

# Les combustibles MOX d'EDF : Radiotoxicité et bilans thermiques, production et stockages, bilans 2011

Jean-Claude Zerbib et André Guillemette

- Respectivement : Ingénieur radioprotection, ancien du CEA - Ingénieur, ancien de la DCN, Cherbourg.

## Radiotoxicités

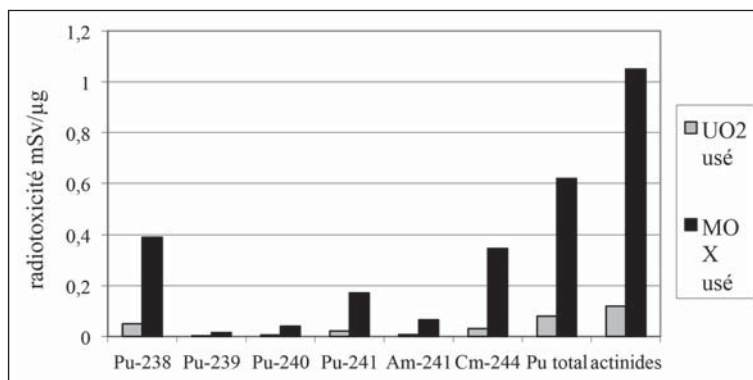
AREVA annonce que<sup>1</sup> « Le recyclage diminue jusqu'à 10 fois la toxicité intrinsèque des déchets grâce au recyclage du plutonium », le recyclage, étant l'utilisation du plutonium (Pu) extrait des combustibles usés des réacteurs à eau du parc nucléaire d'EDF comme matériau combustible de ces mêmes réacteurs.

Voyons ce qu'il en est.

Toxicité comparée des isotopes du plutonium et des actinides mineurs dans des combustibles neufs  $UO_2$  et MOX

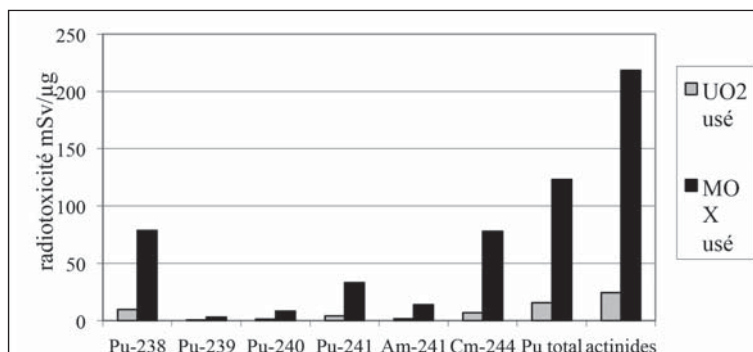
a) La radiotoxicité par inhalation d'aérosols est 9 fois supérieure pour le combustible MOX usé à celle du combustible  $UO_2$  usé.

Figure 1 : Radiotoxicités comparées  $UO_2$  et MOX usés, par inhalation d'aérosols



b) La radiotoxicité par ingestion est 8,8 fois supérieure pour le combustible MOX usé à celle du combustible  $UO_2$  usé.

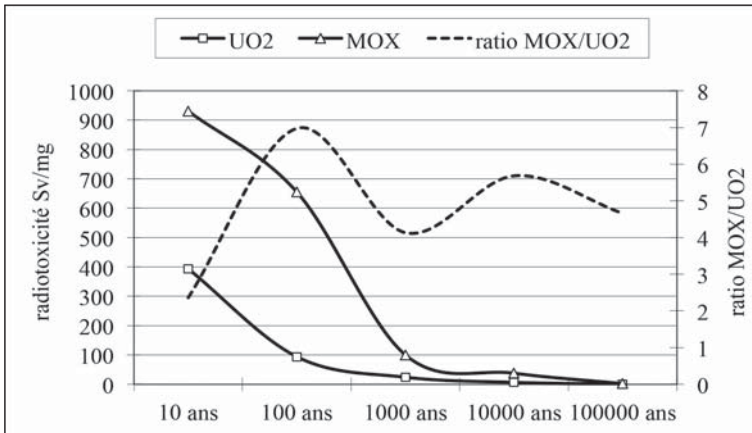
Figure 2 : Radiotoxicités comparées  $UO_2$  et MOX usés, par ingestion



1 - Source : « Traitement des combustibles irradiés étrangers », AREVA NC La Hague, rapports 2007 à 2011.

c) Évolution comparée de la radiotoxicité par inhalation

Figure 3 : Évolution comparée de la radiotoxicité par inhalation de combustibles  $UO_2$  et MOX usés à 45 MWj/tonne (Source : AEN OCDE 2006)



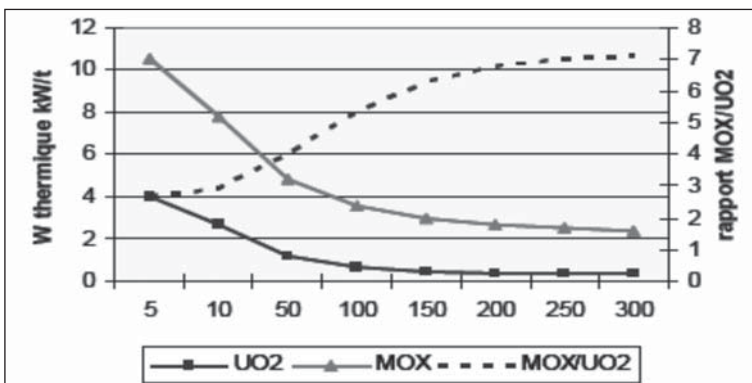
## Thermiques comparées des combustibles $UO_2$ et MOX

a) Ce sont les actinides qui font la différence :

Si les quantités de produits de fission sont comparables (puisque l'énergie dégagée par les combustibles est la même et qu'elle est proportionnelle au nombre de fissions) ce sont les teneurs élevées en plutonium (Pu), américium (Am), curium (Cm) et neptunium (Np) dans le MOX qui font la différence.

b) La thermique (la chaleur dégagée) des combustibles MOX usés est 2 à 7 fois plus importante que celle des  $UO_2$  (45 GWj/tonne, après 3 ans de refroidissement).

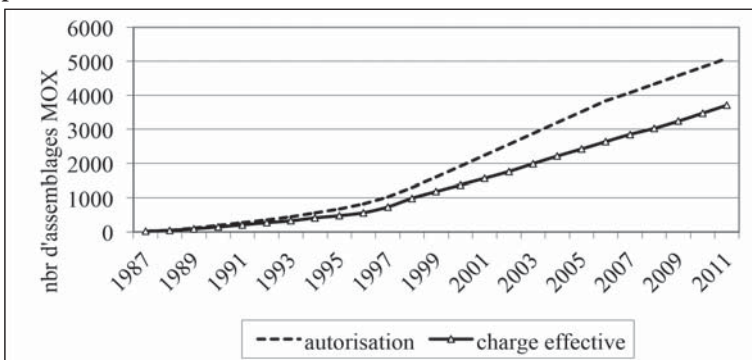
Figure 4 : Combustibles  $UO_2$  et MOX usés, 65 GWj/tonne



## Les quantités de combustible MOX

a) Historique du combustible MOX dans les réacteurs d'EDF.

Figure 5 : combustible EDF 3700 assemblages MOX chargés dans les réacteurs d'EDF sur la période 1987-2011

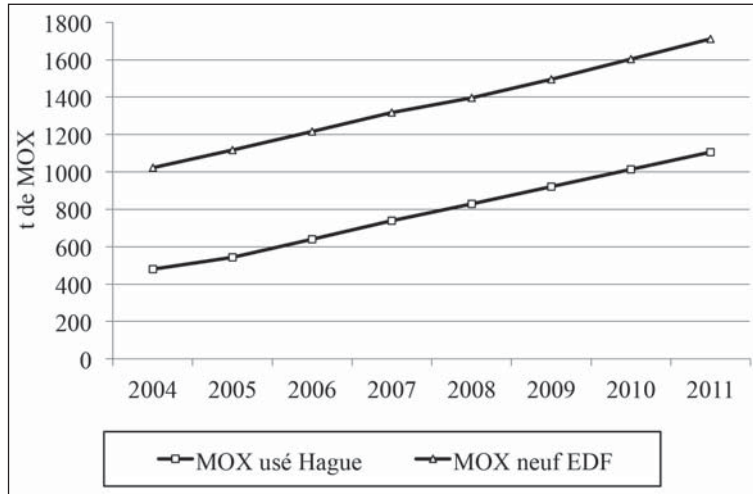


b) Stockage des combustibles MOX à La Hague (données publiques et données reconstituées-

**Tableau 1 - Stockages à La Hague, données 2003-2011**

Combustible	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
UO2		7156	7410						
URT		155	172						
MOX usé la Hague		479	543	680	728	840	940	1040	1140
données MOX EDF	450	550	600	700	800	900		1100	
Total REP		7790	8125		8831	9170	9421	9539	
Stock de Pu EDF/Pu total					29/61	?/62	?/60	27/60	?/57

**Figure 6 : Évolutions MOX neuf EDF et MOX usé à La Hague**



c) Bilans 2011

- Bilans MOX fin 2011 à La Hague : MOX usé 1 140 tonnes et rebuts MOX environ 96 à 120 tonnes.
- Bilans MOX fin 2011 à EDF : 390 tonnes en piscines et 300 tonnes chargées dans 21 réacteurs.

d) La « transparence » de l'information.

**Fig 7 MOX et Plutonium : exemple de données « publiques » où les chiffres sont néanmoins barrés par souci de confidentialité.**

Le tableau 5.1-1 ci-dessous présente les quantités de matières transmises par EDF, pour la fin des années 2003 et 2008, comparées aux estimations réalisées par l'IRSN (cf. chapitre 5.1.5 du présent rapport).

Matières gérées par le cycle du combustible	Quantités au 31 décembre 2003 <sup>(1)</sup>		Quantités au 31 décembre 2008 <sup>(1)</sup>	
	Données EDF <sup>(2)</sup> (tUO2)	Estimations IRSN <sup>(3)</sup> (matrices globales)	Données EDF <sup>(2)</sup> (tUO2)	Estimations IRSN <sup>(3)</sup> (matrices globales)
Plutonium (diverses formes liquides)	████████	████████	████████	████████

Tableau 5.1.1 : Etat des stocks de matières présentés par EDF et quantités de matières estimées par l'IRSN

---

Le tableau 6.3-2 présente la situation des piscines NPI, C, D et E de l'établissement de La Hague au 31 décembre 2009. Il conviendrait d'y ajouter les combustibles RTM (réacteur de test et de recherches), dont ██████████ sont entreposés dans la piscine NPI en attente de traitement.

	NPI	C	D	E	Total
Capacité totale <sup>(4)</sup> (tUO2)	2 000	4 800	4 600	6 200	17 600
Combustibles MOX non usés (tUO2)	████████	████████	████████	████████	████████
Combustibles MOX usés (tUO2)	████████	████████	████████	████████	████████
TOTAL	████████	████████	████████	████████	████████

<sup>(4)</sup> Capacité totale définies par décret du 10 janvier 2003 (ne correspond pas aux capacités opérationnelles)  
 Note : l'équivalent en masse par panier est de ██████████

Tableau 6.3.2 : Etat des entreposages d'assemblages combustibles dans les piscines NPI, C, D et E de l'établissement de La Hague

**IRSN,**  
**Cycle du combustible REP français**  
**Rapport DSU n° 228**  
**30 juin 2010**  
**Évolutions envisagées pour la période**  
**2007-2017 par EDF, AREVA et**  
**l'ANDRA**

(Convention de confidentialité sur les données contenues dans ce rapport)

## L'importance des problèmes posés par le MOX

- a) Fin 2011, 3 700 assemblages de MOX ont été utilisés<sup>2</sup>. Cela représente 1 700 tonnes de ce type de combustible, chargées dans les réacteurs d'EDF depuis 1987, contenant environ 120 tonnes de plutonium (équivalent de 23,6 cœurs à 100 % MOX de 157 assemblages/cœur).
- b) 1 140 tonnes de MOX usés sont stockées fin 2011 à La Hague et 300 t dans les piscines des réacteurs, du fait de l'utilisation de ces 1 700 tonnes. Les combustibles MOX représentent près de 12 % de l'ensemble des combustibles usés entreposés à La Hague

Ces combustibles contiennent 61,4 tonnes de plutonium<sup>3</sup> (valeur résiduelle dans les combustibles MOX usés).

- c) Fin 2011, il y avait 57 tonnes de plutonium séparé (sous la forme de PuO<sub>2</sub> : oxyde de plutonium) entreposées à La Hague, dont 36,2 t appartenant à la France (16,1 t au Japon et 4,6 t à l'Italie).

## Le Bilan retraitement-recyclage : un autre regard

Le retraitement-recyclage réduit la masse de plutonium de 23 % par rapport à sa valeur dans les combustibles usés, mais, comparé au combustible UO<sub>2</sub> irradié, il a pour conséquences :

- L'accroissement d'un facteur 8 de l'activité résiduelle du plutonium et des actinides mineurs.
- L'accroissement d'un facteur 9 de la toxicité globale du plutonium et des actinides mineurs.
- Un débit de neutrons multiplié par 10.
- Un pouvoir calorifique de 2 à 7 fois plus élevé.
- 2 000 tonnes de combustible MOX irradié à gérer par les « générations futures » en fin 2011.

Et si un réacteur EPR était chargé à 100 % de combustible MOX ?

Le réacteur EPR de 1 600 MW de puissance électrique est-il plus sûr que les REP de 900 MW actuellement en fonctionnement, chargés en combustibles UO<sub>2</sub> ?

Cela se discute...

Mais, s'il était chargé à 100 % de MOX, il serait potentiellement 26 fois plus dangereux dans le cas d'un accident majeur :

Radiotoxicité x 9	Puissance x 1,8	Taux de combustion <sup>4</sup> x 1,6
----------------------	--------------------	--

2 - Les premiers assemblages MOX ont été chargés en 1987 à St Laurent B. La teneur en plutonium est allée croissante avec une moyenne de 5,9 % de 1987 à 2010. La teneur actuelle est de 7,08 % pour un chargement annuel par 1/3 de cœur et 8,65 % par 1/4 de cœur.

3 - Il s'agit bien du plutonium contenu dans les seuls combustibles MOX. Cette évaluation est un peu imprécise, car la teneur des combustibles MOX a évolué dans le temps depuis 1987. Fin 2011, il y avait aussi dans les piscines de La Hague 9 459 t d'UOx et 250 t d'URE. En calculant grossièrement la charge pour une teneur de 1 % de Pu résiduel il faut ajouter de au contenu des MOX de l'ordre de 97 t de Pu. Le tonnage de combustibles usés entreposé à La Hague augmente chaque année (9 421 t en 2009, 9 539 t en 2010, 9 709 t en 2011, 9 790 t en 2012) du fait que La Hague retire un tonnage inférieur au tonnage annuel déchargé des réacteurs EDF

4 - 40 GWj/t pour un 900 MW et 65 GWj/t pour un EPR.