

L'observatoire SPHEREx de la Nasa va cartographier 400 millions de galaxies et par approche statistique, essayer de mieux comprendre l'origine de l'univers (inflation), retracer leur histoire, chercher l'origine de l'eau et des briques de la vie. Vue de l'intégralité du ciel en 102 couleurs infrarouges, Image publiée le 18 décembre 2025. elle présente une sélection de couleurs émises principalement par les étoiles (bleu, vert et blanc), l'hydrogène chaud (bleu) et la poussière cosmique (rouge). © Nasa, JPL-Caltech

# EN SOUVENIR DE



**Yannick MELLIER et Roger Maurice BONNET**

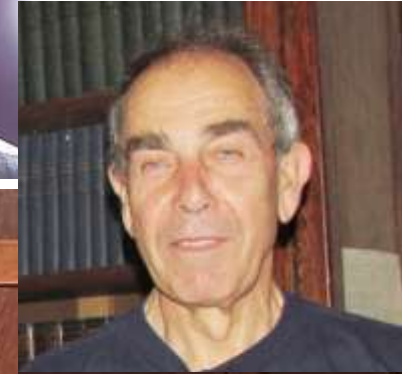


# LA COMMISSION

		
Jacques Fric	Thierry Foul	Jean Pierre Martin

Vice-président    Secrétaire    Président

La commission de cosmologie est une des plus importantes de la SAF, au moins sur le plan numérique (plus de 400 membres inscrits). Son activité principale est l'organisation de conférences par des scientifiques que nous tenons à remercier pour leur contribution à la mission de diffusion et promotion de la connaissance scientifique, propre au caractère d'utilité public de la Société Astronomique de France.. Généralement 40 à 50 membres participent aux réunions régulièrement.



- ★ Pour 2024/2025, 4 conférences :
- ★ [E=mc<sup>2</sup>, explications](#) : d'O Laurent du 26 Oct 2024
- ★ [Paradoxe des fusées de Bell](#) : de J Fric du 18 Janvier 2025
- ★ [La gravitation quantique](#) : d'E. Livine du 22 mars 2025
- ★ [Le paradoxe d'Olbers](#) : de T Midavaine du 22 Mai 2025

Les liens sont relatifs aux comptes-rendus des conférences.

On trouvera, les conférences sur  
<https://www.planetastronomy.com/> et sur  
<https://cosmologie.saf-astronomie.fr/>

★ Nous avons organisé pour 2025/2026,  
3 réunions conférences :

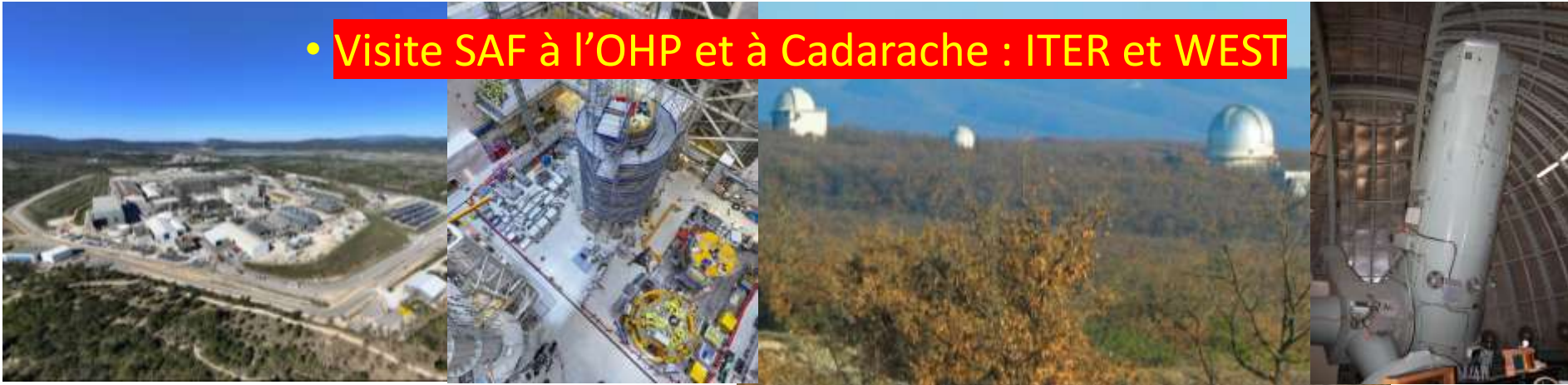
★ Table ronde cosmo : du 27 Sept 2025  
par Roland Fillon, modérateur Jean  
Philippe Uzan



★ Le Zoo Euclid : du 29 Nov 2025 par  
L Quilley.

★ Fusion nucléaire: Energie du futur? :  
du 7 Mars 2026 par J Fric

- Visite SAF à l'OHP et à Cadarache : ITER et WEST



A l'initiative de T. Midavaine, M. Curlin, J. Fric, D. Imbaut, C. Larcher, B. Lelard, J-P. Martin, P. Roux :

Visite personnalisée pour les membres de la SAF de l'Observatoire de Haute Provence, de ITER en construction, et du CEA tokamak WEST (opérationnel)

Départ depuis la Gare de TGV Aix en Provence pour 50 personnes max (capacité du car) le mardi 17 novembre à 11h, hébergement à l'OHP et retour le mercredi 18 novembre 18h avec les 3 repas et petit dej 200€

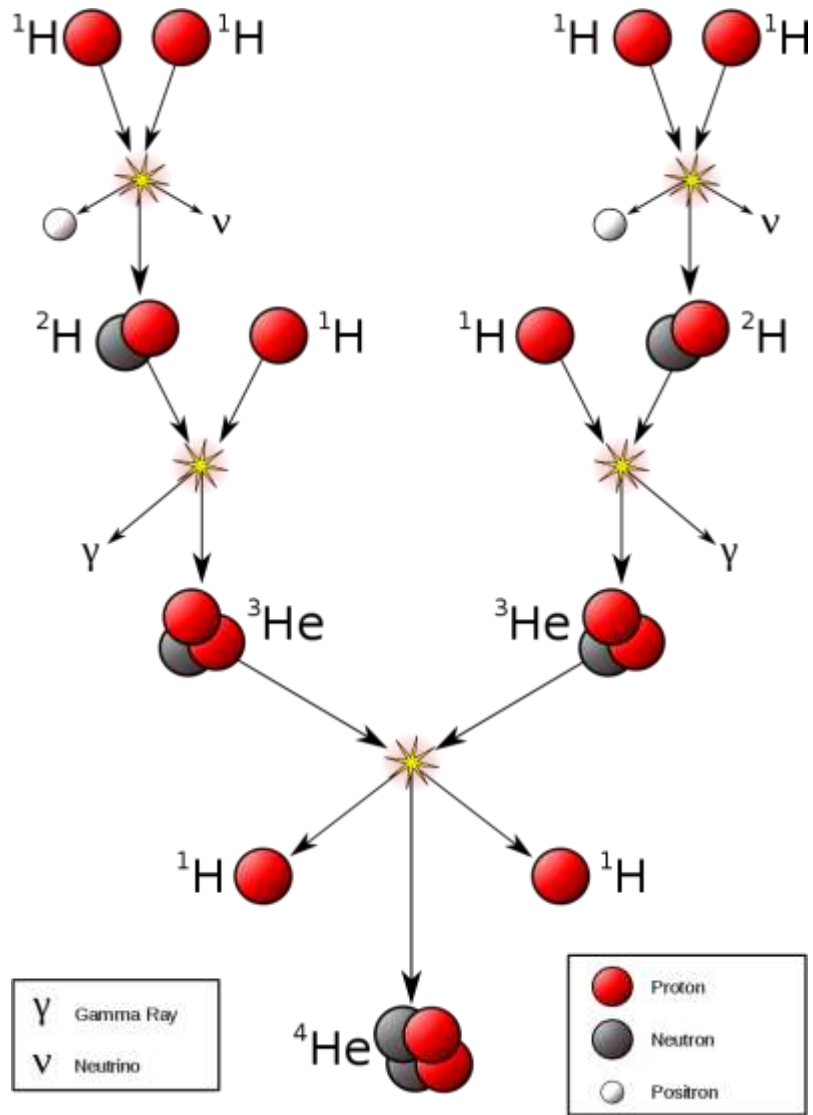
Pré-inscription sur le site saf-astronomie: <https://saf-astronomie.fr/voyage-iter-ohp/>

1

# ITER- Tester la faisabilité de production d'énergie par la fusion nucléaire



[Pour plus de détails:La fusion nucléaire, énergie du futur ?](#)



La réaction **proton + proton** est la réaction principale dans le Soleil, mais pas la seule.

Le temps moyen pour que la réaction se produise est donné. Le positron créé s'annihile avec 1 électron.

Réaction très énergétique: Energie de liaison libérée: 7 Mev/nucléon.

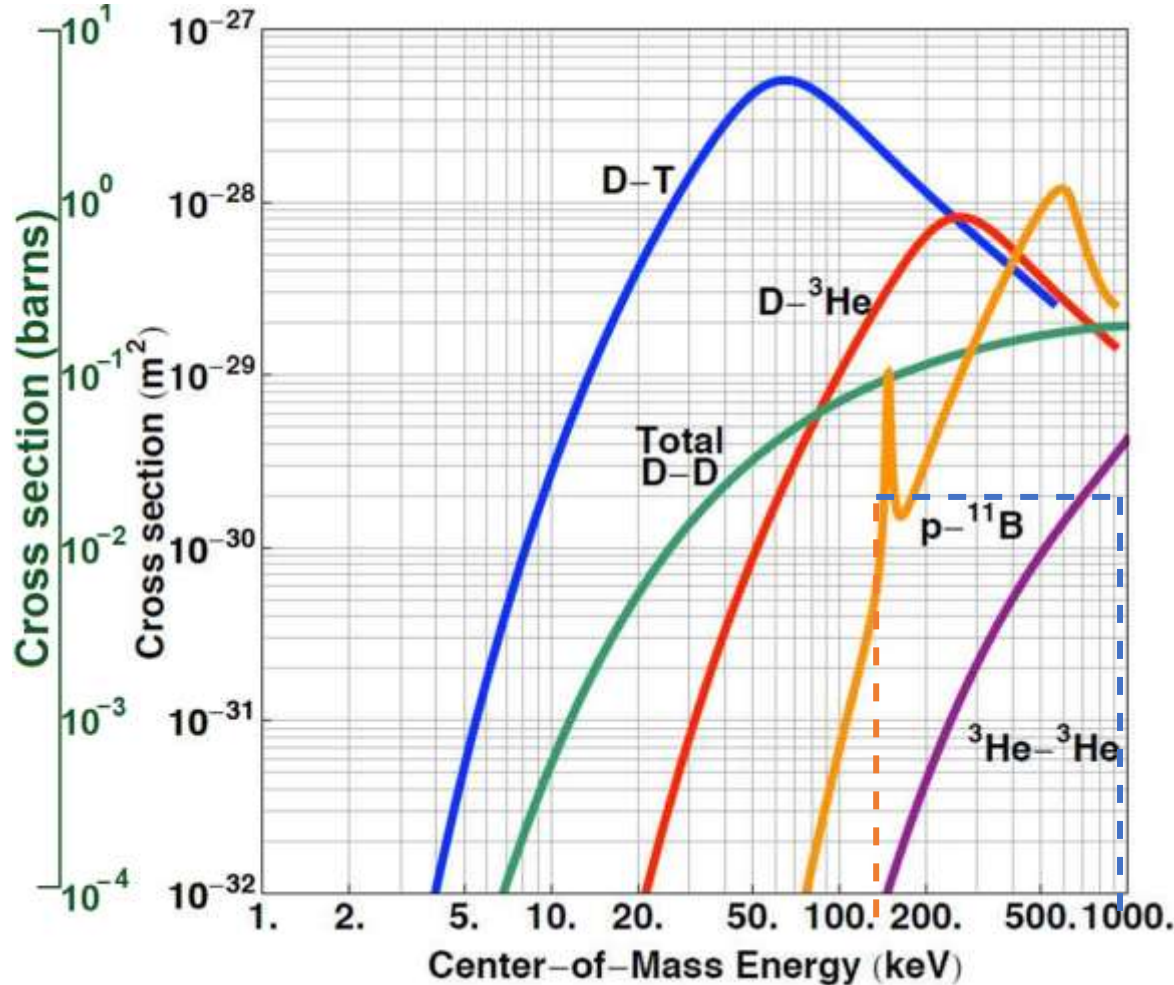
# Ce qu'on aimerait faire



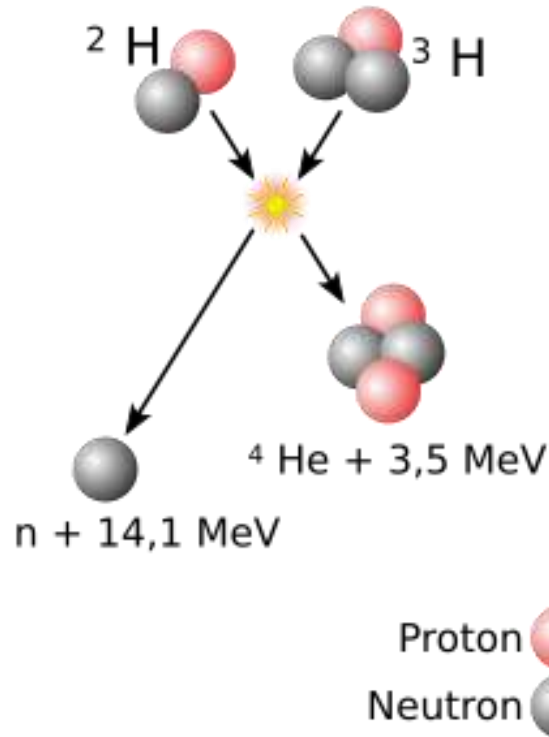
Soleil miniature sur Terre, mais cela ne marche pas!

# Taux réaction D+T vs D+<sup>3</sup>He

★ Section efficace de différentes réactions. On voit que la réaction Deutérium + Tritium (D+T) est la plus probable

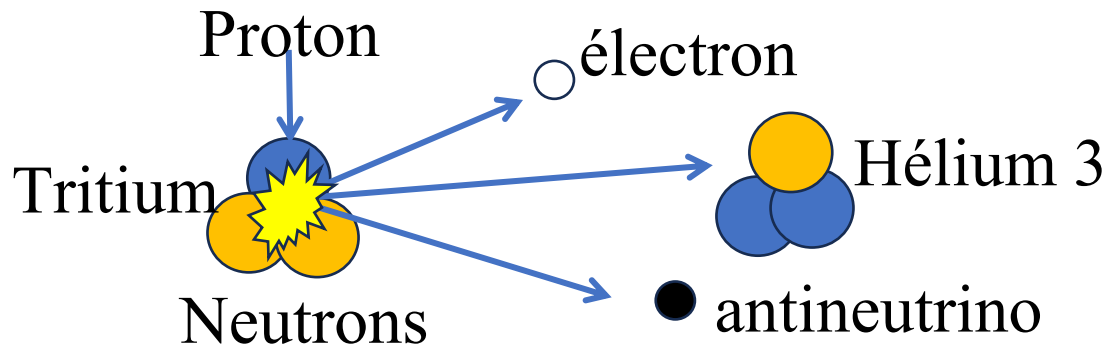
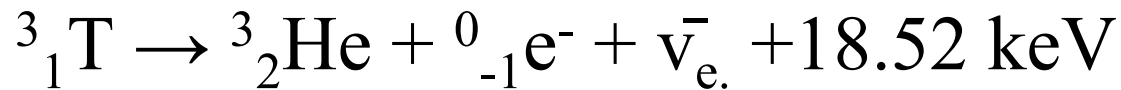


La courbe de la réaction (H+H) n'est pas représentée car serait très en dessous du graphe (entre 10<sup>-50</sup> et 10<sup>-40</sup> dans cette plage de température).



La réaction ( $p + p$ ), a une section efficace très faible. Elle est compensée par la quantité de matière gigantesque dans le Soleil (300 000 Terres). Elle est inefficace sur Terre où la quantité de matière à fusionner est infime (qq grammes). On utilise la réaction, D+T (isotopes de l'hydrogène), moins performante, (3.52 MeV/nucléon), compatible avec une utilisation terrestre. **Est-ce la solution miracle?**

Le tritium se désintègre, avec une période de **12 ans**, par la réaction suivante ( neutron  $\rightarrow$  proton): Interaction faible



Radioactivité de type  $\beta^-$

# Quelques points critiques de la fusion Deutérium + Tritium

Tritium naturel 3.5 kg, inexploitable.

Stock Tritium fabriqué dispo < 30 kg, (30 000 \$/g).

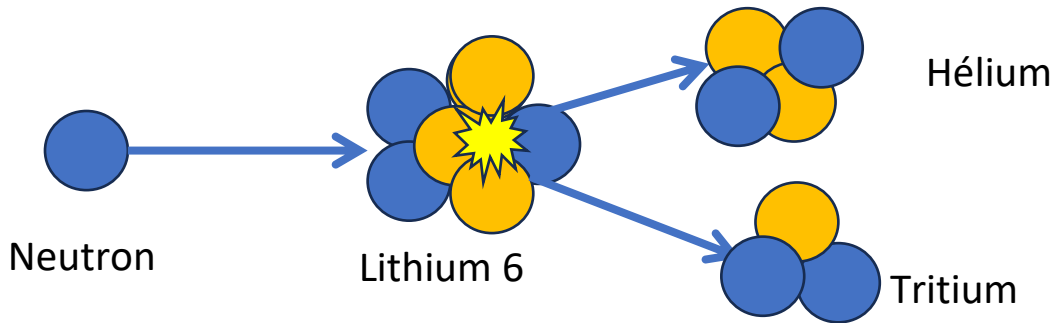
Stockage à court terme seulement!

ITER devra fabriquer plus de Tritium qu'il n'en consomme!!

2-Les neutrons générés par la réaction (14 MeV) sont dévastateurs pour sa structure

# Production du tritium avec lithium 6 (8% Lithium naturel)

La capture d'un neutron par le lithium 6 qui, en se désintégrant, produit 1 atome d'hélium et 1 de tritium est :

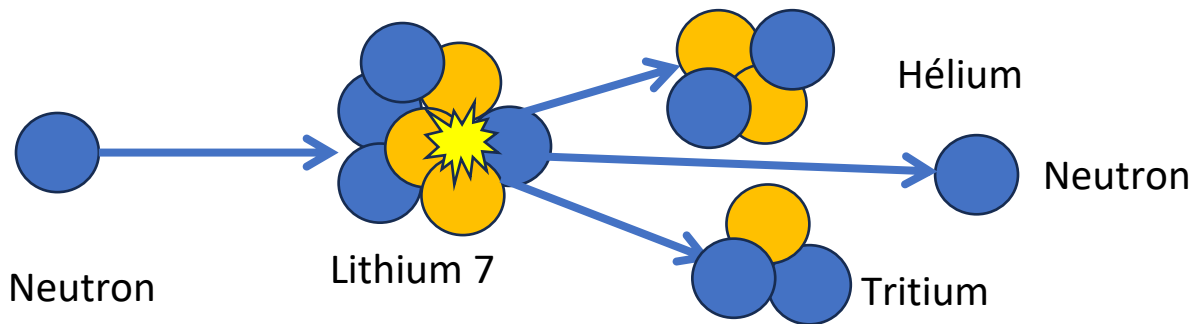


En bleu les neutrons, en orange les protons. Section efficace :  $\sigma = 940$  barns, pour des neutrons très lents (0,025 eV).

Forte probabilité de réaction, mais ne compense pas la perte.

# Production du tritium avec lithium 7 (92% Lithium naturel)

La réaction (endothermique) d'un neutron par le lithium 7 qui produit 1 atome d'hélium, 1 de tritium et un neutron est :



$\sigma = 0.4\text{barn}$  pour neutrons  $> 2.5\text{ MeV}$ . Probabilité de réaction faible, mais les neutrons ré-émis peuvent générer 40 réactions  $\rightarrow \text{TBR} > 1$ , (Tritium Breeding Rate), qui est requis.

- ★ Ces neutrons énergétiques vont **endommager** en profondeur les matériaux de première paroi en provoquant des déplacements d'atomes dans le réseau cristallin et en produisant du gaz en leur sein par transmutation nucléaire (hydrogène ou hélium).
- ★ Par ailleurs ces réactions de transmutation ont pour conséquence une activation nucléaire des matériaux (des isotopes radioactifs peuvent être créés).
- ★ On estime qu'un réacteur de fusion pourrait produire plus de 30 dpa/an (à comparer aux 80 dpa d'une centrale à fission sur toute sa vie).

- ★ La fusion génère peu de déchets radioactifs, en particulier à longue période qui nécessitent un enfouissement, au grand dam des riverains.
- ★ Pas de gaz à effet de serre.
- ★ Les produits de fusion (hélium) ne sont pas radioactifs mais les neutrons rapides peuvent créer des isotopes radioactifs, heureusement de courte période.
- ★ Au niveau santé, quelle que serait la forme de l'apport en tritium dans l'organisme, la plus grande partie du tritium est réputée éliminée en 1 mois et la presque-totalité est éliminée en moins de 1 an. Sa période biologique est donc très inférieure à sa période radioactive.
- ★ Le deutérium, qui est également de l'hydrogène n'est ni chimiquement ni radioactivement nocif (stable).

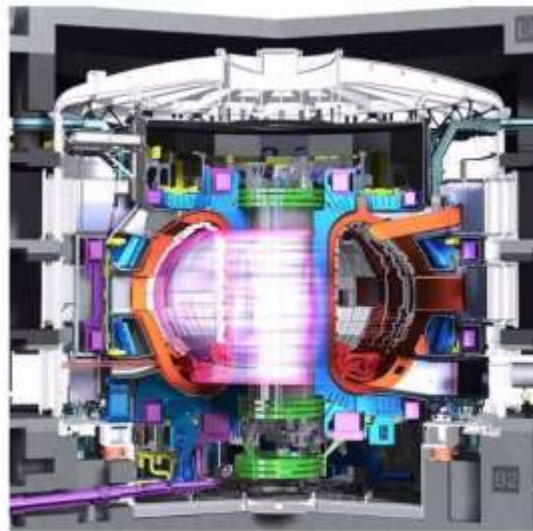
- ★ **Tout risque d'emballement** de la réaction nucléaire et donc toute menace d'explosion est écartée.
- ★ Contrairement au procédé de fission nucléaire, la moindre perturbation (une fuite par exemple) au sein d'un tokamak entraînerait un refroidissement suivi d'un arrêt spontané des réactions de fusion.
- ★ En cas de destruction violente du tokamak, les risques générés pour l'environnement sont limités, l'énergie interne au tokamak étant celle d'un TGV en marche.
- ★ Le deutérium qui s'échapperait est inoffensif quant au tritium à courte période, il y en a très peu (moins de 1g dans le tokamak ITER) et étant un gaz léger (hydrogène) il peut s'échapper dans l'atmosphère.
- ★ Alternativement, ces gaz, étant de l'hydrogène, peuvent brûler, mais vu la faible quantité ce sera limité.



LA FUSION NUCLEAIRE, ENERGIE DE L'AVENIR

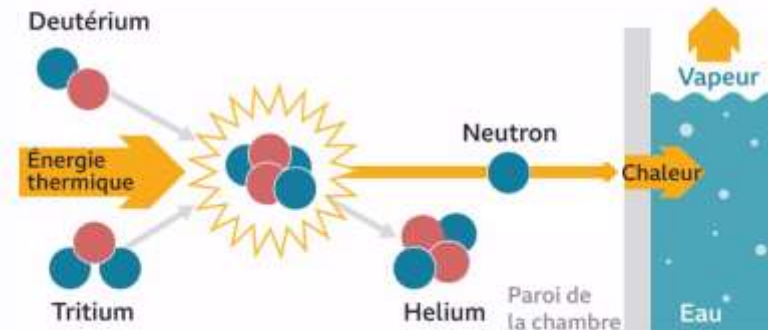
Commission Cosmologie de la SAF  
le 7 Mars 2026 avec Jacques Fric

- Le Futur tokamak d'ITER mesurera 29m de haut pour 28m mètres de diamètre et pèsera approximativement 23 000 tonnes.
- Volume chambre à vide 1400m<sup>3</sup>.
- Puissance escomptée: 500Mw par impulsions de 5 à 10mn
- Puissance du Soleil au même volume: 1.4Kw, c'est la puissance d'un petit radiateur électrique permettant de chauffer une petite chambre!



### Comment fonctionne la fusion nucléaire

1	2	3	4
Les atomes d'hydrogène sont chauffés	Réaction de fusion	Hélium, neutron et énergie libérée	L'énergie des neutrons chauffe l'eau



**ITER doit être 400 000 fois plus efficace que le Soleil!**

- ★ **Helion Energy, Inc.** est une société américaine dédiée à la fusion nucléaire, à Everett, dans l'État de Washington.
- ★ Elle n'utilise pas un tokamak ou stellarator mais développe une fusion de  $^3\text{He} + \text{D}$  avec la technologie magnéto-inertielle cyclique.
- ★ Dans un cycle, on provoque la collision à 300km/s de 2 plasmoides (Un **plasmotide** est une structure autoconfinée constituée d'un plasma et d'un champ magnétique qui en assure la cohésion.). L'onde de choc élève sa température et amorce une fusion fugace. Rendement: nb de cycles/s.
- ★ Comme l'énergie est portée par les protons, confinés, elle est extraite par couplage électromagnétique, plus efficace.
- ★ Peu de neutrons (réactions secondaires), blindage + léger!
- ★ Prototype délivrant 50MW annoncé en 2028. Certains scientifiques émettent certains doutes sur ce calendrier.

- ★ La Start up « Renaissance fusion » (100 personnes) basée près de Grenoble a déposé plusieurs brevets sur des innovations majeures, qu'elle exploite dans son développement. Elle projette un proto en 2030 et un modèle industriel en 2035.
- ★ Des aimants gravés au laser pour traiter le problème de l'extrême complexité de la géométrie des aimants supraconducteurs des stellarators pour confiner le plasma.
- ★ Un bouclier de métal liquide (Lithium) pour blinder la machine contre les neutrons rapides et générer le tritium nécessaire.



*Les résultats obtenus sur le tokamak EAST (chine) atteignent une densité électronique moyenne comprise entre 1,3 et 1,65 fois la limite de densité de Greenwald. [Science Advances le 1er janvier 2026.](#)*

**Découverte gisement hélium 3.** Minnesota. Au Topaz Project, (**Pulsar Helium Inc.**) le puits de forage Jetstream 1 a une concentration d'hélium-3 estimée à **14,5 parties par milliard (ppb)**, comparable aux échantillons lunaires: → 3kg/an d'  $^3\text{He}$ .

Production mondiale  $^3\text{He}$ , env. 15kg/an (maintenance armes nucléaires).

Stock mondial  $^3\text{He}$ , estimé à qq centaines de kgs.

Sur la Lune quantité estimée d'  $^3\text{He}$ , 1 milliard de tonnes.

★ MERCI DE VOTRE ATTENTION

