

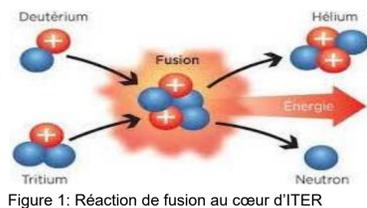
I – Introduction

La problématique énergétique est au cœur des débats notamment en ce temps de crise que traverse notre monde. De nombreux pays, dont la France, mettent en place des politiques de sobriété afin de réduire la consommation d'énergie. En France, la production d'électricité repose en grande partie sur le nucléaire (70% de la production d'électricité en France en 2021). Les 56 réacteurs nucléaires ne pourront certainement pas répondre aux besoins énergétiques en constante augmentation. La fusion nucléaire, offrant une densité spécifique d'énergie (J/KG) un million de fois supérieure à celle de la fission, pourrait être la solution de production d'énergie du futur. Pour atteindre la réaction de fusion nucléaire, il faut que des gaz d'atomes légers soient portés à des températures élevées de plusieurs dizaines de millions de degrés reproduisant les conditions qui règnent dans le soleil et les étoiles. Les gaz d'atomes légers utilisés pour le projet ITER, sont deux isotopes d'hydrogène : le deutérium (D) et le tritium (T).

Les réserves actuelles de combustible permettront-elles d'assurer la fusion à long terme ?

II - Etat des connaissances

ITER, le réacteur thermonucléaire expérimental international construit près de Cadarache à la suite d'un accord entre plusieurs pays a pour objectif de démontrer que la fusion peut être utilisée en tant que source énergétique. Le combustible pour obtenir la fusion est un mélange du tritium et du deutérium. Ce mélange est porté à des températures supérieures à 150 millions °C pour former un plasma. A cette température, les combustibles fusionnent pour former un atome d'hélium (3,52 MeV) et un neutron (4,06 MeV).



IV – Combustibles d'ITER

Le tritium contrairement au deutérium, est en quantité faible sur notre planète et ne permet pas d'assurer la fusion à long terme. Pour y remédier, les scientifiques ont décidé de développer une technologie afin de produire le tritium au sein du réacteur.

Pour cela, une couverture tritigène d'une épaisseur de l'ordre du mètre entoure le plasma. Cette couverture contenant du lithium, une ressource naturelle relativement abondante, permet de régénérer le tritium.

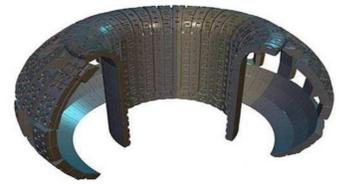


Figure 3: Couverture tritigène

La couverture, composée de 440 modules, absorbe les neutrons et permet d'assurer trois fonctions :

- Convertir l'énergie cinétique des neutrons d'une énergie de 14 MeV en chaleur à basse température et la transférer au fluide caloporteur responsable de l'extraction.
- Aide à protéger contre les radiations provenant de systèmes non nucléaires, en particulier les circuits de bobines supraconductrices.
- Générer le tritium, en effet, la réaction entre les neutrons issus de la fusion et le lithium (Li^6) présent dans la couverture produit un atome d'hélium et un de tritium.

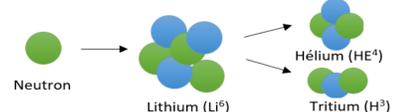
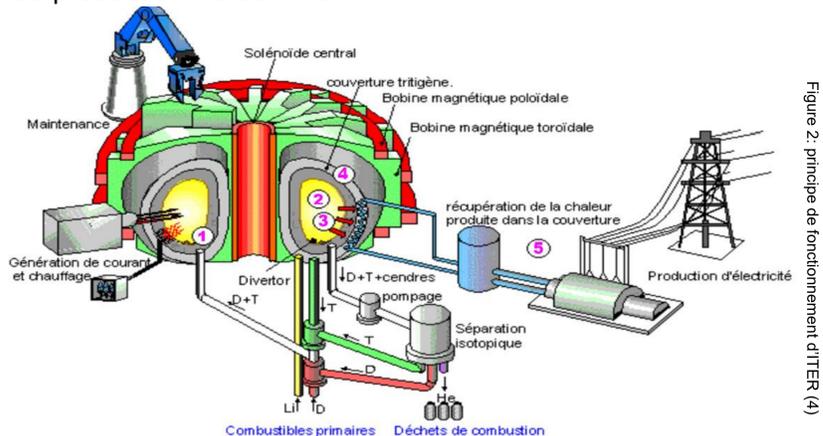


Figure 4: Réaction au sein de la couverture tritigène (production personnelle)

III – Fonctionnement et état d'avancement d'ITER

- 1/ Injection du mélange combustible
- 2/ Passage à l'état de plasma
- 3/ Production de l'énergie
- 4/ Conversion de l'énergie cinétique des neutrons en chaleur
- 5/ Production de vapeur pour alimenter un ensemble classique de production d'électricité.



Le projet ITER a débuté en janvier 2007. Aujourd'hui, 85 % des travaux de génie civil sont terminés. La fusion thermonucléaire est prévue dans la prochaine décennie. L'objectif pour ITER est de produire une puissance thermonucléaire de 500 MW sur une durée de 300 à 500 secondes avec un facteur d'amplification Q d'environ 10.

| Paramètre | Symbole | Valeur |
|--|-----------|----------|
| Puissance thermonucléaire | W_{th} | ~ 500 MW |
| Chauffages additionnels | W_{aux} | ~ 100 MW |
| Facteur d'amplification Q (stationnaire) | Q | ≥ 5 |
| Facteur d'amplification Q (400 s) | Q | ≥ 10 |

Tableau 1: Performance attendues du réacteur ITER (2)

Le record actuel de gain a été obtenu par le tokamak JET situé en Angleterre en 1997. Le plasma a délivré une puissance de fusion de 16 MW pendant 0,5 s.

Le tableau ci-dessous (tableau 2) compare le deutérium, le tritium, le lithium et le pétrole.

| | SYMBOLE | RESERVE DISPONIBLE EN ANNEES | PERIODE DE DECROISSANCE (T) | DISPONIBILITE A LONG TERME | POUR UNE MEME QUANTITE D'ENERGIE FOURNIT |
|-----------|---------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--|
| DEUTERIUM | 2H | 10^{11} | / | Oui | 3,3 mg |
| TRITIUM | 3H | / | 12,3 ANS | Oui | / |
| LITHIUM | Li | entre 10^4 et 10^7 années | / | Oui | / |
| PETROLE | / | ≈ 100 | / | Non | 250 litres |

Tableau 2: Comparaison des combustibles (production personnelle)

Lorsque la réaction de fusion sera amorcée au sein du tokamak, il suffira de l'alimenter en deutérium et en lithium pour entretenir la réaction.

Le Lithium nécessaire pour régénérer le tritium est un métal mou et léger que l'on retrouve sur la croûte terrestre ainsi que dans nos océans. Les réserves énergétiques potentielles de cet élément se situent entre 10^4 et 10^7 années. Tout comme le deutérium, les réserves de lithium sont en quantités élevées dans notre environnement.

V- Conclusion

En conclusion, il est certain que si la fusion peut être assurée et contrôlée à long terme, elle pourra répondre aux besoins énergétiques qui sont de plus en plus importants et remplacer la filière nucléaire actuelle. Le deutérium est en quantité très élevée dans notre environnement dû à sa présence dans l'eau. Le tritium quant à lui, n'est pas en quantité abondante. Cependant, pour remédier à ce problème, les ingénieurs ont trouvé un moyen de régénérer le tritium au sein du tokamak en utilisant du lithium. Le lithium, contrairement au tritium est présent en quantité élevée dans notre environnement. La disponibilité des combustibles est donc assurée à long terme. Il est important de développer la recherche sur les déchets radioactifs liés à l'utilisation du tritium dans les réacteurs de fusion. Concernant les déchets ménagers (gants, combinaisons, joint ..), susceptibles de contenir un niveau élevé de tritium, il a été conclu que l'incinération était l'opération de détritiation la plus efficace avant le stockage.

Bibliographie

- 1- Pamela, J., Decanis, C., Canas, D., Liger, K., Gaune, F., 2015. Reducing the tritium inventory in waste produced by fusion devices. Fusion Engineering and Design 93, 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2015.02.043>
- 2- Bonnaud, G., Rax, J.-M., 2015. Fusion thermonucléaire : fondamentaux, réalisations et perspectives. Physique Chimie. <https://doi.org/10.51257/a-v1-af3683>
- 3- Richou, M., Tsitron, E., Missirlan, M., Magaud, P., 2020. Matériaux et composants face au plasma pour la fusion thermonucléaire. Génie nucléaire. <https://doi.org/10.51257/a-v1-bn3761>
- 4- Sylviane Tabarly, avec la collaboration de : et Catherine Simand Vernin, février 2013. [Maîtriser la fusion nucléaire ? Le dossier scientifique et technique, aperçus.](http://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/territ/FranceMut/popup/Iter1.htm)
- 5- Weisse, J., 2000. Fusion thermonucléaire. Génie nucléaire. <https://doi.org/10.51257/a-v1-bn3013>