

## La Fusion Nucléaire : La Promesse d'une Énergie Propre et Illimitée

L'énergie est au cœur de notre mode de vie moderne. Elle alimente nos maisons, nos véhicules, nos industries et nos technologies. Cependant, la façon dont nous produisons et utilisons cette énergie a un impact significatif sur notre planète. Les énergies fossiles, telles que le pétrole, le charbon et le gaz naturel, ont longtemps été les principaux acteurs de notre approvisionnement énergétique, mais elles présentent des inconvénients majeurs, notamment les émissions de gaz à effet de serre qui contribuent au changement climatique.

La quête d'une source d'énergie plus propre et plus durable a conduit à l'exploration de nombreuses technologies et concepts innovants. Parmi eux, la fusion nucléaire émerge comme une solution prometteuse pour répondre à nos besoins énergétiques tout en réduisant notre impact sur l'environnement.

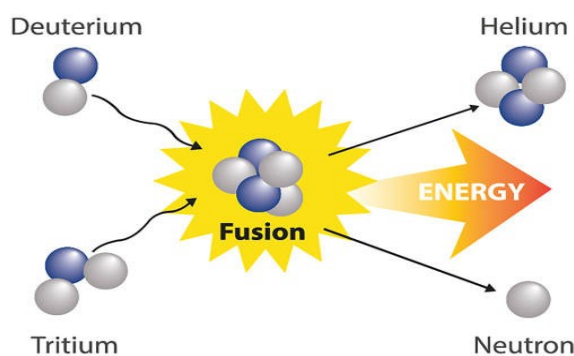
Dans cet article, nous plongerons dans le monde fascinant de la fusion nucléaire, une réaction qui alimente notre soleil et qui pourrait bien être la clé pour relever les défis énergétiques de notre époque. Nous explorerons les bases de la fusion nucléaire, les avantages qu'elle offre, les défis technologiques auxquels elle est confrontée, et les projets ambitieux qui visent à réaliser la fusion contrôlée.

La fusion nucléaire n'est pas seulement une source d'énergie propre, elle représente également un avenir où les besoins énergétiques de l'humanité pourraient être satisfaits de manière durable, sans contribuer de manière significative aux problèmes environnementaux. Alors, plongeons dans le monde de la fusion nucléaire et découvrons les promesses qu'elle offre pour notre planète et notre société.

### Fusion et fission nucléaire : quelles différences ?

La fusion nucléaire et la fission nucléaire sont deux processus nucléaires fondamentalement différents qui libèrent de l'énergie, mais de manière opposée. Voici les principales différences entre ces deux processus :

Dans la fusion nucléaire deux noyaux atomiques légers, généralement des isotopes de l'hydrogène (comme le deutérium et le tritium), fusionnent pour former un noyau plus lourd. Par exemple, dans le soleil, la fusion de deux noyaux d'hydrogène pour former de l'hélium est le moteur qui produit de l'énergie.

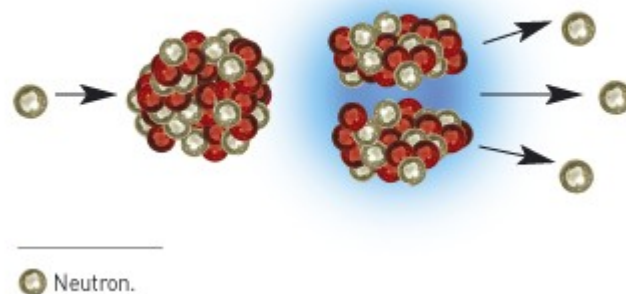


© CEA

Fig 1 - La fusion nucléaire des isotopes de l'Hydrogène

L'énergie de la fusion nucléaire provient de la conversion de la masse des noyaux légers en énergie, conformément à la célèbre équation d'Einstein,  $E=mc^2$ . La masse perdue lors de la fusion est transformée en énergie sous forme de photons gamma et de particules alpha (noyaux d'hélium). La fusion nucléaire utilise généralement des isotopes d'hydrogène, qui sont largement disponibles dans l'eau et le lithium. Les matières premières pour la fusion sont abondantes et plus facilement accessibles que les isotopes utilisés dans la fission. La fusion nucléaire produit des déchets radioactifs à courte durée de vie, principalement sous forme de particules alpha. Ces déchets sont moins dangereux et présentent une période de demi-vie bien plus courte que ceux générés par la fission. Pour que la fusion se produise, il faut créer des conditions extrêmes de température et de pression, similaires à celles présentes dans le cœur du soleil. Ces conditions sont difficiles à maintenir et nécessitent un confinement magnétique ou inertiel.

La fission nucléaire peut être initiée à des conditions moins extrêmes, et elle est relativement plus facile à réaliser dans les réacteurs nucléaires. Dans la fission un noyau d'un atome lourd, généralement de l'uranium ou du plutonium, se divise en deux noyaux plus légers, libérant ainsi de l'énergie. Cette division est souvent initiée par la capture d'un neutron. L'énergie de la fission nucléaire provient de la libération de l'énergie potentielle du noyau lourd instable résultant de la division. Cette énergie est également libérée sous forme de photons gamma et de neutrons. La production et la gestion de ces matières fissiles posent des problèmes de sécurité et de prolifération. La fission génère des déchets radioactifs à longue durée de vie, dont la gestion à long terme est un défi important. Ces déchets doivent être stockés en toute sécurité pendant des milliers d'années.



© CEA

Fig 2 - la fission nucléaire d'un atome lourd

### Les Avantages de la Fusion Nucléaire

La fusion nucléaire, en tant que source potentielle d'énergie, présente de nombreux avantages significatifs qui pourraient révolutionner notre manière de produire de l'électricité et d'alimenter notre monde moderne. La fusion nucléaire offre une gamme d'avantages significatifs qui la rendent très attrayante en tant que source d'énergie potentiellement révolutionnaire.

1. Une source d'énergie propre : L'un des avantages les plus importants de la fusion nucléaire est qu'elle est extrêmement propre. Contrairement à la fission nucléaire, qui produit des déchets

radioactifs à long terme, la fusion ne génère que des produits de réaction non radioactifs. Cela signifie qu'il n'y aurait pas de risque de déchets nucléaires dangereux nécessitant un stockage à long terme, ce qui résoudrait un problème majeur de la gestion des déchets radioactifs.

2. Disponibilité des matières premières : Les isotopes de l'hydrogène, le deutérium et le tritium, qui sont utilisés dans la fusion nucléaire, sont abondants et disponibles dans la nature. Le deutérium peut être extrait de l'eau, tandis que le tritium peut être produit à partir du lithium. Ces ressources sont largement répandues sur Terre, ce qui signifie que les matières premières nécessaires à la fusion nucléaire sont facilement accessibles.

3. Pas de déchets radioactifs à long terme : Contrairement aux centrales nucléaires actuelles qui génèrent des déchets radioactifs dangereux, la fusion nucléaire ne produit pas de déchets radioactifs à long terme. Les déchets générés sont relativement peu radioactifs et présentent un risque bien moindre pour l'environnement et la santé humaine.

4. Une source d'énergie inépuisable : La fusion nucléaire est souvent considérée comme le "graal" de la production d'énergie, car elle tire sa puissance de la fusion de noyaux légers d'hydrogène pour former de l'hélium, libérant ainsi une quantité massive d'énergie. Contrairement à la fission nucléaire, qui repose sur la division de noyaux lourds et produit des déchets radioactifs, la fusion utilise des isotopes légers d'hydrogène (deutérium et tritium), qui sont abondamment disponibles. Les réserves de deutérium, par exemple, sont virtuellement inépuisables, car il peut être extrait de l'eau. Le tritium peut être généré dans l'enceinte même du tokamak en tirant parti de l'interaction entre les neutrons issus de la réaction de fusion et le lithium présent dans les éléments de couverture. La capacité de générer du tritium par le biais de la réaction de fusion est essentielle pour les futures centrales de fusion industrielles.

5. Absence d'émissions de gaz à effet de serre : La fusion nucléaire est une source d'énergie propre par excellence. Contrairement aux combustibles fossiles tels que le charbon, le pétrole et le gaz naturel, qui libèrent d'importantes quantités de gaz à effet de serre, comme le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), lors de leur combustion, la fusion nucléaire n'émet pas de CO<sub>2</sub> ni d'autres polluants atmosphériques nocifs. Cela en fait une solution prometteuse pour lutter contre le changement climatique en fournissant une source d'énergie à faible émission de carbone.

6. Sécurité accrue : La fusion nucléaire est considérée comme intrinsèquement plus sûre que la fission nucléaire. En cas d'accident ou de défaillance, les réacteurs de fusion s'éteignent automatiquement et ne génèrent pas de réaction en chaîne non contrôlée ni de fusion incontrôlée. De plus, les matières premières utilisées dans la fusion, telles que le deutérium et le tritium, ne sont ni fissiles ni hautement radioactives, ce qui réduit le risque de prolifération d'armes nucléaires.

7. Énergie continue et stable : Contrairement aux sources d'énergie renouvelable telles que l'énergie solaire et éolienne, qui dépendent des conditions météorologiques et de la disponibilité du soleil ou du vent, la fusion nucléaire peut fournir une source d'énergie continue et stable. Elle n'est pas soumise aux fluctuations météorologiques et peut répondre à la demande énergétique de manière constante, ce qui en fait une solution idéale pour soutenir le réseau électrique.

En résumé, la fusion nucléaire offre une multitude d'avantages, notamment une source d'énergie pratiquement inépuisable, une absence d'émissions de gaz à effet de serre, une sécurité accrue, une gestion des déchets plus aisée et une production d'énergie continue. Cependant, il est important de noter que malgré ces avantages, la mise en œuvre de la fusion nucléaire à grande échelle pose encore des défis technologiques importants et nécessitera des investissements massifs dans la recherche et le développement pour devenir une réalité pratique.

## Les défis technologiques de la Fusion Nucléaire

Le confinement magnétique : L'un des principaux défis de la fusion nucléaire est de maintenir les conditions nécessaires à la réaction de fusion. Cela implique de maintenir un plasma (un gaz extrêmement chaud et ionisé) à des températures de plusieurs millions de degrés Celsius pendant un temps suffisamment long pour permettre aux noyaux d'hydrogène de fusionner. Pour cela, deux approches principales sont utilisées : le confinement magnétique par tokamak et le confinement magnétique par réacteur à confinement inertiel (ICF). Dans le tokamak, comme ITER, un champ magnétique puissant doit être maintenu de manière stable pour empêcher le plasma de s'échapper.

Cela nécessite des avancées technologiques dans la conception des aimants supraconducteurs et dans la gestion de l'instabilité du plasma. Les matériaux utilisés pour revêtir les parois intérieures des réacteurs de fusion doivent résister aux conditions sévères du plasma de fusion, notamment à l'érosion, à la chaleur intense et aux radiations. Le choix de matériaux adaptés et leur durabilité à long terme sont des défis importants. La recherche se concentre sur le développement de matériaux avancés capables de résister à ces conditions tout en maintenant leur intégrité structurale.

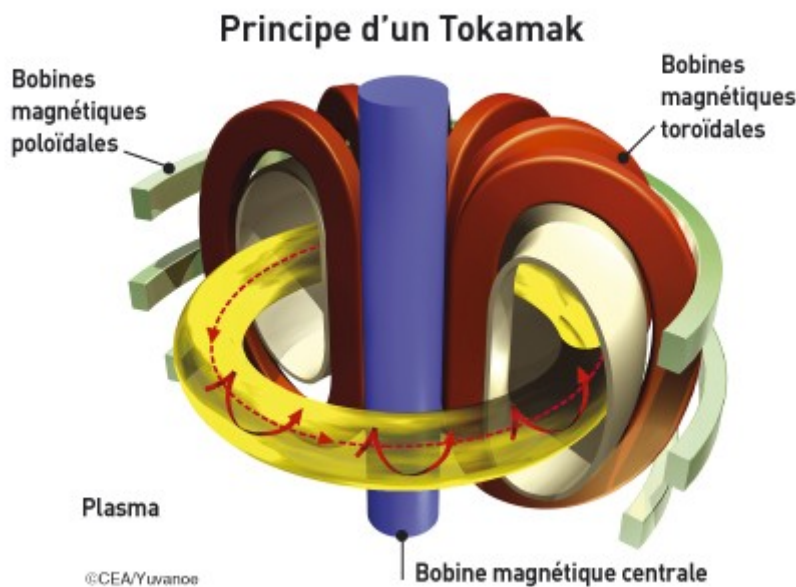


Fig 4 - Principe d'un tokamak

Le confinement inertiel : Dans les réacteurs à confinement inertiel comme le NIF ou le LMJ, la fusion est initiée en comprimant rapidement une petite quantité de combustible à l'aide de faisceaux de particules ou de lasers de haute énergie. Cela crée des conditions de température et de pression extrêmement élevées, similaires à celles qui existent au cœur des étoiles. Le principal défi ici réside dans la création de lasers ou de systèmes de confinement inertiel capables de générer les conditions nécessaires pour une fusion contrôlée. De plus, la symétrie parfaite de l'implosion du combustible est cruciale pour une fusion efficace, ce qui nécessite une grande précision dans la conception et

l'alignement des systèmes. Les instabilités hydrodynamiques et les turbulences générées par les défauts technologiques au sein du plasma sont particulièrement difficiles à éviter.

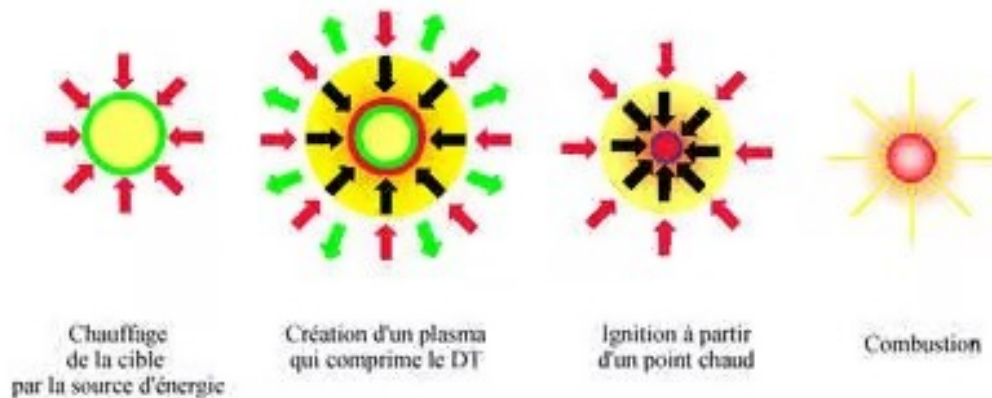


Fig 5 - Principe de la fusion inertielle

La fusion nucléaire nécessite des conditions de température et de pression extrêmement élevées. Les réacteurs de fusion doivent non seulement atteindre ces conditions, mais aussi les maintenir de manière stable pendant un certain temps. Cela implique des défis liés à la gestion de la chaleur, à la résistance des matériaux et à la durabilité des composants, car les équipements seront soumis à des contraintes extrêmes.

En somme, la fusion nucléaire offre un immense potentiel en tant que source d'énergie propre et illimitée, mais elle est confrontée à des défis technologiques complexes liés au confinement magnétique, au confinement inertiel, aux conditions extrêmes de température et de pression, ainsi qu'aux matériaux nécessaires pour la construction de réacteurs de fusion. La recherche et le développement continus sont essentiels pour surmonter ces obstacles et faire de la fusion nucléaire une réalité pratique et viable pour l'avenir de l'énergie.

### Les Projets mondiaux de Fusion Nucléaire

ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) : ITER que certains de l'ARCEA CESTA ont pu voir récemment, est l'un des projets de fusion nucléaire les plus avancés au monde. Il implique 35 pays, y compris les États membres de l'Union européenne, les États-Unis, la Russie, le Japon, la Chine, la Corée du Sud. ITER est l'un des projets de fusion nucléaire les plus ambitieux et les plus largement reconnus dans le monde. Il est situé à Cadarache, en France, et est un exemple de collaboration internationale majeure dans le domaine de l'énergie. L'objectif principal d'ITER est de démontrer la faisabilité de la fusion nucléaire en tant que source d'énergie propre et illimitée.

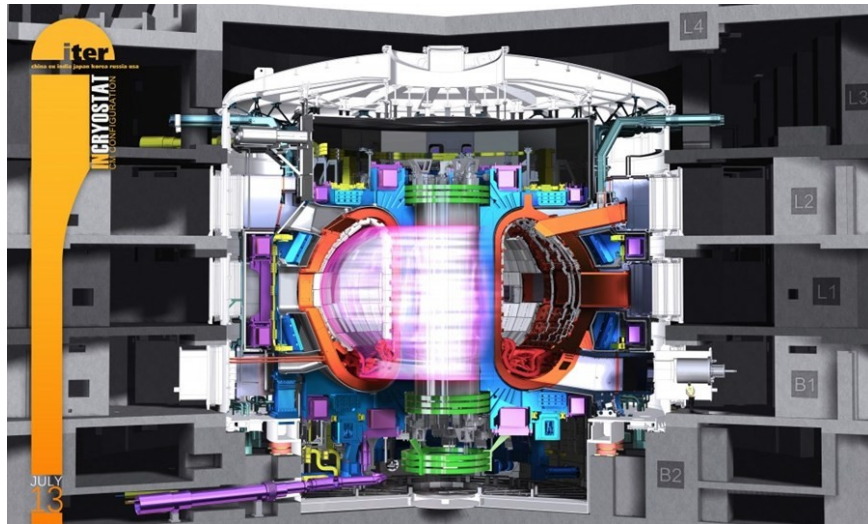


Fig 6 – Vue en coupe de la machine ITER

ITER réalisera la fusion par confinement magnétique dans un dispositif appelé tokamak en forme de donut qui utilise des champs magnétiques intenses produits par des aimants supraconducteurs. L'ensemble de l'installation est un cryostat plongé à quelques Kelvins pour maintenir et stabiliser en son centre un plasma chaud composé d'hydrogène isotopique (deutérium et tritium) à des températures de plusieurs millions de degrés Celsius. Lorsque ces isotopes fusionneront, ils libéreront une quantité massive d'énergie. ITER vise à produire 500 mégawatts d'énergie à partir de 50 mégawatts d'entrée, démontrant ainsi que la fusion nucléaire peut être une source d'énergie viable.

### Les initiatives privées dans le domaine de la fusion

Outre les projets gouvernementaux tels qu'ITER, il existe plusieurs initiatives privées qui travaillent sur la fusion nucléaire. Parmi les plus notables, on peut citer :

- Tri Alpha Energy (TAE) : TAE est une entreprise américaine qui utilise une approche différente de la fusion nucléaire, appelée "fusion magnétique collisionnelle". Ils développent des réacteurs à plasma compact qui visent à atteindre la fusion par collision de particules chargées plutôt qu'à travers le confinement magnétique traditionnel. TAE utilise la réaction de fusion aneutronique proton-bore.



X<sup>2</sup>

- First Light Fusion : Située au Royaume-Uni, First Light Fusion utilise une approche d'impact à grande vitesse pour tenter de déclencher la fusion nucléaire. Leur technologie vise à créer des conditions de pression et de température extrêmement élevées au point d'impact.
- Helion Energy : Basée dans l'État de Washington, Helion Energy se concentre sur le développement de réacteurs à fusion magnétique compressée (MCF). Ils ont reçu des financements importants pour leur travail dans ce domaine.

- General Fusion : Cette entreprise canadienne travaille sur une approche de fusion par confinement magnétique à implosion de piston. Ils ont également obtenu des investissements significatifs et travaillent sur la démonstration d'un réacteur de fusion.
- TerraPower : Bien que principalement axée sur les réacteurs nucléaires avancés, TerraPower a également exploré la possibilité d'utiliser la fusion par confinement magnétique pour la production d'énergie. Ils sont soutenus par des investisseurs tels que Bill Gates.
- Commonwealth Fusion Systems : Une spin-off du MIT, cette entreprise vise à développer des aimants supraconducteurs pour les réacteurs à fusion nucléaire. Ils travaillent en collaboration avec d'autres acteurs de l'industrie pour réaliser la fusion magnétique.
- Tokamak Energy : Basée au Royaume-Uni, cette entreprise utilise des tokamaks de taille réduite et des aimants supraconducteurs haute température pour rendre la fusion nucléaire plus économique et accessible.

### **Impacts potentiels sur la société de la fusion nucléaire - les avantages majeurs que cette technologie pourrait apporter.**

La fusion nucléaire offre la promesse d'une source d'énergie pratiquement inépuisable. Contrairement aux énergies fossiles qui sont limitées et contribuent aux émissions de gaz à effet de serre, la fusion utilise des isotopes d'hydrogène léger, tels que le deutérium et le tritium, qui sont abondants dans la nature. Ces isotopes peuvent être extraits de l'eau et du lithium, assurant ainsi un approvisionnement durable en matières premières pour la fusion.

L'abondance de cette source d'énergie signifierait que les besoins énergétiques mondiaux pourraient être satisfaits pendant des milliers d'années, sans les problèmes associés à l'épuisement des ressources et aux fluctuations des prix de l'énergie.

La réduction de la dépendance aux énergies fossiles : L'un des plus grands avantages sociétaux de la fusion nucléaire serait la réduction significative de la dépendance aux énergies fossiles. Actuellement, notre économie mondiale repose largement sur le pétrole, le gaz naturel et le charbon, qui sont responsables de la pollution de l'air, du changement climatique et de la géopolitique de l'énergie.

En remplaçant progressivement ces sources d'énergie par la fusion nucléaire, nous pourrions réduire les émissions de gaz à effet de serre, améliorer la qualité de l'air et réduire la vulnérabilité aux fluctuations des prix des combustibles fossiles. Cela contribuerait également à atténuer les conflits liés aux ressources énergétiques.

### **Les autres applications potentielles de la fusion nucléaire**

La fusion nucléaire ne se limite pas seulement à la production d'électricité. Ses applications potentielles sont vastes et pourraient transformer divers secteurs de la société, notamment :

- Production d'hydrogène propre : La fusion pourrait être utilisée pour produire de l'hydrogène propre, qui pourrait servir de carburant pour les véhicules, les industries et les systèmes de stockage d'énergie.
- Désalinisation de l'eau : La chaleur générée par la fusion pourrait être utilisée pour la désalinisation de l'eau de mer, contribuant ainsi à résoudre les problèmes de pénurie d'eau potable.

- Propulsion navale et spatiale : La fusion pourrait être la clé pour le développement d'un fret naval plus vertueux et pour des missions spatiales plus efficaces et plus rapides, réduisant les délais de voyage vers d'autres planètes.
- Applications médicales : Les faisceaux de particules (neutrons, alpha, protons) produits par la fusion peuvent être utilisés en médecine pour le traitement des tumeurs et la production de radio-isotopes médicaux.

En résumé, la fusion nucléaire offre la perspective d'une abondance d'énergie propre, de la réduction de la dépendance aux énergies fossiles et de nombreuses applications potentielles qui pourraient avoir un impact transformateur sur la société. Cependant, il est important de noter que la fusion nucléaire est encore en phase de développement et de recherche intensive, et il faudra du temps avant que ces avantages potentiels ne se matérialisent complètement.

### **Les questions éthiques et la sécurité de la fusion nucléaire mettent en lumière les préoccupations et les débats entourant cette technologie.**

**Les risques de prolifération nucléaire:** La fusion nucléaire elle-même ne présente pas de risques de prolifération nucléaire tels que ceux associés à la fission nucléaire. Cependant, il existe des préoccupations liées aux matériaux utilisés dans les réacteurs à fusion. En particulier, le tritium, un isotope de l'hydrogène nécessaire pour la fusion, est radioactif et peut être utilisé pour fabriquer des armes nucléaires.

Pour atténuer ces préoccupations, les installations de fusion devront mettre en place des mesures de sécurité strictes pour le stockage, le transport et la gestion du tritium. Les gouvernements et les organismes internationaux devront également surveiller de près la production et la circulation de ces matériaux.

**Les risques de sécurité liés aux installations de fusion:** Les installations de fusion impliquent des températures et des conditions extrêmement élevées, ce qui peut présenter des risques de sécurité importants. Par exemple, en cas de défaillance de confinement du plasma, il existe un potentiel de libération d'énergie incontrôlée, ce qui pourrait endommager l'installation et présenter des risques pour les travailleurs et l'environnement.

Les risques de sécurité liés à la fusion nécessitent une conception et des protocoles de sécurité rigoureux. Les concepteurs d'installations de fusion doivent anticiper toutes les éventualités, mettre en place des systèmes de refroidissement d'urgence et des dispositifs de confinement efficaces pour minimiser ces risques.

**Les débats éthiques autour de la fusion nucléaire sont variés et complexes.** Certains des principaux points de discussion incluent :

- l'allocation des ressources financières : La recherche et le développement de la fusion nucléaire nécessitent d'importants investissements financiers et intellectuels. Certains peuvent argumenter que ces ressources pourraient être mieux utilisées pour d'autres solutions énergétiques plus immédiates, telles que les énergies renouvelables.
- l'équité et l'accès aux connaissances : Si la fusion nucléaire devient une source d'énergie majeure, il sera important de s'assurer que les avantages sont répartis équitablement à l'échelle mondiale. Des questions sur l'accès aux technologies de fusion, en particulier dans les pays en développement, pourraient se poser.



- La gestion des déchets : bien que la fusion nucléaire produise moins de déchets radioactifs que la fission, elle génère toujours des déchets notamment des déchets tritiés mais aussi des déchets dus à l'activation par les neutrons des matériaux du réacteur. La gestion et le stockage de ces déchets devront être gérés de manière éthique et responsable comme les déchets nucléaires issus de la fission avec cependant des durées de vie des déchets beaucoup plus courtes.

## Conclusions

La fusion nucléaire présente plusieurs avantages prometteurs pour l'humanité :

- Abondance d'énergie propre : La fusion offre la perspective d'une source d'énergie quasi inépuisable, puisant dans des isotopes d'hydrogène abondants.
- Réduction de la dépendance aux énergies fossiles : La fusion pourrait contribuer de manière significative à la réduction des émissions de gaz à effet de serre en remplaçant les énergies fossiles.
- Applications diverses : La fusion offre de nombreuses applications potentielles, de la production d'hydrogène propre à la désalinisation de l'eau et à la propulsion spatiale.

Cependant, la fusion nucléaire n'est pas sans défis :

- Risques de prolifération nucléaire : Les matériaux utilisés dans les réacteurs de fusion, tels que le tritium, posent des risques de prolifération nucléaire.
- Sécurité des installations : Les installations de fusion doivent être conçues et exploitées avec une sécurité rigoureuse en raison des risques associés à la libération incontrôlée d'énergie.
- Débats éthiques : Des questions éthiques entourent la gestion des ressources, l'équité d'accès, la gestion des déchets et la transparence dans le développement de la fusion.

Malgré ces défis, la fusion nucléaire représente un espoir pour un avenir énergétique propre et durable. Elle offre une solution potentielle à la crise climatique, à la dépendance aux énergies fossiles et aux problèmes de sécurité énergétique. Si elle réussit à surmonter les obstacles techniques, de sécurité et d'éthique, la fusion nucléaire pourrait contribuer de manière significative à la transition mondiale vers des sources d'énergie plus respectueuses de l'environnement.

Cela nécessite des investissements continus dans la recherche fondamentale, les essais expérimentaux, les efforts internationaux de collaboration tels qu'ITER, ainsi que le développement de technologies liées à la fusion. L'investissement dans la fusion nucléaire doit être considéré comme un investissement dans l'avenir de la planète, offrant la promesse d'une énergie propre, durable et abondante pour les générations futures.

En travaillant ensemble pour surmonter les défis techniques, éthiques et de sécurité, nous pourrions finalement réaliser le potentiel de la fusion nucléaire en tant que source d'énergie qui répond aux besoins de la société tout en préservant notre planète.

---

ENCART 1 - La fusion aneutronique Proton Bore

**Que sait on de la fusion nucléaire aneutronique proton bore (sans neutrons) ?**

La fusion nucléaire proton-bore sans neutrons, également connue sous le nom de réaction pB11 (proton-bore), est un type particulier de fusion nucléaire qui présente des caractéristiques uniques par rapport à d'autres réactions de fusion nucléaire.

Dans la réaction de fusion proton-bore, deux noyaux d'hydrogène, un proton et un noyau de bore-11, fusionnent pour former trois noyaux d'hélium sans émission de neutrons. La réaction est la suivante :



Cette réaction génère de l'hélium et libère de l'énergie sous forme de particules alpha (noyaux d'hélium) et d'énergie cinétique, sans produire de neutrons, contrairement à d'autres réactions de fusion.

L'absence de production de neutrons réduit considérablement les problèmes de radioprotection et de gestion des déchets radioactifs. Les neutrons produits par d'autres réactions de fusion peuvent en effet causer des dommages aux matériaux environnants et rendre les installations de fusion radioactives.

En raison de l'absence de neutrons, la réaction pB11 est souvent considérée comme plus propre et plus sûre.

Cependant, pour que la réaction pB11 se produise efficacement, il faut atteindre des températures et des pressions extrêmement élevées, bien plus élevées que celles requises pour d'autres réactions de fusion, ce qui représente un défi technologique considérable. La réalisation de ces conditions extrêmes nécessite des dispositifs de confinement magnétique ou inertiel avancés.

La fusion proton-bore est encore au stade de la recherche expérimentale. Des laboratoires de recherche comme le CELIA à Bordeaux et des entreprises du monde entier (HB11 en Australie, TAE aux USA) mènent des études pour comprendre les défis et les possibilités de cette réaction. Les particules Alpha produites pourraient également trouver une application en thérapie médicale de certaines tumeurs.

En résumé, la fusion nucléaire proton-bore sans neutrons présente un potentiel intéressant en tant que source d'énergie propre, mais elle nécessite des avancées technologiques significatives pour être exploitée de manière pratique. La recherche dans ce domaine se poursuit pour surmonter les défis techniques et déterminer si cette forme de fusion peut devenir une réalité.



Fig 7 - La machine NORMAN en construction à TAE en Californie (USA)

---

**ENCART 2 – *Les scientifiques américains du NIF (National Ignition Facility) affirment avoir obtenu un gain d'énergie significatif sur leur installation Laser. Qu'en est-il ?***

Le Livermore National Laboratory emploie une méthode différente de celle du tokamak et du confinement magnétique, utilisée par des projets tels qu'ITER. Ils utilisent 192 lasers pointés vers un contenant en diamant pour bombarder simultanément des isotopes d'hydrogène, de deutérium et de tritium, simulant ainsi une réaction similaire à celle qui se produit dans le noyau du Soleil.

L'objectif de la fusion nucléaire est de produire plus d'énergie qu'il n'en est consommé, ce que l'on appelle un "gain net". Cela démontre la viabilité potentielle de la technologie, bien que la fusion nucléaire soit encore loin de pouvoir alimenter la planète en énergie verte et inépuisable, tout en produisant peu de déchets radioactifs.

En décembre dernier, le Lawrence Livermore National Laboratory avait réussi à produire 3,15 mégajoules d'énergie de fusion en injectant 2,05 mégajoules d'énergie dans ses lasers, suscitant l'optimisme parmi les experts en fusion nucléaire. Huit mois plus tard, ils prétendent avoir accompli de nouveaux progrès, enregistrant une production d'énergie de fusion supérieure à 5.4 mégajoules soit un gain de 2,4 lors d'une expérience menée tout récemment.

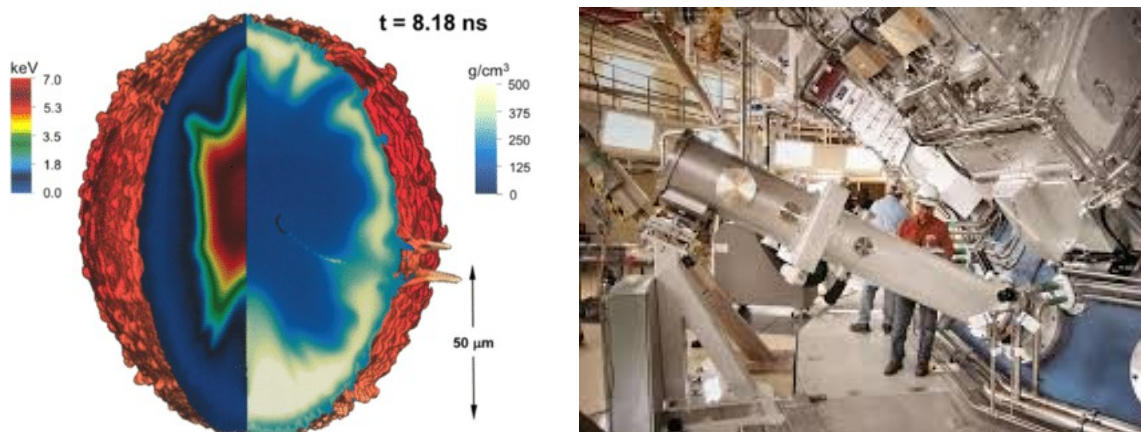


Fig 8 a et b - Simulation de la capsule du NIF et diagnostics spécifiques aux expériences de fusion deux facteurs clé du succès américain.

Ces développements prometteurs suggèrent que la fusion nucléaire pourrait jouer un rôle crucial dans la production d'énergie à l'avenir, avec des avancées potentiellement rapides dans ce domaine.

#### **Et que fait la DAM avec le LMJ dans ce domaine ?**

La DAM a réalisé le LMJ dans le cadre d'un programme ambitieux de pérennisation de la dissuasion nucléaire française sans recours aux essais nucléaires. Ce programme Simulation utilise l'installation LMJ pour valider les codes de simulation du fonctionnement des armes nucléaires.

A ce jour, il a permis de qualifier les dernières générations d'armes conçues sans essais nucléaires. Le LMJ pourra à terme réaliser également des expériences de fusion pour l'énergie dans le cadre de l'ouverture académique de cette installation. Ce programme est piloté par l'Association Lasers et Plasmas (ALP) organisation conjointe du CEA, de l'Université de Bordeaux et de l'École Polytechnique. Cette recherche s'appuie notamment sur le laser PETAL installé sur le LMJ. Enfin, un tout nouveau projet français vient d'être désigné lauréat de l'appel à projets France 2030. Le projet TARANIS vise à démontrer la rentabilité économique de la production d'électricité à partir d'un schéma de fusion à fort gain. Cette démonstration passe par le développement d'un réacteur intégré pour la génération puis la conversion d'énergie en électricité avec un objectif de 1000MWth.

Au-delà de son partenariat avec les deux unités mixtes de recherche LULI (CNRS- Polytechnique-CEA) et CELIA (CNRS- Univ. Bordeaux- CEA), le projet TARANIS bénéficiera d'un accompagnement du CEA-DAM grâce au laser MégaJoule.

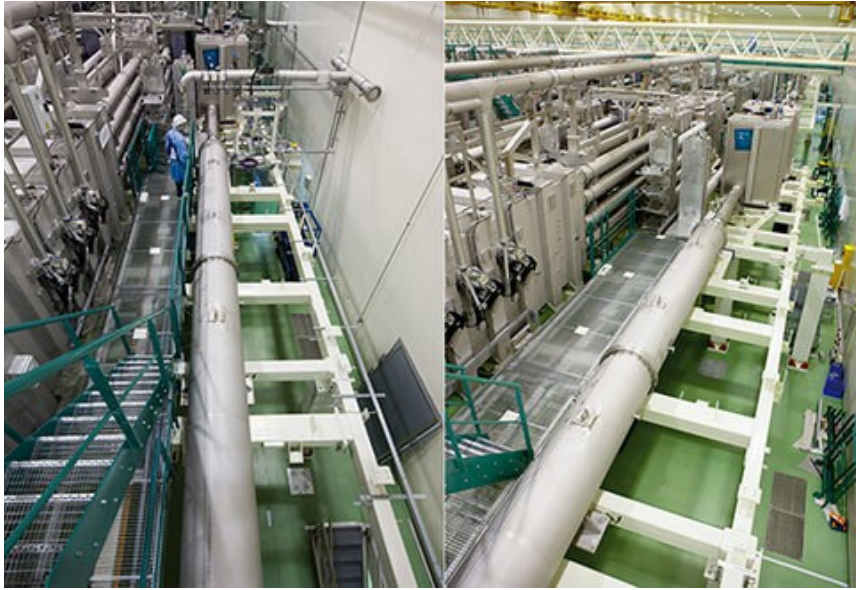


Fig 9 - Laser Megajoule au CEA CESTA vue du Laser PETAL dans le Hall Laser

---