepté par un écran aluminium fixé sur le tube F (à 70 K). Cette charge est absorbée par le circuit à 70 K. L'écran à 75 K est réalisé en aluminium (nuance 1050, pur à 99%). L'épaisseur de l'écran et sa conductibilité sont telles que le gradient de température transversal n'excède pas 5 K**. Le contact entre cet écran et le tube F est tel que la différence de température entre l'écran et le tube n'excède pas 5K**.

4.3.2 CONDUCTIBILITES THERMIQUES DES MATERIAUX

Voir [R6], [R7] et [R8].

Dans le logiciel utilisé pour faire les calculs thermiques, les conductibilités des différents matériaux sont calculées, pour chaque température considérée (qui est la moyenne entre la température la plus et la moins élevée), grâce à des polynômes d'interpolation.

** : hormis éventuellement au centre des modules de service ou les barrières transverses et les vannes de gros DN conduisent à des flux importants sur les écrans.

Remarques :

- Pour le G11 (espaceurs, bagues des manchons, tiges de vannes), les valeurs utilisées sont celles venant de [R8] pour le G10 avec découpe parallèle aux fibres (valeurs plus fortes que pour le G10 avec découpe normale aux fibres).
- Pour l'inox (manchons, viroles étriers, corps de vannes) les valeurs utilisées sont celles venant de [R8] pour l'inox 304.
- Pour la Néonite SK61L5 (embase des espaceurs type B) la valeur utilisée est de 0.5 W/m.K à entre 80 K et 285 K. Cette valeur correspond à celle du G10 avec découpe normale aux fibres. Une erreur sur cette valeur n'aurait qu'un impact sur les entrées à 80 K.
- Pour le PEHD (patin des espaceurs type B), la valeur utilisée est de 0.31 W/m.K à 68 K. La valeur donnée dans [R8] pour cette température est de 0.39 W/m.K pour un PEHD à 940 kg/m³.
- Pour le cuivre (tresse de thermalisation) la valeur à utiliser serait autour de 350 W/m.K pour un cuivre semblable à celui utilisé pour la fabrication des fils électriques. La valeur n'a pas été mesurée. Elle aurait un impact surtout sur la température de la bride à vide du Jumper et sur la température de la collerette de thermalisation de la vanne. En fait ces températures sont imposées dans le modèle thermique (données Test Cell).
- Pour l'aluminium 1050 (écran 75 K), la valeur à 77 K provient de [R11]. En fait la valeur n'est pas utilisée dans ce bilan thermique puisqu'on suppose l'écran à 75 K par défaut. Par contre la vérification de cette valeur de 75 K a été faite dans [R11] et dans des essais spécifiques.
- Pour le Cub1 (brides et manchons de thermalisation des PF et BV, collerettes de Jumper, viroles de thermalisation du Jumper) la valeur utilisée serait de 350 W/m.K à 80 K. Cette valeur n'a pas été mesurée en absolu mais des déductions d'assemblage avec des pièces en Cub1 (projet autre que QRL) conduisent à des conductivités thermiques entre 350 et 400 W/m.K à 80 K.

4.3.3 RESISTANCES THERMIQUES DE CONTACT

La puissance W transmise au travers d'un contact est donnée par $W=CS(T_2- T_1)$ où C [$W/m^2/K$] est la valeur de la conductance thermique, grandeur qui dépend de la nature des matériaux en contact, de leur surface S de contact, de leur température T_1 et T_2 , et de la force appliquée.

Parmi les différentes méthodes proposées dans la littérature pour calculer cette conductance de contact C , c'est celle de Fenech et Rohsenow qui a été retenue (voir [R7]). C est donnée par la formule :

$$C = \frac{4.26 \lambda \sqrt{n}}{(1 - \lambda^2) \left[\frac{4.26 \sqrt{n} \frac{\Delta_1}{\lambda} + 1}{k_1} + \frac{4.26 \sqrt{n} \frac{\Delta_2}{\lambda} + 1}{k_2} \right]}$$

où :

- . k_i est la conductivité thermique du matériau i
- . n le nombre d'aspérités par unité de surface, estimé à une valeur moyenne de 10^6
- . λ le rapport de la surface de contact à la surface apparente ($\lambda=(\sigma/3R_e)^{0.5}$)
- . R_e limite élastique
- . σ contrainte appliquée
- . Δ_i la rugosité du matériau i

Cette approche a été utilisée pour des contacts secs inox / inox et inox / époxy.

Dans tous les cas, les caractéristiques des matériaux et les " conditions d'utilisation " du contact thermique (par exemple la surface de contact à considérer et la contrainte appliquée) ont toujours été choisies et/ou calculées de façon conservative.

Remarques

Dans le modèle de calcul, les valeurs utilisées entre l'inox et époxy sont de :

- . 26 $W/m^2.K$ à 77 K
- . 8 $W/m^2.K$ à 4 K

Les valeurs utilisées entre l'inox et l'inox sont de :

- . 232 $W/m^2.K$ à 77 K
- . 386 $W/m^2.K$ à 300 K

Ces valeurs sont obtenues pour une pression de contact de 12.5 MPa pour un contact inox/inox et 1 MPa pour 1 contact inox/époxy, soit des efforts de 12500 et 1000 N respectivement pour une surface de contact de $10^{-3} m^2$ (surface maximale de contact au niveau des espaceurs A et B, des roues de B ou des bagues des manchons. Les efforts réels sont plus faibles et donc la conductance moindre, ce qui constitue une marge.

4.4 LES DIFFERENTS ELEMENTS DE LA LIGNE

Voir dossier de plans [R3].

4.4.1 PERTES THERMIQUES DES VANNES CRYOGENIQUES :

Les vannes seront thermalisées au 2/3 environ de leur longueur grâce à une collerette connectée thermiquement au circuit à 75 K. Les dimensions des différents composants des vannes ont été fournies par VELAN.

Les calculs permettant de déterminer les pertes thermiques des vannes ont été réalisés à partir de ces données et sont présentés en annexe.

Les valeurs utilisées pour les vannes de quench ont été communiquées par le CERN.

Remarques

Dans les calculs présentés en annexe la température de bride est imposée constante à 90 K. En réalité cette température sera fonction de la température de l'écran 75 K et du gradient dans les 2 tresses de thermalisation (C1105.M410.A1), dans les 2 1/2 écrans Cub1 entourant la vanne et dans les résistances de contact. Un calcul détaillé des seuls gradients de conduction montre que la température de 90 K est:

- . optimiste pour les vannes DN40 et DN65 (température de collerette # 100 à 115 K selon les hypothèses sur les conductivités des matériaux et les résistances de contact)
- . pessimiste pour les vannes DN6 à DN32. (température de collerette de 80 à 85 K selon les hypothèses sur les conductivités des matériaux et les résistances de contact)

Un calcul réalisé sur le secteur 7-8 montre que les pertes sur les grosses vannes et les gains sur les petites vannes se compensent ce qui valide à posteriori l'approche simplifiée à température de collerette constante.

4.4.2 BARRIERES A VIDE ET POINTS FIXES

Les points fixes et les barrières à vide sont constitués de doubles viroles soudées sur les tubes B, C, D et sur l'enveloppe extérieure. Ces viroles sont en acier inoxydable : elles sont soudées sur des brides qui sont en acier inoxydable et sont thermalisées :

- au tube F, grâce à des manchons en CuB1, pour les barrières à vide longitudinales et les points fixes,
- à l'écran 75 K, grâce à 6 tresses de cuivre pour les barrières à vide transversales.

Une couche de cuivre CuB1, plaquée sur la bride d'épaisseur 8 mm pour les points fixes et 12 mm pour les barrières à vide, permet d'assurer une bonne conduction dans la bride.

Des calculs ont été réalisés sur RDM pour déterminer la température du point le plus chaud de la bride. Pour les points fixes comme pour les barrières à vide, cette température est de 75 K.

Remarques

Dans les résultats expérimentaux obtenus lors de la Test Cell, les températures de bride étaient de 82, 85 et 115K respectivement pour les points fixes, les barrières à vide longitudinales et transversales. Aussi dans les calculs, pour rester proche des résultats expérimentaux et être conservatif, la conductivité de la barrière de F en cuivre avait été diminuée de telle sorte que la température de la bride prise en compte soit celle mesurée sur la Test Cell. (et ce malgré l'amélioration de la thermalisation des BV Jumper).

En fait, pour les barrières à vide longitudinales ou les points fixes, la forte température obtenue lors des essais de la Test Cell s'explique très bien par le faible débit du tube F (5g/s) utilisé dans ces essais. Avec ce débit, le Reynolds est de l'ordre de 9000, et l'écoulement n'est que très faiblement turbulent. Un calcul 2D axisymétrique réalisé sur Fluent donne un gradient de 7 à 10 K dans l'hélium (en fonction du modèle de turbulence et du maillage) pour un flux de 5 W, valeur typique des Points Fixes.

Pour les barrières à vide longitudinales, le flux est environ 2 fois supérieur (#10W) et le gradient calculé est le double.

Dans les conditions nominales de fonctionnement de la ligne F (250 g/s), l'écoulement sera fortement turbulent et le gradient de température dû à la convection forcée dans F ne sera que de 1.7 et 3.4 K respectivement (incertitude de l'ordre de 0.1 K en fonction du modèle de turbulence).

A définition égale de la liaison (manchon brasé) entre le tube F et les brides des PF/BV un gain minimum de 5 K est donc attendu pour les Points Fixes et de 10 K pour les Barrières à vide, soit une température de bride de l'ordre de 76 K.

Les calculs des gradients dans le tube F dans les conditions nominales (250 g/s) et Test cell (5 g/s) sont donnés dans [R12].

On notera par ailleurs que la pression est quasiment sans impact sur les dT donnés ci dessus puisque le Reynolds peut s'écrire ($4m/\pi\mu D$) pour un tube cylindrique et ne dépend donc que de la viscosité qui ne varie que très peu avec la pression. Par ailleurs, le coefficient d'échange dépend quant à lui du Reynolds, du Prandtl (indépendant de la pression pour l'hélium à 70 K entre 1 et 20 bar), et de la conductivité thermique qui varie également très peu avec la pression.

Concernant les barrières à vide transverses la forte température obtenue sur la Test Cell pourrait être retrouvée approximativement par calcul en prenant en compte :

- . le flux de l'écran Jumper qui transite également par la barrière à vide transverse en plus du flux des viroles (alors que dans le modèle thermique ce flux est introduit directement sur l'écran 75 K),
- . les gradients de température dans l'écran 75 K, les 6 tresses Cu, la virole Cub1, la bride inox et les différents contacts.

Dans la mesure où les résistances de contact sont mal connues, il est préférable de continuer à garder la température de bride obtenue lors des essais de la Test Cell, soit 115 K. Cette approche est conservative puisque la section des tresses a été augmentée depuis.

La présence du header E dans les éléments de la QRL en Ø650 contribue :

- . à réduire la température de la bride des barrières à vide et des points fixes,
- . à augmenter le flux sur le tube E et à réduire un peu celui sur F.

L'impact sur le flux 70 K (E+F) et sur le flux 4 K (B/C/D) des barrières à vide et points fixes n'a pas été pris en compte dans la mesure il devrait rester faible.

4.4.3 LES ESPACEURS

Les chemins thermiques à travers les espaceurs ont été identifiés et déterminés en termes de longueur et de section de passage du flux. De façon à valider ces caractéristiques (sections et longueurs équivalente) de ces chemins et à affiner l'évaluation des flux de chaleur dans les espaceurs, un calcul utilisant la méthode des éléments finis avait été réalisé dans le cas de l'espaceur de type A, d'abord à l'aide du logiciel RDM, puis à l'aide du logiciel COSMOS-M [R10]. Les flux de chaleur calculés à l'aide de cette méthode sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus grâce à un calcul sous EXCEL. Cependant, la répartition des flux sur les différents circuits était différente ; c'est cette dernière qui avait finalement été intégrée dans les tableaux de calculs sous EXCEL. Le calcul utilisant la méthode des éléments finis sur l'espaceur de type A avait été extrapolée à l'espaceur de type B.

Les calculs de [R10] étant ancien (et une partie des hypothèses perdue) et les calculs des espaceurs 5 tubes n'ayant pas été fait, les calculs éléments finis ont été refaits en Avril 2005 avec Fluent. Ces calculs ont été faits sur les espaceurs de type A et B à 4 et 5 tubes.

Les calculs n'ont pas été fait sur les espaceurs renforcés (épaisseur de 10 mm) car d'une part ces espaceurs sont très peu nombreux et d'autre part il est possible d'estimer le surplus de flux dans ces espaceurs renforcées à partir des caractéristiques des espaceurs standards en conservant la longueur équivalente et en doublant la section des chemins thermiques entre portées.

Les centreurs n'ont pas de portée continue autour des manchons des différents tubes. Leur conception est telle qu'il existe 3 zones de contact (sec) entre le centreur et chaque manchon ainsi que des pièces de fixation permettant de lier rigidement l'espaceur au manchon. Aucune résistance de contact n'a été considérée au niveau de ces fixations : la température du manchon est la même que celle de l'espaceur au niveau de la zone en regard.

Les seules résistances de contact considérées sont celles entre les bagues époxy et les headers tubes inox B/C/D).

On néglige les échanges thermiques par rayonnement entre l'espaceur et l'écran pour 2 raisons :

- . les espaceurs sont aluminisés
- . les espaceurs ne voient l'écran 75 K que sur le bas, dans une zone elle-même chaude (autour de 50 à 60 K) puisque l'isolation 20 K masque la partie haute de l'espaceur.

4.4.3.1 ESPACEURS DE TYPE A

Le flux thermique venant du tube F (à 70 K) se répartit sur les 3 autres tubes froids B, C et D via la plaque en verre-époxy puis les manchons inox de chaque tube.

Remarque :

La procédure de calcul est la suivante:

- Tportée imposées à priori sur les portées de l'espaceur
- Flux calculés par Fluent pour les portés B/C/D/F
- Tportée calculées par Excel en fonction des flux de Fluent, des résistances thermiques (fonction de T) des manchons, des bagues et des températures des headers avec Excel,
- Rebouclage jusqu'à convergence (0.2 K maxi d'erreur sur T, 1 mW maxi sur les flux)

On notera que le fait d'imposer la même température sur les 3 portées d'un manchon conduit à une petite surestimation des flux. Dans la réalité la conduction du tube inox n'étant pas très élevée, un petit gradient peut exister entre les portées. Ce phénomène permet d'avoir une marge sur les flux calculés.

Pour les espaceurs A à 4 tubes, les flux et les températures de portée obtenus après convergence entre le modèle Fluent et le modèle Excel sont les suivants :

Flux (W)	T portée (K)
$Q_B = 0.0302$	$T_B = 31.3$
$Q_C = 0.0151$	$T_C = 19.2$
$Q_D = 0.0192$	$T_D = 25.9$
$Q_F = -0.0645$	$T_F = 59.0$

Le flux total Q_F est assez proche de celui obtenu dans le modèle précédent : moins de 1 mW d'écart. Les flux vers chaque tube sont différents de ceux du modèle Excel mais il était clairement identifié que ces derniers n'étaient pas ceux obtenus avec COSMOS-M); ainsi, alors que les flux Q_B et Q_D diminuent, Q_C augmente. Cette dernière tendance est conforme aux résultats de la Test Cell (pour lesquels le flux calculé Q_C était sous estimé). Ces comparaisons vont tous dans le sens d'une bonne validation du modèle de calcul.

Tube E à 50 K

Pour les espaceurs A à 5 tubes avec E à 50 K, les flux et les températures de portée obtenus après convergence entre le modèle Fluent et le modèle Excel sont les suivants :

	Flux (W)	T portée (K)
	$Q_B = 0.0398$	$T_B = 35.65$
	$Q_C = 0.0278$	$T_C = 25.0$
	$Q_D = 0.0240$	$T_D = 27.7$
	$Q_E = -0.0318$	$T_E = 44.0$
	$Q_F = -0.0599$	$T_F = 59.9$

$Q_B + Q_C + Q_D = 92 \text{ mW}$ soit 43% de plus que sans le tube E

Fichiers Fluent : espaceura_E_50K_Timposé_R_convergé.cas et .dat

L'augmentation des pertes sur un secteur est de l'ordre de [9% (pertes espaceur A / pertes totales du secteur) * 10% (L avec espaceur 5 tubes / L totale) * 43% (pertes espaceur 5 tubes / pertes espaceur 4 tubes)], **soit 0.4%**

Tube E à 65 K

Pour les espaceurs A à 5 tubes avec E à 65 K, les flux et les températures de portée obtenus après convergence entre le modèle Fluent et le modèle Excel sont les suivants :

	Flux (W)	T portée (K)
	$Q_B = 0.0499$	$T_B = 38.9$
	$Q_C = 0.0367$	$T_C = 28.2$
	$Q_D = 0.0287$	$T_D = 28.2$
	$Q_E = -0.0587$	$T_E = 55.4$
	$Q_F = -0.0566$	$T_F = 60.2$

$Q_B + Q_C + Q_D = 115 \text{ mW}$ soit 78 % de plus que sans le tube E

Fichier Fluent : espaceurb_E_65K_Timposé_R_convergé.cas et .dat

L'augmentation des pertes sur un secteur est de l'ordre de 9% (pertes espaceur B / pertes totales du secteur) * 10% (L avec espaceur 5 tubes / L totale) * 78% (pertes espaceur 5 tubes / pertes espaceur 4 tubes)], **soit 0.7%**.

4.4.3.2 ESPACEURS DE TYPE B

L'espaceur de type B supporte les 4 tubes B, C, D et F. Il est en contact avec l'enveloppe extérieure par l'intermédiaire des patins ; les fonctions " supportage " par rapport à l'enveloppe et " supportage " des tubes B, C et D sont découplées thermiquement pour minimiser les entrées de chaleur sur ces tubes. Le flux thermique venant du tube F (à 70 K) se répartit sur les 3 autres tubes froids B, C et D, via une plaque en verre-époxy et les manchons de ces 3 tubes.

L'espaceur étant aluminisé, on néglige les échanges thermiques par rayonnement entre le centreur et l'enveloppe extérieure. Par compenser la non prise en compte du rayonnement entre la table de glissement et l'écran 75 K, toutes les résistances thermiques du tube F à la table de glissement ont été forcées à 0. Ainsi, la table de glissement est à 70 K. Cette hypothèse est conservative.

Aux extrémités des manchons des tubes C et D se trouvent des bagues en époxy. Les résistances thermiques de contact entre ces bagues et les tubes ont été considérées.

Remarques :

Les calculs de [R10] étant seulement extrapolé pour l'espaceur B et les calculs des espaceurs 5 tubes n'ayant pas été fait, les calculs éléments finis ont été refaits avec Fluent.

Pour les espaceurs B à 4 tubes, les flux et les températures de portée obtenus après convergence entre les modèles Excel et Fluent sont les suivants :

Flux (W)	T portée (K)
$Q_B = 0.0879$	$T_B = 48.8$
$Q_C = 0.0306$	$T_C = 25.7$
$Q_D = 0.0599$	$T_D = 34.6$
$Q_F = -0.1783$	$T_F = 66.5$

Fichiers Fluent espaceurb_patin_Tconverge_Rconverge.cas et . dat

Le flux Q_F est 3% supérieur au flux obtenu dans l'édition précédente (édition 3) de ce document. Cet écart est dû soit à l'extrapolation faite de l'espaceur A à l'espaceur B, soit à une absence de rebouclage entre les flux de l'espaceur et ceux des manchons, soit à une modélisation un peu différente du flux venant de B.

Tube E à 50 K

Pour les espaceurs 5 tubes avec E à 50 K, les flux et les températures de portée obtenus après convergence entre les modèles Excel et Fluent sont les suivants :

Flux (W)	T portée (K)
$Q_B = 0.0892$	$T_B = 49.1$
$Q_C = 0.0400$	$T_C = 28.9$
$Q_D = 0.0621$	$T_D = 35.1$
$Q_E = -0.0150$	$T_E = 47.0$
$Q_F = -0.1913$	$T_F = 66.5$

$Q_B + Q_C + Q_D = 191.3$ mW soit 7% de plus que sans le tube E

Fichiers Fluent : espaceurb_E50K_patin_Timposé_R_convergé.cas et .dat

L'augmentation des pertes sur un secteur est de l'ordre de 17% [(pertes espaceur B/pertes totales du secteur) * 10%(L avec espaceur 5 / L totale) * 7% (pertes espaceur 5 tubes / pertes espaceur 4 tubes)] soit **0.12%**.

Tube E à 65 K

Pour les espaceurs 5 tubes avec E à 65 K, les flux et les températures de portée obtenus après convergence entre les modèles Excel et Fluent sont les suivants :

Flux (W)	T portée (K)
$Q_B = 0.0959$	$T_B = 50.8$
$Q_C = 0.0489$	$T_C = 31.5$
$Q_D = 0.0646$	$T_D = 35.5$
$Q_E = -0.0438$	$T_E = 58.0$
$Q_F = -0.1656$	$T_F = 66.5$

$Q_B + Q_C + Q_D = 209.4$ mW soit 21% de plus que sans le tube E

Fichier Fluent : espaceurb_E65K_patin_Timposé_R_convergé.cas et .dat

L'augmentation des pertes sur un secteur est de l'ordre de 17% [(pertes espaceur B/ pertes totales du secteur) * 10%(L avec espaceur 5 / L totale) * 21% (pertes espaceur 5 tubes / pertes espaceur 4 tubes)] soit **0.36%**.

4.4.4 ECHANGEUR HX100

On suppose que les entrées de chaleur sur l'échangeur sont dues au rayonnement de l'écran à 75 K uniquement. Elles se répartissent sur les circuits B et C. La surface d'échange moyenne pour l'isolation a été calculée à partir des indications données dans [R1] : elle est de 0.32 m².

L'échangeur HX100 est isolé par 10 couches de super-isolant, sous un écran à 75 K protégé lui-même par 30 couches. La surface de l'écran est de 1.1 m²

Remarques :

Pour les échangeurs HXD, les mêmes surfaces sont considérées.

Pour les échangeurs HXI, les surfaces considérées à 4 et 75 K sont respectivement de 0.5 m² et 4 m².

4.4.5 PERTES THERMIQUES MOYENNES DUES A L'INSTRUMENTATION

Données communiquées par le CERN.

Température	3.8 K	4.5 - 20 K	50 - 75 K
Entrées de chaleur	0.06 W	0.25 W	0.02 W

5. BILANS THERMIQUES ET CONCLUSION

Les résultats de cette étude sont résumés en annexe.

5.1 CALCULS DE DETAILS

Sont d'abord présentés en annexe 1, 2, 3, 4 et 5 les calculs des sous-ensembles que sont respectivement les espaceurs de type A, les espaceurs de type B, les points fixes, les barrières à vide longitudinales et les barrières à vide des jumpers.

Le détail de la charge thermique à travers la super-isolation sur les différents tubes est présenté en annexe 6.

Le détail de la charge thermique par type de vanne est donné en annexe 7.

5.2 BILAN THERMIQUE PAR ELEMENT

En annexe 8 sont présentés les bilans par Service Module et élément standard : Pipe Elément, Barrière à vide, Point Fixe.

5.3 EVOLUTION PAR ELEMENT

Dans ce paragraphe, nous présentons les différentes évolutions apportées dans cette note de calcul par rapport à la note sur la Test Cell (C1026-NT-002(5)) mais également par rapport à l'édition (3) de ce présent document.

5.3.1 EVOLUTION SUR L'ESPACEUR TYPE A

Pour l'édition (3) de la note : sur cet élément, seules des évolutions mineures ont eu lieu. Elles concernaient uniquement les diamètres et épaisseurs des bagues et ont eu lieu pour être parfaitement conforme aux plans.

Pour l'édition (4) de la note : les valeurs a du tableau Excel (largeur équivalente de conduction dans l'espaceur) ont été adaptées afin de retrouver les températures et les flux donnés par les calculs Fluent de l'espaceur. Les valeurs de a (largeur équivalente du chemin thermique) sont passées respectivement :

- . de 0.030 à 0.0223 pour B (entre portées de F et portées de B)
- . de 0.110 à 0.104 pour C (entre portées de F et portées de C)
- . de 0.030 à 0.041 pour D (entre portées de C et portées de D)

Le flux total B/C/D de l'espaceur A à 4 tubes est réduit de moins de 1 mW.

Le flux total B/C/D de l'espaceur A à 5 tubes est de :

- . 92 mW pour le header E à 50 K (soit +43% par rapport à l'espaceur A 4 tubes)
- . 115 mW pour le header E à 65 K (soit +78% par rapport à l'espaceur A 4 tubes)

L'augmentation du flux des espaceurs à 5 tubes n'était pas prise en compte dans les éditions précédentes des bilans thermiques.

Cette augmentation est prise en compte de la manière suivante :

- . calcul de la longueur des éléments avec le tube E (éléments Ø650) : L_E
- . calculs du nombre approximatif d'espaceur A à 5 tubes par $N_{A\ 5\ tubes} = (L_E / 4)$

Ce calcul est pessimiste puisque sur les services modules il y a 1 espaceur pour une longueur de 6.6 m et que sur les longueurs spéciales le nombre d'espaceurs est également un peu plu faible que 1 tous les 4 m.

Le flux supplémentaire apporté par le 5ème tube E (**à 50 K**) des espaceurs A à 5 tubes est alors calculé en prenant 43% du flux des espaceurs A à 4 tubes.

Cette approche permet de prendre en compte les espaceurs 5 tubes et de supprimer le décompte (laborieux) des espaceurs A en moins des longueurs spéciales telle que réalisée dans l'édition (3) de ce document.

5.3.2 EVOLUTION SUR L'ESPACEUR TYPE B

Pour l'édition (4) de la note : embase porte roue est Neonite

La hauteur de l'embase est réduite de 30% arbitrairement pour tenir compte du rayonnement 300 K autour du bas de l'embase ainsi que du rayonnement interne qui n'est pas totalement éliminé (malgré l'isolation) du fait des nervures ajoutées sur la partie interne de l'embase (qui augmente aussi la surface) .

Les valeurs L du tableau Excel (longueur équivalente de conduction dans l'espaceur) ont été adaptées afin de retrouver les températures et les flux donnés par les calculs couplés Fluent-Excel de l'espaceur B. Les valeurs de L (longueur équivalente du chemin thermique) sont passées respectivement :

- . de 0.040 à 0.035 pour B (entre portées de F et portées de B)
- . de 0.040 à 0.042 pour C (entre portées de F et portées de C)
- . de 0.045 à 0.037 pour D (entre portées de C et portées de D)

Remarque : le fait d'avoir choisi des chemins préférentiels entre F et B, F et C, C et D n'a aucune importance puisque la section et la longueur équivalente sont adaptées des calculs 2D éléments finis). On aurait donc pu tout aussi bien modéliser le flux arrivant sur C par un chemin entre F et C ou bien entre B et C ; les longueurs et sections équivalentes auraient été différentes mais pas les flux calculés.

Le flux B/C/D (=F) passe de 173 à 178 mW soit une augmentation de 3%.

L'écart vient probablement de la méthode dont on applique les flux venant de F

Le flux total B/C/D de l'espaceur B à 5 tubes est de :

- . 191 mW pour le header E à 50 K (soit +7% par rapport à l'espaceur A à 4 tubes)
- . 209 mW pour le header E à 65 K (soit +21% par rapport à l'espaceur A à 4 tubes)

L'augmentation du flux des espaceurs à 5 tubes n'était pas prise en compte dans les éditions précédentes des bilans thermiques. Dans cette édition (4), elle est prise en compte comme pour l'espaceur A mais avec un nombre d'espaceurs B à 5 tubes calculés par : $N_{B\ 5\ tubes} = (L_E / 6.6)$

5.3.3 POINT FIXE

Les dimensions de toutes les barrières des tubes B, C, D et F ont été modifiées. Les dimensions prises en compte sont celles des viroles et des bagues figurant dans le dossier de plan « Point Fixe ». Le chemin thermique calculé reflète ainsi mieux de la réalité.

Les pertes par transfert radiatifs ont été prises en compte au niveau des points fixes. Ces pertes proviennent principalement des échanges entre la virole extérieure et les viroles de chaque tube (B, C et D). Elles ont été calculées suivant la formule :

$$\phi^R = \varepsilon \sigma S (T_C^4 - T_F^4)$$

avec S la surface de la virole du header concerné, T_C la température moyenne de la virole extérieure, T_F la température moyenne du header concerné.

Pour prendre en compte l'angle solide avec lequel la virole du header voit la virole extérieure, le flux calculé a été divisé par 3. Ce flux a ensuite été ajouté au flux purement conductif (approche conservatrice).

Remarques

L'émissivité équivalente utilisée est de 0.01 (10 couches en 80 et 150 K avec la formule de Bell et Al pour un tassement de 23 couches /cm et une émissivité de réflecteur de 0.03).

La température de la bride a été modifiée de 82 à 76 K* car environ 8 K de gradient était dû au coefficient d'échange par convection forcé entre l'hélium et le tube F, lors des essais de la Test Cell. Avec le débit nominal ce gradient sera inférieur à 2 K [R12]. Soit un gain de 6 K.

Une erreur portant sur le calcul du flux de rayonnement a été corrigée dans la feuille Excel concernant les Point Fixes. Les flux B/C/D sont légèrement modifiés mais le total de ces 3 flux reste quasi inchangé.

5.3.4 BARRIERE A VIDE LONGITUDINALE

Idem au Point Fixe.

La température de la bride a été modifié de 85 à 76 K* car environ 13 K de gradient était dû au coefficient d'échange par convection forcé entre l'hélium et le tube F, lors des essais de la Test Cell. Avec le débit nominal ce gradient sera inférieur à 4 K [R12], soit un gain de 9 K.

* : en jouant sur la conductivité du manchon de thermalisation Cub1

5.3.5 BARRIERE A VIDE TRANSVERSALE

Après les essais Test Cell, la feuille de calcul des pertes thermiques de la barrière à vide du jumper a été complètement repensée et reconstruite à l'image de la feuille de calcul des barrière à vide longitudinales. Ainsi, les différents éléments de la barrière à vide jumper (bague, viroles) et les différents circuits sont pris en compte. Cela permet d'être conforme par rapport au plan de la barrière à vide.

Le calcul de rayonnement entre la virole extérieure et les viroles de chaque tube (B, C et D) et fait comme pour les PF et les BV longi mais avec une émissivité équivalente de 0.02 au lieu de 0.01 car la virole extérieure est plus chaude (car plus courte).

La feuille de calcul prend en compte les lignes des services modules QRLAA qui ne comportent qu'une ligne LD contre 2 lignes LD pour les services modules QRLAB.

Pour l'édition (4) de ce document, dans la feuille Excel RESUME comprenant le détail des services modules, le flux de la ligne LD2 supplémentaire a été ajouté sur QRLAB car ce service module est présent en grand nombre comme pour les QRLAA. En revanche, les autres services modules ne sont pas particularisés (mêmes lignes que QRLAA, sauf pour les services modules à double Jumpers qui prennent en compte le double de flux provenant des Jumpers).

5.3.6 ISOLATION

Compte tenu des résultats d'essai obtenus sur la super-isolation, il a été décidé de diminuer la valeur du flux radiatif surfacique en ligne de 0.042 W/m^2 à 0.041 W/m^2 (soit -2%) dès la 1ere édition de ce document. . En effet, les valeurs obtenues lors des essais ont été de 0.036 et 0.033 W/m^2 .

Pour l'édition (4) les valeurs restent inchangées. Par contre, le flux sur E est corrigé (surface de E * flux venant de l'écran 75 K au lieu de surface des écrans 75 K * flux venant du 300 K comme cela était considéré dans les éditions précédentes).

5.3.7 ELEMENTS SPECIAUX

Sur les éditions précédentes, les tronçons spéciaux (coudes, special length, steps) étaient calculés au prorata de leur longueur par rapport à celle d'un pipe element. Si des point fixes ou points fixes renforcés étaient nécessaires pour leur construction, les pertes thermiques associées étaient ajoutées.

Dans l'édition 4, on prend pour les special lengths et les steps:

- . un fixe de 25% du flux d'un pipe element (pour les espaceurs B qui sont au nombre de 2 dans la plupart des tronçons spéciaux)
 - . une part variable calculée au prorata de la longueur, sur 75% du flux d'un pipe element
- On conserve bien sur l'ajout du flux des barrières à vide ou des points fixes s'il y en a sur ces éléments. Cette approche est plus précise puisque la grande majorité de ces équipements ont 2 espaceurs B comme les pipe elements.

Par ailleurs, le décompte des espaceurs A a été supprimé pour l'édition (4) de ce document. Ce décompte était laborieux et l'impact était très faible (moins de 1 W sur B/C/D).

Pour les coudes des junction regions, on conserve le calcul au prorata de la longueur sur 100% du flux d'un pipe element. Ce calcul est un peu pessimiste puisque les coudes n'ont pas d'espaceur B mais cela est sans impact notable du fait du faible nombre de coudes.

De même, pour l'édition (4) de ce document, les pertes des points fixes spéciaux sont prise égale à celles des points fixes standards (et non au prorata de la longueur, ce qui était trop optimiste pour les points fixes courts). Cette approche est un peu pessimiste. En outre, si le point fixe est renforcé, les pertes sont prises égales à celle d'une barrière à vide, comme cela était fait jusqu'à maintenant.

5.3.8 TEST BOXES

Les pertes sur les test boxes ont été calculées à partir des pertes thermiques surfaciques du jumper présentées en annexe « isolation ». Ces pertes surfaciques ont été multipliées par la surface des tuyaux présents dans les Test Boxes et majorées par un coefficient de 1.4 pour tenir compte de la singularité des Test Boxes et de l'absence d'écrantage 20K.

5.4 BILAN THERMIQUE SUR LE SECTEUR 7-8

Comme évoqué précédemment, le secteur 7-8 a été analysé dans le détail : les différents QRLS ont été recensés et la charge thermique sur les différents circuits introduites par chacun d'entre eux a été calculée. Le détail est présenté en annexe 8.

Les pertes thermiques pour le secteur 7-8 sont les suivantes :

	CHARGE THERMIQUE (W)			
	B	C	D	F
CALCUL	229.7	124.4	188.5	8 123.0
	542.6			8 123.0
SPECIFIE hors impact de [R9]	536.6			9 000

Les pertes thermiques liées aux Test Boxes sont présentées en annexe 9.

Par rapport à l'édition (3) de ce présent document, on note une augmentation du flux B/C/D de l'ordre de 7 W résultant :

- . de la prise en compte des espaceurs 5 tubes avec E à 50 K (+ 2.6 W)
- . de la prise en compte de la ligne LD2 des QRLAB (+ 3 W)
- . du nouveau mode de calcul des special lengths et des steps (+ 2 W)
- . de la correction du flux de l'espaceur B (+2.7 W)
- . de la température des brides PV et BV réduit à 76K après déduction du gradient de convection dans le faible débit d'hélium gazeux de la Test Cell. (- 2.5 W)
- . de corrections s'équilibrant plus ou moins sur les vannes des services modules , les longueurs des modules de service à doubles Jumper ou la composition des éléments du secteur 7-8

On note par contre un gain sur les pertes de F (- 40 W) et ce malgré l'augmentation du flux par les embases des espaceurs B pour tenir compte du rayonnement sur le bas de l'embase et le nouveau mode de calcul des special lengths. Le gain résulte essentiellement de la réduction du flux sur le tube E (correction d'erreurs de calcul).

Les valeurs ci dessus ne prennent pas en compte d'éventuelles modifications de la géométrie des éléments de la Junction Region du secteur 7-8 par le CERN.

Le flux sur les headers B/C/D est légèrement supérieur à la spécification (hors impact de [R9]) mais de nombreuses hypothèses conservatrices ont été considérées.

ANNEXE 1 : ESPACEUR DE TYPE A

1 feuille

PERTES THERMIQUES DES ESPACEURS TYPE A - 4 TUBES

RESISTANCE THERMIQUE	R1.1	R1.2	R1.3	R1.4	R1.5	R2.1	R2.2	R2.3	R2.4	R2.5	R2.6	R3.1	R3.2	R3.3	R3.4	R3.5	R3.6	R4.1	R4.2	R4.3	R4.4	R4.5	R4.6	
Elément	tube / bague	bague époxy	manchon du tube F Ø98 x 0,8	espaceur / manchon tube F	portées espaceur type A	espaceur type A	portées espaceur type A	espaceur/m manchon B	manchon tube B Ø291x0,8	Bague inox	tube / bague	espaceur type A	portées espaceur type A	espaceur manchon D	manchon tube D Ø172x0,8	bague époxy	bague / tube	espaceur type A	portées espaceur type A	espaceur - manchon C	manchon tube C Ø122x0,8	bague époxy	bague / tube	
Matériau	epoxy / inox	epoxy	inox	epoxy / inox	epoxy	epoxy	epoxy	epoxy / inox	inox	inox	inox / inox	epoxy	epoxy	epoxy / inox	inox	epoxy	epoxy / inox	epoxy	epoxy	epoxy / inox	inox	epoxy	epoxy / inox	
Longueur (m)	-	0,0057	0,350		0,002	0,060		-	0,400	0,220	-	0,100			0,400	0,008	-	0,045		-	0,400	0,008	-	
a, m	0,085	Ø 0,085	Ø 0,098	0,098		0,0223		0,291	Ø 0,291	0,002	0,273	0,041		0,172	Ø 0,172	Ø 0,155	0,155	0,104		0,122	Ø 0,122	Ø 0,105	0,105	
b, m	ép0,012	ép0,012	Ø 0,096	ép 0,005	ép 0,005	ép 0,005	ép 0,005	ép 0,005	Ø 0,289	ép0,006	ép0,003	ép 0,005	ép 0,005	ép 0,005	Ø 0,170	ép0,012	ép0,012	ép 0,005	ép 0,005	ép 0,005	Ø 0,120	ép0,012	ép0,006	
Surface d'échange, m²	1,0E-03	3,4E-03	1,6E-04	4,9E-04	0,0E+00	1E-04	0E+00	1,5E-03	4,86E-04	1,2E-05	8,2E-04	2E-04	0E+00	9E-04	2,9E-04	6,1E-03	2E-03	5E-04	0E+00	6E-04	2E-04	4,3E-03	6E-04	
Conductance, W/K	0,03			#DIV/0!				#DIV/0!									0,02			#DIV/0!			0,01	
Température froide estimée	68,71	68,57	58,77	58,77	58,77	31,14	31,14	31,14	27,265	3,8	3,8	25,9	25,90	25,9	20,45	20,38	20	19,19	19,19	19,19	6,03	5,87	4,6	
T chaude estimée	70	68,71	68,57	58,77	58,77	58,77	31,14	31,14	31,14	27,27	3,80	58,77	25,90	25,90	25,90	20,45	20,38	25,90	19,19	19,19	19,19	6,03	5,87	
Tmoyen, K	69,4	68,6	63,7	58,8	58,8	45,0	31,1	31,1	29,2	15,5	3,8	42,3	25,9	25,9	23,2	20,4	20,2	22,5	19,2	19,2	12,6	6,0	5,2	
Conductibilité thermique* W/(m.K)		0,383	7,070		0,348	0,295	0,235		3,219	1,479		0,284	0,209		2,447	0,181		0,192	0,174		1,120	0,090		
Résistance thermique, K/W	40	4	304	0	0	1824	0	0	256	12394	0	1716	0	0	570	7	40	450	0	0	1759	21	167	
Nbre de R en //	2	2	2	1	1	2	1	1	2	16	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	
Vérification temp. froide	68,71	68,57	58,77	58,77	58,77																			
Vérification temp. chaude							31,14	31,14	31,14	27,27	3,80		25,90	25,90	25,90	20,45	20,38		19,19	19,19	19,19	6,03	5,87	
Σ Ri K/W					174						1815						2025						1424	
Q					0,0645						0,0303						0,0191						0,0150	
Température T à itérer		58,77																						
Valeur cible = 0	0,000																							
				Bouton																				
						Tubes	Ø en K	indice										RESULTATS				edition 3 de NT20		
						Tube Ø 273 x 3	3,8	B										Q tube B		0,0303 Watt			0,03710	
						Tube Ø 104 x 2	4,6	C										Q tube C		0,0150 Watt			0,01390	
						Tube Ø 154 x 2	20	D										Q tube D		0,0191 Watt			0,01440	
						Tube Ø 84 x 2	70	F										Q tube F		-0,0645 Watt			0,06540	

ANNEXE 2 : ESPACEUR DE TYPE B

2 feuilles

C1105NT020

28/04/2005

PERTES THERMIQUES DES ESPACEURS TYPE B - 4 TUBES (feuille 1/2)

RESISTANCES THERMIQUES	R1.1	R1.2	R1.3	R1.4	R1.5	R1.6	R1.7	R1.8	R1.9	R2.1	R2.2	R2.3	R2.4	R2.5	R2.6	R2.7
	contact	cond.	contact	cond.	cond.	cond.	cond.	cond.	contact	contact	cond.	contact	cond.	contact	cond.	contact
Elément	roulette / env. ext.	roulette Ø 32 mm ép 12 mm	roulette / axe Ø 10 mm	Axe roulette	barre support	Embase porte roue	support tube epoxy	support (aile)	support / tube F	Etrier / tube F	Etrier		Table de ping-pong	Table/patin	patin	roulette / axe Ø 6 mm
Matériau	inox / inox	inox	inox / inox	inox	inox	SK 61L5	inox	inox	inox / inox	PI Fv / inox	PI FV 30%		PI FV 30%	PI FV/ PEHD	PEHD	inox / inox
Longueur (m)		ép 0,012		0,044	0,000	0,056	0,000	0,043			0,015		0,15		0,020	
a, m		Ø 0,032		Ø 0,012	0,050	Ø 0,035	Ø 0,020	0,020	0,084	0,042	0,021		0,100	0,047	0,047	
b, m		Ø 0,020		Ø 0,006	ép 0,003	Ø 0,025	Ø 0,005	ép 0,012	0,012	0,020	ép 0,020		0,005	0,040	0,035	
Surface d'échange, m²	2,0E-04	9,6E-04	4,0E-04	8,5E-05	1,5E-04	4,7E-04	2,9E-04	2,4E-04	1,0E-03	2,6E-03	4,20E-04		5,0E-04	1,9E-03	1,6E-03	2,0E-04
T froid estimé, K	298	298	298	290	290	85	85,0	75	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	67,0	66,5
T chaud estimé, K	300	298	298	298	290	290	85	85,0	75	70	70	70	70	70	70	67
T moyen, K	299,0	298,0	298,0	294,0	290,0	187,5	85,0	80,0	72,5	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	68,5	66,8
Conductibilité thermique*, W/(m.K)		14,81		14,58	14,40	0,50	8,69	8,36			0,35				0,31	
Résistance thermique, KW	11	1	0	35	0	236	0	21	5	0	0	0	0	1	39,22	0
Nbre de R en //	8	8	8	8	4	4	4	4	2	2	4	4	4	2	2	2
Vérification T froid, K	296	298	298	284	290	104	85	68	67	70	70	70	70	70	67	67
Vérification T chaud, K																
Σ RI KW									73							20
Q									3,17							0,178

Température T à itérer **66,5 K**

Valeur cible=0 0,00

Tubes	θ en K (cf réf)	indice
Tube Ø 273 x 3	3,8	B
Tube Ø 104 x 2	4,6	C
Tube Ø 154 x 2	20	D
Tube Ø 84 x 2	70	F

RESULTATS	
Q tube B	0,0872 Watt
Q tube C	0,0307 Watt
Q tube D	0,0600 Watt
Q tube F	3,17 Watt

C1105NT020

28/04/2005

PERTI

PERTES THERMIQUES DES ESPACEURS TYPE B (feuille 2/2)

RESISTANCES THERMIQUES	R3.1	R3.2	R3.3	R3.4	R3.5	R4.1	R4.2	R4.3	R4.4	R4.5	R5.1	R5.2	R5.3	R5.4	R5.5	
	cond.	contact	cond.	cond.	soudure	cond.	contact	cond.	cond.	contact	cond.	contact	cond.	cond.	contact	
Elément	espaceur type B	espaceur / manchon tube B	manchon tube B ∅291x0,8	clip inox	tube / clip	espaceur type B	espaceur / manchon tube D	manchon tube D ∅172x0,8	bague epoxy	bague / tube	espaceur type B	espaceur / manchon tube C	manchon tube C ∅122x0,8	bague epoxy	bague / tube	
Matériau	epoxy	epoxy / inox	inox	inox	inox / inox	epoxy	epoxy / inox	inox	epoxy	epoxy / inox	epoxy	epoxy / inox	inox	inox	epoxy	epoxy / inox
Longueur (m)	0,035	-	0,400	0,100	-	0,042	-	0,400	0,008	-	0,037	-	0,400	0,008	-	
a, m	0,0500	0,293	∅ 0,291	0,002	0,273	0,050	0,172	∅ 0,172	∅ 0,155	∅ 0,154	0,110	0,122	∅ 0,122	∅ 0,105	∅ 0,104	
b, m	ép 0,005	ép 0,005	∅ 0,289	ép0,003	ép0,003	ép 0,005	ép 0,005	∅ 0,170	ép 0,012	ép 0,006	ép 0,005	ép 0,005	∅ 0,120	ép 0,012	ép 0,006	
Surface d'échange, m²	2,5E-04	1,5E-03	4,9E-04	6E-06	8E-04	2,5E-04	8,6E-04	2,9E-04	6,1E-03	2,9E-03	5,5E-04	6,1E-04	2,0E-04	4,3E-03	2,0E-03	
T froid estimé, K	48,8	48,75	41,74	3,8	3,8	34,73	34,73	20,98	20,77	20	25,8	25,80	5,76	5,43	4,6	
T chaud estimé, K	66,51	48,80	48,75	41,74	3,80	66,51	34,73	34,73	20,98	20,77	34,73	25,80	25,80	5,76	5,43	
Tmoyen, K	57,7	48,8	44,7	22,8	3,8	50,6	34,7	27,9	20,9	20,4	30,3	25,8	15,8	5,6	5,0	
Conductibilité thermique*, W/(m.K)	0,34		5,11	2,40		0,32		3,05	0,18		0,23		1,51	0,09		
Résistance thermique, K/W	407	0	161	6958	0	530	0	458	7	26	291	0	1305	21	54	
Nbre de R en //	2	1	2	16	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	
Vérification T froid, K																
Vérification T chaud, K	66,57	48,75	48,75	41,73	3,8	66,52	34,73	34,72	20,98	20,77	34,74	25,80	25,79	5,76	5,43	
Σ Ri K/W					719					775					982	
Q					0,0872					0,0600					0,0307	

Température T à ilérer

Valeur cible=0

Qth_QRL_CERN_v15.xls

ESPACEUR B

ANNEXE 3 : POINT FIXE

1 feuille

ANNEXE 4 : BARRIERE A VIDE LONGITUDINALE

1 feuille

ANNEXE 5 : BARRIERE A VIDE DU JUMPER

2 feuilles

PERTES THERMIQUES DES BARRIERES A VIDE TRANSVERSALES (feuille 2/2)

R9'	R9	R9''	R9	R9'	R9	R9''	R9	R10
conduction	conduction	conduction	conduction	conduction	conduction	conduction	conduction	conduction
barrière tube KD - virole	barrière tube KD - bague	barrière tube KD - virole	barrière tube KD - bague	barrière tube CY - virole	barrière tube CY - bague	barrière tube CY - virole	barrière tube CY - bague	6 tresses de thermalisation
inox	inox	inox	inox	inox	inox	inox	inox	cuivre
0,254	0,012	0,284	0,012	0,254	0,012	0,284	0,012	0,120
0,0380	0,0362	0,0280	0,0262	0,0320	0,0302	0,0230	0,0212	
0,0008	0,004	0,0008	0,004	0,0008	0,0035	0,0008	0,0045	
0,00009	0,00362	0,00007	0,00248	0,00008	0,00343	0,00006	0,00164	3,060E-04
87,1	87,1	20,3	20	86,6	86,6	6,6	4,6	70
T=115	T=87	T=87	20	T=115	T=87	T=87	7	T=115
101,0	87,1	53,7	20,2	100,8	86,6	46,6	5,6	92,5
9,57	8,82	6,10	2,06	9,56	8,79	5,33	0,31	63,00
284	0	681	2	339	0	955	24	6
2	2	2	2	1	1	1	1	1
87,1	87,1	20,3	20,1	86,6	86,6	6,6	4,6	

ANNEXE 6 : DETAILS ISOLATION

1 feuille

PERTES THERMIQUES PAR L'ISOLATION

Caractéristiques de l'isolation	Circuit B	Circuit C	Circuit D	Isolation écran thermalisé par tube F	Circuit E
Nombre de couches de SI sur les tubes et les manchons	10 couches	10 couches	10 couches	30 couches	10 couches
Surface d'échange On considère que le matelas isolant repose soit directement sur les tubes B, C et D (pour 80 % de la longueur totale des tubes), soit sur le manchon (pour 20 % de la longueur totale des tubes)	0,89 m ² /m	0,36 m ² /m	0,51 m ² /m	1,65 m ² /m	0,51 m ² /m
Flux radiatif surfacique - En ligne	0,041 W/m ²	0,041 W/m ²	0,041 W/m ²	1,00 W/m ²	0,041 W/m ²
Flux radiatif surfacique - Singularités	0,055 W/m ²	0,055 W/m ²	0,055 W/m ²	1,33 W/m ²	
Flux radiatif surfacique - Jumper	0,150 W/m ²	0,150 W/m ²	0,150 W/m ²	1,33 W/m ²	

	Isolant	Tassement
tubes	DAM / fibres de verre et Al / fibres de verre ou papier	15 c / cm
manchons	DAM / cryotherm	30 c / cm

Caractéristiques des écrans aluminium	écran 70K	Ecran jumper
Epaisseur de l'écran (hypothèse)	0,002 m	0,004 m
Demi-périmètre de l'écran	0,826 m	1,500 m
Conductivité thermique de l'alu à la temp. de l'écran (70K)	300 W/(m.K)	300 W/(m.K)
Gradient thermique dans l'écran 70 K (conduction seulement)	0,5 K	3,7 K
Calculs thermiques	Flux radiatif linéique en ligne	Flux radiatif linéique en ligne - Singularités
Pertes thermiques du tube B	0,0364 W/m	0,0484 W/m
Pertes thermiques du tube C	0,0146 W/m	0,0194 W/m
Pertes thermiques du tube D	0,0211 W/m	0,0280 W/m
Pertes thermiques par le matelas de l'écran 70 K	1,65 W/m	2,20 W/m
Pertes thermiques de l'écran thermalisé par tube F	1,58 W/m	2,10 W/m

ANNEXE 7 : DETAIL VANNES

1 feuille

Intégrales de la conductibilité thermique dans acier Z3 CN 18.10

INOX Integrale(k(T)dT, T1=4K, T2=90K) [W/cm] = 4,34
 INOX Integrale(k(T)dT, T1=4K, T2=300K) [W/cm] = 30,6
 G10 Integrale(k(T)dT, T1=4K, T2=300K) [W/cm] = 1,7

Type de vannes	DN	Tube ext.		Tige comm.		Surf. ext. <i>mm</i> ²	Surf. int. <i>mm</i> ²	Longueur extension <i>mm</i>	Distance therm. 70K <i>mm</i>	longueur tige de commande <i>mm</i>	pertes calculées	
		dia. ext. <i>mm</i>	ep. <i>mm</i>	dia. ext. <i>mm</i>	ep. <i>mm</i>						4K <i>W</i>	77K <i>W</i>
therm+GF	6	20	0,70	16	0	42,4	201,1	820	265	693	0,08	0,42
therm+GF	8	25	1,00	20	4	75,4	201,1	800	290	693	0,11	0,68
therm+GF	10	25	1	20	4	75,4	201,1	800	290	693	0,11	0,68
therm+GF	15	25	1	20	4	75,4	201,1	800	290	693	0,11	0,68
therm+GF	20	38	1	33	5	116,2	439,8	763	290	588	0,23	1,05
therm+GF	25	38	1	33	5	116,2	439,8	763	290	588	0,23	1,05
therm+GF	32	38	1	33	5	116,2	439,8	763	290	588	0,23	1,05
therm+GF	40	60,3	2	53	5,5	366,3	820,7	713	265	548	0,61	3,63
therm+GF	65	84	2	76	5,5	515,2	1218,2	669	265	503	0,97	5,11
therm	100	141,3	3,4	129	2	1473,0	798,0	772	330	603	5,50	11,72

ANNEXE 8 : BILAN PAR ELEMENT

6 feuilles

CHARGES THERMIQUES SUR UN "SERVICE MODULE" DE TYPE AA

Circuit (avec sa température nominale)	Pertes thermiques unitaires (Watt)				Longueur ou nombre	Pertes thermiques totales (Watt)			
	B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)		B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)
Pertes thermiques d'un service module AA									
Espaceur type A	0,030	0,015	0,019	-0,065	1 / service module	0,030	0,015	0,019	-0,06
Espaceur type B	0,087	0,031	0,060	3,166	1 / service module	0,087	0,031	0,060	3,17
Isolation tubes B, C, D, et F - QRLS	0,048 W/m	0,019 W/m	0,028 W/m	2,101 W/m	6,6 m / service module	0,319	0,128	0,185	13,87
Isolation des tubes du jumper, soit 2,3 m Ø 0,0635 m vers B ; 0,5 m Ø 0,053 m + 2 m Ø 0,016 m + 3,3 m Ø 0,012 m vers C ; 3,5 m Ø 0,053 m + 2 fois 2,5 m Ø 0,016 m vers D	0,075	0,061	0,147	1,60	1 / service module	0,075	0,061	0,147	1,60
Point fixe	0,218	0,095	0,169	4,72	1 / module	0,218	0,095	0,169	4,72
Barrière à vide du jumper VB2	0,285	0,213	0,477	7,22	1 / service module	0,285	0,213	0,477	7,22
Instrumentation (valeur moyenne)	0,060	0,250	0,250	0,020	1 / service module	0,060	0,250	0,250	0,02
Charge thermique HORS VANNES et HX						1,075	0,793	1,308	30,523
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,000	0,165	0,000	0,84
Vannes CV943/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,000	0,000	0,165	0,84
Vanne CV920 (DN40)		0,61		3,63	1 / service module	0,000	0,609	0,000	3,63
Vanne QV920 (DN40) (CERN)			0,350	3,00	1 / service module	0,000	0,000	0,350	3,00
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m² ; circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009	0,009	0,000	1,46
Total pour un service module AA						1,08 W	1,58 W	1,82 W	40,30 W
<i>Soit</i>						0,16 W/m	0,24 W/m	0,28 W/m	6,11 W/m
Performances demandées						0,70 W	1,60 W	1,20 W	30,00 W
Marges (%)						-55%	2%	-52%	-34%

CHARGES THERMIQUES SUR UN TRONCON ELEMENTAIRE DE 11,35 M

Circuit (avec sa température nominale)	Pertes thermiques unitaires (Watt)				Longueur ou nombre	Pertes thermiques totales (Watt)			
	B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)		B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)
Espaceur type A	0,030	0,015	0,019	-0,065	3 / tronçon	0,09	0,04	0,06	-0,19
Espaceur type B	0,087	0,031	0,060	3,166	2 / tronçon	0,17	0,06	0,12	6,33
Isolation tubes B, C, D, et F - En ligne	0,036	0,015	0,021	1,580	8,85	0,32	0,13	0,19	13,98
Isolation tubes B, C, D, et F -Espaceurs	0,048	0,019	0,028	2,101	0,5 / espaceur-PF-BV	0,12	0,05	0,07	5,25
Point fixe	0,218	0,095	0,169	4,715	0 / tronçon	0,00	0,00	0,00	0,00
Total pour un tronçon élémentaire						0,71 Watt	0,28 Watt	0,43 Watt	25,4 Watt
<i>soit</i>						0,062 W/m	0,029 W/m	0,044 W/m	2,57 W/m

CHARGES THERMIQUES SUR UN POINT FIXE DE 6,62m

Circuit (avec sa température nominale)	Pertes thermiques unitaires (Watt)				Longueur ou nombre	Pertes thermiques totales (Watt)			
	B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)		B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)
Espaceur type A	0,030	0,015	0,019	-0,065	1 / tronçon	0,03	0,01	0,02	-0,06
Espaceur type B	0,087	0,031	0,060	3,166	1 / tronçon	0,09	0,03	0,06	3,17
Isolation tubes B, C, D, et F - En ligne	0,036	0,015	0,021	1,580	5,62	0,20	0,08	0,12	8,88
Isolation tubes B, C, D, et F -Espaceurs	0,048	0,019	0,028	2,101	0,5 / espaceur-PF-BV	0,07	0,03	0,04	3,15
Point fixe	0,218	0,095	0,169	4,715	1 / tronçon	0,22	0,09	0,17	4,72
Total pour un point fixe						0,61 Watt	0,25 Watt	0,41 Watt	19,8 Watt
<i>soit</i>						0,080 W/m	0,041 W/m	0,067 W/m	3,23 W/m

CHARGES THERMIQUES SUR UNE BARRIERE A VIDE DE 6,62m

Circuit (avec sa température nominale)	Pertes thermiques unitaires (Watt)				Longueur ou nombre	Pertes thermiques totales (Watt)			
	B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)		B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)
Espaceur type A	0,030	0,015	0,019	-0,065	1 / tronçon	0,03	0,01	0,02	-0,06
Espaceur type B	0,087	0,031	0,060	3,166	1 / tronçon	0,09	0,03	0,06	3,17
Isolation tubes B, C, D, et F - En ligne	0,036	0,015	0,021	1,580	5,62	0,20	0,08	0,12	8,88
Isolation tubes B, C, D, et F -Espaceurs	0,048	0,019	0,028	2,101	0,5 / espaceur-PF-BV	0,07	0,03	0,04	3,15
Barrière a vide	0,400	0,129	0,194	9,654	1 / tronçon	0,40	0,13	0,19	9,65
Total pour un point fixe						0,79 Watt	0,29 Watt	0,43 Watt	24,8 Watt
<i>soit</i>						0,104 W/m	0,046 W/m	0,071 W/m	4,03 W/m

CHARGES THERMIQUES SUR LES "SERVICE MODULES"

SERVICE MODULE TYPE	Pertes thermiques unitaires (Watt)				Longueur ou nombre	B (3.8 K)			
	B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)					
SERVICE MODULE TYPE AB									
Ligne LD2			0,25		1 / service module	0,00			
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00			
Vannes CV943/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00			
Vannes QV923/927 (DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	2 / service module	0,00			
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m² ; circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009			
Total service module type AB						1,08 W			
SERVICE MODULE TYPE AC									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00			
Vannes CV943/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00			
Vanne CV920 (DN25)		0,23		1,05	1 / service module	0,00			
Vannes QV920/923 (DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	2 / service module	0,00			
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m² ; circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009			
Total service module type AC						1,08 W			
SERVICE MODULE TYPE AD									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00			
Vannes CV943/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00			
Vanne CV960 (DN32)		0,23		1,05	1 / service module	0,00			
Vanne QV923 (DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	1 / service module	0,00			
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m² ; circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009			
Total service module type AD						1,08 W			
SERVICE MODULE TYPE AE									
Vannes CV943/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00			
Vannes CV920 (DN40)		0,61		3,63	1 / service module	0,00			
Vanne QV920 (DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	1 / service module	0,00			
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m² ; circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009			
Total service module type AE						1,08 W			
SERVICE MODULE TYPE AF									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00			
Vanne CV911 /916(DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00			
Vanne CV920(DN40)		0,61		3,63	1 / service module	0,00			
Vannes CV943/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00			
Vanne QV920 (DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	1 / service module	0,00			
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m² ; circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009			
Total service module type AF						1,08 W			
SERVICE MODULE TYPE AG									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00			
Vannes CV943/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00			
Vanne CV920 (DN40)		0,61		3,63	1 / service module	0,00			
Vanne QV920 (DN40) (CERN)			0,350	3,00	1 / service module	0,00			
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m² ; circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,01			
Total service module type AG						1,08 W			
SERVICE MODULE TYPE AH									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00			
Vannes CV943/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00			
Vannes QV923/927 (DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	2 / service module	0,00			
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m² ; circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009			
Total service module type AH						1,08 W			
SERVICE MODULE TYPE BA									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00			
Vanne CV920 (DN40)		0,30	0,30	3,63	1 / service module	0,00			
Vannes CV943/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00			
Vanne QV920(DN50) (CERN)		0,35 CERN		3,00 CERN	1 / service module	0,00			
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m² ; circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009			
Total service module type BA						1,08 W			
SERVICE MODULE TYPE BB									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00			
Vanne CV920 (DN40)		0,30	0,30	3,63	1 / service module	0,00			
Vannes CV943/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00			
Vanne QV920(DN50) (CERN)		0,35 CERN		3,00 CERN	1 / service module	0,00			
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m² ; circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009			
Total service module type BB						1,08 W			

SERVICE MODULE TYPE	Pertes thermiques unitaires (Watt)				Longueur ou nombre	Pertes thermiques totales (Watt)			
	B (3,8 K)	C (4,6 K)	D (20 K)	F (70 K)		B (3,8 K)	C (4,6 K)	D (20 K)	F (70 K)
SERVICE MODULE TYPE CA									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vannes CV943/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00	0,00	0,17	0,84
Vanne QV920(DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	1 / service module	0,00	0,35	0,35	3,00
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m², circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009	0,009	0,000	1,46
Total service module type CA						1,08 W	1,32 W	1,82 W	36,67 W
SERVICE MODULE TYPE CB									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vanne CV945 (DN6)			0,08	0,42	1 / service module	0,00	0,00	0,08	0,42
Vannes CV943/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00	0,00	0,17	0,84
Vanne QV920(DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	1 / service module	0,00	0,35	0,35	3,00
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m², circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009	0,009	0,000	1,46
Total service module type CB						1,08 W	1,32 W	1,91 W	37,09 W
SERVICE MODULE TYPE CC									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vanne CV945 (DN6)			0,08	0,42	1 / service module	0,00	0,00	0,08	0,42
Vannes CV943/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00	0,00	0,17	0,84
Vanne QV920(DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	1 / service module	0,00	0,35	0,35	3,00
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m², circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009	0,009	0,000	1,46
Total service module type CC						1,08 W	1,32 W	1,91 W	37,09 W
SERVICE MODULE TYPE CD									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vannes CV943/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00	0,00	0,17	0,84
Vanne QV920(DN50) (CERN)		0,35 CERN		3,00 CERN	1 / service module	0,00	0,35	0,00	3,00
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m², circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009	0,009	0,000	1,46
Total service module type CD						1,08 W	1,32 W	1,47 W	36,67 W
SERVICE MODULE TYPE CE									
Vannes CV910/915 (DN6)					2 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Vanne CV920 (DN40)					1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Vannes CV943/947 (DN6)					2 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Vanne QV920(DN50) (CERN)					1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m², circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009	0,009	0,000	1,46
Total service module type CE						1,08 W	0,80 W	1,31 W	31,99 W
SERVICE MODULE TYPE CF									
Vannes CV943 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vannes CV945 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vannes CV947 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vanne QV920(DN50) (CERN)		0,35 CERN		3,00 CERN	1 / service module	0,00	0,35	0,00	3,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type CF						1,08 W	1,39 W	1,31 W	34,78 W
SERVICE MODULE TYPE CG									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vannes CV943/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00	0,00	0,17	0,84
Vanne QV920(DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	1 / service module	0,00	0,35	0,35	3,00
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m², circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009	0,009	0,000	1,46
Total service module type CG						1,08 W	1,32 W	1,82 W	36,67 W
SERVICE MODULE TYPE CH									
Vannes CV943/947 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vanne QV920(DN50) (CERN)		0,35 CERN		3,00 CERN	1 / service module	0,00	0,35	0,00	3,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type CH						1,08 W	1,31 W	1,31 W	34,36 W
SERVICE MODULE TYPE DA									
Vanne CV920 (DN20)		0,23		1,05	1 / service module	0,00	0,23	0,00	1,05
Vanne CV933/937 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vanne CV950(DN6)				0,42	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,42
Vanne PV930 (DN 32)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
pas de QV					0 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type DA						1,08 W	1,19 W	1,54 W	33,89 W
SERVICE MODULE TYPE DB									
Vannes CV920(DN20)		0,23		1,05	1 / service module	0,00	0,23	0,00	1,05
Vanne CV930 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vannes CV950 (DN6)				0,42	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,42
Vannes PV930 (DN32)			0,23	1,051	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
pas de QV					0 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type DB						1,08 W	1,11 W	1,54 W	33,47 W
SERVICE MODULE TYPE DC									
Vanne CV930 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vannes CV950 (DN6)				0,42	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,42
Vannes PV930 (DN32)			0,23	1,051	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
pas de QV					0 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type DC						1,08 W	0,88 W	1,54 W	32,42 W

	Pertes thermiques unitaires (Watt)				Longueur ou nombre	Pertes thermiques totales (Watt)			
	B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)		B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)
SERVICE MODULE TYPE DD									
Vanne CV930 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vannes CV950 (DN6)				0,42	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,42
Vanne CV920 (DN20)		0,23		1,05	1 / service module	0,00	0,23	0,00	1,05
Vannes PV930 (DN32)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
QV 920		0,35 CERN		3,00 CERN	1 / service module	0,00	0,35	0,00	3,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type DD						1,08 W	1,46 W	1,54 W	36,47 W
SERVICE MODULE TYPE DE									
Vanne CV920 (DN20)		0,23		1,05	2 / service module	0,00	0,47	0,00	2,11
Vanne CV933/937 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vannes CV930/931 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vanne CV947 (DN6)		0,08	0,08	0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,08	0,42
Vanne CV950 (DN6)				0,42	2 / service module	0,00	0,00	0,00	0,84
Vannes PV930 (DN32)			0,23	1,05	2 / service module	0,00	0,00	0,47	2,11
pas de QV					0 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Barrière à vide du 2eme jumper VB2	0,285	0,213	0,477	7,22	1 / service module	0,29	0,21	0,48	7,22
Isolation des tubes 2eme jumper, soit 2,3 m Ø 0,0635 m vers B ; 0,5 m Ø 0,053 m +2 m Ø 0,016 m + 3,3 m Ø 0,012 m vers C ; 3,5 m Ø 0,053 m + 2 fois 2,5 m Ø 0,016 m vers D	0,075	0,061	0,147	1,60	1 / service module	0,075	0,061	0,147	1,60
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type DE						1,44 W	1,95 W	2,48 W	46,49 W
SERVICE MODULE TYPE DF									
Vannes CV920(DN20)		0,23		1,05	1 / service module	0,00	0,23	0,00	1,05
Vanne CV933/CV937(DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vanne CV950(DN6)				0,42	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,42
Vannes PV930 (DN32)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
Pas de QV					0 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type DF						1,08 W	1,19 W	1,54 W	33,89 W
SERVICE MODULE TYPE DG									
Vannes CV920(DN20)		0,23		1,05	1 / service module	0,00	0,23	0,00	1,05
Vanne CV930 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vannes CV950(DN10)				0,68	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,68
Vannes PV930 (DN32)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
pas de QV					0 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type DG						1,08 W	1,11 W	1,54 W	33,73 W
SERVICE MODULE TYPE EA									
Vannes CV920 (DN20)		0,23		1,05	1 / service module	0,00	0,23	0,00	1,05
Vanne CV930/931 (DN6)		0,11		0,68	2 / service module	0,00	0,23	0,00	1,37
Vanne CV947 (DN6)			0,11	0,68	1 / service module	0,00	0,00	0,11	0,68
Vannes CV950(DN10)				0,68	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,68
Vannes PV930(DN20)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
Pas de QV					0 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type EA						1,08 W	1,25 W	1,66 W	35,36 W
SERVICE MODULE TYPE EB									
Vanne CV920 (DN20)		0,23		1,05	1 / service module	0,00	0,23	0,00	1,05
Vanne CV923 (DN20)		0,23		1,05	1 / service module	0,00	0,23	0,00	1,05
Vannes CV930/CV931 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vanne CV932 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vanne CV947 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vanne CV950 (DN6)				0,42	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,42
Vannes PV930(DN20)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
Pas de QV					1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Pas d'échangeur					1 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type EB						1,08 W	1,59 W	1,54 W	35,78 W
SERVICE MODULE TYPE EC									
Vanne CV920 (DN15)		0,11		0,68	1 / service module	0,00	0,11	0,00	0,68
Vanne CV931 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,08	0,08	0,00	0,42
Vanne CV942 (DN6)			0,08	0,42	1 / service module	0,00	0,00	0,08	0,42
Vanne CV947 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vanne CV950 (DN6)				0,42	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,42
Pas de QV					0 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Total service module type EC						1,16 W	1,07 W	1,39 W	32,89 W
SERVICE MODULE TYPE FA									
Vanne CV920 (DN32)		0,23		1,052562647	1 / service module	0,00	0,23	0,00	1,05
Vanne CV950 (DN10)				0,682743338	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,68
Pas de QV					0 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type FA						1,08 W	1,03 W	1,31 W	32,26 W
SERVICE MODULE TYPE FB									
Vannes CV931(DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vanne CV950 (DN10)				0,68	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,68
Pas de QV					0 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type FB						1,08 W	0,88 W	1,31 W	31,63 W
SERVICE MODULE TYPE FC									
Vannes CV931(DN6)		0,11		0,68	1 / service module	0,00	0,11	0,00	0,68
Vanne CV942 (DN6)			0,08	0,42	1 / service module	0,00	0,00	0,08	0,42
Vanne 947 (DN6)			0,08	0,42	1 / service module	0,00	0,00	0,08	0,42
Pas de QV					0 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type FC						1,08 W	0,91 W	1,47 W	32,05 W

	Pertes thermiques unitaires (Watt)				Longueur ou nombre	Pertes thermiques totales (Watt)			
	B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)		B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)
SERVICE MODULE TYPE FD									
Vanne CV920 (DN32)		0,23		1,052662647	1 / service module	0,00	0,23	0,00	1,05
Vanne CV942 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vanne CV947 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Pas de QV					0 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type FD						1,08 W	1,19 W	1,31 W	32,42 W
SERVICE MODULE TYPE FE									
Vannes CV920 (DN32)		0,23		1,05	1 / service module	0,00	0,23	0,00	1,05
Vanne CV930 (DN8)		0,11		0,68	1 / service module	0,00	0,11	0,00	0,68
Vanne CV947 (DN8)			0,11	0,68	1 / service module	0,00	0,00	0,11	0,68
Vannes PV930 (DN20)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
Pas de QV					0 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type FE						1,08 W	1,14 W	1,66 W	33,99 W
SERVICE MODULE TYPE FF									
Vanne CV930 (DN8)		0,11		0,68	1 / service module	0,00	0,11	0,00	0,68
Vanne CV931 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vanne CV947 (DN8)			0,11	0,68	1 / service module	0,00	0,00	0,11	0,68
Vannes PV930 (DN20)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
Pas de QV					0 / service module	0,00	0,00	0,00	0,00
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type FF						1,08 W	0,99 W	1,66 W	33,36 W
SERVICE MODULE TYPE GA									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vannes CV920 (DN40)		0,61		3,63	1 / service module	0,00	0,61	0,00	3,63
Vannes CV930 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vannes CV941/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00	0,00	0,17	0,84
Vannes CV950(DN15)				0,68	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,68
Vannes PV930(DN20)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
Vanne QV920/923(DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	2 / service module	0,00	0,00	0,70	6,00
Barrière à vide du 2eme jumper VB2	0,285	0,213	0,477	7,221	1 / service module	0,29	0,21	0,48	7,22
Surlongueur 25% du SM => isolation BCDF					1,7 m / service module	0,08	0,03	0,05	3,56
Isolation des tubes du 2em jumper, soit 2,3 m Ø 0,0635 m vers B ; 0,5 m Ø 0,053 m +2 m Ø 0,016 m + 3,3 m Ø 0,012 m vers C ; 3,5 m Ø 0,053 m + 2 fois 2,5 m Ø 0,016 m vers D	0,075	0,061	0,147	1,60	1 / service module	0,075	0,061	0,147	1,60
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m² ; circuits 75 K = 1,1 m²)	0,014	0,014		5,320	1 / service module	0,014	0,014	0,000	5,32
Total service module type GA						1,53 W	1,97 W	3,08 W	61,69 W
SERVICE MODULE TYPE GB									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vannes CV920 (DN40)		0,61		3,63	1 / service module	0,00	0,61	0,00	3,63
Vannes CV930 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vannes CV941/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00	0,00	0,17	0,84
Vannes CV950(DN15)				0,68	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,68
Vannes PV930(DN20)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
Vanne QV920/923(DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	2 / service module	0,00	0,00	0,70	6,00
Barrière à vide du 2eme jumper VB2	0,285	0,213	0,477	7,221	1 / service module	0,29	0,21	0,48	7,22
Surlongueur 25% du SM => isolation BCDF					1,7 m / service module	0,08	0,03	0,05	3,56
Isolation des tubes du 2em jumper, soit 2,3 m Ø 0,0635 m vers B ; 0,5 m Ø 0,053 m +2 m Ø 0,016 m + 3,3 m Ø 0,012 m vers C ; 3,5 m Ø 0,053 m + 2 fois 2,5 m Ø 0,016 m vers D	0,075	0,061	0,147	1,60	1 / service module	0,075	0,061	0,147	1,60
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,5 m² ; circuits 75 K = 4 m²)	0,014	0,014		5,320	1 / service module	0,014	0,014	0,000	5,32
Total service module type GB						1,53 W	1,97 W	3,08 W	61,69 W
SERVICE MODULE TYPE GC									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vannes CV920 (DN40)		0,61		3,63	1 / service module	0,00	0,61	0,00	3,63
Vannes CV930 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vannes CV941/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00	0,00	0,17	0,84
Vannes CV950(DN15)				0,68	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,68
Vannes PV930(DN20)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
Vanne QV920/923(DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	2 / service module	0,00	0,00	0,70	6,00
Barrière à vide du 2em jumper VB2	0,285	0,213	0,477	7,221	1 / service module	0,29	0,21	0,48	7,22
Surlongueur 25% du SM => isolation BCDF					1,7 m / service module	0,08	0,03	0,05	3,56
Isolation des tubes du 2em jumper, soit 2,3 m Ø 0,0635 m vers B ; 0,5 m Ø 0,053 m +2 m Ø 0,016 m + 3,3 m Ø 0,012 m vers C ; 3,5 m Ø 0,053 m + 2 fois 2,5 m Ø 0,016 m vers D	0,075	0,061	0,147	1,60	1 / service module	0,075	0,061	0,147	1,60
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,5 m² ; circuits 75 K = 4 m²)	0,014	0,014		5,320	1 / service module	0,014	0,014	0,000	5,32
Total service module type GC						1,53 W	1,97 W	3,08 W	61,69 W
SERVICE MODULE TYPE GD									
Vannes CV910/915 (DN6)		0,08		0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vannes CV920 (DN40)		0,61		3,63	1 / service module	0,00	0,61	0,00	3,63
Vannes CV930 (DN6)		0,08		0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vannes CV941/947 (DN6)			0,08	0,42	2 / service module	0,00	0,00	0,17	0,84
Vannes CV950(DN15)				0,68	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,68
Vannes PV930(DN20)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
Vanne QV920/923(DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	2 / service module	0,00	0,00	0,70	6,00
Barrière à vide du 2em jumper VB2	0,285	0,213	0,477	7,221	1 / service module	0,29	0,21	0,48	7,22
Surlongueur 25% du SM => isolation BCDF					1,7 m / service module	0,08	0,03	0,05	3,56
Isolation des tubes du 2em jumper, soit 2,3 m Ø 0,0635 m vers B ; 0,5 m Ø 0,053 m +2 m Ø 0,016 m + 3,3 m Ø 0,012 m vers C ; 3,5 m Ø 0,053 m + 2 fois 2,5 m Ø 0,016 m vers D	0,075	0,061	0,147	1,60	1 / service module	0,075	0,061	0,147	1,60
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,5 m² ; circuits 75 K = 4 m²)	0,014	0,014		5,320	1 / service module	0,014	0,014	0,000	5,32
Total service module type GD						1,53 W	1,11 W	1,98 W	48,22 W

SERVICE MODULE TYPE GE	Pertes thermiques unitaires (Watt)				Longueur ou nombre	Pertes thermiques totales (Watt)			
	B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)		B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)
Vannes CV910/915 (DN6)	0,08			0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vanne CV911/916(DN8)	0,11			0,68	2 / service module	0,00	0,23	0,00	1,37
Vannes CV920 (DN40)	0,61			3,63	1 / service module	0,00	0,61	0,00	3,63
Vannes CV930 (DN6)	0,08			0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vannes CV947 (DN6)			0,08	0,42	1 / service module	0,00	0,00	0,08	0,42
Vannes CV950(DN15)				0,68	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,68
Vannes PV930(DN20)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
Vanne QV920/927/923(DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	3 / service module	0,00	0,00	1,05	9,00
Barrière à vide du 2em jumper VB2	0,285	0,213		7,22	1 / service module	0,29	0,21	0,48	7,22
Surlongueur 25% du SM => isolation BCDF				7,22	1,7 m / service module	0,08	0,03	0,05	3,56
Isolation des tubes du 2em jumper, soit 2,3 m Ø 0,0635 m vers B ; 0,5 m Ø 0,053 m +2 m Ø 0,016 m + 3,3 m Ø 0,012 m vers C ; 3,5 m Ø 0,053 m + 2 fois 2,5 m Ø 0,016 m vers D	0,075	0,061	0,147	1,60	1 / service module	0,075	0,061	0,147	1,60
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m² ; circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009	0,009	0,000	1,46
Total service module type GE						1,53 W	2,19 W	3,35 W	61,78 W
SERVICE MODULE TYPE GF									
Vannes CV910/915 (DN6)	0,08			0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vanne CV911/916(DN8)	0,11			0,68	2 / service module	0,00	0,23	0,00	1,37
Vannes CV920 (DN40)	0,61			3,63	1 / service module	0,00	0,61	0,00	3,63
Vannes CV930 (DN6)	0,08			0,42	1 / service module	0,00	0,08	0,00	0,42
Vannes CV947 (DN6)			0,08	0,42	1 / service module	0,00	0,00	0,08	0,42
Vannes CV950(DN15)				0,68	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,68
Vannes PV930(DN20)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
Vanne QV920/927/923(DN50) (CERN)			0,35 CERN	3,00 CERN	3 / service module	0,00	0,00	1,05	9,00
Barrière à vide du 2em jumper VB2	0,285	0,213		7,22	1 / service module	0,29	0,21	0,48	7,22
Surlongueur 25% du SM => isolation BCDF				7,22	1,7 m / service module	0,08	0,03	0,05	3,56
Isolation des tubes du 2em jumper, soit 2,3 m Ø 0,0635 m vers B ; 0,5 m Ø 0,053 m +2 m Ø 0,016 m + 3,3 m Ø 0,012 m vers C ; 3,5 m Ø 0,053 m + 2 fois 2,5 m Ø 0,016 m vers D	0,075	0,061	0,147	1,60	1 / service module	0,075	0,061	0,147	1,60
Echangeur X100 (surface isolation : circuits 4,5 K = 0,32 m² ; circuits 75 K = 1,1 m²)	0,009	0,009		1,463	1 / service module	0,009	0,009	0,000	1,46
Total service module type GF						1,53 W	2,19 W	3,35 W	61,78 W
SERVICE MODULE TYPE HA									
Vanne CV933/CV937(DN6)	0,08			0,42	2 / service module	0,00	0,17	0,00	0,84
Vanne CV934/CV938(DN10)	0,11			0,68	2 / service module	0,00	0,23	0,00	1,37
Vannes PV933/937 (DN32)			0,23	1,05	2 / service module	0,00	0,00	0,47	2,11
Vanne CV950(DN6)				0,42	1 / service module	0,00	0,00	0,00	0,42
Pas d'échangeur					0 / service module	0,000	0,000	0,000	0,00
Total service module type HA						1,08 W	1,18 W	1,78 W	35,26 W
RETURN MODULE TYPE IA	Pertes thermiques unitaires (Watt)				Longueur ou nombre	Pertes thermiques totales (Watt)			
	B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)		B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)
Isolation des tubes	0,05	0,02	0,03	2,10	6,1 m	0,29	0,12	0,17	12,72
Point fixe	0,22	0,09	0,17	4,72	1 / service module	0,22	0,09	0,17	4,72
Vanne CV960(DN65)		0,97		5,11	1 / service module	0,00	0,97	0,00	5,11
Vanne CV970 (DN15)		0,11		0,68	1 / service module	0,00	0,11	0,00	0,68
Vanne CV971 (DN25)		0,12	0,12	1,05	1 / service module	0,00	0,12	0,12	1,05
Vanne CV988 (DN40)				3,63	1 / service module	0,00	0,00	0,00	3,63
Vanne CV994 (DN20)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
Vanne CV998 (DN25)		0,12	0,12	1,05	1 / service module	0,00	0,12	0,12	1,05
Instrumentation	0,060	0,250	0,250	0,020	1 / service module	0,06	0,25	0,25	0,02
Ballon		0,125			1 / service module	0,13	0,00	0,00	0,00
Total return module type IA						0,70 W	1,77 W	1,06 W	30,03 W
RETURN MODULE TYPE ID	Pertes thermiques unitaires (Watt)				Longueur ou nombre	Pertes thermiques totales (Watt)			
	B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)		B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)
Isolation des tubes	0,05	0,02	0,03	2,10	8,7 m	0,42	0,17	0,24	18,18
Point fixe	0,22	0,09	0,17	4,72	1 / service module	0,22	0,09	0,17	4,72
Vanne CV960(DN65)		0,97		5,11	1 / service module	0,00	0,97	0,00	5,11
Vanne CV970 (DN15)		0,11		0,68	1 / service module	0,00	0,11	0,00	0,68
Vanne CV971 (DN25)		0,12	0,12	1,05	1 / service module	0,00	0,12	0,12	1,05
Vanne CV988 (DN40)				3,63	1 / service module	0,00	0,00	0,00	3,63
Vanne CV994 (DN20)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
Vanne CV998 (DN25)		0,12	0,12	1,05	1 / service module	0,00	0,12	0,12	1,05
Instrumentation	0,060	0,250	0,250	0,020	1 / service module	0,06	0,25	0,25	0,02
Ballon		0,125			1 / service module	0,13	0,00	0,00	0,00
Total return module type ID						0,82 W	1,83 W	1,13 W	35,49 W
RETURN MODULE TYPE IC	Pertes thermiques unitaires (Watt)				Longueur ou nombre	Pertes thermiques totales (Watt)			
	B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)		B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)
Isolation des tubes	0,05	0,02	0,03	2,10	6,1 m	0,30	0,12	0,17	12,82
Point fixe	0,22	0,09	0,17	4,72	1 / service module	0,22	0,09	0,17	4,72
Vanne CV960(DN65)		0,97		5,11	1 / service module	0,00	0,97	0,00	5,11
Vanne CV970 (DN15)		0,11		0,68	1 / service module	0,00	0,11	0,00	0,68
Vanne CV971 (DN25)		0,12	0,12	1,05	1 / service module	0,00	0,12	0,12	1,05
Vanne CV988 (DN40)				3,63	1 / service module	0,00	0,00	0,00	3,63
Vanne CV994 (DN20)			0,23	1,05	1 / service module	0,00	0,00	0,23	1,05
Vanne CV998 (DN25)		0,12	0,12	1,05	1 / service module	0,00	0,12	0,12	1,05
Instrumentation	0,060	0,250	0,250	0,020	1 / service module	0,06	0,25	0,25	0,02
Ballon		0,125			1 / service module	0,13	0,00	0,00	0,00
Total return module type IC						0,70 W	1,78 W	1,06 W	30,13 W
RETURN MODULE TYPE IB	Pertes thermiques unitaires (Watt)				Longueur ou nombre	Pertes thermiques totales (Watt)			
	B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)		B (3.8 K)	C (4.6 K)	D (20 K)	F (70 K)
						0,00	0,00	0,00	0,00
Total return module type IB						0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W

ANNEXE 9 : BILAN DU SECTEUR 7-8

3 feuilles

BILAN THERMIQUE SECTEUR 7-8

SERVICE MODULE TYPE :	Nb modules du secteur 7-8	Charges thermiques totales par type de service module (Watt)			
		B	C	D	F
AA	10	10,84 W	15,76 W	18,23 W	402,98 W
AB	11	11,92 W	10,63 W	26,66 W	436,35 W
AC	1	1,08 W	1,20 W	2,17 W	40,72 W
AD	1	1,08 W	1,20 W	1,82 W	37,72 W
AE		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
AF	1	1,08 W	1,74 W	1,82 W	41,14 W
AG		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
AH		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
BA	2	2,17 W	3,24 W	3,56 W	80,60 W
BB		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
CA		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
CB		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
CC		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
CD		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
CF	1	1,08 W	1,39 W	1,31 W	34,78 W
CG		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
CH	1	1,08 W	1,31 W	1,31 W	34,36 W
DA		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
DB	1	1,08 W	1,11 W	1,54 W	33,47 W
DC		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
DD		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
DE		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
DF	1	1,08 W	1,19 W	1,54 W	33,89 W
DG		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
EA	3	3,23 W	3,76 W	4,97 W	106,08 W
EB		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
EC		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
FA		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
FB	1	1,08 W	0,88 W	1,31 W	31,63 W
FC		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
FD		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
FE	1	1,08 W	1,14 W	1,66 W	33,99 W
FF		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
GA		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
GB		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
GC		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
GD		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
GE		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
GF	1	1,53 W	2,19 W	3,35 W	61,78 W
HA		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
IA	1	0,70 W	1,77 W	1,06 W	30,03 W
IB		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
IC		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
ID		0,00 W	0,00 W	0,00 W	0,00 W
TOTAL	37	40,1 W	48,5 W	72,3 W	1439,5 W

Pipe Elements type 11,35m		Charges thermiques (Watt)			
	Nombre	B	C	D	F
TS Ø610 QRLLA	107	75,80 W	30,41 W	46,43 W	2715,13 W
TS Ø610 QRLLB	97	68,72 W	27,57 W	42,09 W	2461,38 W
TS Ø650 QRLLC	8	5,67 W	2,27 W	3,47 W	203,00 W
TOTAL	212	150,2	60,3	92,0	5379,5

BV et PF 6,62m		Charges thermiques (Watt)			
	Nombre	B	C	D	F
Point Fixe 610 QRLMA	20	12,25	5,03	8,18	396,97
Point Fixe 650 QRLME	2	1,22	0,50	0,82	39,70
Barrière à Vide QRLMC	7	5,56	2,00	3,04	173,51
TOTAL	29	19,0	7,5	12,0	610,2

Interconnections		Charges thermiques (Watt)			
Longueur	Nombre	B	C	D	F
724	57	1,50 W	0,60 W	0,87 W	65,20 W
724	9	0,24 W	0,10 W	0,14 W	10,29 W
720	57	1,49 W	0,60 W	0,86 W	64,84 W
720	12	0,31 W	0,13 W	0,18 W	13,65 W
TOTAL	135	3,5	1,4	2,1	154,0

Special Length		Charges thermiques (Watt)			
Longueur	Nombre	B	C	D	F
2466	1	0,29 W	0,12 W	0,18 W	10,48 W
5272	1	0,42 W	0,17 W	0,26 W	15,18 W
9043	1	0,60 W	0,24 W	0,37 W	21,51 W
5680,5	2	0,89 W	0,36 W	0,54 W	31,74 W
6700	1	0,49 W	0,20 W	0,30 W	17,58 W
5303,7	3	1,28 W	0,51 W	0,78 W	45,71 W
9721	2	1,26 W	0,51 W	0,77 W	45,29 W
5374	1	0,43 W	0,17 W	0,26 W	15,35 W
10794,5	2	1,36 W	0,55 W	0,84 W	48,89 W
6621	3	1,46 W	0,59 W	0,90 W	52,34 W
7170,5	2	1,03 W	0,41 W	0,63 W	36,73 W
2674	1	0,30 W	0,12 W	0,19 W	10,83 W
7992	1	0,55 W	0,22 W	0,34 W	19,74 W
5834	1	0,45 W	0,18 W	0,28 W	16,13 W
7335	1	0,52 W	0,21 W	0,32 W	18,64 W
TOTAL	23	11,3	4,5	6,9	406,1

Steps		Charges thermiques (Watt)			
Longueur	Nombre	B	C	D	F
13292	1	0,80 W	0,32 W	0,49 W	28,63 W
TOTAL	1	0,8	0,3	0,5	28,6

Spécificité du step		Charges thermiques (Watt)			
	Nombre	B	C	D	F
BV	1	0,40 W	0,13 W	0,19 W	9,65 W
TOTAL	1	0,4	0,1	0,2	9,7

Elbows		Charges thermiques (Watt)			
Longueur	Nombre	B	C	D	F
6956	1	0,43 W	0,17 W	0,27 W	15,55 W
4299	1	0,27 W	0,11 W	0,16 W	9,61 W
4700	1	0,29 W	0,12 W	0,18 W	10,51 W
7811	1	0,49 W	0,20 W	0,30 W	17,46 W
TOTAL	4	1,5	0,6	0,9	53,1

		Charges thermiques (Watt)			
		B	C	D	F
PFR des elbows	4	1,6 W	0,5 W	0,8 W	38,6 W

		Surplus Charges thermiques (Watt)			
		B	C	D	E+F
Isolation ligne E	300	0,0 W	0,0 W	0,0 W	6,3 W
Espaceur A - 5 tubes	75	1,0 W	0,5 W	0,6 W	-2,1 W
Espaceur B - 5 tubes	45	0,3 W	0,1 W	0,2 W	-0,6 W
Ligne E	300	1,3 W	0,6 W	0,8 W	3,7 W

		Charges thermiques (Watt)			
		B	C	D	F
GLOBAL		229,7 W	124,4 W	188,5 W	8123,0 W
			542,6 W		8123,0 W
	Pertes spécifiées		536,6 W		9000,0 W

Test boxes			Charges thermiques	
Longueur (m)	Nombre	Surface (m ² /m)	B+C+D	F
2	36	0,19	2,9 W	159,3 W