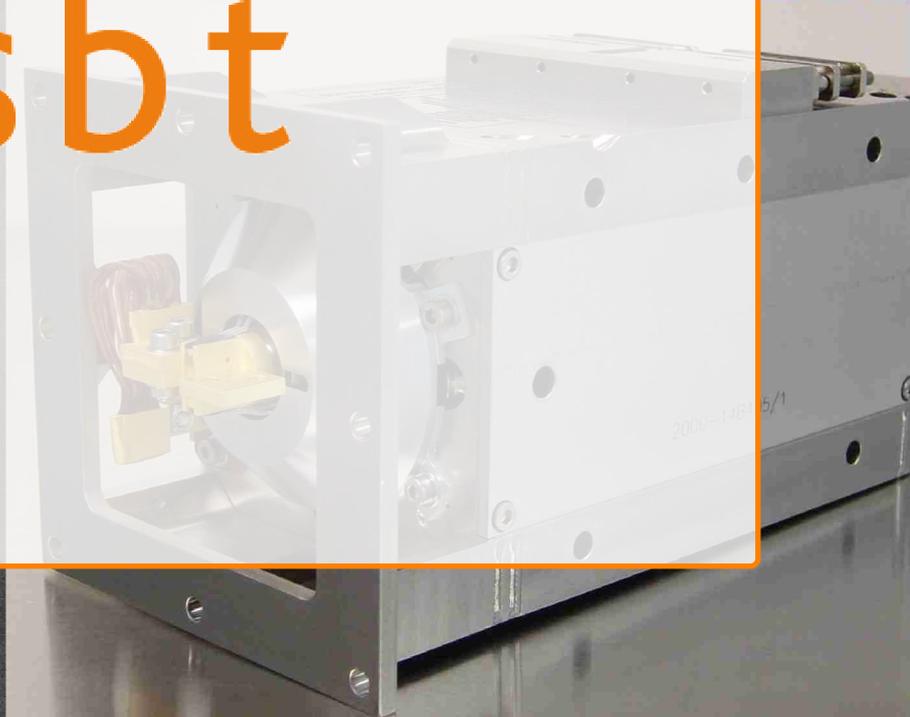
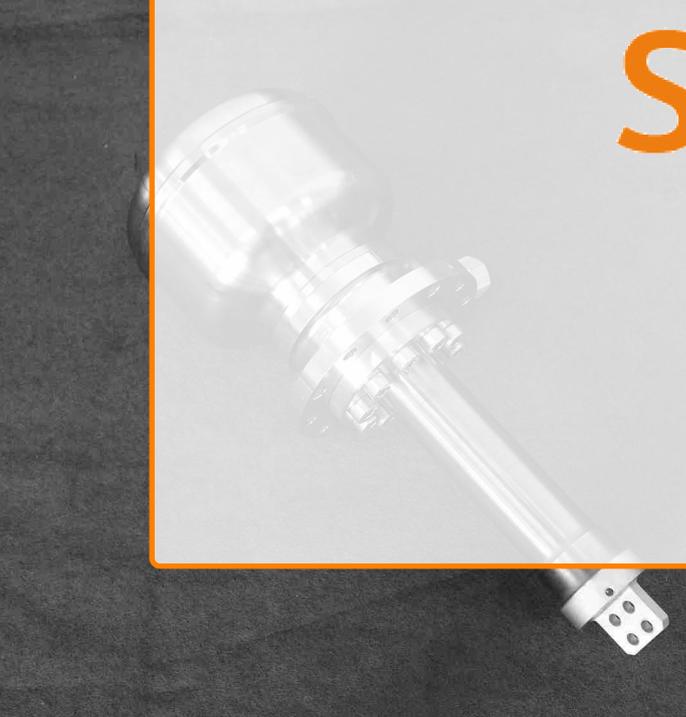


Recueil des sujets de stage 2009

Service des Basses Températures



(CEA/DSM/INAC/SBT)



sbt



TABLE DES MATIÈRES

Introduction

1. Cryogénie spatiale et développement de cryoréfrigérateurs

- 1.1 Recherche en réfrigération pour le spatial
- 1.2 Thermohydraulique pour le spatial
- 1.3 Stages proposés (3)

2. Cryogénie pour la fusion inertielle

- 2.1 Le projet LMJ
- 2.2 Le projet Hiper
- 2.3 Stages proposés (2)

3. Grande Réfrigération et Thermohydraulique de l'Hélium Normal et Superfluide

- 3.1 Réfrigération des grands instruments
- 3.2 Turbulence cryogénique
- 3.3 Stages proposés (2)





CEA Grenoble

Institut Nanosciences et Cryogénie

Service des Basses Températures

Le Service des Basses Températures (SBT) développe une Recherche à caractère principalement - mais pas uniquement - technologique dans une large gamme de températures depuis 120 K jusqu'à la dizaine de millikelvins. Les principales thématiques du Service sont les suivantes :

- Cryogénie pour le Spatial et développement de cryoréfrigérateurs
- Développements cryogéniques pour la Fusion Inertielle
- Grande Réfrigération hélium et ThermoHydraulique de l'hélium Normal et Superfluide.

Ces thématiques s'inscrivent dans les missions du CEA et de la Direction des Sciences et de la Matière, avec une contribution importante au programme du Laser MégaJoule (LMJ), une contribution aux grands instruments de la Physique Fondamentale (CERN, Herschel, ...) et une implication forte dans les programmes de la Fusion Magnétique (TS, JET, ITER, JT60 SA).

Le Service est constitué de 5 groupes :

- Groupe de Réfrigération et ThermoHydraulique (GRTH)
- Groupe des Cryoréfrigérateurs et Cryogénie Spatiale (GCCS)
- Groupe de Cryogénie pour la Fusion (GCF)
- Groupe d'Electronique, Contrôle Commande et Conception Cryogénique (GE4C)
- Groupe de Liquéfaction et Caractérisation (GLC)

En outre le SBT participe à l'ESEME. Le Service est associé à l'Université Joseph Fourier de Grenoble (UMR-E 9006 CEA-UJF). Il compte 51 permanents et une quinzaine de non-permanents (étudiants en apprentissage, doctorants et post-doctorants...)



cea



UNIVERSITÉ
JOSEPH FOURIER
SCIENCE TECHNOLOGIE MÉTIÈRE



INAC
INSTITUT NANOSCIENCES
ET CRYOGÉNIE



sbt

I. Cryogénie pour le spatial et développement de cryoréfrigérateurs.

1.1 Recherche en réfrigération pour le spatial.



Fig 1.1 : Un tube à gaz pulsé, le LPTC



Fig 1.2 : Un réfrigérateur à adsorption pour Herschel

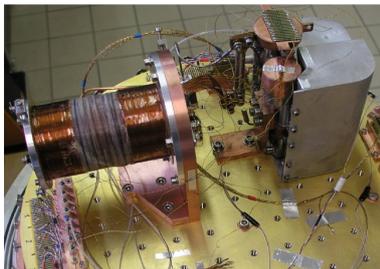


Fig 1.3 : Désaimantation en développement au SBT



Fig 1.3 : Le satellite Herschel

À l'environnement spatial sont associées des contraintes spécifiques dont la résistance mécanique liée au décollage, l'absence de gravité et la fiabilité sont parmi les plus critiques. En particulier la contrainte de fiabilité ou la nécessité de garantir des fonctionnements sans panne sur des durées typiquement de 5 ans à 10 ans conduit à concevoir des systèmes de réfrigération comportant des pièces mobiles sans frottement ou même idéalement aucune pièce en mouvement. CEA-SBT travaille activement sur ces deux types de concepts et maintient un effort de recherche constant. On distingue ainsi trois familles de systèmes de réfrigération : les cryoréfrigérateurs mécaniques de type « Tube à Gaz Pulsé » (Figure 1) d'une part, et, pour le domaine des très basses températures, les cryoréfrigérateurs à adsorption (Figure 2) et à désaimantation adiabatique (Figure 3). Le SBT par ailleurs développe pour certaines applications spécifiques des réfrigérateurs à dilution et Tube à Gaz Pulsé basse fréquence. Le SBT a été retenu pour fournir les modèles de vol des réfrigérateurs 300 mK du satellite Herschel (figure 4, instruments « PACS » et « SPIRE») qui devrait être lancé dans un futur proche, et le service étudie les systèmes de réfrigération pour les missions futures (SPICA, XEUS...) pour lequel les technologies développées au SBT permettraient un gain de masse appréciable. Le Service des Basses températures travaille avec les agences de moyens Française (CNES) et Européenne (ESA), ainsi qu'avec différents industriels chez qui les produits développés au SBT trouvent leur application. Diverses collaborations sont en cours avec des laboratoires de recherche au Royaume Uni (RAL), au Portugal (Université de Lisbonne) et en Chine (Académie des Sciences de Pékin).

1.2 Thermohydraulique pour le spatial.

Cette activité a deux composantes: l'une est dédiée à l'étude des fluides cryogéniques (hydrogène, oxygène) en conditions de microgravité; l'autre est dédiée à l'étude de boucles fluides fermées.

1.2.1 Fluides cryogéniques en microgravité.



Fig. 1.5 : la station de lévitation OLGA

Cette thématique est abordée sous deux aspects complémentaires, les deux faisant appel au même banc expérimental, la station OLGA (Oxygène Low Gravity Apparatus, figure 1.5). Un aspect fondamental est développé en liaison avec le CNES et dans le cadre de la participation du SBT à l'ESEME. Il s'agit de mieux comprendre le comportement des fluides en microgravité, en particulier sous l'aspect transfert de chaleur. Ces études sont également couplées à l'étude fondamentale sur la crise d'ébullition, où l'absence de gravité permet de mettre en évidence des phénomènes qui sont difficiles à observer en présence de gravité.

1.2.2 Développement de boucles cryogéniques à pompage capillaire.

A terme les satellites des missions futures n'embarqueront pas de fluide cryogénique : en effet la nécessité (comme dans Herschel) d'embarquer 2400 litres d'hélium superfluide est une contrainte en poids, et la consommation d'hélium des instruments limite la durée de vie de la mission : une fois l'hélium entièrement évaporé, la détection du rayonnement n'est



Figure 1.6: la boucle à pompage capillaire réalisée au SBT

plus possible. Aussi envisage-t-on pour les missions futures de n'utiliser que des machines pour générer le froid aux différentes températures exigées par les instruments. Il apparaît alors qu'il faudra transporter le froid jusqu'aux différents instruments. Une solution réside dans la réalisation de boucles primaires où l'on fait circuler un fluide cryogénique adapté à la gamme de température. Plusieurs possibilités s'offrent alors : (i) faire circuler le fluide à l'aide d'une pompe de circulation ou (ii) faire circuler dans la boucle un fluide diphasique, où le moteur du mouvement fluide réside dans les forces capillaires: c'est cette dernière solution que nous explorons actuellement avec le

développement d'une boucle cryogénique à pompage capillaire fonctionnant à l'azote (figure 1.6). Une autre alternative pourrait consister à utiliser des caloducs pulsés, mais leur fonctionnement est encore mal compris et des études de base sont encore nécessaires avant de réaliser de tels dispositifs aux températures cryogéniques

1.3 Stages proposés

3 stages sont proposés sur les thématiques « spatial ». L'un concerne les tubes à gaz pulsés (Figure 1.1), un autre s'attache à la modélisation des caloducs pulsés, et le dernier concerne la simulation de la crise d'ébullition. Ces deux derniers stages se dérouleraient à l'ESPCI Paris.

PROPOSITION DE STAGE 2009

Stage Ingénieur ou Master 2

Sujet : Dimensionnement, réalisation et test d'un débitmètre pour des mesures en régime oscillant

Contexte du stage :

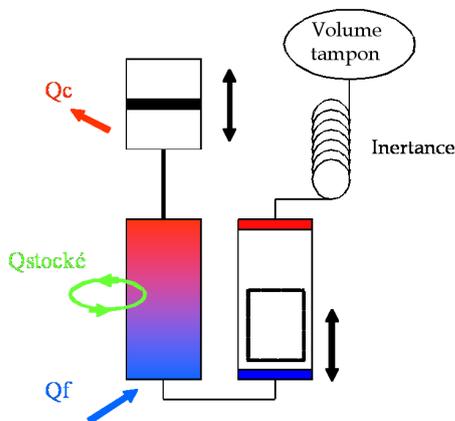
Le SBT travaille sur des cryoréfrigérateurs dits « Tubes à Gaz Pulsés » pour les applications spatiales et sol. Ce type de machines permet d'obtenir des températures comprises entre 77 K et 4 K. Ces cryoréfrigérateurs fonctionnent selon un cycle de Stirling à des fréquences proche de 50 Hz. L'effet frigorifique est réalisé par la compression et la détente d'un gaz oscillant entre la source chaude et la source froide. Pour optimiser ces machines, il est nécessaire d'avoir une connaissance précise de des débits oscillants en termes d'amplitude et de phase.

Sujet confié au stagiaire :

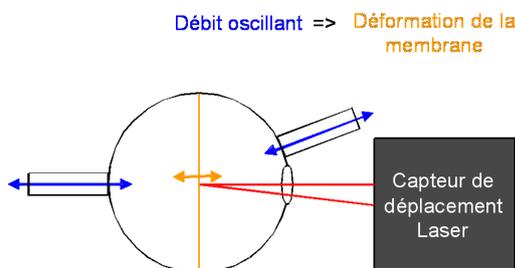
Pour réaliser ce débitmètre, on souhaite utiliser une technique nouvelle reposant sur l'utilisation d'une membrane étanche qui sera insérée dans l'écoulement. Le débit fera osciller cette membrane dont la déformée sera mesurée grâce à un capteur de déplacement (par exemple un laser). Le stagiaire se verra confier le dimensionnement de la membrane et le choix de la technique de mesure de la déformée. Il participera à la conception du dispositif ainsi qu'à son montage. Il calibrera le débitmètre et réalisera des mesures en plusieurs points d'un cryoréfrigérateur.

Compétences requises :

Des connaissances en mécanique, mécanique de fluide, thermodynamique



Principe du tube à gaz pulsé



Mesure de la déformée = mesure de débit

Principe du capteur

Contact:

Envoyer CV + lettre de motivation à :

Ivan CHARLES
04.38.78.95.43
email : ivan.charles@cea.fr

CEA/Grenoble
Service des Basses Températures
17, rue de Martyrs
38 054 Grenoble Cedex 09



PROPOSITION DE STAGE 2009

Stage Ingénieur ou Master 2

Sujet : Simulation numérique de la crise d'ébullition

Contexte du stage :

Le SBT contribue aux travaux de l'ESEME (Equipe des fluides Supercritiques pour l'Environnement, les Matériaux et l'Espace), à travers la thématique de la crise d'ébullition qui est un sujet très important pour la sécurité des réacteurs nucléaires. Outre des activités théoriques – essentiellement à l'ESPCI- il y a également des activités expérimentales dans la station « OLGA ».

Sujet confié au stagiaire :

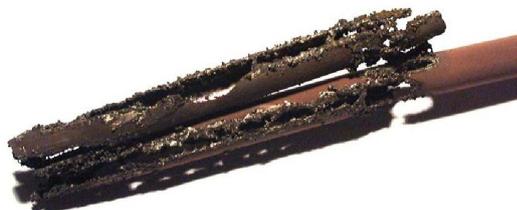


Figure 1: Effet de la crise d'ébullition sur un crayon

La crise d'ébullition est la transition entre deux régimes d'ébullition: l'ébullition nucléée (conventionnelle) et l'ébullition en film (où la totalité de la surface solide est couverte par la vapeur). Cette transition est très importante car très dangereuse pour des échangeurs industriels de chaleur (figure ci-dessous): elle peut mener à la fusion de la paroi chauffante et, mal maîtrisée, pourrait conduire à des accidents graves dans les

centrales nucléaires. Dans le cadre de ce projet nous envisageons d'étudier numériquement l'évolution temporelle de la surface libre d'une bulle de vapeur en croissance en mettant l'accent sur la dynamique de l'aire de contact de la bulle avec la paroi chauffante. Quand le flux thermique de chauffage atteint une valeur critique (Critical heat flux en anglais, CHF), l'aire de contact augmente brusquement en initiant l'étalement de la vapeur sur la paroi. Un tel étalement a été déjà obtenu numériquement (figure 2). Au

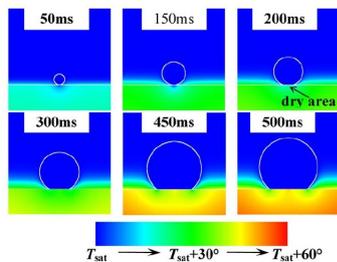


Figure 2 : simulation de l'étalement d'une goutte

Un tel étalement a été déjà obtenu numériquement (figure 2). Au cours du stage il sera analysé en variant les paramètres matériels et la géométrie de l'élément chauffant. Le code numérique est écrit en langage C et sera modifié en utilisant Microsoft Visual Studio. Ce stage, adapté à des scientifiques formés à l'énergétique physique au plan fondamental comme appliqué, permettra de familiariser le candidat aux phénomènes physiques liés à l'ébullition, aux méthodes innovantes de la simulation numérique. Le sujet est susceptible de se prolonger en thèse. L'ensemble de ce travail se fera au sein de l'Equipe des fluides Supercritiques pour

l'Environnement, les Matériaux et l'Espace (ESEME), équipe mixte CEA-ESPCI-CNRS à l'ESPCI, Paris 5ème.

Compétences requises :

Des connaissances en mécanique des fluides et transferts thermiques sont nécessaires. Une connaissance de la programmation est demandée.

Contact : Envoyer CV + lettre de motivation à :

Vadim Nikolayev

01 40 79 58 26

email : vadim.nikolayev@espci.fr

CEA-ESEME, ESPCI-PMMH,

10, rue Vauquelin

75231 Paris Cedex 05

cea

UNIVERSITE
JOSEPH FOURIER
SCIENCE TECHNOLOGIE MEDICINE

INAC
INSTITUT NANOSCIENCES
ET CRYOGENIE

sbt

PROPOSITION DE STAGE 2009

Stage Ingénieur ou Master 2

Sujet : Modélisation numérique du caloduc oscillant (pulsating heat pipe)

Contexte du stage :

Le SBT travaille sur les caloducs cryogéniques et a développé une boucle fluide à pompage capillaire. Développer un caloduc oscillant est encore impossible à ce jour du fait de l'absence de compréhension des phénomènes. C'est pourquoi on propose un stage théorique sur les caloducs pulsés. Ce stage se déroulera à l'ESPCI.

Sujet confié au stagiaire :

La gestion thermique des composants électroniques devient un des facteurs majeurs limitant leur puissance. Des moyens de transfert de chaleur de plus en plus efficaces sont recherchés. Le caloduc oscillant (Pulsating Heat Pipe, PHP en anglais) est un tube capillaire fermé plié en boucles et rempli partiellement du liquide. Une des extrémités de chaque boucle est en contact thermique avec un point chaud, l'autre avec un point froid. L'oscillation des bouchons liquides et des bulles de vapeur commence immédiatement après le début du chauffage. Les bouchons se déplacent entre les zones chaude et froide en créant un échange de chaleur très efficace entre les points chaud et froid. Cela fait du PHP l'appareil le plus efficace des caloducs. Cependant son fonctionnement n'est pas bien compris. Actuellement, il n'existe pas de moyens permettant de dimensionner un PHP, notamment un PHP fonctionnant à température cryogénique. Une modélisation numérique de PHP est donc nécessaire. Un modèle expliquant le fonctionnement d'un PHP à une boucle (une bulle, un bouchon) a été élaboré au SBT en collaboration avec le LET (Laboratoire d'Etudes Thermiques, ENSMA/Poitiers) et le CETHIL (Centre de Thermique, INSA/Lyon). Au cours de ce stage un modèle à bouchons liquides multiples sera élaboré. Le code numérique sera écrit en langage C++ en utilisant Microsoft Visual Studio. Ce stage, adapté à des scientifiques formés à l'énergétique physique au plan fondamental comme appliqué, permettra de familiariser le candidat aux phénomènes physiques liés à l'évaporation et condensation, aux méthodes innovantes de la simulation numérique. Le sujet est susceptible de se prolonger en thèse. L'ensemble de ce travail se fera au sein de l'Equipe des fluides Supercritiques pour l'Environnement, les Matériaux et l'Espace (ESEME), équipe mixte CEA-ESPCI-CNRS à l'ESPCI, Paris 5ème.

Compétences requises :

Des connaissances en mécanique des fluides et transferts thermiques sont nécessaires. Une connaissance de la programmation est demandée.

Contact :

Envoyer CV + lettre de motivation à :

Vadim Nikolayev

01 40 79 58 26

email : vadim.nikolayev@espci.fr

CEA-ESEME, ESPCI-PMMH,

10, rue Vauquelin

75231 Paris Cedex 05



II. Cryogénie pour la fusion inertielle

2.1 Le projet Laser Méga Joule (LMJ) (<http://www-lmj.cea.fr/html/cea.htm>)

En 1996 la France a ratifié le Traité d'interdiction des essais nucléaires. S'étant engagée à ne plus tester les armes de la dissuasion, elle devait alors se doter d'un outil pour en assurer la pérennité. C'est tout l'enjeu du programme Simulation. Le Laser Mégajoule est un élément clé ce programme. Pour la première fois nous serons capables de recréer en laboratoire des conditions proches de celles rencontrées lors d'une explosion thermonucléaire. Les expériences réalisées avec le LMJ permettront de valider les modèles numériques. Une expérience caractéristique sera l'implosion par ce puissant laser d'une microbille remplie d'hydrogène dans laquelle nous pourrions atteindre les conditions de pression et température nécessaires au déclenchement des réactions de fusion thermonucléaire. Pour que ces expériences soient réalisables l'hydrogène, qui est gazeux à l'état naturel, doit être sous forme solide à l'intérieur de la microbille et ce gaz se solidifie à -255°C . C'est ici que le Service des Basses Températures du CEA intervient. Dès leur fabrication sur le centre de Valduc en Bourgogne, les cibles sont conditionnées à une température cryogénique de (-250°C) pour que l'hydrogène soit liquide. Dès cet instant, la chaîne du froid ne doit plus être rompue si l'on veut conserver aux cibles toute leur intégrité. Ensuite elles sont transportées vers Bordeaux où se trouve le laser dans une valise cryogénique toujours à -250°C . Là des robots froids vont transférer la cible au centre de la chambre expérimentale de 10 mètres de diamètre et ils vont la positionner avec une précision de quelques millièmes de millimètres (Figure 2.1). A cet instant nous entrons dans la phase finale de préparation du microballon, et nous devons solidifier l'hydrogène liquide très lentement avec une vitesse de $1/1000$ de degré par minute et une fois cet hydrogène solidifié à -255°C nous devons maintenir cette température au millième de degré près jusqu'au moment du tir laser. De tels défis (et le Mégajoule n'en manque pas) poussent les techniques cryogéniques dans leurs derniers retranchements; il y a 10 ans aucune des technologies utilisées n'existait et nous n'avions aucune idée ni des solutions à apporter ni des problèmes que nous allions rencontrer sur notre chemin. Aujourd'hui le projet est en bonne voie et il va entrer dans sa phase finale de réalisation. En particulier les prototypes des cryostats qui doivent être installés dans la chambre de réaction ont été réalisés et sont en début d'exploitation au CEA CESTA à Bordeaux (Figure 2.2). La construction des cryostats définitifs, compatible avec l'ambiance nucléaire, pourra bientôt commencer.

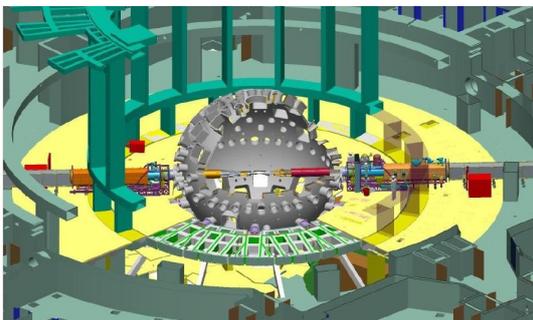


Figure 2.1 : une vue du LMJ : au centre la chambre, dans laquelle on introduit deux bras cryogéniques l'un pour supporter la cible, l'autre pour enlever l'écran de celle-ci avant le tir.



Figure 2.2 : le prototype du bras cryogénique qui positionnera la cible, en test au SBT

cea

UNIVERSITÉ
JOSEPH FOURIER
SCIENCE TECHNOLOGIE MÉTIERS

INAC
INSTITUT NANOSCIENCES
ET CRYOGÉNIE

sbt

2.2 Le projet Hiper (<http://www.hiper-laser.org/>).

La route vers un réacteur à fusion inertielle est certes encore longue (la perspective est plus lointaine que ne l'est celle d'un réacteur à fusion magnétique, dont ITER est le prototype), mais dès à présent les physiciens de la fusion inertielle se posent la question de la production d'énergie à des fins pacifiques par le biais de la fusion inertielle. En Europe le projet Hiper (Figure 2.3), qui fait partie de la feuille de route des Grandes Installations de Recherche Européennes (ESFRI) en est au stade de l'Etude Conceptuelle. Le scénario envisagé pour atteindre la fusion thermonucléaire est légèrement différent de celui adopté pour le LMJ, puisqu'il s'agit d'une attaque directe de la cible par des faisceaux lasers, suivi d'une ignition rapide provoquée par l'irradiation de cette cible par un laser Petawatt. Dans ce cadre le Service des Basses températures, fort de son expérience dans la cryogénie des cibles pour le projet LMJ, est chargé d'étudier le type de cible et quelle cryogénie sera nécessaire pour réaliser l' « ignition rapide ». Des calculs thermiques extrêmement pointus sont nécessaires (Figure 2.4).

2.3 Stages proposés

Le service propose un stage concernant le projet HiPER, et un stage concernant le contrôle commande d'un cryostat qui s'inscrit dans le projet LMJ.



Figure 2.1 : une vue du LMJ : au centre la chambre, dans laquelle on introduit deux bras cryogéniques l'un pour supporter la cible, l'autre pour enlever l'écran de celle-ci avant le tir.

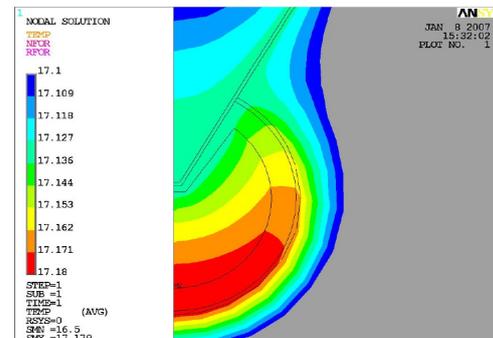


Figure 2.2 : le prototype du bras cryogénique qui positionnera la cible, en test au SBT

PROPOSITION DE STAGE 2009

Stage Ingénieur ou Master 2

Sujet : Simulation des conditions de stabilité thermique d'une cible cryogénique pour le projet de fusion inertielle HiPER

Contexte du stage :

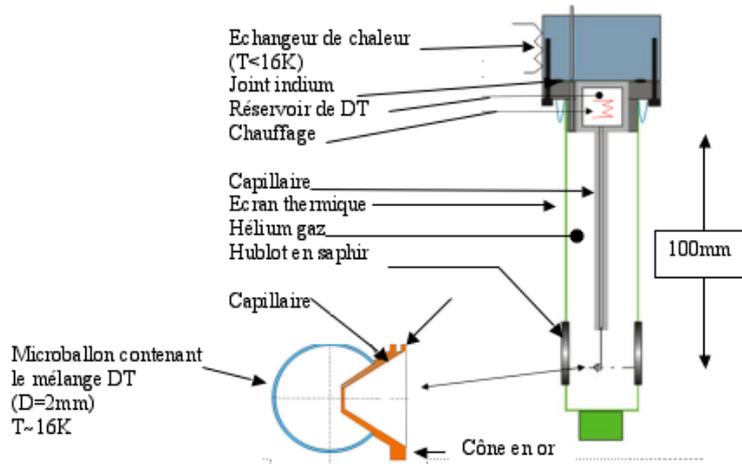


Schéma de la cible cryogénique

Le SBT travaille depuis des années sur les cibles cryogéniques pour le projet LMJ. Un nouveau projet dans le domaine de la fusion inertielle est au stade de l'étude conceptuelle : il s'agit du projet HiPER dont l'objectif est d'être une étape vers le réacteur producteur d'énergie par fusion inertielle.

Sujet confié au stagiaire :

Dans le cadre du projet HiPER (High Power Energy Reactor), le CEA/Grenoble/INAC/SBT est chargé d'étudier le design de la cible cryogénique sur laquelle seront focalisés 40 faisceaux laser. Cette cible est un microballon de 2mm de diamètre en polystyrène équipé d'un cône en or. Elle sera remplie avec un mélange DT (Deutérium et Tritium) par un capillaire de 100 μ m. Le refroidissement de la cible est assuré par du gaz (hélium) qui transfère la chaleur de la cible dans un régime de conduction/convection à un écran thermique (plus froid que la cible) qui l'enveloppe. La température du mélange DT doit atteindre 16K. A cette température le mélange est sous forme solide. Tout l'enjeu est de réaliser une couche de DT solide d'épaisseur identique sur la face interne du microballon. Pour cela il est nécessaire de créer un environnement isotherme autour du microballon en jouant sur la pression d'hélium, sur la géométrie de l'écran thermique et en plaçant judicieusement des petits éléments chauffants.

Dans un premier temps, l'élève devra réaliser le maillage de la cible à partir d'un plan SolidWorks puis calculer le champ de température du microballon en régime permanent. Il devra ensuite rechercher le moyen d'obtenir la meilleur isothermie possible du microballon. Les calculs se feront avec le code ANSYS/CFX. Une description de la cible cryogénique est présentée sur la figure ci-dessous.

Compétences requises :

Ce stage est réservé à un élève qui a de bonnes connaissances dans le domaine des transferts thermiques et en calcul numérique.

Contact :

Envoyer CV + lettre de motivation à :

Roser Vallcorba – Tel. 04 38 78 97 25 – Email : roser.vallcorba-carbonell@cea.fr

Denis Chatain – Tel 04 38 78 5028 - Email : denis.chatain@cea.fr

CEA Grenoble/INAC-SBT

17, rue des Martyrs

38054 Grenoble Cedex 9

cea

UNIVERSITÉ
JOSEPH FOURIER
SCIENCE TECHNOLOGIE MÉTIERS

INAC
INSTITUT NANOSCIENCES
ET CRYOGÉNIE

sbt

PROPOSITION DE STAGE 2009

Stage Ingénieur ou Master 2

Sujet : Etude d'une régulation multivariable des cibles cryogéniques du Laser MegaJoule au mK en présence de retard variable

Contexte du stage :

Le Service des Basses Températures développe des solutions pour assurer le transfert à basse température (20K) des cibles cryogéniques du Laser Mégajoule (LMJ) depuis le CEA Valduc (Dijon) au centre chambre de l'installation situé au CEA Cesta (Bordeaux). Pour la mise au point des process de fabrication des cibles cryogéniques le SBT développe un cryostat (Machine produisant du froid) nommé MVT (Module de Validation Thermique). Cette machine, refroidie par des tubes à gaz pulsé, doit assurer une régulation de la cible au mK (milli Kelvin) à 20K.

Sujet confié au stagiaire :

Afin d'assurer la régulation au millikelvin, le groupe GE4C du SBT (Electronique Conception Cryogénique et Contrôle Commande) a développé un système de régulation multi variables (2 entrées deux sorties) LQR basé sur un modèle Simulink. Sur la future machine MVT, le système de refroidissement engendre des perturbations sinusoïdales à 2 Hz liées au fonctionnement du tube à gaz pulsé. Une pré étude a démontré sur un simulateur qu'une commande H infini permet d'atténuer ces perturbations avec un process sans retard mais la commande est très sensible à la variation de retard process (le retard lié à l'architecture peut varier d'un facteur 2).

L'étude proposée a pour objectif de développer une commande prenant en compte l'incertitude du retard, tout en restant programmable sur le système de régulation actuel (2 mesures de températures, 2 chauffages, échantillonnage 80ms)

Le travail demandé sera décomposé en trois phases :

1°) Quantification des variations des différents paramètres du modèle (résistance de contact, chaleur spécifique, retard) en fonction de la température sur la plage de fonctionnement du régulateur.

2°) Etude et mise au point prenant en compte les contraintes suivantes

- régulation au mK
- prise en compte d'une perturbation sinusoïdale
- variation importante du retard
- garantir la robustesse de la commande

3°) Elaboration d'un algorithme programmable pour le système réel développé par le SBT

Compétences requises :

Ce stage est adapté à des étudiants formés à l'automatique et ayant des connaissances en programmation sur micro contrôleur.

Contact : Envoyer CV + lettre de motivation à :

Patrick Bonnay – Tel 04 38 78 45 30

email : patrick.bonnay@cea.fr

CEA Grenoble/INAC-SBT

17, rue des Martyrs

38054 Grenoble Cedex 9



III Grande Réfrigération et Thermohydraulique de l'hélium Normal et Superfluide.

3. 1 Réfrigération des grands instruments.

Ce domaine est au cœur de la vocation du Service des Basses Températures. En effet depuis les années 1980 le SBT a abondamment travaillé sur le système cryogénique des tokamaks: d'abord Tore Supra à Cadarache (années 80), puis le projet ITER (de 97 à aujourd'hui, figure 3.1), et enfin le projet JT 60 SA (de 2006 à aujourd'hui, figure 3.2), qui est un projet nippo-européen de tokamak entièrement supraconducteur.

En dehors de la fusion magnétique le SBT a beaucoup contribué à la validation du système de refroidissement (He superfluide) du LHC (1990-2006, figure 3.3) qui vient d'entrer en fonctionnement le 10 septembre 2008, ainsi qu'à la réfrigération à 1,8 K: mesure des pertes de charge d'un écoulement d'hélium superfluide, bilan thermique complet d'un écoulement d'hélium superfluide diphasique dans un échangeur (expérience « Cryoloop » figure 3.4), participation à la spécification, à l'installation, au contrôle qualité des unités de réfrigération 1,8 K (figure 3.5) ont été les principales tâches du SBT dans le cadre du projet LHC.

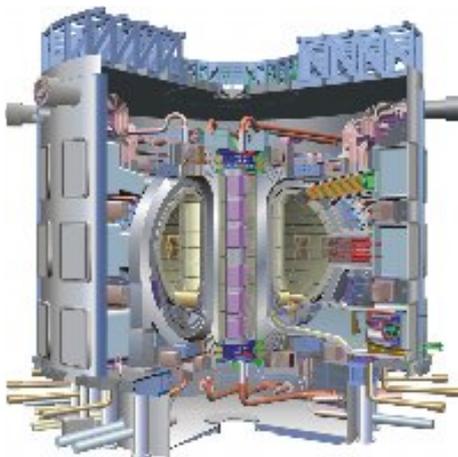


Figure 3.1 : le tokamak ITER

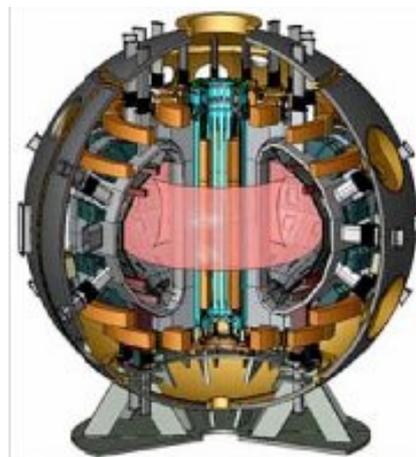


Figure 3.2 : le tokamak JT60 SA

En dehors de la fusion magnétique le SBT a beaucoup contribué à la validation du système de refroidissement (He superfluide) du LHC (1990-2006, figure 3.3) qui vient d'entrer en fonctionnement le 10 septembre 2008, ainsi qu'à la réfrigération à 1,8 K: mesure des pertes de charge d'un écoulement d'hélium superfluide, bilan thermique complet d'un écoulement d'hélium superfluide diphasique dans un échangeur (expérience « Cryoloop » figure 3.4), participation à la spécification, à l'installation, au contrôle qualité des unités de réfrigération 1,8 K (figure 3.5) ont été les principales tâches du SBT dans le cadre du projet LHC.



Figure 3.3 : le LHC : un anneau de 27 km avec 1700 aimants refroidis à l'hélium superfluide à 1,9 K



Figure 3.4 : l'expérience « Cryoloop » couplée au réfrigérateur 1,8 K du SBT



Figure 3.5 : descente d'une unité de réfrigération 1,8 K dans le tunnel du CERN

Pour ses besoins de R&D le SBT dispose d'une station de réfrigération de forte puissance: la station dite « 400W à 1,8 K » qui permet de refroidir des expériences de grande ampleur jusqu'à 1,5 K (la figure 3.4 montre, au premier plan, la boîte froide de ce réfrigérateur). Cette station a permis de valider certains aspects du refroidissement du LHC, et elle nous permet d'étudier également le comportement d'un grand réfrigérateur couplé à des installations de type « fusion magnétique » (telles JT 60 SA) dans lesquelles les charges thermiques sont fortement variables.

1.2 Turbulence cryogénique.

Ce grand réfrigérateur représente également, pour la communauté scientifique européenne des physiciens/mécaniciens de la turbulence un grand intérêt: en effet à l'intérieur d'une gamme étroite de température (entre 2,17 et 5,2 K) l'hélium présente des particularités extraordinaires (Figure 3.6): une transition de phase entre hélium normal et hélium superfluide ($T=2,172\text{ K}$ à $p=0,05\text{ bar}$), et un point critique à ($T=5,2\text{ K}$ à $p=2,23\text{ bars}$), ainsi qu'une viscosité cinématique très faible (Figure 3.7). Ces propriétés exceptionnelles permettent, dans cette gamme, de produire des écoulements extrêmes en terme de nombres de Reynolds et de Rayleigh

$$R_C = \frac{uL}{\nu} \text{ et } R_a = \frac{g\alpha\Delta TH^3}{\nu\kappa}$$

où :

- u est une vitesse caractéristique de l'écoulementL,
- H sont des longueurs/hauteurs caractéristiques de l'écoulement
- v la viscosité cinématique,
- α le coefficient de dilatation thermique volumique,
- κ la diffusivité thermique
- ΔT la différence de température fluide-paroi

Depuis 4 ans déjà, avec le support de la région Rhône Alpes et celui de l'ANR et en collaboration étroite avec le CNRS, le LEGI, l'UJF et l'ENS Lyon, le SBT travaille dans le domaine de la turbulence cryogénique, et en particulier la turbulence de grille, en offrant à la communauté scientifique nationale une veine d'essai générant un Reynolds de 107. Cette boucle d'essai (appelée TSF, figure 3.8) est refroidie par le réfrigérateur 400 W et permet d'étudier les propriétés d'un écoulement turbulent, suivant que l'on travaille en hélium normal ou en hélium superfluide : dans ce dernier cas les mécanismes dissipatifs sont principalement la reconnexion de vortex, et non plus la dissipation visqueuse. On attend de ces mesures des informations précieuses sur l'influence des mécanismes dissipatifs sur le comportement de la turbulence à l'échelle inertielle.

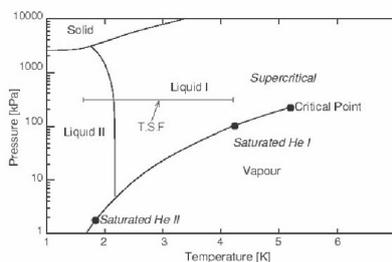
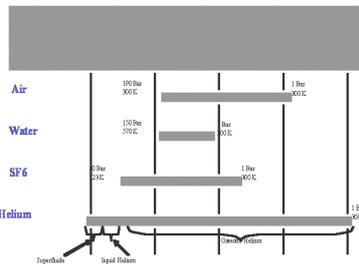


Figure 3.6 Loi d'état de l'hélium aux basses températures



3.7 Viscosité de l'hélium comparée aux autres fluides



3.8 Veine d'essai de l'expérience « TSF »

1.3 Propositions de stage.

Le SBT propose deux stages dans cette thématique, l'un sur les aspects thermohydrauliques des écoulements d'hélium supercritiques pour le projet JT 60 SA, l'autre sur certains aspects expérimentaux pour la turbulence.

PROPOSITION DE STAGE 2009

Stage Ingénieur ou Master 2

Sujet : Caractérisation d'un banc de test d'instruments dédiés à la turbulence superfluide

Contexte du stage :

Les écoulements turbulents à grand nombre de Reynolds ne peuvent pas être simulés de manière exacte du fait de la puissance de calcul qui serait requise. Les petites échelles sont donc approchées par des modèles qui nécessitent d'être validés et affinés par l'expérience. En turbulence cryogénique, nous tirons parti de la très faible viscosité cinématique de l'hélium à basse température (entre 1.5 K et 4.2 K), pour produire de grands Reynolds dans des dispositifs de laboratoire. Le second intérêt de l'hélium réside dans l'étude de sa phase superfluide apparaissant en dessous de 2,17 K.

Les propriétés observées de l'hélium sont alors radicalement différentes tant du point de vue du transport de la chaleur (le mode le plus efficace est un processus de propagation et non de diffusion) que de la quantité de mouvement (viscosité nulle dans certaines conditions).

Le CEA/SBT est impliqué avec divers instituts de recherche Français dans des programmes nationaux (ANR) et développe également des collaborations internationales (CEA/SBT a proposé sa Plateforme Thermohydraulique Hélium comme infrastructure de recherche en turbulence lors d'un dépôt d'I3 en 2008) sur cette thématique.

Sujet confié au stagiaire :

L'étude de ces écoulements d'hélium liquide pose un défi technologique instrumental important qui peut se résumer à deux obstacles principaux :

- l'instrumentation doit être adaptée aux conditions extrêmes de fonctionnement.
- elle doit de plus être miniaturisée afin de répondre aux fluctuations à très petite échelle, inhérentes aux grands nombres de Reynolds.

Pour tester les instruments, nous avons programmé la réalisation d'une boucle de test (la version actuelle est présentée en ci-dessous), dispositif constitué d'un jet d'hélium liquide sous refroidi pouvant fonctionner entre 1,5 K et 4 Kelvin. L'objet du stage proposé sera, dans une première phase, d'achever le montage de ce dispositif et de caractériser ses performances en terme hydraulique (débit, pertes de charge ...). Puis le stagiaire réalisera les premières mesures de vitesse sur le jet cryogénique afin de caractériser la chambre d'essais, de la comparer aux expériences classiques à température ambiante et d'effectuer une comparaison entre phase normale et superfluide de l'hélium. Possibilité de poursuite en thèse.

Compétences requises :

Des connaissances en mécanique des fluides et transferts thermiques sont indispensables. Ce stage s'adresse par ailleurs à une personne désireuse de développer des compétences d'expérimentateur, notamment en cryogénie. Enfin, le candidat devra faire preuve de rigueur et d'autonomie.

Contact : Envoyer CV + lettre de motivation à :

Pantxo DIRIBARNE - Tél.: 04 38 78 69 79- Email : pantxo.diribarne@cea.fr

Bernard ROUSSET – Tel. 04 38 78 59 59 – Email : bernard.rousset@cea.fr

CEA Grenoble/INAC-SBT

17, rue des Martyrs

38054 Grenoble Cedex 9



PROPOSITION DE STAGE 2009

Stage Ingénieur ou Master 2

Sujet :

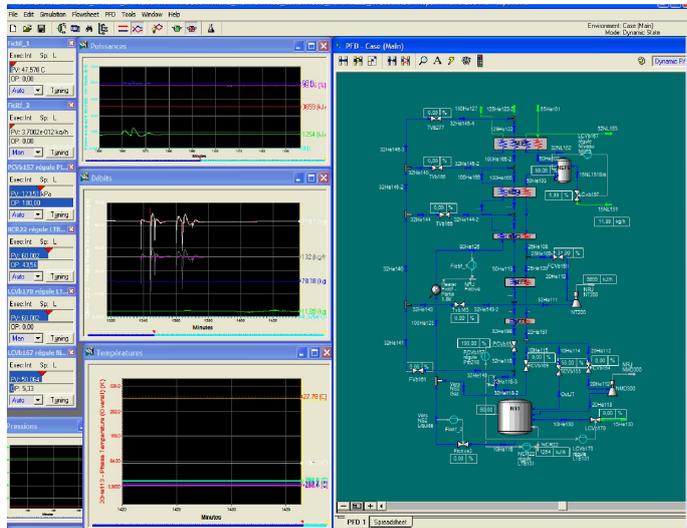
Simulation et modélisation du système cryogénique pour le futur tokamak du fusion JT60-SA

Contexte du stage :

Dans le cadre de l'approche élargie au projet international ITER, la France a en charge la fourniture du système cryogénique pour le futur tokamak de fusion nucléaire JT60-SA qui sera réalisé au Japon. Plusieurs services de la Direction des Sciences de la Matière du CEA sont impliqués dans l'étude et la réalisation des systèmes magnétiques et cryogéniques. Ce futur tokamak supraconducteur utilisera des bobines supraconductrices refroidies par une circulation d'hélium supercritique à environ 4.5 Kelvin. Le Service des Basses Températures du CEA Grenoble, spécialisé dans le domaine de la cryogénie, dispose d'outils numériques et de modèles permettant de simuler la circulation d'hélium dans les circuits de refroidissement des bobines.

Sujet confié au stagiaire :

Le stagiaire aura en charge la réalisation d'un modèle numérique représentatif de l'ensemble des circuits de refroidissements des bobines. Cette modélisation se fera grâce un code de simulation instationnaire adapté à l'hélium à températures cryogéniques. Un tel code nous a servi à étudier le fonctionnement en régime variable de certains composants du réfrigérateur 400W du CEA/SBT (Figure ci-dessous, partie droit de la figure).



Par la suite, ce modèle numérique sera utilisé afin de simuler les différents scénarios plasma envisagés lors de l'opération du tokamak.

L'objectif de ce travail étant de déterminer les charges thermiques temporelles provenant des systèmes magnétiques et arrivant sur l'usine cryogénique pour des modes de fonctionnement normaux ou « anormaux ».

Compétences requises :

Des connaissances en mécanique des fluides et transferts thermiques sont indispensables. Ce stage demande par ailleurs des compétences en modélisation et en calcul scientifique. Le candidat devra faire preuve de rigueur et d'autonomie.

Contact : Envoyer CV + lettre de motivation à :

Frédéric MICHEL - Tél. : 04 38 78 91 40 - Email : frederic.michel@cea.fr

Pascal ROUSSEL – Tel. 04 38 78 45 24 – Email : pascal.rousseau@cea.fr

CEA Grenoble/INAC-SBT

17, rue des Martyrs

38054 Grenoble Cedex 9

