

L'introduction :

L'exploration du système solaire aux missions interplanétaires habitées, nécessitent des propulseurs à grande poussée, à haute vitesse d'échappement et permettant une mobilité sûre.

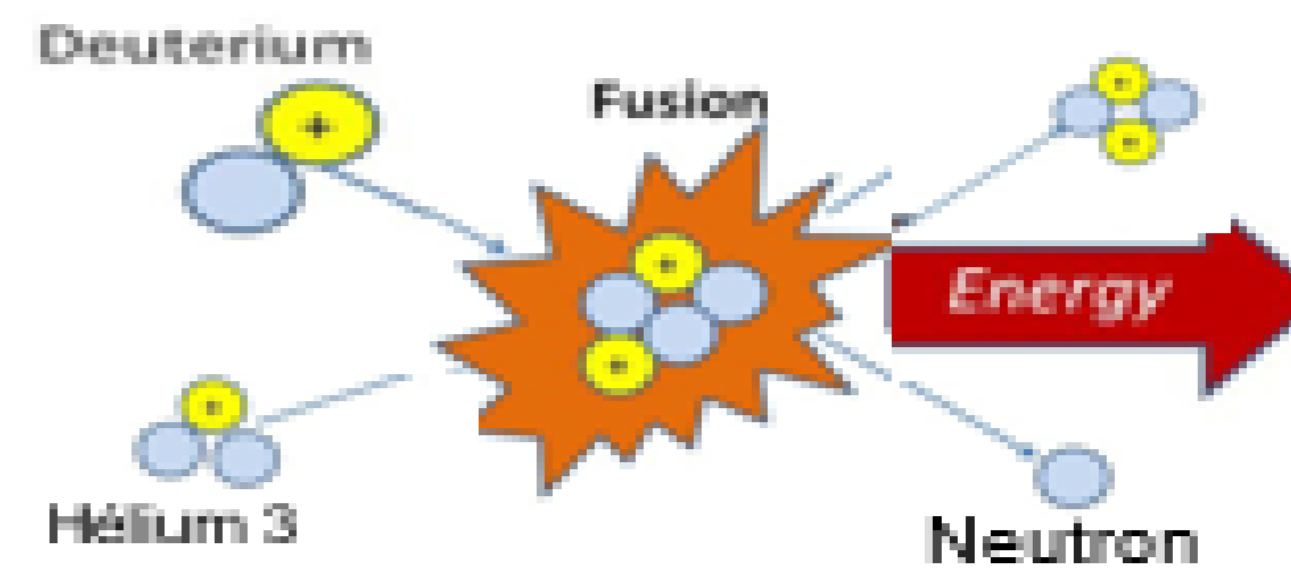
Pour cela des systèmes de propulsion permettant l'amélioration des performances d'engins spatiaux ont été développés. L'un de ces propulseurs envisagés est la propulsion par fusion nucléaire nommée *Direct Fusion Drive* (DFD) qui est actuellement à l'étude au Princeton Plasma Physics Laboratory. Le moteur *Direct Fusion Drive* (DFD) est un système de propulsion de fusion thermonucléaire aneutronique, alimenté par un mélange de Deutérium et d'Hélium 3.

Un moteur à fusion nucléaire pourrait-il équiper les prochaines fusées d'ici un avenir proche ?

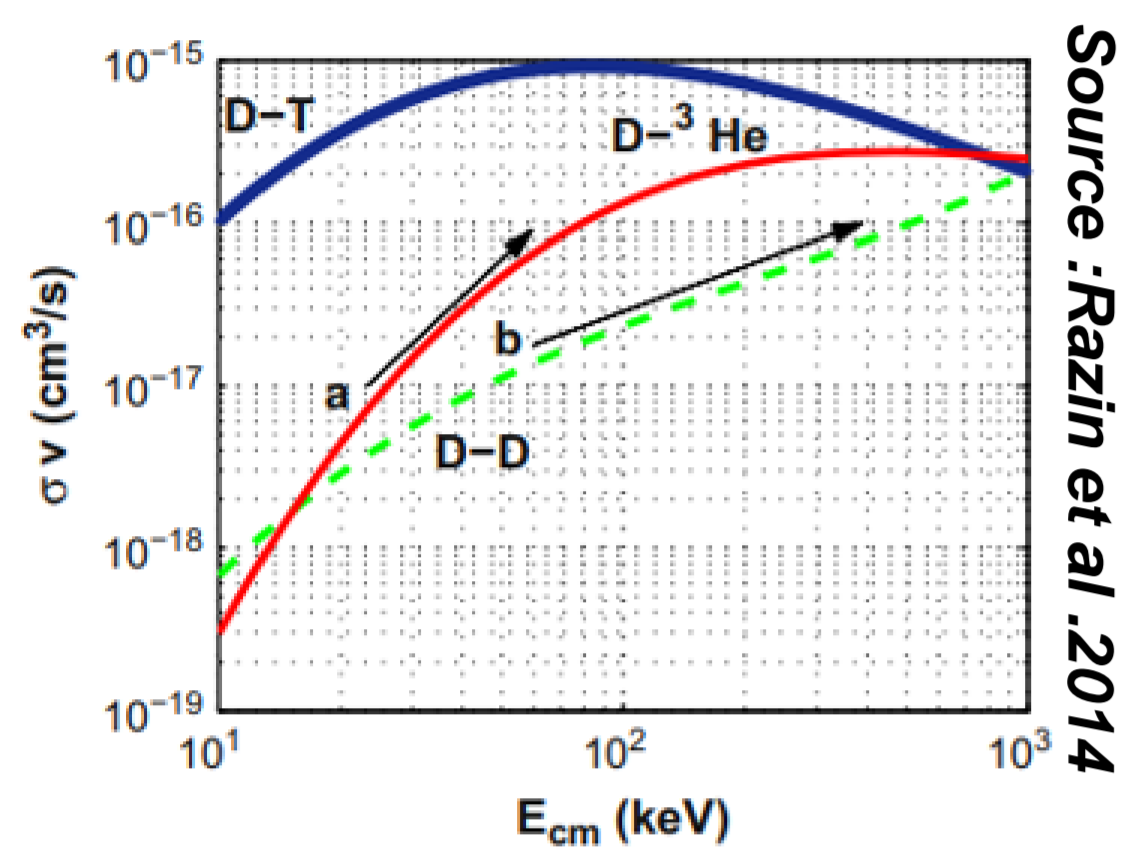
La fusion aneutronique

C'est le processus dans lequel deux noyaux atomiques s'assemblent pour former un noyau plus lourd sans production de neutron ou en quantité très faible. Cette réaction est à l'œuvre de manière naturelle dans le Soleil et la plupart des étoiles de l'Univers.

La réduction de la production de neutrons est cruciale pour la propulsion spatiale, car elle réduit le blindage requis et par conséquent, la taille, la masse et le coût de l'engin spatial.



1-Choix de l'utilisation du couple Deutérium et Hélium-3



Taux de réaction de fusion (σv) par rapport à l'énergie (E_{cm})

Source : Razin et al. 2014

Avantages

Le processus de fusion D-T :

- Energie libérée 17,6 MeV

Le processus de fusion D-D :

Le processus de fusion D-³He :

- Energie libérée 14,7 MeV
- Une production minimale de neutrons

Inconvénients

- Nécessite des températures élevées d'allumage
- Haute production de neutrons énergétique

- Energie libérée 2,45 MeV
- Haute production de neutrons énergétique

2-Les propulseurs actuels

Propulseur Chimique

Ergols : Liquide ou solide

Missiles, satellites et certaines fusées

Propulseur électrique

Panneaux solaires

Générateur thermoélectrique à radioisotope

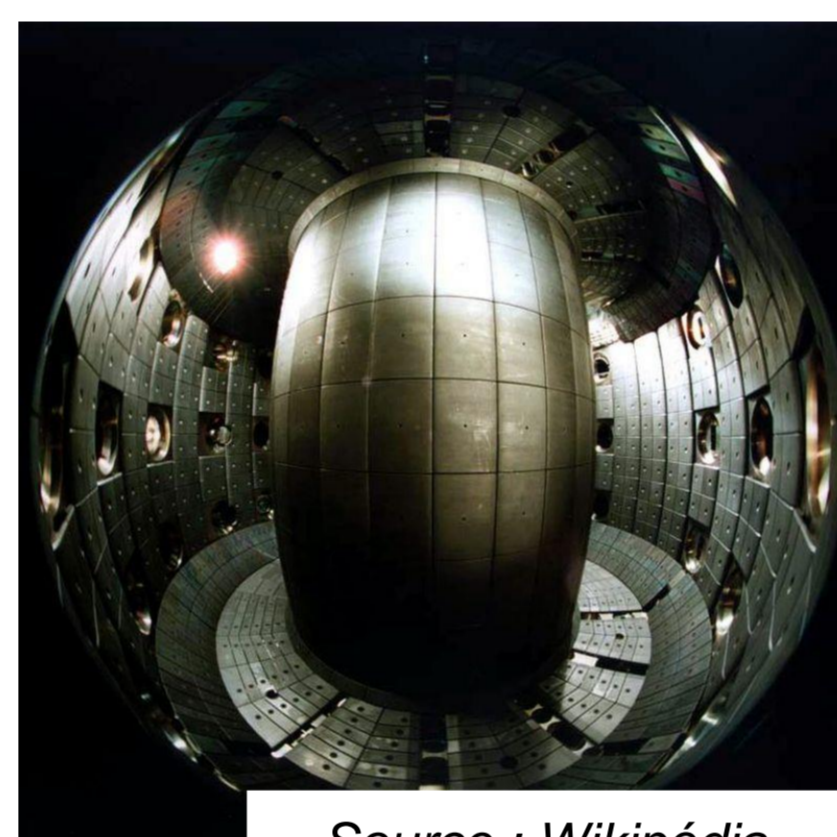
Satellites, et sondes spatiales

3-Le fonctionnement du DFD:

Le Direct Fusion Drive (DFD) est un moteur compact et léger basé sur un plasma chaud d'hélium-3 et de deutérium soumis à d'immenses quantités de pression, confiné dans un champ magnétique en forme de tore à l'intérieur d'une bobine chauffée par un champ magnétique rotatif. Les atomes de ces éléments vont fusionner générant beaucoup d'énergie fournissant à la fois de la poussée et de l'énergie électrique à la fusée. Le confinement magnétique est basé sur le réacteur *Princeton Field-Reversed Configuration* (PFRC)

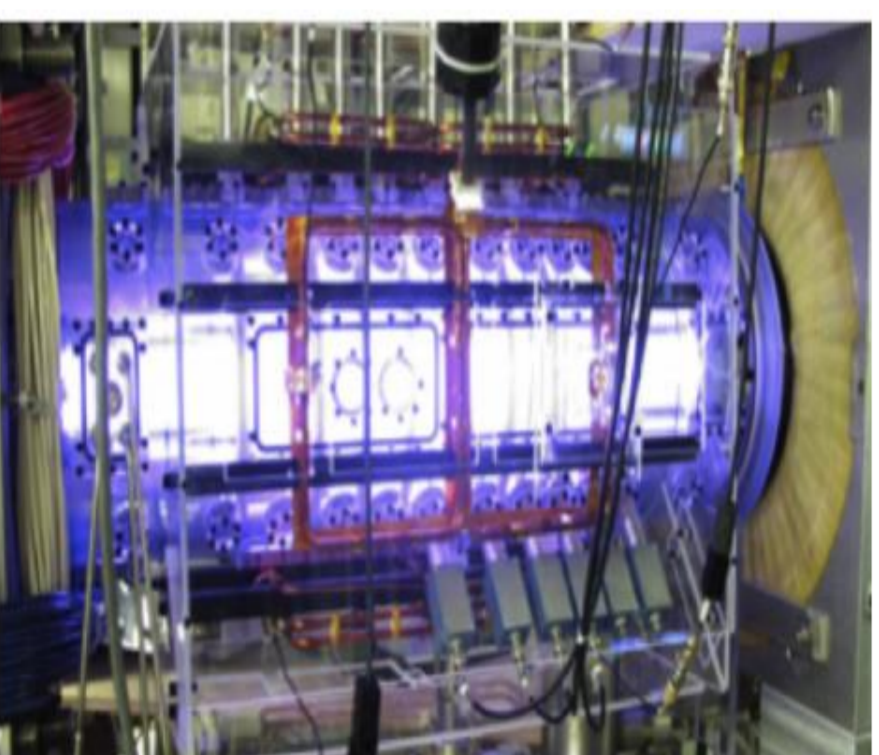
Comparaison du PFRC par rapport à un tokamak :

- Un confinement plus stable de l'énergie
- Un réacteur plus compact.
- Le rapport de la pression du plasma à la densité d'énergie du champ magnétique et 10x plus importante
- Réduction de la puissance neutronique sur les parois d'un facteur 10.



Source : Wikipédia

Tokamak

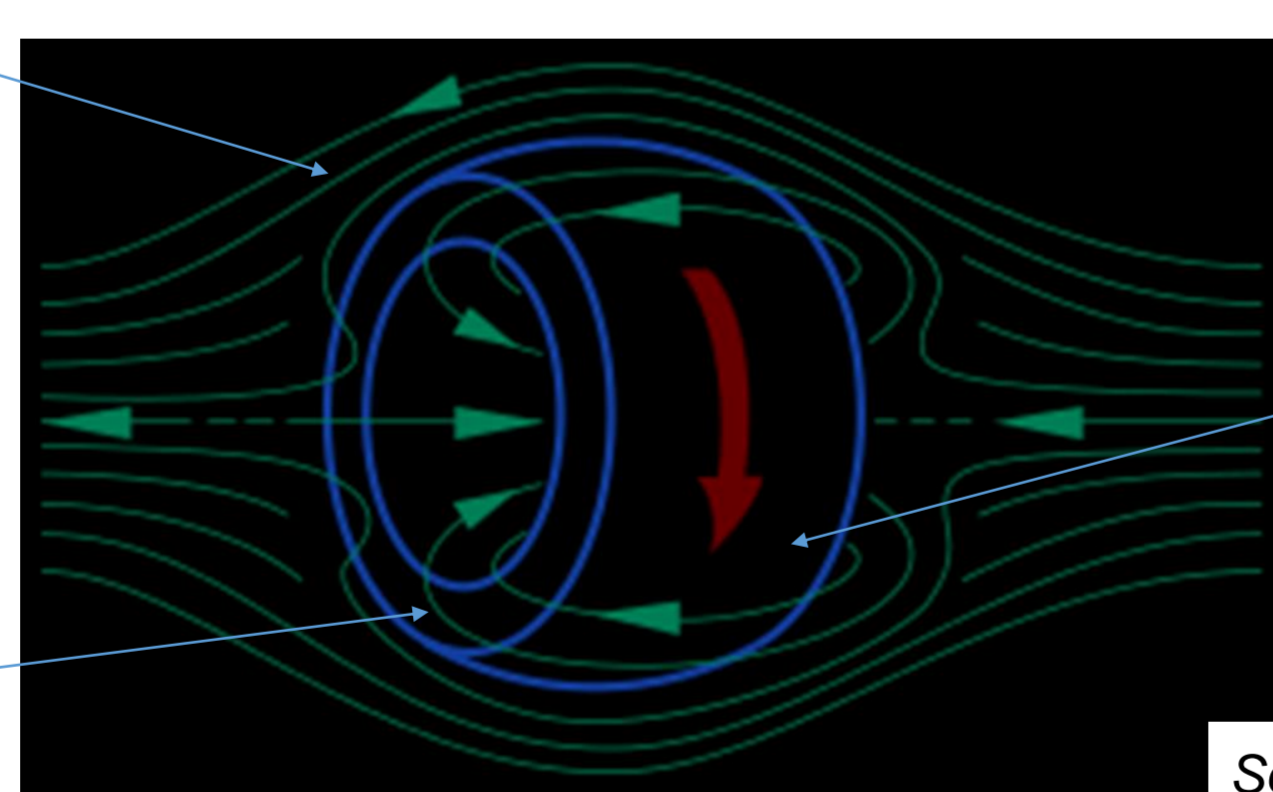


Le PFRC-2

Source : University of Washington, Guggenheim Hall, Seattle 2018

Lignes de champ ouvert

Lignes de champ fermé



Bobine

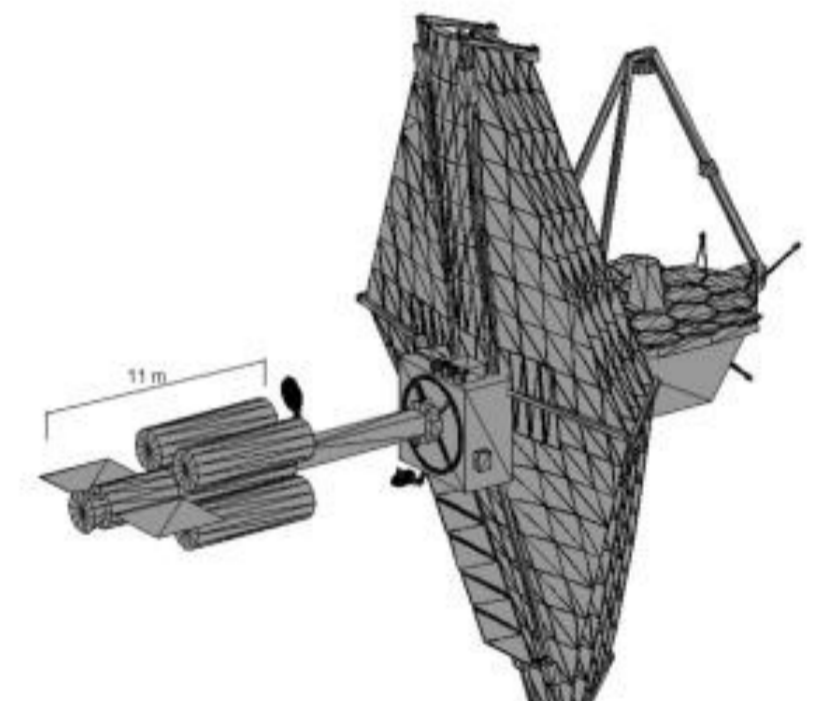
Source : Wikipédia

Représentation des Lignes de champ magnétique

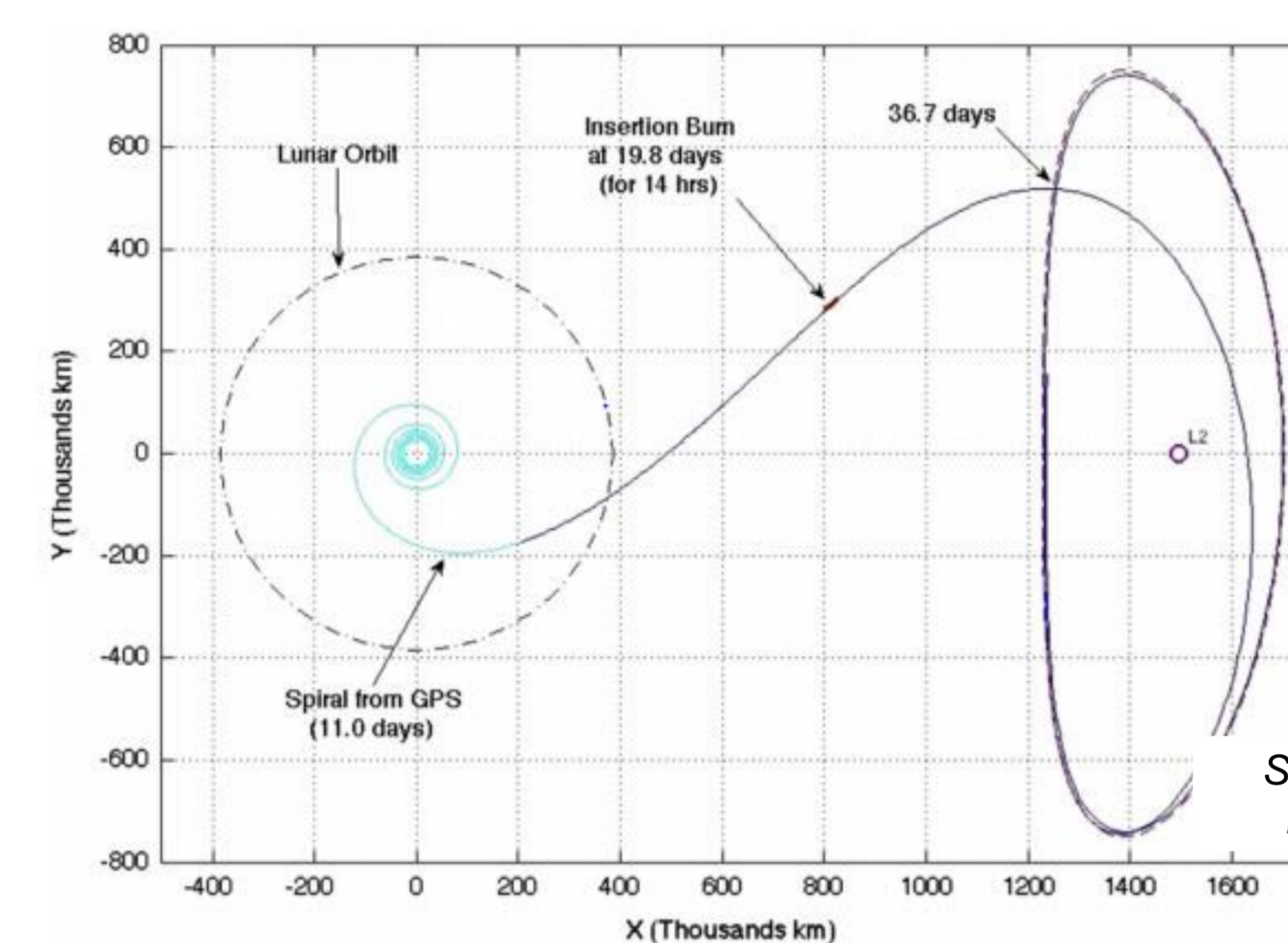
4- Exemple de mission spatiale avec un propulseur DFD :

Les performances du DFD ont été simulées dans le contexte d'une mission de déploiement du télescope spatial James Webb de l'orbite GPS à l'orbite halo située à 770 000 km autour du soleil (point L2).

Le propulseur spatial alimenté par le DFD transporte le télescope spatial James Webb. Le réacteur est fixé au télescope par un pylône. La longueur totale du propulseur indiquée est de 11 mètres.



Source : Razin et al - 2014 Direct Fusion Drive for rocket propulsion



Source :Cohen et al. - Direct Fusion Drive for Interstellare Exploration

Trajectoires du satellite à travers les différents orbites

Les avantages de l'utilisation du DFD pour cette mission :

- Réduction du temps de voyage : 3-4 mois contre 1 an pour ce genre de mission selon les données de la NAZA basées sur la propulsion chimique
- Réduction de la masse du satellite : 12 370 Kg contre 37 070 Kg
- Réduction de la taille du satellite

Conclusion:

Le développement d'un propulseur à fusion nucléaire basée sur le couple D- 3H pourra équiper les prochaines fusées pour des missions spatiales avenir et ainsi permettre des voyages dans le système solaire avec une facilité jamais atteinte auparavant.

Cependant d'autres recherches doivent encore être mises au point notamment sur le PFRC-2 qui est en phase d'expérimentation. Le prochain essai réacteurs se fera avec le PFRC-3, qui fonctionnera à des températures et des pressions plus élevées.

Bibliographie:

- Cohen, D.S., n.d. Princeton Field Reversed Configuration Reactor for Spacecraft Propulsion.
- Cohen, S.A., Swanson, C., McGreiv, N., Raja, A., Evans, E., Jandovitz, P., Khodak, M., Pajer, G., Rognien, T.D., Thomas, S., Paluszek, M., n.d. Direct Fusion Drive for Interstellar Exploration 17.
- Genta, G., Kezerashvili, R.Ya., 2020. Achieving the required mobility in the solar system through direct fusion drive. Acta Astronautica 173, 303-309.
- Razin, Y.S., Pajer, G., Breton, M., Ham, E., Mueller, J., Paluszek, M., Glasser, A.H., Cohen, S.A., 2014. A direct fusion drive for rocket propulsion. Acta Astronautica 105, 145-155.
- Wikipédia, 2020. Field-reversed configuration. Wikipédia.
- Marco Gajeria,b, Paolo Aimea,b, Roman Ya. Kezerashvili,b,c,d A,2020, Titan mission using the Direct Fusion Drive.
- Cohen et Al , 2017, Method and apparatus to produce high specific impulse and moderate thrust from a fusion-powered rocket engine, Brevet ,United States Patent.
- Joseph B. Mueller and Yosef S. Razin and Michael A. Paluszek and Amanda J. Knutson and Gary Pajer ,2013,Direct Fusion Drive Rocket for Asteroid Deflection, The George Washington University, Washington D.C., USA.
- Stéphane Mazouffre, La propulsion spatiale électrique,2018.