



▲▲
Essai du propulseur à effet Hall PPS@1350 à la Snecma (Vernon).
Testing the PPS@1350 Hall-effect thruster at Snecma's Vernon facility.

Propulsion électrique

Un sujet qui met la pression

LILIANE FEUILLERAC POUR LE CNES

Parce qu'elle répond à des préoccupations économiques et écologiques de notre temps, la propulsion électrique spatiale est sur la rampe d'avenir. Déjà utilisée pour le maintien à poste, elle s'étend aujourd'hui à la mise à poste.

Les lycéens sont donc invités à rester branchés sur le sujet. Il peut être abordé dès la classe de seconde dans les programmes de chimie. On peut décliner le chapitre « Pression d'un gaz » pour mieux connaître le xénon, un des six gaz nobles ! Que sait-on de ces gaz, de leur production, de leur stabilité ? Cherchez ! Vous trouverez des réponses via la classification périodique de Mendeleïev, par exemple. On peut aussi, c'est une autre piste, revoir le chapitre de l'orbographie ! Eh oui ! Propulsion chimique et propulsion électrique ne sont pas sur la même trajectoire. Pourquoi ? Comment ? On ouvre ses cours de maths et on s'y plonge. Les premières S peuvent préparer l'exercice de chimie (p. 3) en regardant de près les chapitres « Cohésion et transformations de la matière », « Champs et forces ».

Attention, malgré tout, électrique ou chimique, moteurs à grilles ou à effet Hall, les technologies évoluent, on change de moyens, mais pas d'objectif : la propulsion, c'est juste le coup de pouce qui amène un satellite sur son orbite géostationnaire et qui l'y maintient tout au long de sa mission.



Portrait Profile
Nicolas Arcis
> P. 4

ELECTRIC PROPULSION

Putting on the pressure

LILIANE FEUILLERAC FOR CNES

Because it meets the economic and ecological concerns of our time, electric space propulsion is gaining traction. Already used to keep satellites on station, it is now being extended to satellite positioning.

This is a topic that high-school pupils can start studying in 10th grade chemistry lessons, in the chapter on gas pressure by looking at xenon, one of the six noble gases. How are these gases produced? How stable are they? You will find the answers in Mendeleev's periodic table, for example. Or we could revise the chapter on orbit determination and find out how and why chemical propulsion and electric propulsion do not follow the same trajectories. Meanwhile, 11th grade science classes can prepare the chemistry exercise in this issue (p.3), focusing on 'cohesion and transformations of matter' and 'fields and forces'.

Whether electric or chemical, ion-grid or Hall-effect, thruster technologies are evolving but the goal remains the same: to nudge a satellite into its geostationary orbit and keep it there for the duration of its mission.



▲▲
Assemblage de la cathode du propulseur PPS@1350.
Assembling the cathode of the PPS@1350 thruster.

LA PROPULSION ÉLECTRIQUE EN 4 QUESTIONS

■ La propulsion, comment ça marche ?

Le principe de la propulsion repose sur un phénomène simple, celui de l'action et de la réaction (lois de Newton). À toute action correspond une réaction égale et de sens opposé. Ce principe est adopté dans l'activité spatiale pour les fusées, mais, aussi, pour mettre le satellite sur l'orbite géostationnaire ou pour le maintenir sur cette orbite.

■ D'où vient l'énergie ? Comment la produit-on ?

Pour amener le satellite jusqu'à son orbite, il faut fournir de l'énergie en alimentant ses moteurs. Dans un système de propulsion chimique, l'énergie provient du ou des carburants utilisés. Avec la propulsion électrique, l'énergie est produite par des batteries ou par des panneaux solaires. Les panneaux solaires absorbent de l'énergie sous forme de photons qu'ils transforment et évacuent sous forme d'électrons. Il existe plusieurs types de moteurs (ioniques à grilles, à effet Hall, etc.). Le xénon, un gaz rare embarqué au sol, est le plus couramment utilisé, car il génère les meilleures performances.

■ La propulsion électrique utilise le xénon, un gaz « noble ». Pourquoi ? Comment le produit-on ?

Un gaz noble est un gaz dont les couches électroniques sont complètes. Il existe six gaz nobles à l'état naturel : l'hélium, le néon, l'argon, le krypton, le xénon, le radon. Pour l'instant, on utilise le xénon, qui correspond aux caractéristiques attendues (ionisation, énergie)... Mais des recherches sont menées avec d'autres gaz rares comme l'argon, le krypton, ou des matériaux solides comme le téflon. Le xénon est obtenu par distillation de l'air. Stocké sous forme supercritique dans des réservoirs haute pression, il est ensuite injecté dans le moteur puis ionisé par bombardement d'électrons. Le plasma qu'il forme est accéléré par le champ électromagnétique pour générer la poussée.

■ Pourquoi la propulsion électrique a-t-elle déjà été utilisée pour du maintien à poste et non pour une mise à poste ?

Deux raisons ont motivé ce choix. La première est économique. La propulsion électrique nécessitait des délais de mise à poste trop longs pour les opérateurs commerciaux au regard de la réalité du marché. L'autre raison était technique : on ne disposait pas de moteurs suffisamment puissants pour des mises à poste sur des orbites géostationnaires.

Electric propulsion Q&A

How does propulsion work?

Propulsion is based on Newton's law of action and reaction, which states that the actions of two bodies upon each other are always equal and directly opposite. This principle is exploited not only for space rockets but also for the thrusters that take satellites to geostationary orbit and then keep them there.

Where does the energy come from and how is it produced?

To take a satellite to its final orbit, we need energy for its thrusters. In a chemical propulsion system, this energy is obtained from the propellant. With electric propulsion, it is generated by batteries or solar panels, which absorb energy from photons that they transform into electrons. Several types of electric thruster exist (ion thrusters, Hall-effect thrusters, etc.). Xenon is a rare gas loaded on the ground. It is the most commonly used because it offers the best performance.

Electric propulsion uses xenon, a noble gas.

Why? And how is it produced?

A noble gas is a gas with a full outer shell of electrons. There are six such gases in the natural state: helium, neon, argon, krypton, radon and xenon. The gas currently used in electric thrusters is xenon for its ionization and energy properties. But research is underway with other rare gases like argon and krypton, as well as with solids like Teflon. Xenon is obtained by distilling air. It is then stored in supercritical form in high-pressure tanks, injected into the thruster and ionized by bombarding it with electrons to form a plasma which is then accelerated by an electromagnetic field to produce thrust.

Why has electric propulsion already been used for stationkeeping but not for satellite positioning?

There are two reasons for this: the first is cost. Electric propulsion took too long to position satellites for the commercial operator market. The second is technical: until now, electric thrusters were not powerful enough to get satellites into geostationary orbit.

Préparation du propulseur PPS@1350 pour un essai.
Prepping the PPS@1350 thruster for testing.



© CNES/H. PIRAUD, 2014

EXERCICE DE CHIMIE

MOTEUR À PROPULSION ÉLECTRIQUE

Le moteur à propulsion ionique au xénon éjecte à grande vitesse des ions xénon par sa tuyère, ce qui a pour effet de pousser la sonde à l'opposé de celle-ci. La poussée obtenue par ce type de moteur est plus faible que dans un moteur chimique traditionnel. Cependant, sa durée d'utilisation à masse égale est plus importante. Ainsi, ce moteur convient pour de longs voyages spatiaux, puisqu'il consomme peu, mais demande du temps afin d'obtenir la poussée souhaitée, l'accélération augmentant progressivement.

Le xénon

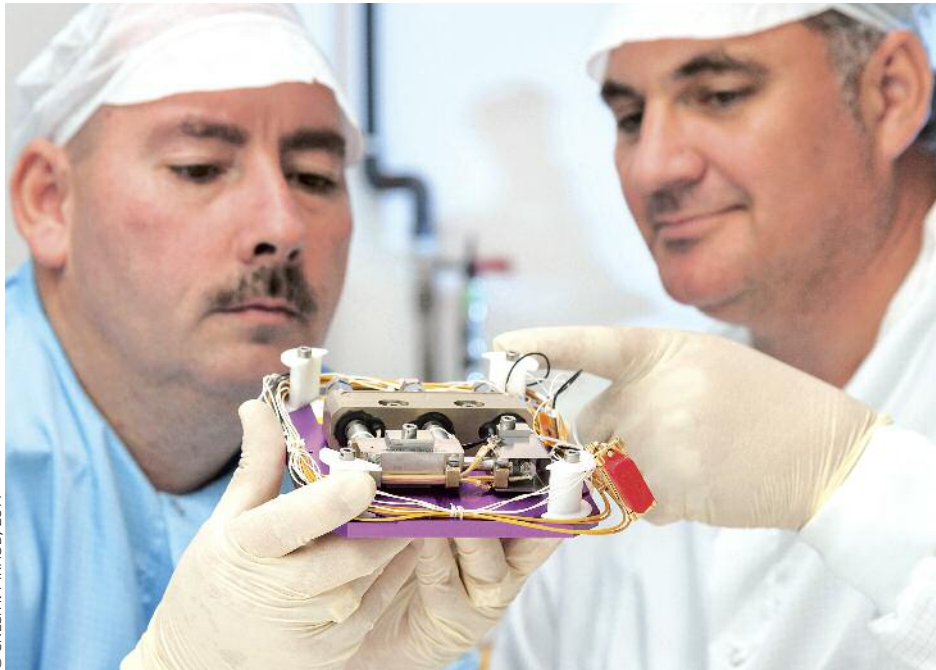
1. Rechercher le xénon dans une classification périodique. À quelle famille appartient-il ? Citer d'autres gaz de la même famille.
2. Les gaz nobles sont dits peu réactifs, car leur dernière couche électronique est totalement remplie. Retrouver le nom des éléments $Z = 10$ et $Z = 18$ de la même famille que le xénon. Donner la structure électronique de ces éléments. La dernière couche électronique est-elle bien remplie ?
3. Le xénon s'ionise en perdant un électron. Il se forme un ion. Écrire la formule chimique de cet ion.
4. Le noyau du Xénon possède 54 protons et 78 neutrons. Écrire en notation symbolique A_ZX le Xénon.

L'accélération de l'ion xénon

5. Pour simplifier, nous dirons que cet ion est accéléré par un champ électrique juste avant de sortir du moteur. Quelle force apparaît donc dans ce cas ? Donner son expression. Expliciter chaque membre de l'expression.
6. Que vaut la charge pour l'ion de la question 3 ?

La propulsion

7. Quel principe physique permet de créer la propulsion par libération du gaz xénon ionisé ?



▲▲
Montage pour le contrôle du xénon.
Xenon flow-control unit.

© CNES/H. PIRAUD, 2014

CHEMISTRY EXERCISE Electric propulsion

An ion thruster ejects xenon ions through its nozzle at high speed, thereby propelling the spacecraft in the opposite direction to the thrust. This type of engine generates a lot less thrust than a conventional chemical thruster. However, it operates longer for the same mass. As a result, an electric thruster is suited to long space voyages since it consumes little fuel but takes a long time to obtain the required level of thrust and acceleration.

Xenon

1. Find xenon in the periodic table. What family of elements does it belong to? Name other gases from the same family.
2. Noble gases are not very reactive because they have a full outer shell of electrons. Find the name of the elements $Z = 10$ and $Z = 18$ in the same family as xenon. What is the electron structure of these elements? Do they have a full outer shell of electrons?
3. Xenon is ionized when it loses one electron. Write the chemical formula of the ion thus formed.
4. The nucleus of xenon has 54 protons and 78 neutrons. Write xenon in symbolic notation A_ZX .

Accelerating xenon ions

5. To simplify, we shall say that an ion is accelerated by an electric field just before it is expelled from the thruster. What force is generated in this case? Give the expression for this force, detailing each element.
6. What is the charge of the ion in the previous question?

Propulsion

7. What principle of physics generates thrust by expelling ionized xenon gas?

Réponses

- 1/ Il s'agit de la famille des gaz nobles, aussi appelés gaz rares. On peut citer l'hélium, le néon, l'argon...
- 2/ Ar : $(K)^2 (L)^8$ Ne : $(K)^2 (L)^8 (M)^{18}$
- 3/ Xe^+
- 4/ ${}^{132}_{54}Xe$
- 5/ Il s'agit de la force électrique $F = q \times E$. F est la force électrique, E le champ électrique, q la charge de l'ion.
- 6/ q est la charge de deux électrons manquants, soit $q = 1,6 \times 10^{-19} C$
- 7/ Il s'agit de la troisième loi de Newton, le principe des actions réciproques, aussi appelé action-réaction.

Answers

- 1/ Xenon belongs to the family of noble or rare gases. Others include helium, neon and argon.
- 2/ Ar : $(K)^2 (L)^8$ Ne : $(K)^2 (L)^8 (M)^{18}$
- 3/ Xe^+
- 4/ ${}^{132}_{54}Xe$
- 5/ It is an electric force $F = q \times E$, where F is the electric force, E the electric field and q the charge of the ion.
- 6/ q is the charge of two missing electrons, i.e. $q = 1,6 \times 10^{-19} C$
- 7/ Newton's third law, which states the principle of action-reaction.





© CNES/IE. GRIMAUD, 2014

De la fusion nucléaire à la propulsion électrique

Passionné de recherche et de physique fondamentale, Nicolas Arcis a « atterri » au CNES « un peu par hasard ». Cinq ans après, il pense que le hasard est parfois une chance !

Le cursus de Nicolas Arcis est quelque peu atypique. Pas d'école d'ingénieurs à son actif : sa vocation, et il l'assume, était celle de chercheur. L'appel de la physique, il l'a senti très tôt, « à l'âge des premiers choix, au collège », dit-il. Bon élève puis étudiant brillant, il intègre Normale Sup à Lyon, option « sciences de la matière ». Recherche et physique fondamentale restent dans sa ligne de mire. Après un master 2 en physique théorique, Nicolas Arcis enchaîne avec une thèse au CEA en « fusion nucléaire par confinement magnétique », puis un postdoctorat au sein du laboratoire européen JET, à Oxford. Parce qu'il souhaitait « sortir de la précarité du chercheur », il explore les pistes de travail « tous azimuts ». Le CNES lui était alors inconnu. Jusqu'en 2009, où une opportunité lui ouvre la porte du centre spatial de Toulouse ! Une véritable rencontre ! En charge d'un groupement de recherche sur la compréhension des phénomènes physiques dans les moteurs à effet Hall, il mesure la richesse de l'activité spatiale. Et il apprécie : « Recherche sur les matériaux, sur le magnétisme, diagnostic, prospective, pluridisciplinarité, transversalité... » Dans un inventaire à la Prévert, Nicolas Arcis peut décliner un listing fourni du potentiel qu'il découvre. « Au regard de mes aspirations de chercheur, j'aurais pu trouver frustrant de ne pas aller au fond des choses », dit-il. Car « ici, chaque jour, nous sommes confrontés au pragmatisme, au concret des projets et des applications, mais, finalement, c'est aussi très gratifiant. » Nicolas Arcis apprécie pleinement de « voir les résultats des travaux engagés. Un nouvel équipement, le lancement d'un satellite..., c'est tangible et c'est valorisant ». Au service Propulsion, dont il assure la direction, il a conscience que « l'espace est un domaine d'activité ouvert sur des perspectives d'évolution ». Aujourd'hui, s'il n'a rien cédé de sa passion pour la physique fondamentale, cet amateur de musique, de littérature et de karaté-do ne veut pas changer de trajectoire. Il ne regrette en rien ce hasard heureux qui l'a placé sur l'orbite du CNES.

PROFILE

NICOLAS ARCIS,

Head of CNES's Propulsion, Pyrotechnics and Aerothermodynamics department in Toulouse.

From nuclear fusion to electric propulsion

Nicolas Arcis is passionate about research and fundamental physics. In his own words, he came to CNES "somewhat by chance". Five years later, he feels that chance can sometimes be a fine thing!

His career path is pretty atypical. Engineering schools were not for him: his vocation was to be a researcher. He felt drawn to physics very early on and did well at high school before going on to the Ecole Normale Supérieure in Lyon, majoring in material sciences. After obtaining a Masters 2 degree in theoretical physics, he completed a thesis at CEA, the French atomic energy and alternative energies commission, in nuclear fusion and magnetic confinement, followed by a post-doctoral thesis at the Joint European Torus (JET), in Oxford. Looking for the kind of job security research was unable to offer, he began casting his net wider. He had never even heard of CNES until one day in 2009 an opportunity opened the doors of the Toulouse Space Centre, where he was put in charge of a research unit working on the physical phenomena in Hall-effect engines. For the first time, he saw and revelled in the rich variety of space. "Our work focused on materials, magnetism, diagnostics and exploratory research and cut across a broad range of fields," he explains. "Given my aspirations as a researcher, I might have found it frustrating not to be able to get to the bottom of things." Every day, his team is faced with the pragmatic, real-world demands of projects and applications, and Nicolas Arcis enjoys seeing the results of their work. "Designing new equipment or the launch of a satellite is a tangible achievement and it's very rewarding," he says. At the Propulsion department he heads, Nicolas Arcis knows that "space is a field where future prospects are good." Today, while his passion for fundamental physics remains intact, this fan of music, literature and karate-do has no intention of changing tack and he never regrets the good fortune that brought him to CNES.

Cursus

| Cursus | Career path |
|---|--|
| 2003-2006 - Thèse au CEA | 2003-2006 - Thesis at CEA |
| 2007-2009 - Postdoctorat au laboratoire européen JET (Oxford) | 2007-2009 - Post-doctoral thesis at JET (Oxford) |
| 2009 - Entrée au CNES | 2009 - Joins CNES |

(NDLR. Nos remerciements vont à Vincent Doumerc, professeur chargé de mission auprès du CNES, à Jean-Paul Castro, professeur de chimie, à Stéphane Blat, professeur de physique, et à Michel Faup, CNES.)

(Editor's note: Our thanks to Vincent Doumerc, teacher and advisor to CNES, chemistry teacher Jean-Paul Castro, maths teacher Stéphane Blat and Michel Faup, CNES.)