

CONTRÔLE THERMODYNAMIQUE D'ERGOL CRYOGÉNIQUE EN RÉSERVOIR

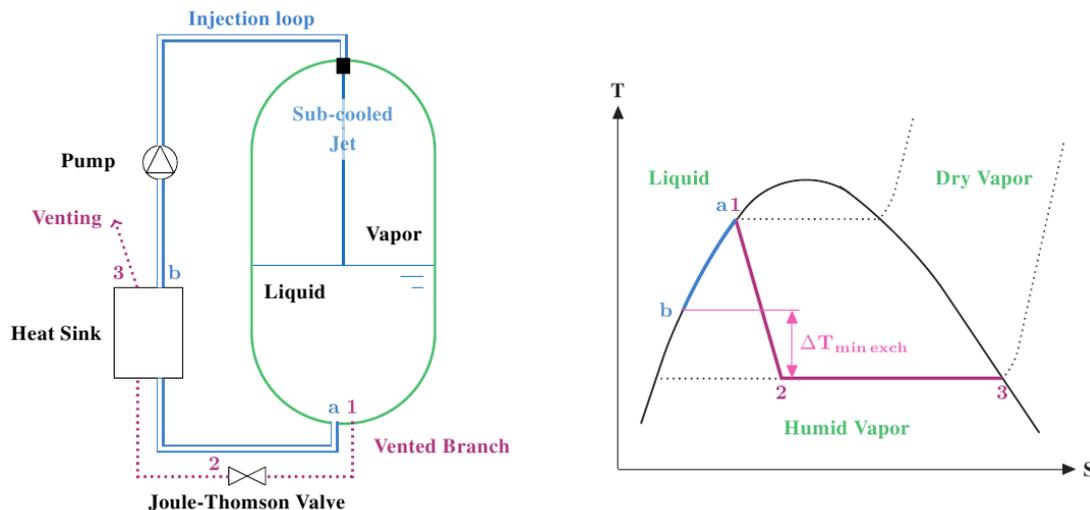
Allocation de recherche doctorale CNES

Calendrier : candidature (fin mars 2016) début de contrat (automne 2016)

Contexte

Les projets de lanceurs spatiaux propulsés par des moteurs cryotechniques ayant des temps de mission importants (jusqu'à quelques semaines) nécessitent une gestion des ergols (hydrogène et oxygène liquide) dans des réservoirs soumis à des entrées thermiques indésirables. Au sein d'un réservoir, en phase balistique soumis à une faible gravité, il s'opère une stratification thermique de la phase vapeur mais aussi de la phase liquide de l'ergol qui accentue l'évaporation à l'interface liquide-gaz et par conséquent la pressurisation. Par contre en gravité nulle, le bain liquide se concentre sur les parois du réservoir, sous l'effet des forces de tension de surface, alors que le « ciel » de vapeur se retrouve au centre. Ces conditions fluctuantes rendent complexes la définition et ensuite l'évaluation d'un système de contrôle en pression des ergols.

Une des solutions envisageables pour le contrôle consiste à injecter dans le « ciel » gazeux l'ergol liquide sous forme de jet ou de « spray » avec en outre, un refroidissement optionnel de cet ergol liquide. Ce mode de contrôle est désigné sous l'appellation générique de « Thermodynamic Vent Systems » (TVS).



Lors des phases précédentes du projet mené au LEGI avec le soutien du CNES et d'Air-Liquide, une expérience de contrôle thermodynamique a été conçue et réalisée. Elle utilise un fluide de similitude des ergols qui, à pression atmosphérique, se vaporise à 50°C. Le développement d'une méthode originale d'isolation active garantit à ce jour une excellente maîtrise des conditions de paroi. La mesure de la distribution verticale des températures du fluide (vapeur et liquide) permet de caractériser la stratification thermique pendant les phases d'auto pressurisation et de contrôle.

Une première modélisation portant sur les équations bilan modèle 0D dépendant du temps a été menée en parallèle à la réalisation de l'expérience dans le but d'optimiser le dispositif TVS. Des indices de performance ont été construits pour quantifier les gains potentiels du système de contrôle. Ce modèle permet de prédire avec une justesse satisfaisante les temps caractéristiques des transitoires de refroidissement ainsi que les potentiels états d'équilibre. Il ne permet pas cependant de quantifier la stratification thermique.

Pour ces raisons un volet de simulation numérique fine a été mis en œuvre. Les modèles de transfert de chaleur et de masse sur lesquels reposent les solveurs CFD du commerce se sont avérés non pertinents pour mener une étude prédictive (sans calage) de l'état thermique du fluide aux conditions de l'expérience. Ils sont tout aussi peu appropriés à un calcul prédictif de ce même état pour le fluide réel (ergol cryotechnique) en microgravité. Un solveur capable de prédire le transfert de chaleur et de masse à l'interface liquide vapeur aussi bien dans les cas d'ébullition que de condensation a donc été développé. La démarche repose sur un calcul direct du transfert de masse à partir du flux de chaleur à

l'interface liquide-vapeur et sur une description raide de cette interface, notamment par le biais d'une équation de raidissement.

Le Doctorat proposé comporte deux volets :

- Au plan expérimental, la base de données destinée à la validation des modèles sera complétée. L'objectif est de préciser le rôle joué par la configuration du jet (son degré d'atomisation) sur la dynamique et l'efficacité du contrôle. Les expériences seront également réalisées pour préciser la sensibilité de cette dynamique au conditionnement thermique du jet (température fixée, différence de température fixée).

- Au plan de la modélisation-simulation des transferts de chaleur aux interfaces le modèle précédemment validé sur des configurations académiques sera implémenté au sein du solveur YALES2 permettant de simuler des configurations réalistes d'écoulement turbulent par Simulation des Grandes Echelles (SGE). Cette action sera menée en étroite collaboration avec l'équipe MOST du LEGI (G. Balarac et G. Ghigliotti) qui possède une forte expérience de développement et de mise en œuvre de ce solveur pour la simulation d'écoulements diphasiques. La configuration visée dans un premier temps est l'auto-pressurisation du réservoir étudié expérimentalement et son contrôle TVS afin de s'appuyer sur la base de données expérimentales désormais disponible. La simulation du dispositif mettant en jeu le fluide réel en microgravité sera menée dans un second temps.

Laboratoire d'accueil :

Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels (LEGI)
Université Grenoble Alpes, (UMR 5519)
1209-1211 rue de la piscine
Domaine Universitaire
38400 Saint Martin d'Hères

Contacts :

LEGI
THIBAULT Jean-Paul
jean-paul.thibault@legi.cnrs.fr
Tel : (33)4 76 82 50 33

LMFA
CORRE Christophe
christophe.corre@ec-lyon.fr
Tel : (33)4 72 18 61 38

Site CNES :

<https://cnes.fr/fr/les-ressources-humaines-du-cnes/contrôle-thermodynamique-dergol-cryogenique-en-reservoir>