

Comment voyager vite et loin dans l'espace ? A ce jour, les propulseurs spatiaux offrent des performances finalement limitées, ce qui freine les possibilités d'exploration du système solaire. Pourtant, un nouveau moteur à plasma, développé en partenariat avec la Nasa, pourrait bien relever le défi. En laboratoire, ses derniers tests sont très prometteurs. Une avancée décisive, qu'il reste à mettre en pratique.

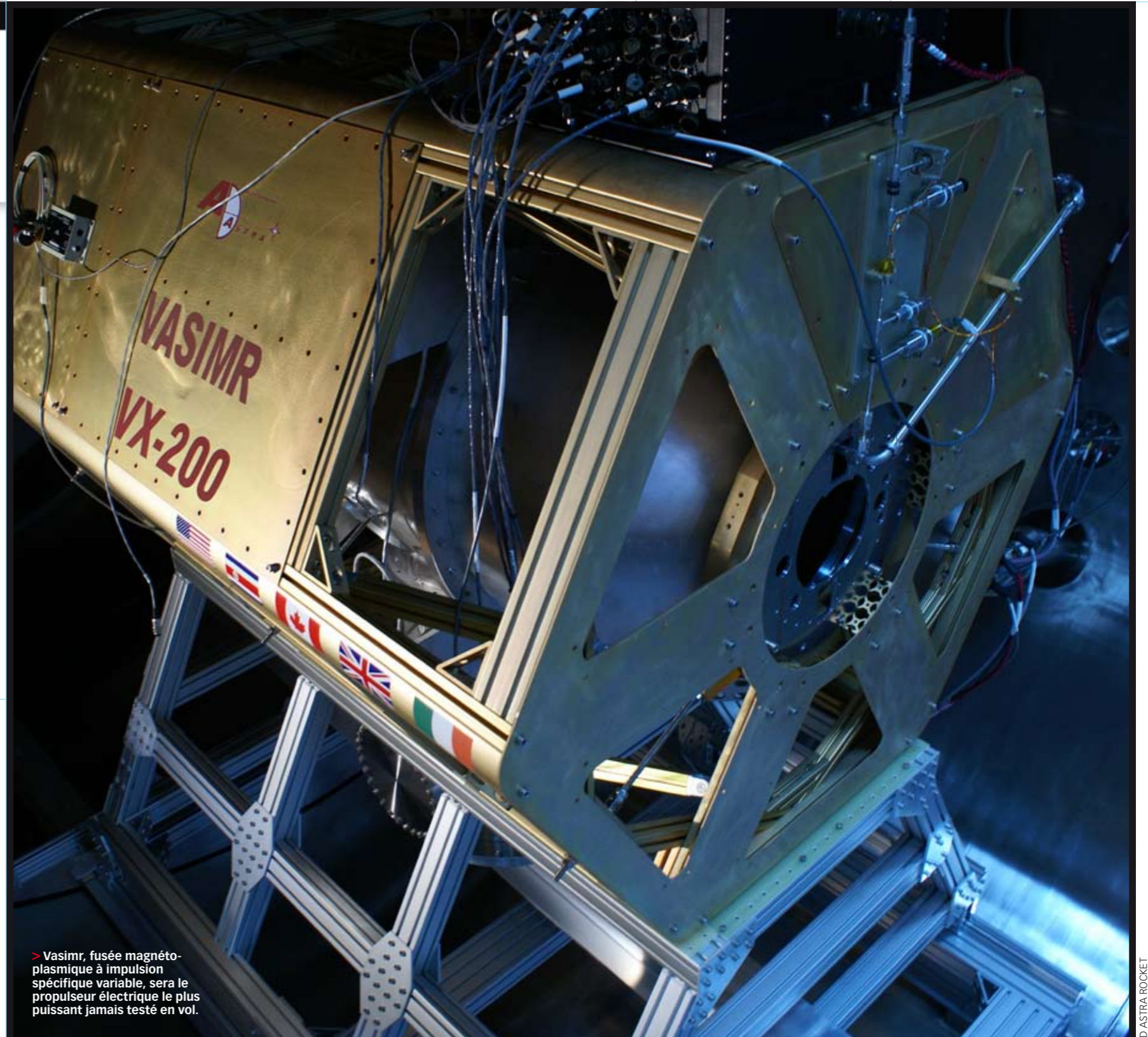
Moteur plasma

Objectif Mars... en 39 jours !

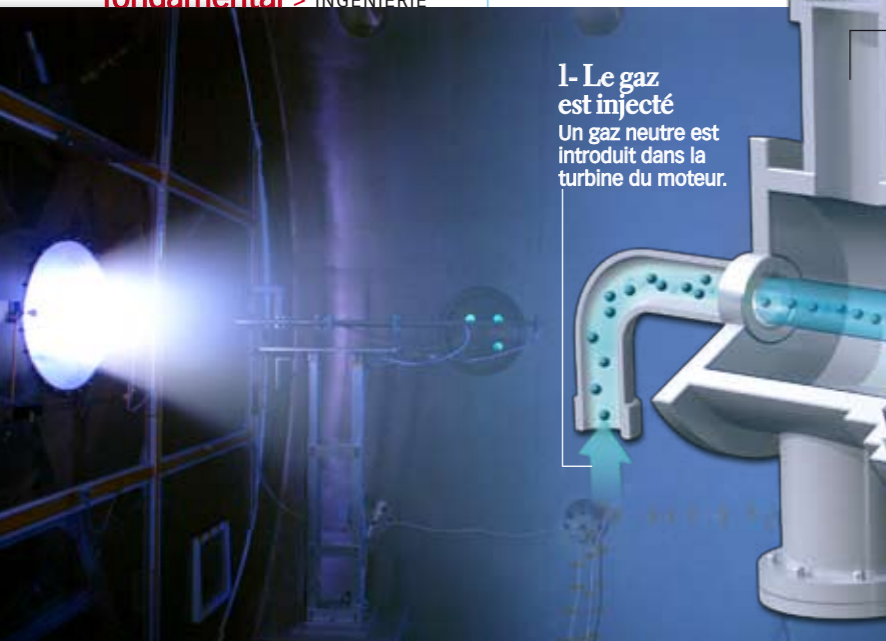
Par Muriel Valin

La semaine dernière, il était en Allemagne. Hier, au Costa Rica. Aujourd'hui, il rejoint Houston. Mission du jour : ajuster une température et courir à l'autre bout du laboratoire pour vérifier la stabilité du moteur. Voilà six mois que Franklin Chang Diaz fait la navette entre les trois pays où son entreprise, Ad Astra Rocket, est implantée. Ce physicien costaricain est aux commandes d'un projet qui fait rêver : un moteur qui pourrait permettre d'aller sur Mars en... 39 jours. A peine plus d'un mois pour parcourir 232 millions de kilomètres ! Et si lui et son équipe de 25 ingénieurs sont

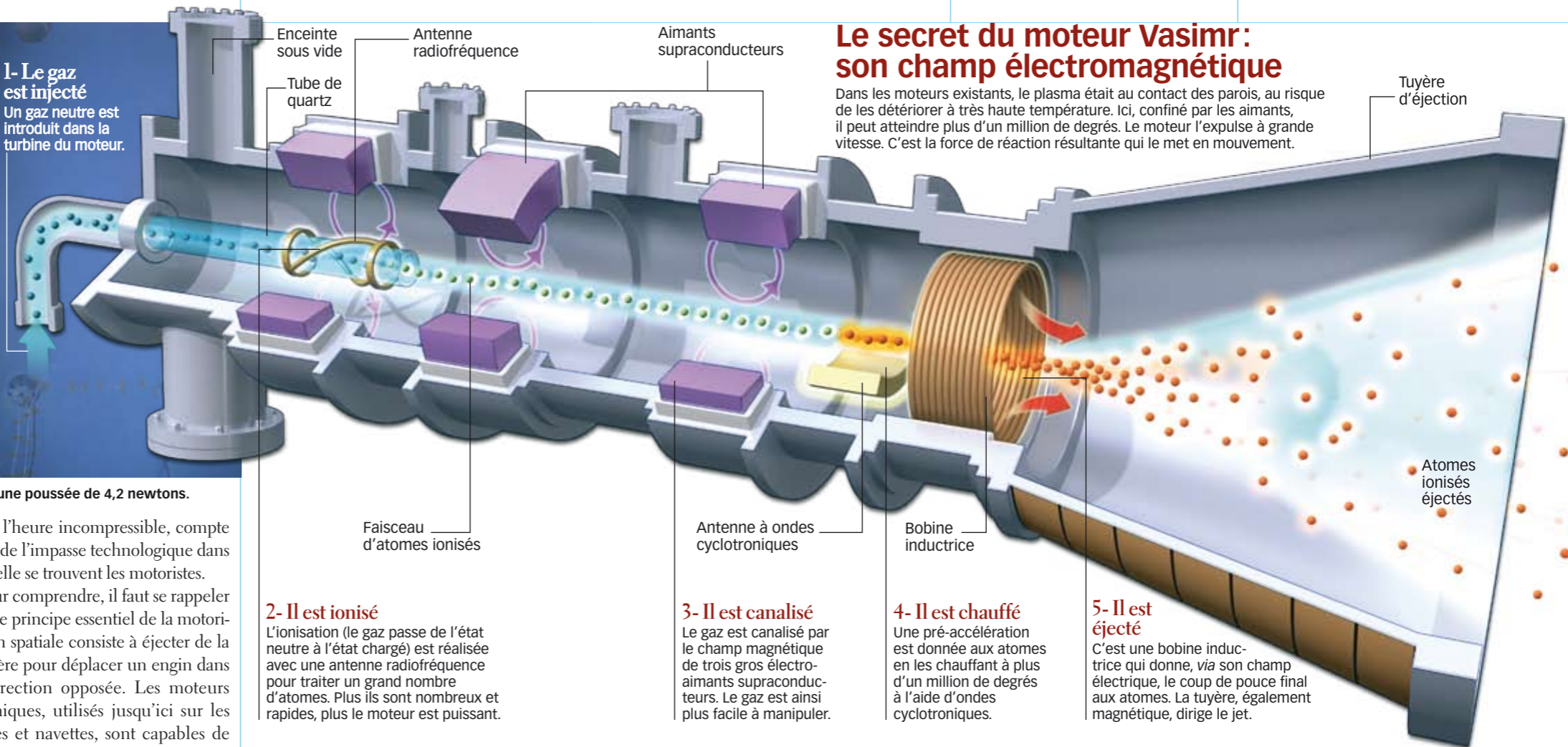
actuellement si excités, c'est parce que les derniers résultats laissent penser que leur engin s'annonce comme le meilleur candidat pour le rôle. Le projet tombe à pic : le 15 avril dernier, Barack Obama fixait justement comme objectif pour les Etats-Unis d'envoyer des hommes sur Mars vers 2035. De l'autre côté de l'Atlantique, Russes et Européens se sont mis eux aussi sur les rangs, en enfermant le 3 juin dernier six hommes dans une capsule pour une durée de 520 jours, afin de simuler les conditions d'un voyage vers Mars. Mais si l'objectif "planète rouge" est dans toutes →



> Vasimr, fusée magnéto-plasmique à impulsion spécifique variable, sera le propulseur électrique le plus puissant jamais testé en vol.



1- Le gaz est injecté
Un gaz neutre est introduit dans la turbine du moteur.



Le secret du moteur Vasimr: son champ électromagnétique

Dans les moteurs existants, le plasma était au contact des parois, au risque de les détériorer à très haute température. Ici, confiné par les aimants, il peut atteindre plus d'un million de degrés. Le moteur l'expulse à grande vitesse. C'est la force de réaction résultante qui le met en mouvement.

▲ Les 200 kW du prototype réussissent à fournir une poussée de 4,2 newtons.

→ les têtes, les moyens d'y parvenir manquent cruellement à l'appel. Car avec les moteurs spatiaux actuels, les astronautes sont condamnés à voyager six mois au minimum pour parcourir l'immense distance qui sépare la Terre de Mars.

INSPIRÉ PAR LE NUCLÉAIRE

Six mois, c'est long. C'est surtout dangereux pour les hommes à bord qui seront exposés durant tout ce temps non seulement à une pluie de radiations cosmiques X et gamma, toxiques pour la santé, mais également à un effet d'apesanteur, source d'ostéoporose. Or, cette durée paraît

pour l'heure incompressible, compte tenu de l'impasse technologique dans laquelle se trouvent les motoristes.

Pour comprendre, il faut se rappeler que le principe essentiel de la motorisation spatiale consiste à éjecter de la matière pour déplacer un engin dans la direction opposée. Les moteurs chimiques, utilisés jusqu'ici sur les fusées et navettes, sont capables de fournir une énorme poussée initiale pour s'arracher de la Terre (de l'ordre de 10^8 newtons), mais brûlent très vite les réserves de carburant. Limités par la taille de leur réservoir, ils s'avèrent incapables de véhiculer un engin très loin et rapidement. Pour pallier ce défaut, des moteurs électriques ont fait leur apparition dans les années 1970. Ejectant des particules chargées (des ions), ils consomment cinq à dix fois moins de carburant avec un bien meilleur rendement. Ces excellentes

Faisceau d'atomes ionisés

2- Il est ionisé

L'ionisation (le gaz passe de l'état neutre à l'état chargé) est réalisée avec une antenne radiofréquence pour traiter un grand nombre d'atomes. Plus ils sont nombreux et rapides, plus le moteur est puissant.

Antenne à ondes cyclotroniques

3- Il est canalisé

Le gaz est canalisé par le champ magnétique de trois gros électroaimants supraconducteurs. Le gaz est ainsi plus facile à manipuler.

Bobine inductrice

4- Il est chauffé

Une pré-accelération est donnée aux atomes en les chauffant à plus d'un million de degrés à l'aide d'ondes cyclotroniques.

Antenne radiofréquence

5- Il est éjecté

C'est une bobine inductrice qui donne, via son champ électrique, le coup de pouce final aux atomes. La tuyère, également magnétique, dirige le jet.

Tuyère d'éjection

Atomes ionisés éjectés

performances s'obtiennent cependant au prix d'une poussée modeste (de l'ordre de 0,1 newton), ce qui limite la vitesse du vaisseau spatial. Ces moteurs électriques conviennent donc parfaitement pour des sondes non habitées où la durée du voyage n'est pas un obstacle, comme *Deep Space 1* ou *Hayabusa*. Mais, pour embarquer des hommes, ils s'avèrent inadaptés.

C'est pour résoudre ce casse-tête "mission lointaine, courte durée" que le physicien et astronaute Franklin Chang Diaz s'est attaqué à la conception d'un nouveau moteur, il y a maintenant trente ans. A l'époque, le Costaricain menait des recherches au MIT sur la fusion nucléaire et sur la physique des plasmas, du nom de cet

état ionisé de la matière qui réagit aux champs électriques et magnétiques. C'est là qu'il dessina son tout premier croquis de propulseur.

Depuis, il n'a eu de cesse de résoudre ce défi. Il s'y est même consacré à plein-temps de 1993 à 2005, quand il dirigeait le laboratoire de propulsion spatiale de la Nasa. En parallèle, il a eu la chance, en tant que scientifique, de s'envoler sept fois dans l'espace entre 1986 et 2002, totalisant 1 600 heures de vol. De ces expériences est né son bébé, baptisé Vasimr ("*Variable specific impulse magnetoplasma rocket*" ou fusée magnétoplasmaïque à impulsion spécifique variable). Soit un gros moteur qui reprend le principe de fonctionnement des moteurs

électriques spatiaux: chauffer un gaz neutre (argon, xénon, hydrogène) pour le transformer en plasma, puis l'accélérer pour engendrer une poussée. Mais, à la différence des moteurs existants où le plasma est confiné par des parois isolantes en céramique,

sur la fusion nucléaire", précise le physicien. L'avantage, c'est qu'à très haute température, les particules du plasma vont se déplacer très vite. Et, plus leur vitesse sera élevée, moins le moteur consommera pour fournir une vitesse donnée.

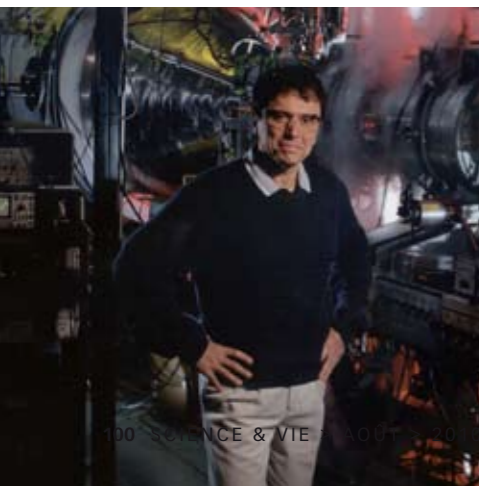
Vasimr s'attaque au casse-tête "mission lointaine, courte durée"

Chang Diaz a décidé de confiner son plasma entre deux miroirs magnétiques. N'étant plus en contact avec les parois et les pièces du moteur, il peut ainsi atteindre des températures de plus d'un million de degrés, sans détériorer le dispositif. "Ce procédé est proche de celui utilisé dans les travaux

Deuxième atout clé de cette technologie de confinement: Vasimr est prévu pour fonctionner avec une puissance importante (de plusieurs mégawatts), là où les moteurs électriques actuels se montrent limités par la fragilité de leurs matériaux. Enfin, l'ionisation et l'accélération étant →

"Mon prochain but: des tests grandeur nature sur la station ISS en 2013"

FRANKLIN CHANG DIAZ, PHYSICIEN, CONCEPTEUR DU MOTEUR VASIMR



AD ASTRA ROCKET - NASA - B. BOURGEOIS

→ réalisées par deux étages distincts, il est possible tour à tour de favoriser la poussée (en injectant plus de gaz, donc en produisant plus d'ions) ou de limiter la consommation de carburant (en chauffant beaucoup le plasma et en l'éjectant très vite).

UNE AVANCÉE CRUCIALE

Mais si la théorie de Chang Diaz séduit depuis longtemps les chercheurs de cette discipline, la plupart d'entre eux restaient sceptiques sur la faisabilité du projet. Jusqu'en septembre dernier, lorsque le physicien a réalisé plusieurs tests en laboratoire qui ont donné d'un seul coup de la crédibilité à son invention. Un prototype de son moteur, baptisé VX-200, a ainsi réussi à fournir une poussée de 4,2 newtons avec une puissance électrique de 200 kW! "Cette étape est cruciale parce que ce niveau de puissance est celui que nous comptons tester dans l'espace lors de nos premiers essais", explique Chang Diaz. "C'est indéniablement une grande avancée, confirme Stéphane Mazouffre, responsable de l'équipe de propulsion électrique du laboratoire Icare du CNRS. Vasimr sera le propulseur électrique le plus puissant jamais testé en vol."

Fort de ces résultats, le Costaricain cherche à optimiser le fonctionnement du moteur en jouant sur différents paramètres: carburant, température du plasma, champ magnétique, puissance... Il vient ainsi de publier, dans



▲ La station spatiale ISS en 2013, quand elle sera équipée du moteur Vasimr.

la revue *Physics of Plasma*, un article prouvant que son système reste stable, même avec du deutérium comme carburant. Si tous ces tests se poursuivent avec succès dans les prochains mois, Vasimr pourra très vite être mis en service dans l'espace puisque Chang Diaz a prévu, en partenariat avec la Nasa, d'équiper la station spatiale internationale (ISS) dès 2013. Il s'agira alors d'installer à bord un modèle de 200 kW, alimenté par des panneaux solaires, afin d'aider l'ISS à maintenir sa trajectoire pour une consommation

de carburant vingt fois moins coûteuse qu'aujourd'hui. Et si cette première spatiale donne satisfaction, Chang Diaz compte s'attaquer à plus long terme à l'objectif ultime: Mars en 39 jours... Cette fois, cependant, de simples panneaux solaires ne suffiront plus à fournir la puissance requise (200 mégawatts): pour assurer un temps raisonnable de voyage vers la planète rouge, il faudra embarquer un réacteur nucléaire. Bien sûr, en l'état actuel, rien ne garantit que cela marche... D'abord, parce qu'il faudra trouver le moyen d'acheminer

Vasimr dans l'espace pour le faire fonctionner sous vide. En effet, comme dans tous les moteurs électriques, le plasma de Vasimr doit être maintenu à basse pression pour fournir un bon rendement. Cela impose d'utiliser un lanceur à propulsion chimique pour sortir de l'atmosphère, avant que Vasimr ne prenne le relais dans l'espace.

UN PROBLÈME DE PUISSANCE

Ensuite et surtout, il faudra réussir à passer de 200 kW à 200 MW, c'est-à-dire multiplier par mille la puissance obtenue en laboratoire! Un vrai défi: "Mars en 39 jours, cela sonne bien et ça ne pose pas de problème sur le papier. Mais les plus gros réacteurs nucléaires qui ont volé jusqu'ici faisaient 50 kW. Aucune équipe de propulsion n'a encore ambitionné les 200 MW, précise Elisa Cliquet, spécialiste des systèmes de propulsion au Cnes. Pour atteindre une telle valeur, il faudra changer complètement la technologie de conversion de l'énergie des réacteurs, sans quoi le système sera trop lourd pour voler. Et

Les 3 autres types de moteur spatial

A la différence de Vasimr, ces trois propulseurs sont les seuls à avoir déjà fait leurs preuves dans l'espace. Mais aucun n'est capable de rallier Mars en 39 jours, ni même en trois mois.

MOTEUR CHIMIQUE



Nom du moteur: Vulcain 2
Fabricant: Snecma (2005)
Support: fusée Ariane 5
Carburant: oxygène
Poussée: 1 350 000 newtons
Impulsion spécifique: 431 secondes

MOTEUR ÉLECTRIQUE À EFFET HALL



Nom du moteur: PPS 1350
Fabricant: Snecma (2005)
Support: sonde Smart-1
Carburant: xénon
Poussée: 0,088 newton
Impulsion spécifique: 1 650 secondes

MOTEUR ÉLECTRIQUE À GRILLE



Nom du moteur: NSTAR
Fabricant: Boeing (1998)
Support: sonde Deep Space 1
Carburant: xénon
Poussée: 0,092 newton
Impulsion spécifique: 3 100 secondes

cela nécessite sûrement quarante à cinquante ans de recherche." Un délai incompatible avec les objectifs assignés par Barack Obama. "Peut-être faudrait-il que Chang Diaz se contente d'abord d'un moteur de 10 MW, suggère la chercheuse. Cela permettra d'aller sur Mars en trois mois, en multipliant la puissance seulement par 50. Cet objectif me paraît davantage réalisable à une échéance de 2035."

Stéphane Mazouffre, lui, soulève d'autres limites: "Personne ne dispose de données sur la durée de vie et l'endurance d'un tel dispositif. Quelles seront

les performances du moteur après des milliers d'heures de fonctionnement? A quel rythme les parois intérieures du moteur vont-elles se dégrader sous l'effet du plasma?"

Sur ce sujet, Chang Diaz reconnaît sa faiblesse. Il vient d'ailleurs de consacrer une équipe complète à cette tâche, pour réaliser des simulations. Il attend aussi avec impatience les premiers tests sur l'ISS. De quoi confirmer ou non si, dans cette course au voyage spatial, Vasimr s'avère bien le meilleur des candidats dans la double épreuve "sprint et endurance".

LA RUSSIE ET L'EUROPE DANS LES STARTING-BLOCKS

12 novembre 2009: parmi plusieurs projets de modernisation pour son pays, Dmitri Medvedev, le président russe, dévoile la création d'un moteur à plasma alimenté par un réacteur nucléaire, pour rejoindre la Lune ou Mars

d'ici à 2014. La nouvelle officialise un programme de recherche resté confidentiel jusqu'ici, car trop lié à des opérations militaires. Depuis, aucun détail n'a filtré, excepté sa puissance qui pourrait atteindre un mégawatt

(c'est-à-dire cinq fois plus que le prototype Vasimr testé en laboratoire, mais deux-cents fois moins que celui qui sera conçu pour aller sur Mars). Plus près de nous, à Orléans, l'équipe de Stéphane Mazouffre, du CNRS, tra-

veille, dans le cadre du projet européen Hiper, sur un moteur électrique d'un newton de poussée et 20 kW de puissance. Prévu pour l'an prochain, il deviendra le moteur électrique de ce type le plus puissant d'Europe.

NASA - VULCAIN - BOEING