DU LABORATOIRE GEMAC À L'ESPACE : 20 ANS D'HISTOIRE DU PROPULSEUR INNOVANT POUR SATELLITES MINIATURES

Retour sur l'incroyable épopée du Petit Propulseur Innovant (PPI) et de son successeur le µ-PPI, dont les prototypes ont été inventés, conçus et réalisés au GEMaC.

Test de mise à feu du µ-PPI

Quelques enjeux de la propulsion spatiale de petits satellites

Depuis 1999, un nouveau concept de nano-satellite de 1 dm3, dénommé CubeSat, a été introduit à l'initiative de CalTech et de l'Université de Stanford. Ce concept était destiné à faire des démonstrateurs technologiques et à former des étudiants aux problématiques spatiales, avec des coûts modérés. Divers programmes, scientifiques ou techniques, basés sur des CubeSats ont été mis en œuvre dans le monde. Cependant, un certain nombre de ces projets sont limités par l'absence de moyen de propulsion embarqué sur

les CubeSats. En effet, par conception, les CubeSats sont des objets balistiques dont la trajectoire ne dépend que des conditions initiales (altitude et vitesse) et du frottement de l'atmosphère ambiante quand l'altitude devient suffisamment basse. S'ils étaient pourvus d'un propulseur, celui-ci pourrait participer au contrôle d'attitude, à des corrections ou changements d'orbite, à des rendez-vous, à des missions lointaines, voire à la désorbitation contrôlée pour satisfaire à la loi française sur les objets dans l'espace, LOS (2008).

Qu'est-ce qu'un propulseur spatial à effet Hall (Hall Effect Thruster, HET) ?

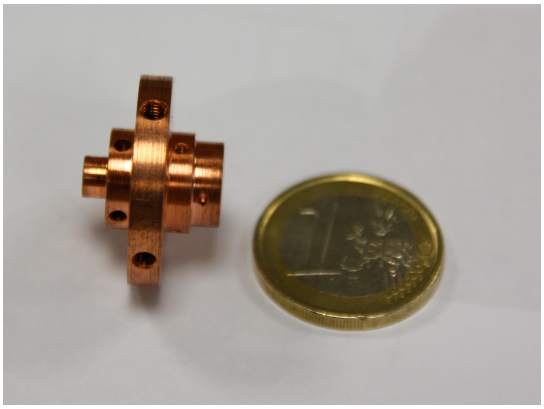
Proposé il y a plus de 100 ans par le physicien américain R. H. Goddard, le concept de propulsion électrique a été développé par des chercheurs russes sous la direction de A. I. Morozov dans les années 70. Il s'agit d'un propulseur qui exploite un champ électrique pour accélérer des ions de gaz qui produisent une poussée. Dans le propulseur dit à effet Hall, c'est le champ magnétique, produit généralement par des bobines électriques, qui est utilisé pour piéger les électrons qui ionisent le gaz. Ceci permet d'augmenter l'efficacité d'ionisation et in fine réduire le poids de module de propulsion.

La proposition innovante de HET et la preuve de concept issues du GEMaC

Grâce à ses compétences en magnétisme, Marcel Guyot, chercheur CNRS dans un des laboratoires ancêtres du GEMaC, est invité dans les années 2000 à faire partie du Groupement de Recherche (GdR) Propulsion associant plusieurs équipes du CNRS et des Universités, l'ONERA, le CNES et la SNECMA, pour l'étude des propulseurs spatiaux à effet Hall. Son savoir est nécessaire pour déterminer la distribution du champ magnétique dans un propulseur à effet Hall. Rapidement, Marcel propose de remplacer le circuit électrique - qui contrôle le confinement de particules chargées - par un circuit magnétique basé sur des aimants permanents. Ceci permet de réduire fortement l'encombrement et le poids du propulseur. Les innovations suivantes ont lieu grâce à la mise en commun d'expertises présentes au laboratoire. En effet, les chercheurs et les ingénieurs du GEMaC sont spécialistes à la fois en magnétisme, matériaux et circuits magnétiques, en céramiques mais aussi en mécanique et techniques du vide. Sous la direction de Marcel Guyot, ces expertises combinées permettent de réduire la taille du propulseur et réaliser le HET le plus petit au monde, ainsi que d'ajouter une fonctionnalité de contrôle de la poussée, a priori impossible avec les aimants permanents. Les tout premiers tests – couronnés de succès – de mise à feu du micro-propulseur ont lieu au GEMaC le 6 février 2014 dans une enceinte à vide développée pas les ingénieurs du

laboratoire. Suite à cela, le travail remarquable de l'atelier mécanique du GEMaC, dirigé par Stéphane Denise, allié aux compétences en mesures physiques de Marcel Guyot et en collaboration avec des étudiants de l'École Polytechnique, donne lieu à la construction de la balance de mesure de micro-poussée qui permet de quantifier la force de propulsion.

Marcel Guyot durant les tests



Vue d'échelle du µ-PPI

Vers les applications

Le développement de ce micro-propulseur est accompagné par le CNRS au moyen du programme « Incitation pour l'Innovation » de l'Institut de Physique en 2014. Cet accompagnement permet ensuite au CNRS et à l'UVSQ de présenter un projet de maturation à la SATT Paris-Saclay, conjointement avec la plateforme d'intégration et de tests (PIT) de l'OVSQ. Le projet est sélectionné fin 2015 et démarre en juillet 2016. S'ensuit la création, en 2017, d'une start-up Exotrail qui est aujourd'hui l'une des startups deeptech les plus prometteuses du « New Space » français et qui vient de lever 11 millions d'euros pour le développement et la commercialisation de systèmes de propulsion spatiale.
> Exotrail, la success story d'une start up deeptech qui a failli ne jamais voir le jour

En savoir plus :

- Lien Fait marquant GEMaC inspiré de l'Actualité INP du 12/06/2012 (pdf)
- Actualité de la recherche et de l'innovation de l'UVSQ, parue en 2016
- CNRS la lettre d'innovation du 15/11/2018
- Actualité Université ParisSaclay du 02/12/2020
- Start-up Exotrail

Crédits images : *©S. Denise - GEMaC UVSQ/CNRS*