

FEUILLET DE POLITIQUE TECHNIQUE DU CNES

PROPULSION DES VÉHICULES SPATIAUX

SE MOUVOIR ET (RÉ)AGIR DANS L'ESPACE



© Eric Forterre / Safran

DÉCEMBRE 

Objectif des feuillets de politique technique

Les Feuillets de Politique Technique visent à éclairer l'écosystème spatial sur les orientations techniques du CNES et sur les actions qu'il entend mener à court et moyen terme, conformément à ses priorités stratégiques et techniques. Fruit d'une réflexion collective, ils s'appuient sur une concertation étroite avec les acteurs industriels et académiques nationaux, tout en s'inscrivant dans le cadre des programmes technologiques européens.

Conçus dans un esprit partenarial, ces Feuillets invitent l'écosystème à contribuer activement à leur enrichissement à travers un dialogue stratégique ouvert avec le CNES.

Ils embrassent l'ensemble des technologies et des techniques spatiales, dans le respect strict des règles de diffusion de l'information.

Porté par une dynamique d'amélioration continue au service de l'écosystème spatial français, le CNES, à travers cette initiative, affiche une ambition claire : affirmer la place de la France parmi les leaders mondiaux, en s'appuyant sur la force et la cohésion du collectif national.

ORIENTATIONS
TECHNIQUES

AFFIRMER
LA PLACE DE
LA FRANCE PARMI
LES LEADERS
MONDIAUX

ESPRIT
PARTENARIAL

Retrouvez les Feuillets de Politique Technique du CNES

<https://cnes.fr/entreprises/orientations-techniques>



Le contexte

Le secteur spatial connaît des évolutions majeures avec l'essor des constellations de satellites, l'émergence de la mobilité orbitale, les missions d'exploration et les enjeux de durabilité. La propulsion, qu'elle soit électrique ou chimique, joue un rôle clé dans ces avancées que le CNES a toujours accompagnées. Concernant la faible puissance, l'émergence du New Space et de nouveaux acteurs a également contribué à répondre aux nouveaux besoins de l'écosystème.

Propulsion électrique

Dès les années 60, la France a investi dans la propulsion électrique estimant qu'il ne fallait pas rester en retrait par rapport aux autres puissances mondiales qui travaillaient sur le sujet. Ce pari a été gagnant car aujourd'hui et depuis les années 2010 on assiste à un essor de cette technologie qui permet de gagner en efficacité de consommation d'ergol quelle que soit la gamme de puissance.

Parmi les programmes précurseurs on pourra citer la sonde Smart 1 (de la Terre à la Lune avec 80kg d'ergols) équipée du PPS®1350 développé par Safran Spacecraft Propulsion mais aussi

Alphasat actuellement en activité sur l'orbite GEO depuis 2012.

La France est devenue avec son écosystème industriel un acteur incontournable sur cette technologie dans le cadre des programmes d'électrification des filières (EurostarNEO et SpacebusNEO puis plus récemment Onesat et SpaceInspire), le 1er satellite électrique européen E172B équipé de propulseurs à effet Hall PPS®5000 développés par Safran Spacecraft Propulsion avec le support du CNES ayant été lancé en 2017.

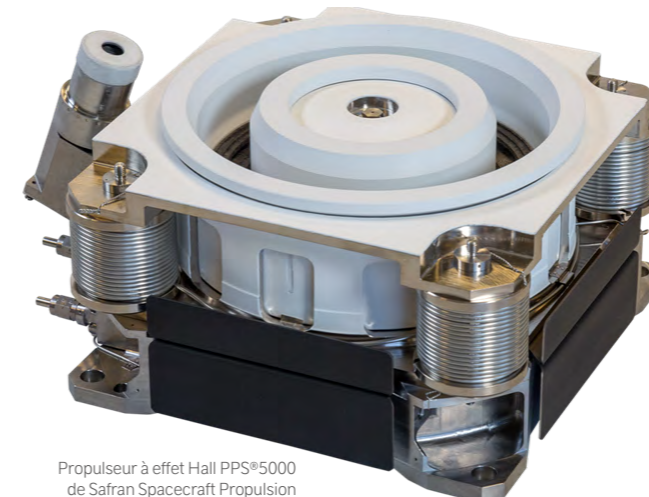
Propulsion chimique

Les développements en propulsion chimique orbitale en France ont connu un fort ralentissement durant les deux premières décennies du XXI^e siècle en raison d'un transfert d'activités vers l'Allemagne et un focus sur la propulsion électrique.

Le besoin d'une alternative conforme à la réglementation REACH a été saisi comme une opportunité pour relancer une filière nationale de propulsion chimique satellitaire.

À partir de 2019, le CNES a repris des travaux sur les ergols « verts » — alternatives moins toxiques à l'hydrazine et conformes à REACH et après une première phase d'étude sur différents ergols, le CNES a retenu en 2024 le peroxyde d'Hydrogène comme possible alternative à court terme à l'Hydrazine.

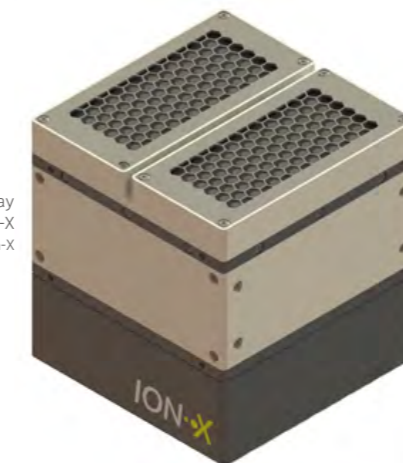
Quelques propulseurs électriques de l'écosystème français



Propulseur à effet Hall PPS®5000 de Safran Spacecraft Propulsion © Safran Spacecraft Propulsion



Propulseur ionique à grille à l'iode NPT30-12 de la société ThrustMe © ThrustMe



Propulseur Electrospray de la société Ion-X © Ion-X



Vue d'artiste du Spacevan d'Exotrail équipé de propulseurs à effet Hall Spaceware micro - © Exotrail

Les enjeux

La propulsion, qu'elle soit électrique ou chimique, répond à des besoins variés correspondant à une grande diversité de missions donc de puissance et de performances comme le détaillent les tableaux ci-dessous.

Synthèse des besoins en propulsion électrique

Besoin	Telecom GEO (3-6 t)		Constellation (LEO, MEO, VLEO)	Observation de la Terre	Service en orbite / Action dans l'espace / Cargo	Exploration
	NSSK	EOR				
Poussée	Medium	High	Low	Low	High	Medium
Isp	High	Medium to High	High	Medium	High	High
Puissance	Medium	High	Low to Medium	Low to medium	High	Medium to high
Total	High		Medium	Low to medium	High	High
Nb de cycles ON/OFF	High		High	High	Low to medium	Low

- Une grande diversité de missions, de puissances et de performances
- Enjeux de compétitivité et de fiabilité

Synthèse des besoins en propulsion chimique

Besoin	Agilité en orbite	Désorbitation active	Propulsion MDDL pour nanosatellites	Cargo et Capsules	T4SC	Ravitaillement en orbite
Poussée	1- 20 N	> 20 N	< 1 N	~ 200 N	< 1 N	N/A
Technologie	Mono et Biergol	Mono et Biergol	Resistojet Gaz froid	Biergol	Resistojet Gaz froid	Mono et Biergol
Principaux défis à lever	Solutions duales pour répondre aux enjeux civils et militaires	$\Delta V > 100$ m/s, incertitudes de réalisation poussée faibles	Maximiser l'impulsion totale et réduire la consommation électrique	Moteurs agiles et précis : MIB faible, incertitudes de poussée faibles. Maximum propellant throughput conséquent	Solution d'anticollision pour nanosatellites à faible consommation électrique	Interface commune pour ravitaillement ergols liquides et gaz (propulsion chimique et électrique) - standardisation de l'interface

- Une grande diversité d'applications, nécessitant de nouveaux ergols « verts » (compatibles REACH)
- Capacité opérationnelle au plus tôt pour répondre aux enjeux > réduire le time to market

Les enjeux principaux liés à la propulsion :

- ▶ Préparer le futur en anticipant les besoins technologiques notamment via l'innovation de nouveaux concepts moteurs
- ▶ Accompagner l'écosystème français dans le domaine de la propulsion pour maintenir et accroître sa compétitivité sur le marché mondial
- ▶ Accompagner le développement de solutions compatibles avec les nouveaux usages du marché spatial et les nouvelles contraintes environnementales et réglementaire

Ces enjeux sont majoritairement poursuivis que ce soit pour la propulsion électrique ou chimique par des activités de recherche et développement impliquant l'utilisation d'ergols alternatifs qui peuvent permettre de les atteindre.



Satellite de télécommunications flexible OneSat - © Airbus 2023

FOCUS SUR LE LABORATOIRE PROPULSION

Le CNES se dote actuellement, pour répondre à ces enjeux, d'un laboratoire propulsion. Cette installation, unique en France, est conçue pour offrir un environnement contrôlé dédié à la recherche, à l'expérimentation et à la validation des technologies de propulsion.

Les moyens déployés permettront de réaliser des essais de développement sur les technologies de propulsion électrique jusqu'à une classe de 1 kW et les systèmes de propulsion à gaz froid via deux chambres à vide, l'une dédiée aux essais sur la propulsion électrique utilisant des gaz rares (xénon / krypton / argon) et l'autre dédiée au di-iode.

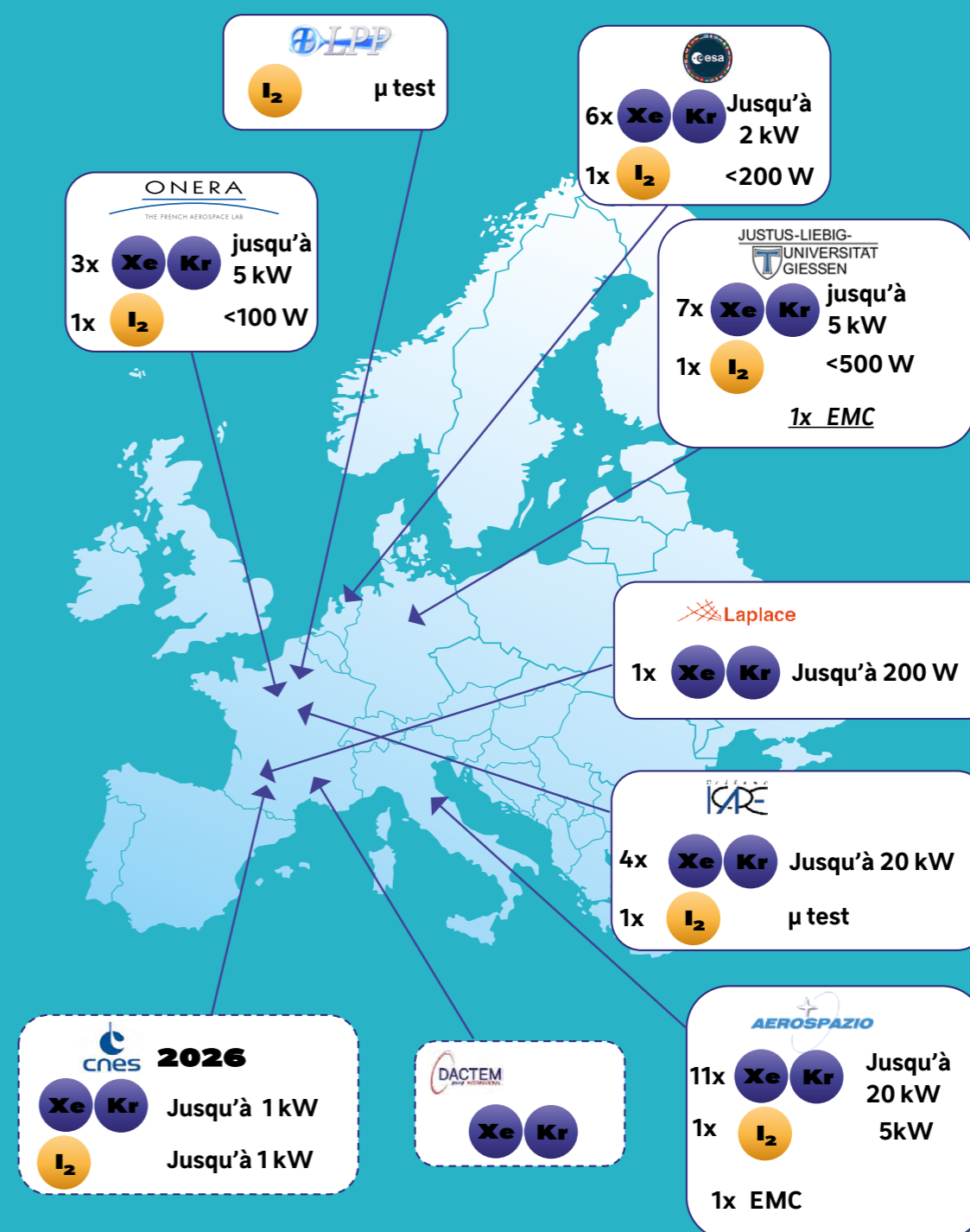
Le diiode est en effet un nouvel ergol d'intérêt dans le domaine de la propulsion électrique répondant en premier lieu à des problématiques de difficulté d'approvisionnement du xénon et donc de coût mais présentant également des avantages au niveau système propulsif complet.



Chambres à vide du laboratoire de propulsion du CNES

Outre son rôle technique, le laboratoire qui sera ouvert à l'écosystème au second semestre 2026, servira de plateforme de collaboration, réunissant des experts du CNES, des institutions académiques et des partenaires industriels. En partageant connaissances et ressources, l'objectif est de faire progresser les technologies de propulsion.

Moyens d'essais en europe ouverts à la communauté française



• **Positionnement CNES** : Approvisionnement d'un moyen d'essais 1 kW di-iodé unique en France et plébiscité par l'écosystème afin de soutenir les activités de Préparation du Futur menées par le CNES et fédérer l'écosystème notamment dans sa transition vers la propulsion électrique au di-iodé

Axes technologiques « en un coup d'œil »



© Adobe Stock

Le CNES concentre son action sur les axes de travail ci-dessous qui regroupent chacun des technologies clés en lien avec les enjeux précédemment cités.

» Aperçu détaillé des trois axes identifiés pour la propulsion électrique, sous-tendu par les travaux en cours sur l'utilisation du di-iode comme ergol alternatif qui fait l'objet d'un Vecteur d'Innovation Prioritaire :

Propulsion électrique : les axes de travail

Axe 1

Développer et **fiabiliser** les systèmes propulsifs des nouveaux acteurs

Axe 2

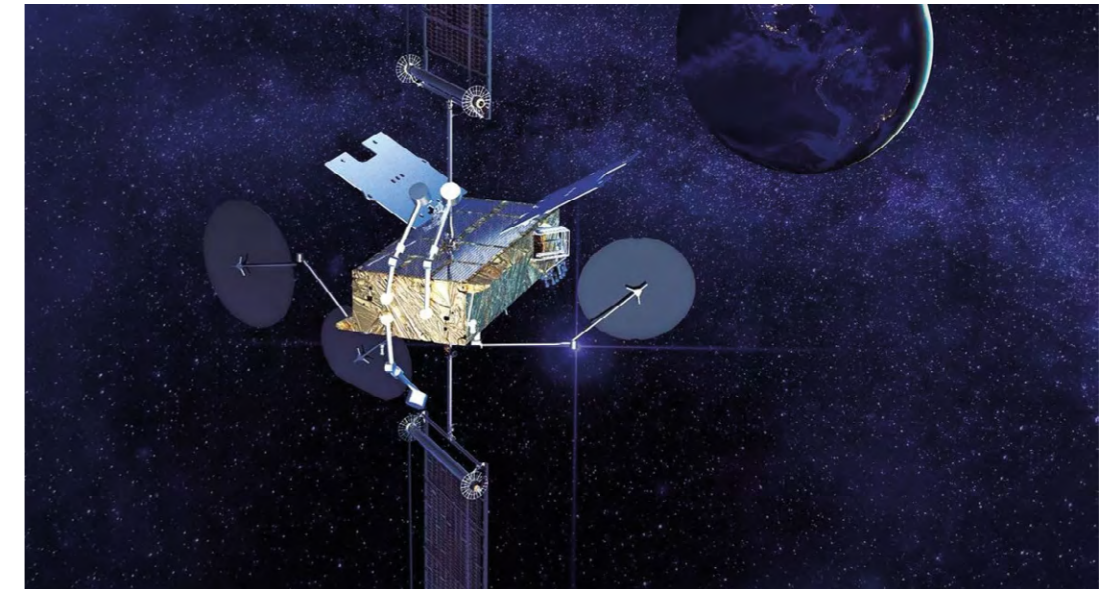
Adresser les enjeux de **performances** et de **compétitivités** pour les missions télécom, observation de la terre & défense

Axe 3

Préparer le futur en soutenant l'**innovation** et les nouveaux concepts moteur

Axe transverse : Ergols alternatifs > VIP DI-IODE

Laboratoire Propulsion



Vue d'artiste de Space Inspire - © Thales Alenia Space

» Aperçu détaillé des quatre axes identifiés pour la propulsion chimique, sous-tendu par les travaux en cours sur l'utilisation du H2O2 comme ergol alternatif :

Propulsion chimique : les axes de travail



Axe 1
Agilité en orbite



Axe 2
Propulsion multi-degrés de liberté pour nanosatellites



Axe 3
Propulsion pour cargos/capsules



Axe 4
Ravitaillement en orbite

Axe transverse : ergols « verts » (compatibles REACH)

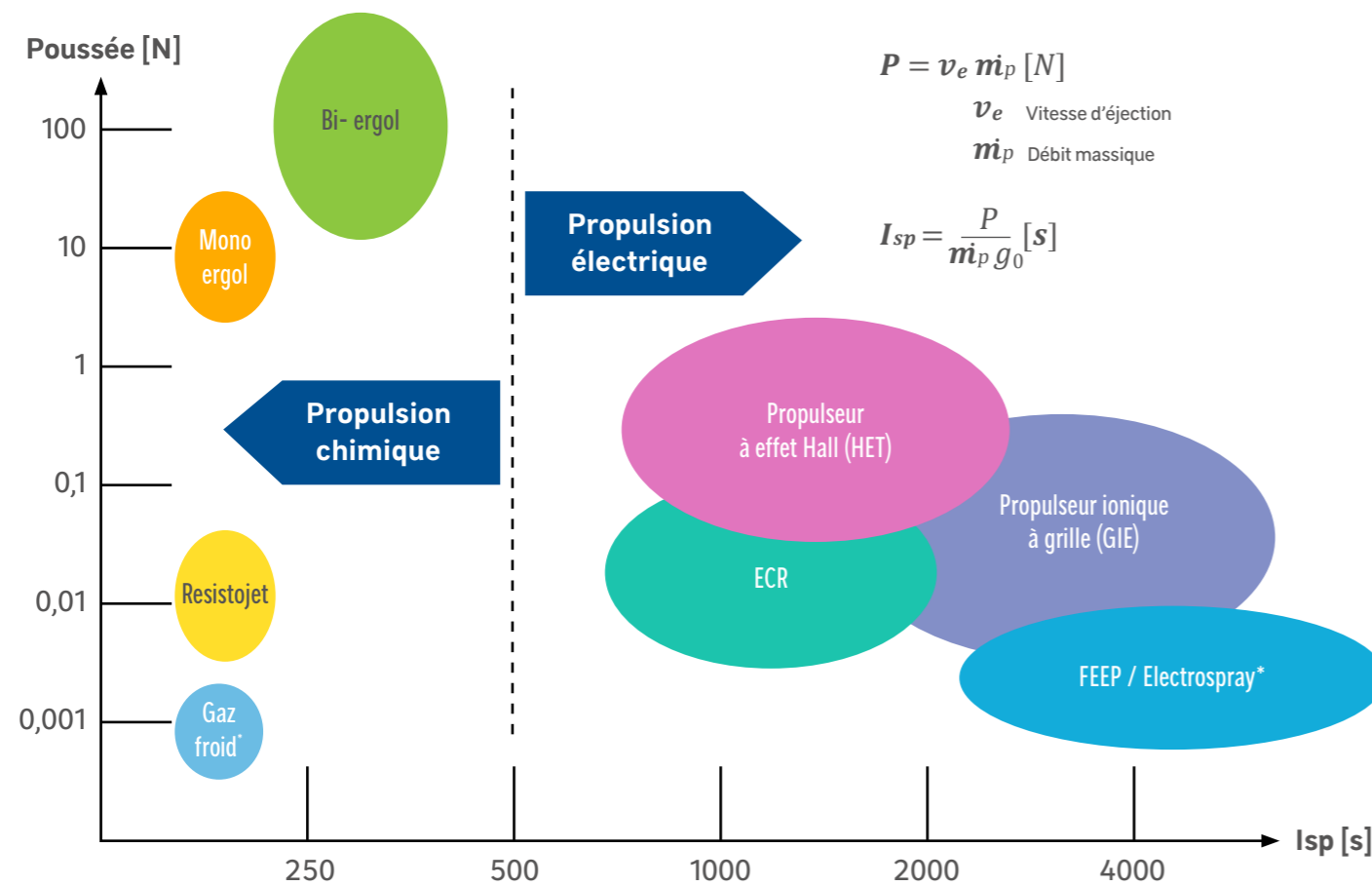
Technologies clés

Le principe fondamental d'un système propulsif est d'éjecter de la matière dans une certaine direction afin de créer de la poussée dans la direction opposée.

Dans la cadre de la propulsion chimique, l'énergie est stockée sous forme chimique dans l'ergol, puis convertie en énergie thermique puis cinétique. Ces technologies permettent d'avoir une forte poussée à faible Isp (Impulsion Spécifique) et consommation électrique.

En propulsion électrique, le principe est d'ioniser un gaz, puis de l'accélérer grâce à une combinaison de champs électrostatiques ou électromagnétiques. Les différences entre les technologies se situent principalement dans la manière d'ioniser le gaz puis de l'accélérer.

Panorama des différentes technologies de propulsion



* Solutions gaz froid favorisées pour les projets nécessitant une très haute résolution de poussée (ex: Sciences de l'Univers) tant que les technologies FEFP/electrospray ne sont pas assez maîtrisées

Les deux types de propulsion sont complémentaires et adressent des besoins différents :

► **Propulsion électrique :** Isp élevée donc consommation d'ergol réduite mais poussée faible donc peu réactif et plus de puissance électrique consommée

► **Propulsion chimique :** Isp faible mais poussée élevée donc très réactif et moins de puissance consommée

Le CNES travaille à la fois sur l'innovation sur les technologies existantes mais également sur des concepts novateurs en rupture technologique.

Les technologies clés adressées incluent donc :

► **Propulsion électrique :** Propulseurs à effet Hall (HET), propulseurs ioniques à grille (GIE), et technologies émergentes comme l'électrospray ainsi que les nouveaux concepts moteurs comme l'ECR.

► **Propulsion chimique :** Systèmes à ergols verts (H2O2 mono et bi-ergol), propulseurs pour nanosatellites, et systèmes de ravitaillement en orbite.

► **Ergols alternatifs :**

- Di-iode pour la propulsion électrique : gains en coût et en volume à iso-performances vis-à-vis des ergols utilisés actuellement
- H2O2 mono et bi-ergol pour la propulsion chimique permettant des gains en coût et performances

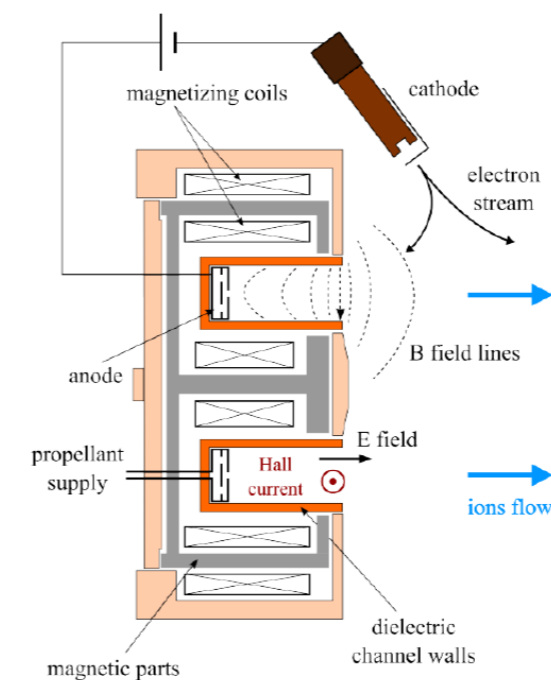


Schéma de fonctionnement d'un propulseur à effet Hall

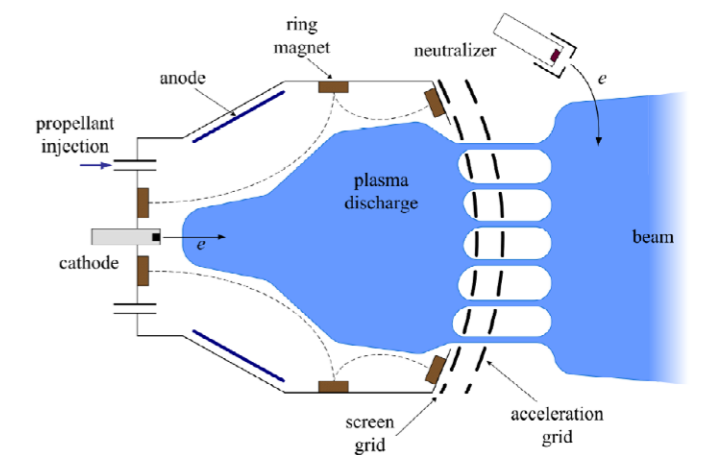


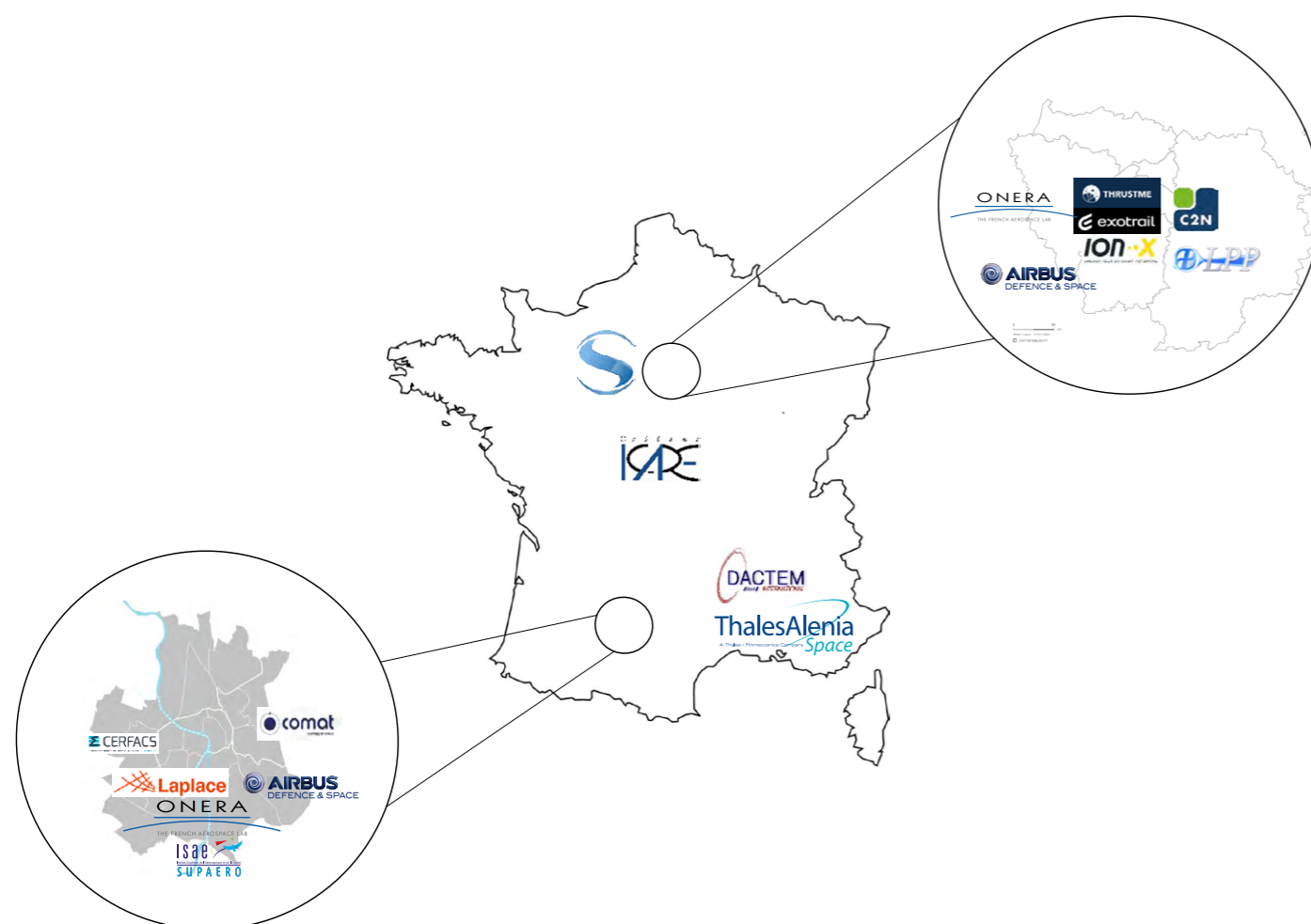
Schéma de fonctionnement d'un propulseur ionique à grille

Etat des lieux

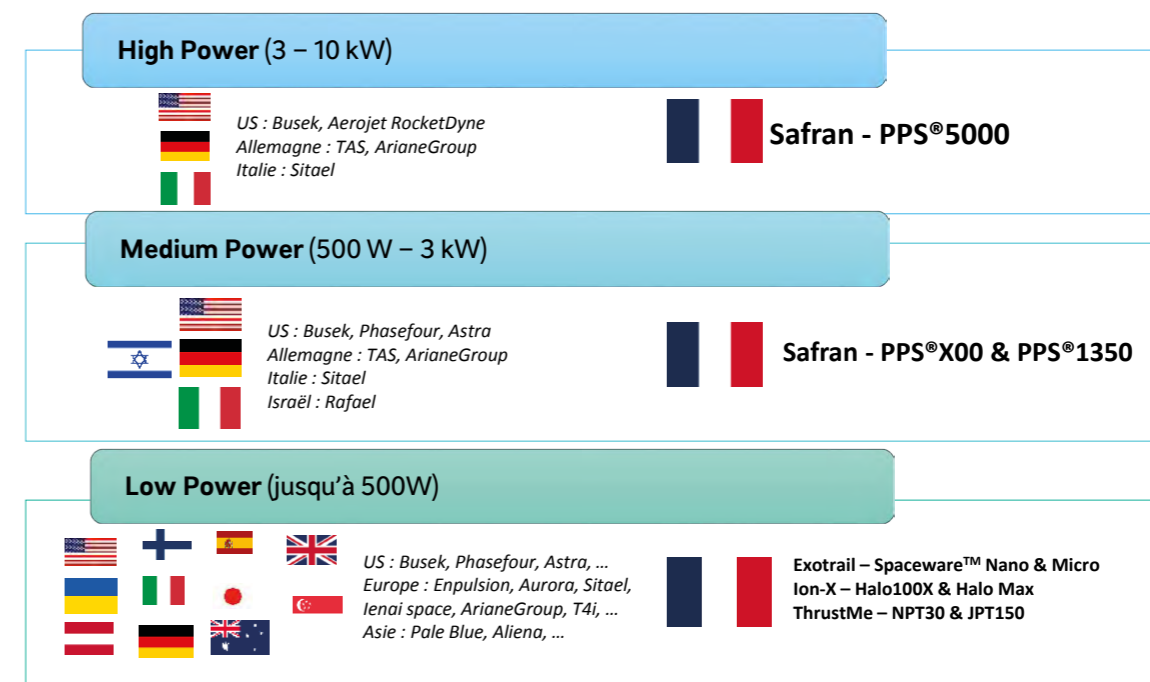
Propulsion électrique

La France occupe aujourd'hui une position de leader dans le domaine de la propulsion électrique, grâce à son expertise, un tissu industriel solide et une forte synergie entre laboratoires de recherche, le CNES et les acteurs privés. Malgré un contexte international marqué par une concurrence croissante, elle continue de se distinguer sur le marché européen mais aussi à l'export et ce sur toutes les tailles de véhicules spatiaux.

Aperçu de l'écosystème académique et industriel français en propulsion électrique



Aperçu de la concurrence internationale principale en propulsion électrique



Propulsion chimique

La propulsion chimique est, aujourd'hui, la seule capable de répondre aux enjeux d'agilité en orbite et de garantir une désorbitation contrôlée grâce à sa capacité à fournir des niveaux de poussée élevés. Des développements de systèmes de propulsion monoergol et biergol sont en cours pour répondre aux besoins de l'écosystème industriel national.



Propulseur monoergol 1-5N d'Agena Space ©Agena Space

Différents pays membres de l'Union européenne sont en train de développer leurs propres filières de propulsion chimique, notamment basées sur le peroxyde d'hydrogène ou d'autres technologies. On retrouve des solutions concurrentes en Allemagne, Espagne, Italie, Pologne, Norvège, Suède et aux Pays-Bas. À ce jour, l'Allemagne reste le leader européen de la propulsion chimique traditionnelle à base d'hydrazine.

Par ailleurs, une autre application pour la propulsion chimique a été jugée prioritaire : le ravitaillement en orbite. Afin de mieux comprendre les enjeux liés à ce service et d'adapter les plateformes actuelles aux exigences du ravitaillement orbital, des travaux de R&T sont en cours. Ces travaux s'inscrivent dans le cadre d'un Vecteur d'Innovation Prioritaire sur le Service en Orbite.

Plan d'activités (2025-2030)

Propulsion électrique

Axe 1

Développer et fiabiliser les systèmes propulsifs des nouveaux acteurs

Support aux nouveaux entrants dans le développement et la qualification de nouveaux produits afin de répondre aux besoins des clients traditionnels, à la fois institutionnels et industriels

Axe 2

Adresser les enjeux de performances et de compétitivités pour les missions télécom, observation de la terre & défense

Développement de plateformes propulsives à l'iode (2024-2030)

Cas d'utilisation principal :

Gamme de puissance de 300W à 1kW pour le marché des constellations

- Mise au point des moteurs
- Développement de la chaîne fluidique (stockage, régulation...)
- Développement de cathode à l'iode

Mise en place de moyens d'essais dédiés en soutien à la recherche et à l'innovation (fin 2026)

Deux moyens d'essai allant jusqu'à 1kW

- Di-iode : Seul moyens d'essais compatible pour la gamme 1kW en France.
- Moyen d'essai hybride
 - Gaz rare (Xénon / Krypton / Argon)
 - Gaz froid

Axe 3

Préparer le futur en soutenant l'innovation et les nouveaux concepts moteur

Soutien à la recherche fondamentale et appliquée via des thèses et des R&T

- Comprendre les comportements du plasma et ses interactions
- Améliorer les diagnostics et les moyens d'essais
- Améliorer les performances et l'utilisation des technologies éprouvées
- Développer de nouvelles technologies et briques technologiques

Synthèse

Technologies émergentes

- Electrospray
- ECR
- Ergols alternatifs (di-iode + H2O2)

Produits futurs

- Propulsion très haute puissance (> 20 kW)
- Filière propulsion chimique
- Propulsion hybride (électrique / chimique)

Applications émergentes et futures

- Action dans l'espace duale (incluant service en orbite & ravitaillement)
- Exploration habitée et robotique
- VLEO

Fédérer et coordonner l'écosystème pour anticiper les besoins futurs

Propulsion chimique

Axe 1

Agilité en orbite

Développement de propulseurs à ergols verts (2024-2027), gamme 1-5 N et 20 N de poussée. Solutions à base de peroxyde d'Hydrogène privilégiées

Fournir aux plateformes les capacités suivantes :

- Une agilité accrue en orbite
- Capacité de réaliser une désorbitation contrôlée

Axe 2

Propulsion multi-degrés de liberté pour nanosatellites

Support dans le développement et la qualification de systèmes répondant aux besoins de l'écosystème

Axe 3

Propulsion pour cargos/capsules en lien avec la Propulsion Lanceurs

Participation à une phase 0/A interne CNES en 2024/2025

Evènements réguliers organisés via la Communauté d'Experts Système de Propulsion Spatiale (COMET SPS) co-animée par les services Propulsion Véhicules Spatiaux et Propulsion Lanceurs

Axe 4

Ravitaillement en orbite

Développement d'interfaces et technologies pour le ravitaillement en orbite et études sur l'adaptation des plateformes existantes (2024-2027). En lien avec la Feuille de route Technique Service en Orbite

<https://cnes.fr/entreprises/orientations-techniques>

ACRONYMES

CNES : Centre National d'Études Spatiales

REACH : Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals

PE : Propulsion Électrique

HET : Propulseur à Effet Hall

ECR : Electron Cyclotron Resonance

GIE : Propulseur Ionique à grille

HTP : High Test Peroxyde -Peroxyde d'hydrogène haute concentration

H2O2 : Peroxyde d'hydrogène

ISP : Impulsion SPécifique

R&T : Recherche et Technologie

IOD/IOV : In-Orbit Demonstration/In-Orbit Validation

VIP : Vecteur d'Innovation Prioritaire

VOUS SOUHAITEZ APPORTER VOTRE CONTRIBUTION ?

orientations-techniques@cnes.fr



Retrouvez les Feuilles de Politique Technique du CNES

<https://cnes.fr/entreprises/orientations-techniques>



Avec Connect by CNES, le CNES met le spatial à votre service !

<https://www.connectbycnes.fr>

CNES

www.cnes.fr

