



Mise à jour 2 Avril 2026



**CONFÉRENCE de
Jacques FRIC VP de la commission
« LA FUSION NUCLÉAIRE, ÉNERGIE DE L'AVE-
NIR ? »**

**Organisée par la SAF
En direct du siège et par téléconférence
Le Samedi 7 Mars 2026 à 15H00
À l'occasion de la réunion de la Commission de Cosmo-
logie**

Photos : MC et JPM (capture d'écran), pour l'ambiance.

Les photos des slides sont de la présentation de l'auteur. Voir les crédits des autres photos et des animations.

Le conférencier a eu la gentillesse de nous donner sa présentation, elle est disponible [sur ma liaison ftp](#) et se nomme :

[fusion-nucleaire-Fric.pdf](#), qui se trouve dans le dossier COSMOLOGIE-SAF/saison 2025-2026.

Ceux qui n'ont pas les mots de passe doivent [me contacter avant](#).

Les actualités présentées [sont ICI](#).

La vidéo de la séance se trouve : <https://youtube.com/live/GkCm3VwQcFg>

Les enregistrements des commissions cosmologie sont sur le site de la SAF/Cosmologie à l'adresse suivante :

<https://www.youtube.com/playlist?list=PL78ug7UrzPF1GW7iMV42mAx34bmlk8HxD>



Nous étions une quinzaine dans la salle et 16 sur Zoom.



Jacques Fric est docteur en astrophysique, il est aussi depuis très longtemps Vice-Président de cette commission de cosmologie.

Il nous parle ce soir de la fusion nucléaire, à l'époque où l'on construit ITER, est-ce vraiment l'énergie de l'avenir ?

Il commence sa présentation par une introduction permettant d'y voir clair entre fusion et fission

FISSION FUSION QUELLES DIFFÉRENCES ?

Les énergies nucléaires sont de deux ordres :

- **La fission** : on casse les noyaux et ça produit de l'énergie, ça marche actuellement et c'est relativement facile à faire, à température ordinaire.
- **La fusion** : on fusionne des noyaux légers pour produire un noyau plus lourd et ça produit aussi de l'énergie, c'est ce qui se passe dans le Soleil, ça présente un gros défaut : ça ne marche pas actuellement de façon opérationnelle ! Beaucoup plus difficile, il faut vaincre la répulsion naturelle des atomes, la température doit être (très) élevée.

Comme toute étoile, le Soleil est un gigantesque réacteur nucléaire. En son cœur, des réactions nucléaires de fusion ont lieu, au cours desquelles, l'hydrogène est transformé en hélium en libérant de l'énergie. Il est constitué d'un plasma principalement d'Hydrogène (noyaux + électrons).

La température au centre du Soleil est de quinze millions de degrés et la densité est de cent cinquante fois celle de l'eau (150 g/cm³).

En se fusionnant les différents atomes émettent de l'énergie sous forme de gamma, c'est qui nous chauffe.
Ces gamma mettent quelques centaines de milliers d'années pour atteindre la surface du Soleil et s'échapper.

La transformation de l'hydrogène en hélium par fusion nucléaire s'accompagne d'une libération colossale d'énergie par seconde :

$$3,85 \cdot 10^{26} \text{ watts}$$

La Terre, du fait de l'éloignement de son étoile (150 millions de kilomètres en moyenne) ne reçoit que 1 milliardième de cette énergie soit

$$3.85 \cdot 10^{17} \text{ watts}$$

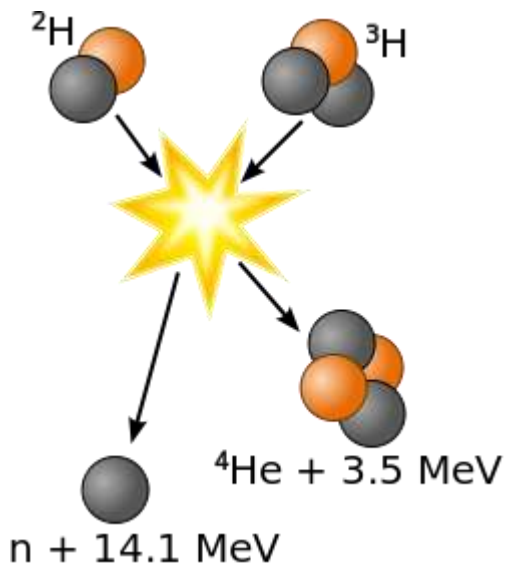
Voir la présentation de Jacques qui explique particulièrement en détails les réactions dans le Soleil.

POURQUOI LA FUSION SUR TERRE ?

Dans le Soleil (et les étoiles), cette fusion se produit grâce à l'énorme densité au centre de l'étoile.

Sur Terre, on est incapable d'atteindre une telle pression, on la remplace par une énorme température pour accéder aux réactions nucléaires.

Disons tout de suite que ce n'est pas exactement la même réaction (Hydrogène en Hélium) que dans le Soleil (réaction proton-proton), pour des raisons d'efficacité, mais c'est quand même à base d'isotopes d'Hydrogène car on utilise le Deutérium et le Tritium.



Les combustibles sont abondants : le Deutéri-um se trouve en petite partie dans les océans (33 g de D par m³), et le Tritium est instable (radioactif) et peu présent dans la nature (en surface 3,5 kg pour toute la Terre, et présent en haute atmosphère, rayons cosmiques), mais on le fabrique assez facilement à partir du Lithium par activation neutronique (on ajoute des neutrons). On en fabrique 30 kg par an.

Le Tritium est radioactif période 12 ans.

Au point de vue sûreté : il n'y a pas de risque de contamination ou d'explosion nucléaire.

Les déchets : il n'y a pas d'accumulation à très long terme, car les seuls "déchets" radioactifs sont les composants à l'intérieur du réacteur qui sont "activer" (rendu radioactif) par les neutrons produits, mais lors de l'arrêt du réacteur, ces éléments décroissent rapidement dans le temps (<100ans) contrairement aux déchets de fission qui ont des périodes pouvant aller à plusieurs millions d'années.

C'est l'énergie des neutrons émis qui en chauffant de l'eau fournira la puissance désirée.

De très grandes quantités d'énergie sont libérées par le processus de fusion nucléaire.

Pouvoir reproduire ce phénomène sur Terre permettrait en théorie de satisfaire pour longtemps les besoins énergétiques de l'humanité.

C'est précisément l'enjeu majeur de la recherche sur la fusion nucléaire « contrôlée ».

COMMENT FAIRE ?

Les températures très élevées nécessitées par la réaction posent un problème de stockage. On ne peut pas faire toucher ce plasma de quelques 100 millions de degrés une paroi, aucun matériau ne supporte, il faut donc le confiner (le guider) dans un champ magnétique.

Signalons qu'il existe aussi une autre voie de confinement qui est le confinement inertiel par pulse Laser mais qui est surtout étudié par les militaires car ils peuvent donner naissance à des armes ...intéressantes.

Un des problèmes à résoudre pour la fusion contrôlée c'est l'allumage qui est défini par le produit :

- $n T_i t E$ avec
- n le nombre de protons qui est extrêmement faible (très peu de matière nécessaire étonnement)
- T_i la température donc aussi la pression qui est de l'ordre du bar.
- tE le temps de confinement de l'énergie (entre le cœur et les bords) ce n'est pas le temps de vie du plasma. Il est de l'ordre de 1 seconde. (signifie que le plasma devrait mettre de l'ordre de 1 seconde pour se refroidir si on arrête le réacteur).

La seule façon de créer ce **confinement magnétique** est l'utilisation d'un **Tokamak** (vient du russe : machine créant du courant) connue depuis plusieurs décennies.

Le but du Tokamak est de confiner (piéger) un plasma chaud (très chaud même plusieurs centaines de millions de degrés) dans un champ magnétique le plus longtemps possible. La configuration de l'ensemble est torique bien évidemment.

Pour que les champs soient stables, les lignes de champ doivent s'enrouler comme des hélices autour de surfaces toriques emboîtées les unes dans les autres.

Plusieurs champs magnétiques sont mis en œuvre à cet effet :

- un champ toroïdal crée par des bobines extérieures et qui fait tourner les particules autour de l'axe du tore.
- un champ poloïdal crée par le courant circulant dans le plasma et qui compense l'effet de dérive.
- Ceci créant un champ total de ligne de force hélicoïdales confinant le plasma.

Ceci donne un plasma stable en interaction avec le champ magnétique.

La pression du plasma est compensée par la pression magnétique.

Ces confinements ont déjà été utilisés dans les applications actuelles telles que :

- Le JET (Grande Bretagne) 10 à 20 MW
- Le JT 60 (Japon) et Tore Supra qui a fonctionné pendant 6 minutes en 2003 en produisant 1 GJ.
- La Chine bien tendu

C'est ce que compte faire la collaboration ITER qui est internationale : ses membres sont l'Union européenne, l'Inde, la Russie, la Chine, la Corée du Sud, le Japon, les États-Unis et la Suisse. Elle a été créée en 2007 et son siège est à Cadarache dans le sud de la France.

La puissance prévue pour ITER est de 500 MW, en principe supérieure à celle nécessaire à l'entretien de la réaction (120 MW), c'est là tout l'enjeu de l'aventure.

On espère pouvoir à terme maintenir la réaction de fusion pendant plusieurs dizaines de minutes.

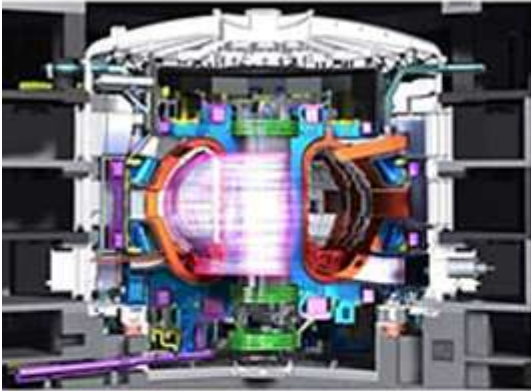
Il existe une autre méthode, le confinement inertiel comme [le Laser Méga Joule](#) près de Bordeaux.

LE TOKAMAK D'ITER.

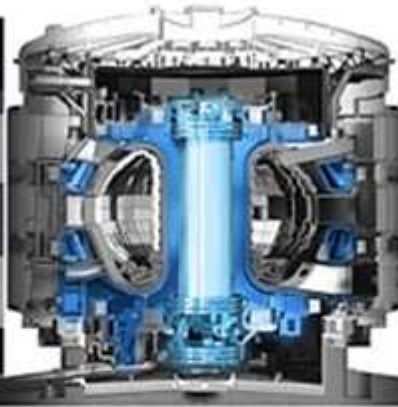
À une quarantaine de kilomètres au nord d'Aix-en-Provence, l'installation ITER occupe 180 hectares, concédée par la France à l'organisation internationale ITER Organization.

La plateforme centrale (42 hectares) compte une quarantaine de bâtiments, dont celui qui abrite le tokamak en cours d'assemblage.

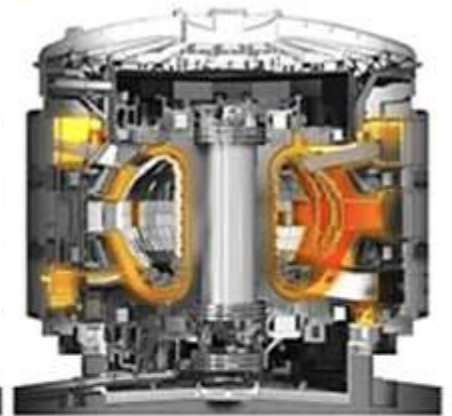
Tokamak en action



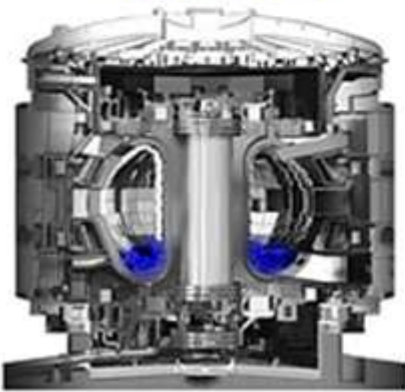
Les aimants



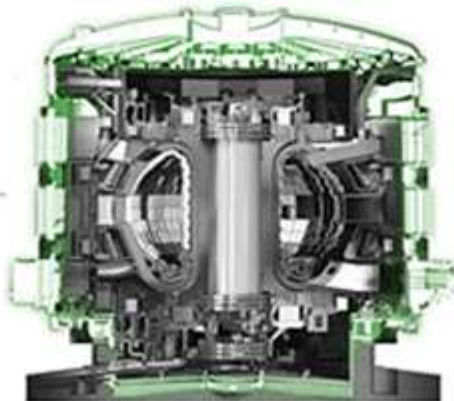
Chambre à vide



Divertor



Cryostat



Les différents composants du Tokamak d'ITER.

Document : consortium ITER.

Quelques détails :

LES AIMANTS :

L'énergie magnétique stockée en fonctionnement est de 51 Gigajoules.

Les 18 bobines de champ toroïdal, verticales autour de la chambre à vide, génèrent un champ magnétique pour confiner le plasma. Les bobines de champ toroïdal sont conçues pour générer un champ magnétique maximum de 11,8 teslas, le courant dans les bobines atteint 60 000A. Hautes de 17 mètres et larges de 7, pesant chacune 330 tonnes, les bobines de champ toroïdal sont les plus gros éléments de la machine après la chambre à vide.

LA CHAMBRE À VIDE :

C'est l'enceinte en acier inoxydable, parfaitement hermétique, dans laquelle se produisent les réactions de fusion.

Elle agit également comme première barrière de confinement.

Dans ce volume de forme toroïdale, les particules de plasma se déplacent selon un mouvement de spirale continu sans entrer en contact avec les parois.

La chambre à vide constitue un environnement sous vide poussé.

Elle assure une première protection contre le rayonnement neutronique, participe à la stabilité du plasma et est une première barrière de confinement des radiations.

LE DIVERTOR :

Véritable « pot d'échappement » du système.

Le divertor d'ITER subit des contraintes extrêmes. Situé sur le « plancher » de la chambre à vide, il assure l'extraction des effluents gazeux produits (hélium par exemple, qui étoufferait la réaction) et les impuretés ainsi qu'une partie de la chaleur gigantesque générée par les réactions de fusion.

La charge thermique qu'il endure est comparable à celle d'un vaisseau spatial qui se poserait sur la surface du Soleil!

Il est refroidi par de l'eau circulant à haute pression.

LE CRYOSTAT :

Le cryostat ITER—la plus grande enceinte à vide en acier inoxydable jamais construite (16,000 m³)—enveloppe la chambre à vide et les aimants supraconducteurs, délimitant un environnement sous vide extrêmement froid.



Le Fu-
tur to-
kamak
d'ITER
mesu-

raera 29 m de haut pour 28 m de diamètre et pèsera approximativement 23 000 tonnes.

Volume chambre à vide 1400 m³.

Puissance escomptée : 500 Mw par impulsions de 5 à 10 mn

Puissance du Soleil au même volume:1.4 Kw, c'est la puissance d'un petit radiateur électrique permettant de chauffer une petite chambre !

Montage d'une des bobines magnétiques parmi les 18 de prévues.

17 m de hauteur et 7 m de large.

Au bout de la flèche, un ouvrier pour donner l'échelle de l'ensemble.

Crédit : consortium ITER

À PROPOS DU TRITIUM.

Cet élément étant plutôt rare sur Terre, il faudra que le Tokamak le fabrique. Comment ?

Les neutrons émis sont absorbés par les parois, celles-ci devraient contenir du Lithium, et ainsi entretiennent la réaction :



La fusion nucléaire serait presque la solution miracle, pour satisfaire les besoins en énergie de l'humanité, mais sera -t-elle maîtrisée à temps, ce qui n'est pas évident, comme en témoigne la mise en service de ITER, prévue initialement en 2026, qui est actuellement reportée en **2034**.

POUR ALLER PLUS LOIN :

[Le site d'ITER.](#)

[ITER en quelques mots.](#)

[Visiter ITER.](#)

[Qu'est-ce qu'un tokamak ?](#)

Sur votre site préféré :

[Spécial ITER](#) : Quelques infos sur la fusion et sur le projet ITER

Fusion nucléaire : ITER, Laser Méga Joule : CR conf SAF de JM Ané du 14 Juin 2017

ITER : Il reçoit l'aimant le plus puissant du monde

Fusion Thermonucléaire :..Le plus grand en service au Japon

Fusion Thermonucléaire :..GO WEST!

Fusion Thermonucléaire :..La concurrence est rude !

PROCHAINE RÉUNION COSMOLOGIE : À DÉFINIR AU SIÈGE

Une invitation sera envoyée trois semaines avant.

PROCHAINE CONFÉRENCE MENSUELLE DE LA SAF :

Prochaine conférence SAF. : le mercredi 8 Avril 19h « LES RÊVES DE L'ORIGINE » avec

Jean Marc BONNET BIDAUD Astrophysicien CEA

Réservation comme d'habitude à partir du 12 Mars 9h00 ou à la SAF directement.

La suivante : le 20 <Mai « ET SI LA TERRE ÉTAIT AILLEURS ? » avec Roland LE HOUCQ CEA

Transmission en direct sur le canal YouTube de la

SAF : <https://www.youtube.com/channel/UCD6H5ugytjb0FM9CGLUn0Xw/featured>

[Les dernières conférences SAF](#)

Bon ciel à tous

Jean Pierre [Martin](#) Président de la commission de cosmologie de la SAF
www.planetastronomy.com

[Abonnez-vous gratuitement aux astronews](#) du site en envoyant votre nom et e-mail.