

## I – Introduction

Au travers des différents accidents nucléaires majeurs, plusieurs types de réacteurs et de combustibles nucléaires de nouvelles générations sont développés afin d'améliorer la sûreté des centrales nucléaires et le respect des principes de sûreté. L'un d'entre eux est la particule TRISO conçue initialement dans les années 60, mais reprise et améliorée pour un type de réacteur de GEN IV, dit de haute température (HTGR). Le combustible se compose d'un cœur sphérique en uranium faiblement enrichi et de plusieurs couches de matériaux permettant une résistance mécanique, thermique et de confinement des radionucléides. L'ensemble garantit un nombre infime de particules rompues ( $10^{-5}$ /particules) associé à un taux de rejet de produits de fission très faible en situations normales ou accidentelles dans le but de protéger l'Homme et l'Environnement.

## II – Composition et rôle des matériaux

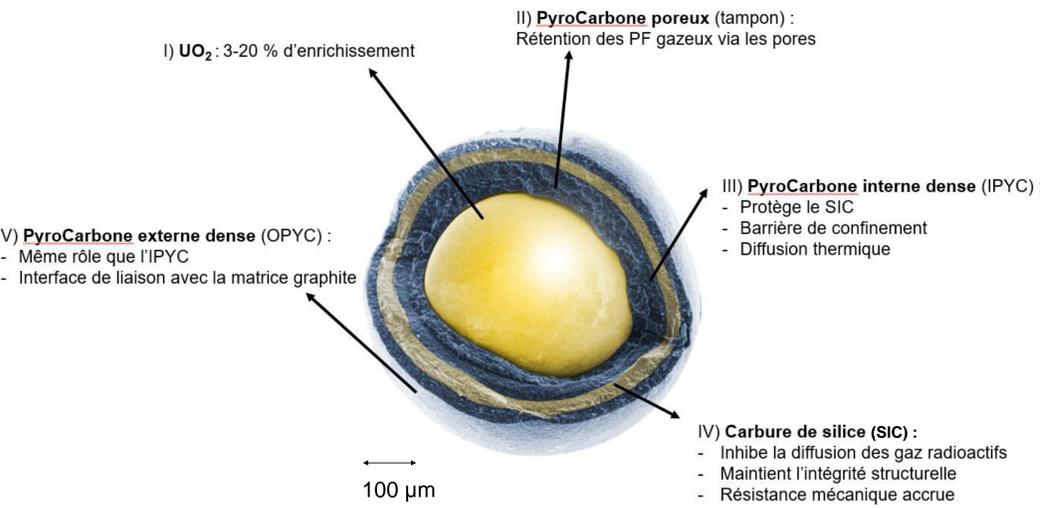


Figure 1 : Composition d'une particule TRISO (Idaho National Laboratory)

## III – Process de fabrication des particules

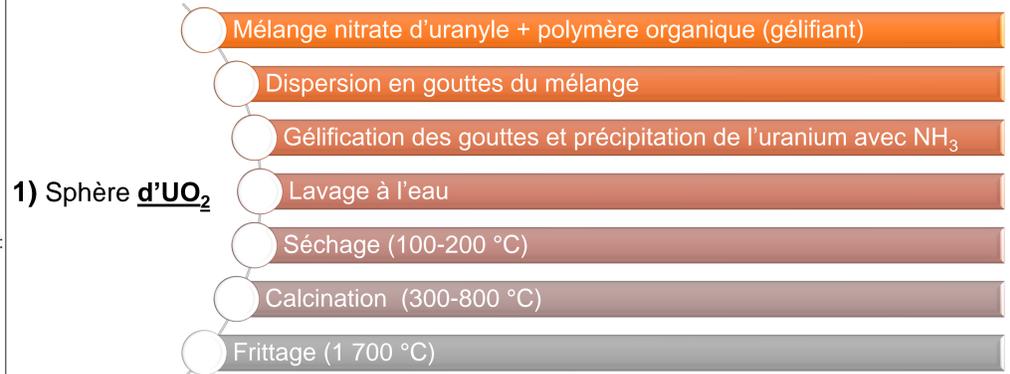


Figure 2 : Process de fabrication du noyau d'uranium (Thèse d'Elisa Re)

1) Sphère d'**UO<sub>2</sub>**

2) Le dépôt de **SIC** provient de la décomposition thermique du Méthyl-Trichloro-Silane (MTS) à une température de 1 600 °C et une vitesse de dépôt < 1 µm/min

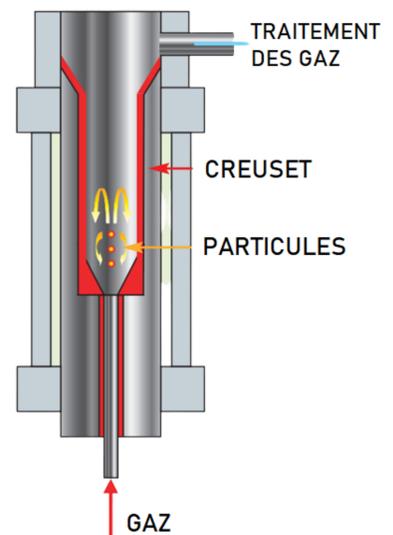


Figure 3 : Procédé de dépôt du carbone (CEA)

3) Les dépôts **en carbone** autour du noyau se font via le principe de dépôt en phase vapeur.

Les dépôts de carbone pyrolytique se font par le craquage (casse de la molécule en éléments plus petits) entre 1200 et 1400 °C. Le procédé utilise :

- de l'acétylène pour le tampon (rétention des PF gazeux) avec une vitesse dépôt de quelques dizaines de µm/min
- du propylène pour l'IPYC et l'OPYC (barrière de confinement) avec une vitesse dépôt de quelques µm/min

Une vitesse rapide permet la création de pores tandis qu'une vitesse lente génère un dépôt plus dense.

## IV – Process de fabrication de la matrice graphite

Les particules de TRISO sont dispersées de manière homogène dans la matrice en graphite qui sert de modérateur. La matrice est soit cylindrique à bloc prismatique chez les Américains (7 000 particules) ou sphérique « boulets » chez les Allemands (12 000 particules dans un boulet).

Le graphite contribue à 90 % dans la composition massique du combustible, le reste étant les revêtements des particules (6 %) et les produits de fission (4 %).

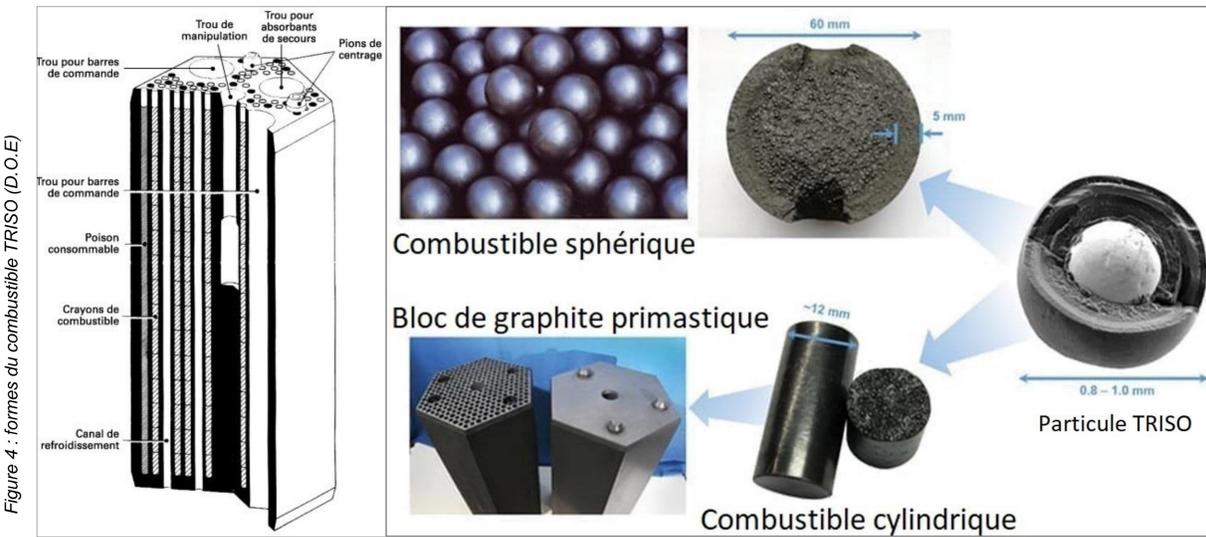


Figure 4 : formes du combustible TRISO (D.O.E)

## PROCESS DE FABRICATION

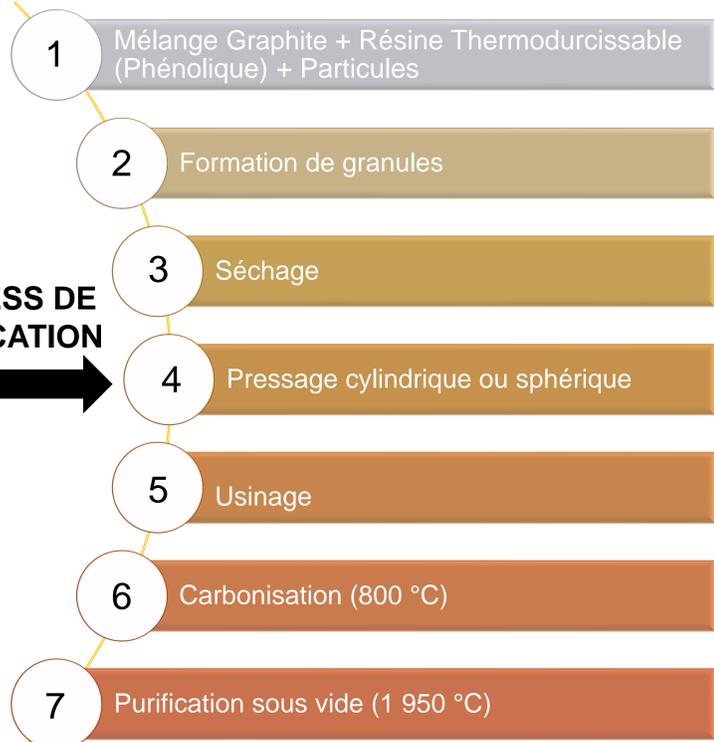


Figure 5 : Process de fabrication de la matrice graphite (CEA)

## V – Avantages et inconvénients

- Résistance au stress oxydatif, neutronique et thermique (2000 °C)
- Chaque particule a son système de confinement
- Surface d'échange thermique conséquente
- Réfractaire donc possibilité de perte de réfrigérant
- Rendement énergétique élevé via la géométrie sphérique



- Création de déchet graphite contaminé sans filière actuelle
- Combustion du graphite (effet Wigner)
- Sensibilité du cœur à l'eau et à l'oxygène

## VI – Conclusion

Oui, le TRISO sera utilisé dans les réacteurs GEN IV puisque le Canada et les Etats-Unis produisent respectivement depuis 2021 et 2022 des particules de TRISO pour leurs réacteurs expérimentaux, tandis que les Chinois, eux, ont déjà fait diverger leur premier réacteur de démonstration HTR-PM depuis décembre 2021. En revanche, des problèmes de retraitement du combustible se posent en France, ainsi, des options de retraitement sont impérativement à envisager avant le lancement des réacteurs TRISO.

Le cœur nucléaire composé de TRISO, permet de ne jamais atteindre la température de fusion du combustible via l'effet Doppler, qui diminue la fraction de neutrons disponibles à la fission, qui diminue donc la puissance. Ce refroidissement passif confère, en plus du confinement des radionucléides dans le TRISO, une sûreté plus importante des futurs réacteurs de GEN IV.

## Bibliographie

- Approche de la sûreté des réacteurs nucléaires de génération IV, Techniques de l'Ingénieur, Jean Couturier, 2013
- Réacteurs à haute température, Techniques de l'Ingénieur, Daniel Bastien, 2004
- Combustibles à particules pour réacteurs à haute température, Techniques de l'Ingénieur, Mayeul Phélip et al, 2007
- Design of a deep learning visual system for the thickness measurement of each coating layer of TRISO-coated fuel particles, 2022
- Fuel Qualification Guidance for Tri-structural Isotropic (TRISO) Fuel, NRC Web

- Conception et élaboration de matériaux hybrides à base d'oxydes d'uranium et de thorium, Theses, Hal, Elisa Re, 2022
- Le combustible à particules, CEA, Yannick GUÉRIN et M. PELLETIER
- Microstructural heterogeneity of the buffer layer of TRISO nuclear fuel particles, Journal of Nuclear, Griesbach, C et al, 2023.
- Optimum coating layer thicknesses of a TRISO having an 800-µm UO<sub>2</sub> kernel under normal operation conditions of a 10-MWth block-type HTGR, Nuclear Engineering Kim, Y.M et al, 2021.