

## Introduction

Des projets de Petit Réacteur Modulaire (SMR) voient le jour dans de nombreux pays que ce soit par le biais d'initiatives nationales (NUWARD en France, CAREM en Argentine) ou par la mise en place de consortiums internationaux (IRIS).

Le SMR est un réacteur nucléaire de puissance électrique inférieure à : 300 MWe, compact, confectionné de manière industrielle en assemblant des modules fabriqués en série. Ces réacteurs compacts (<x20/AP1000) sont conçus pour fonctionner en « grappe » ou multi-module afin d'atteindre une puissance électrique comparable ou supérieure à celle des réacteurs actuels (900-1450 MW).

Ce concept séduisant facilite l'accès à l'électronucléaire pour des pays ne disposant pas des moyens pour la construction de réacteurs classiques. Cependant ce déploiement mondial interroge sur des thématiques telles que la prolifération des matières nucléaires, la maîtrise de la sûreté nucléaire pour des pays néo entrants dans l'industrie électronucléaire ou encore l'éventuel apport des radionucléides pour des activités connexes : médecine, gammagraphie...

**Comment le gadolinium peut-il favoriser le déploiement de SMR ?**

## Etat des connaissances

En Septembre 2020, 72 projets de SMR ont été recensés par l'AIEA au niveau mondial. Seulement 5 de ces projets sont étudiés avec l'utilisation de gadolinium dans 3 pays : la Chine (DHR400 et HAPPY200), la Russie (RUTA-70 et VBER-300) et l'Angleterre (UK SMR).

Le Gadolinium est un métal appartenant à la famille des Lanthanides qui se trouve principalement dans deux minerais : la Lèpersonnite-(Gd) et la Monazite. Les utilisations principales du gadolinium sont : les alliages, la fabrication de laser et la médecine nucléaire (IRM). L'extraction du Gadolinium se fait majoritairement en Chine, puis à moindre échelle aux Etats-Unis, au Brésil où en Inde.

## Matériel et méthode

Les effets du gadolinium ont été étudiés à partir de différents « tests ». Le SMR pris pour référence est le W-SMR de Westinghouse, c'est un réacteur à eau pressurisée (REP) fonctionnant avec un combustible à base d'UO<sub>2</sub>.

Pour les différentes modélisations, un remplacement de barres de combustibles par des barres de gadolinium (GdBA) est effectué, entre 16 et 44 barres sont modifiées.

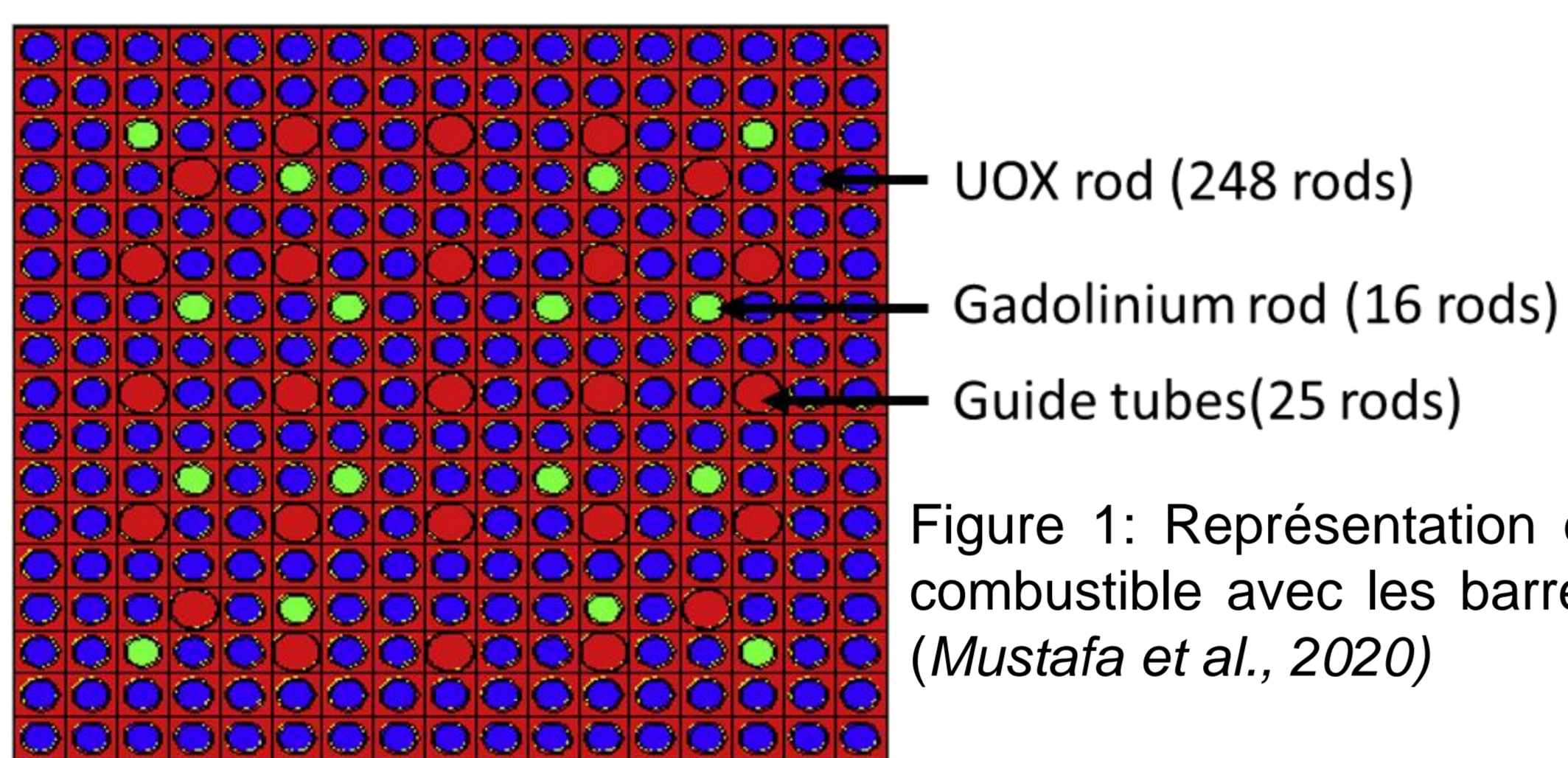


Figure 1: Représentation d'un assemblage combustible avec les barres de gadolinium (Mustafa et al., 2020)

## Résultats

### 1- Absorption neutronique

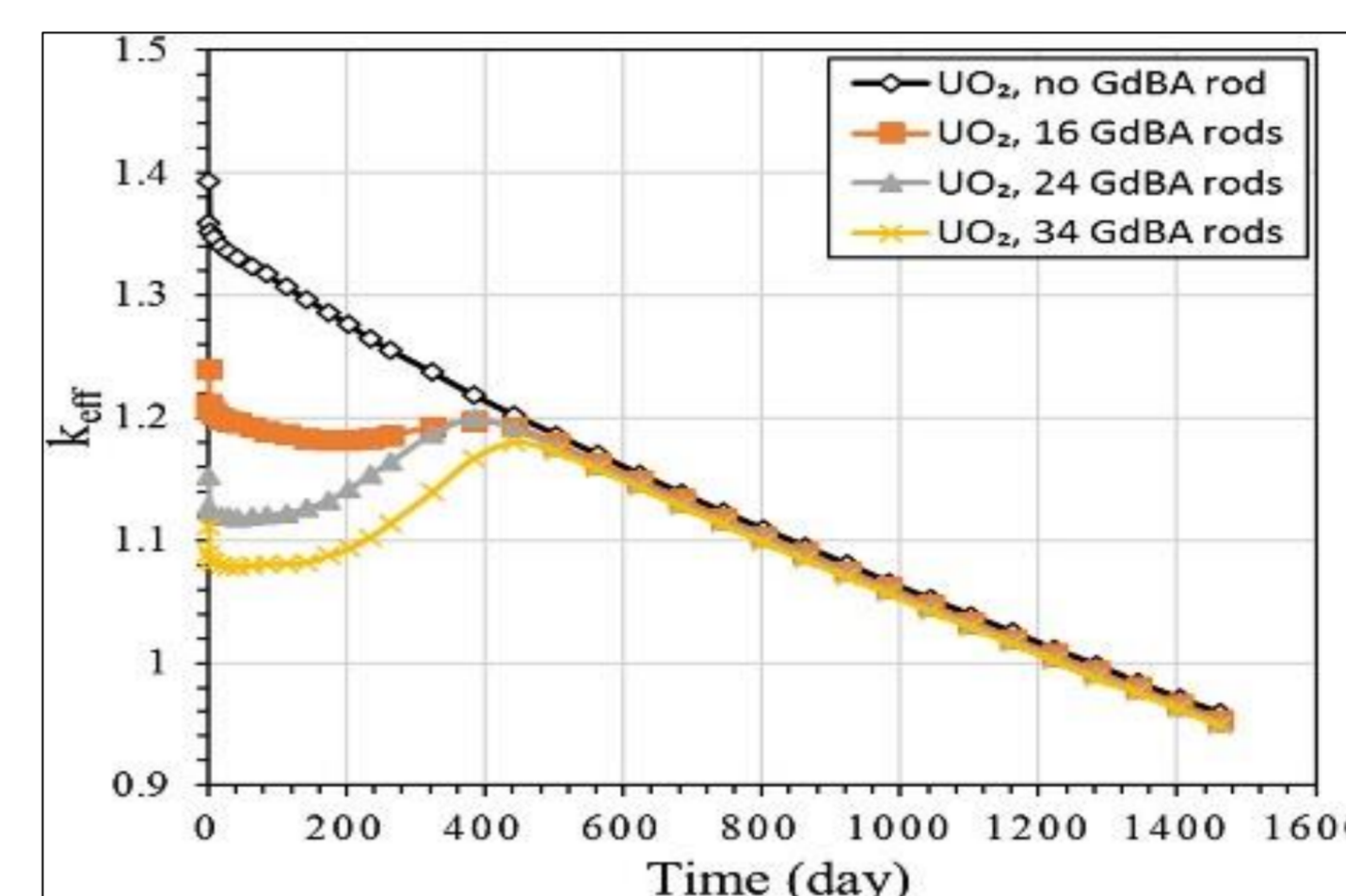


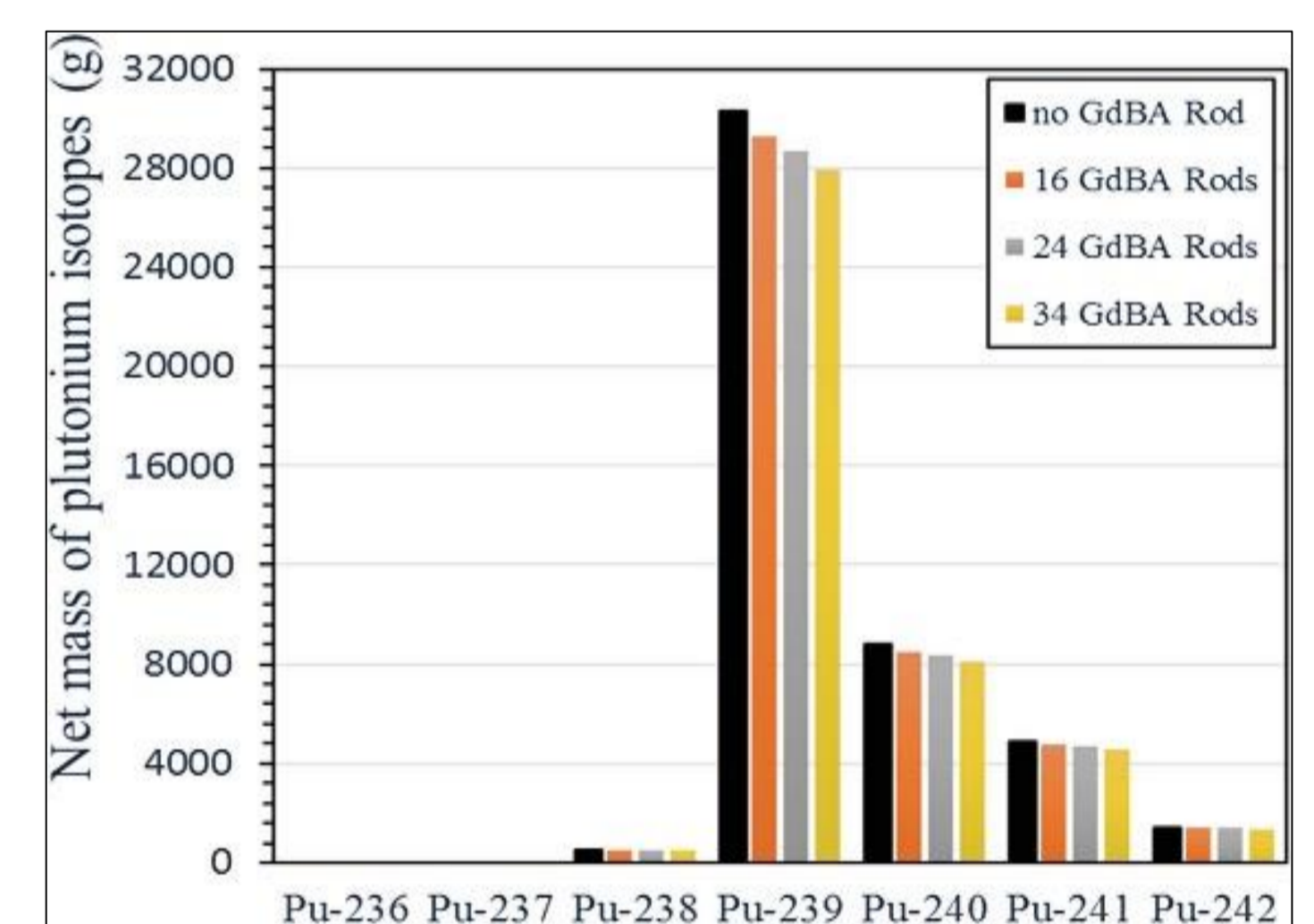
Figure 2: Evolution du  $K_{eff}$  des assemblages combustibles avec l'ajout de barres de contrôles en gadolinium (Uguru et al., 2020a)

$$K_{eff} = \frac{\text{Neutrons produits}}{\text{Neutrons absorbés + fuites}}$$

**Minimisation du régime surcritique** en début de cycle, possibilité de remplacer le bore.

### 2- Production d'actinides

Figure 3: Evolution de la production de plutonium (Uguru et al., 2020a)



**Diminution de la quantité de certains actinides** produits pendant le fonctionnement du réacteur associée à une augmentation des non-actinides dans un second temps.

### 3- Production de Samarium

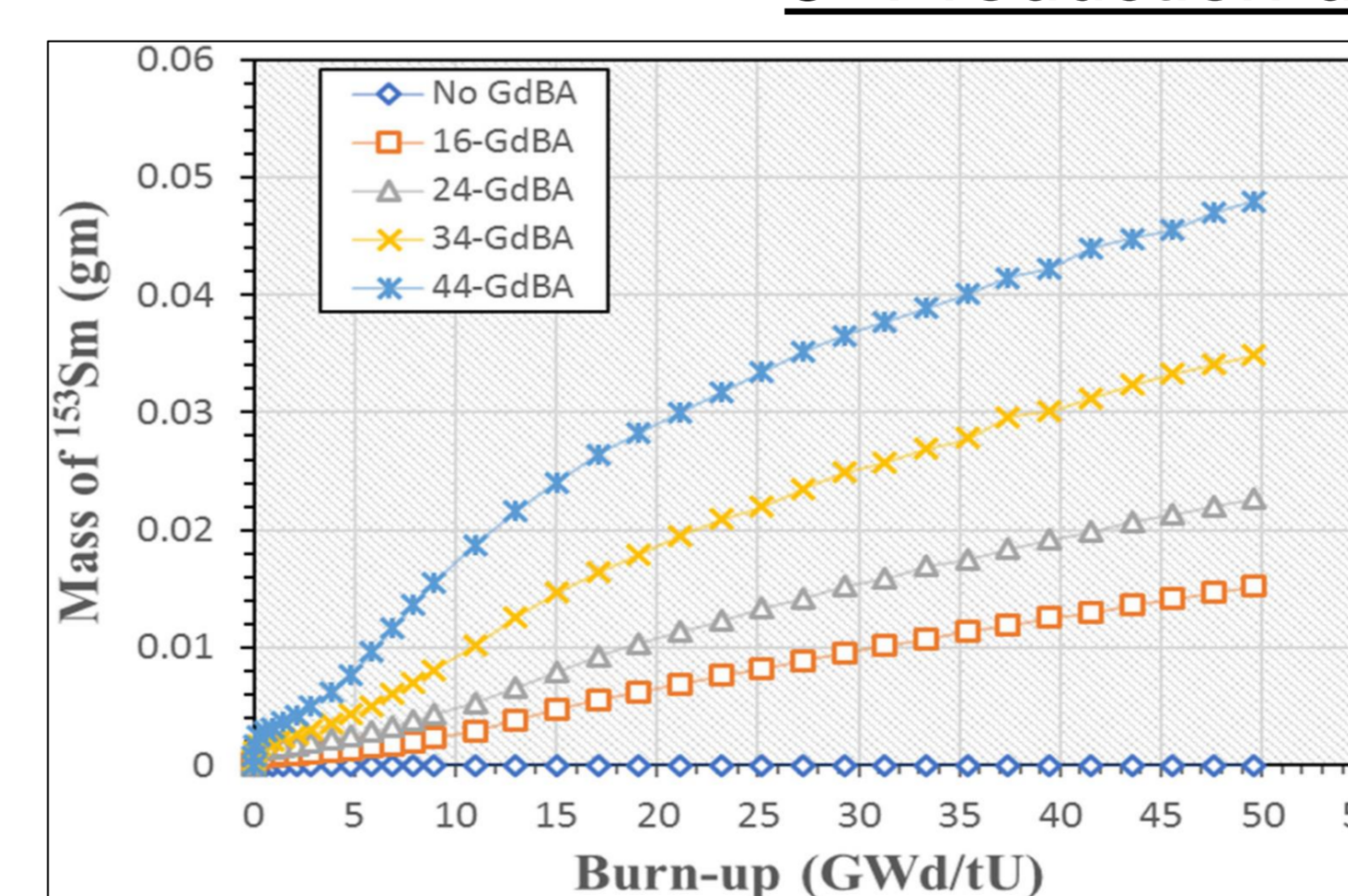


Figure 4: Evolution de la production de <sup>153</sup>Sm pour un combustible UO<sub>2</sub> (Uguru et al., 2020b)

**Augmentation de la production de <sup>153</sup>Sm** pouvant servir en médecine nucléaire.

## Conclusion

Le gadolinium a des propriétés intrinsèques pouvant participer à l'amélioration de paramètres de sûreté ou encore de prolifération. La baisse du  $K_{eff}$  au démarrage du réacteur limite le passage par le domaine surcritique et contribue donc à une amélioration de la sûreté des réacteurs. La diminution de la production d'actinides fissiles réduit la quantité de matériaux sensibles gérés dans le cadre de la non prolifération. Enfin, la production de certains isotopes spécifiques répond par exemple aux besoins de la médecine nucléaire.

Ces différents facteurs évoluant avec la proportion de gadolinium insérée dans le combustible permettent d'envisager une utilisation à plus grande échelle des SMR que ce soit pour l'électronucléaire (d'appoint ou par remplacement des centrales existantes), pour la production de radionucléides à usage médical voire pour dessaliniser l'eau de mer grâce à la puissance thermique dégagée.

## Bibliographie

- AIEA, 2020. Advances in Small Modular Reactor Technology Developments.
- Mustafa, et al., 2020. The effect of soluble boron and gadolinium distribution on neutronic parameters of small modular reactor assembly. Radiation Physics and Chemistry 171, 108724.
- Pieck, 2013. Optimisation de l'utilisation du gadolinium comme poison consommable dans le combustible nucléaire: Vers un REP sans bore. Université d'Aix-Marseille.
- Uguru, et al, 2020a. Actinide and non-actinide production from UO<sub>2</sub> fuel in W-SMR: Effects of gadolinium burnable absorber. Annals of Nuclear Energy 137, 107083.
- Uguru, et al., 2020b. The impact of gadolinium on the reactor production of <sup>153</sup>Sm. Radiation Physics and Chemistry 108995.