

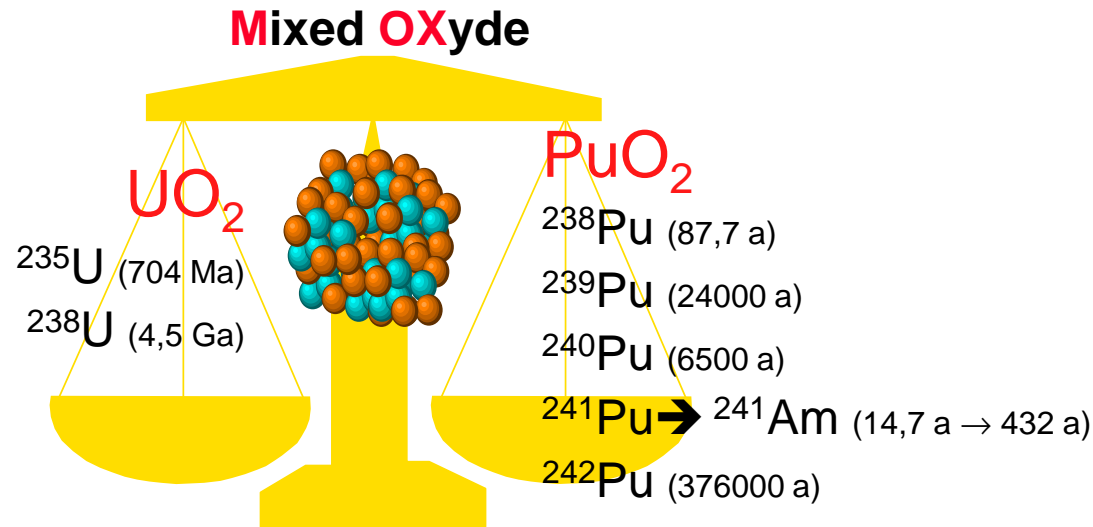
Conception & Fabrication du MOX

Dominique Favet , Sébastien Thareau
SFEN ST5 – 16 Octobre 2012



Conception MOX

Spécificités MOX et conséquences



► Spécificités

- ◆ ^{239}Pu et ^{241}Pu : sections efficaces (probabilités) d'absorption supérieures à celles de ^{235}U
- ◆ Spectre neutronique du MOX 2 fois plus « dur »

► Conséquences

- ◆ Sur le réacteur (ajout de grappes absorbantes)
- ◆ Sur la gestion du cœur (cinétique, coefficients de réactivité, pics de puissance)

Conception MOX

Dégradation vecteurs isotopiques REP



ORIGINE		UNGG	REP 2 cycles 2,4 % ⁵ U 22 MWj/kg	REP 3 cycles 3,25 % ⁵ U 33 MWj/kg	REP 4 cycles 3,7 % ⁵ U 45 MWj/kg
Composition isotopique (%)	²³⁸ Pu	0,2	0,6	1,8	2,5
	²³⁹ Pu	72,7	66,6	57,9	54,5
	²⁴⁰ Pu	22,2	21,1	22,5	25,2
	²⁴¹ Pu	4,1	8,1	11,1	8,6
	²⁴² Pu	0,8	2,6	5,6	7,9
	²⁴¹ Am	# 0	1,1	1,1	1,3
α		0,69	0,64	0,53	0,40
t (%)		4,0	4,4	5,3	7,0



Augmentation de la teneur Pu pour maintenir le potentiel énergétique

Conception MOX

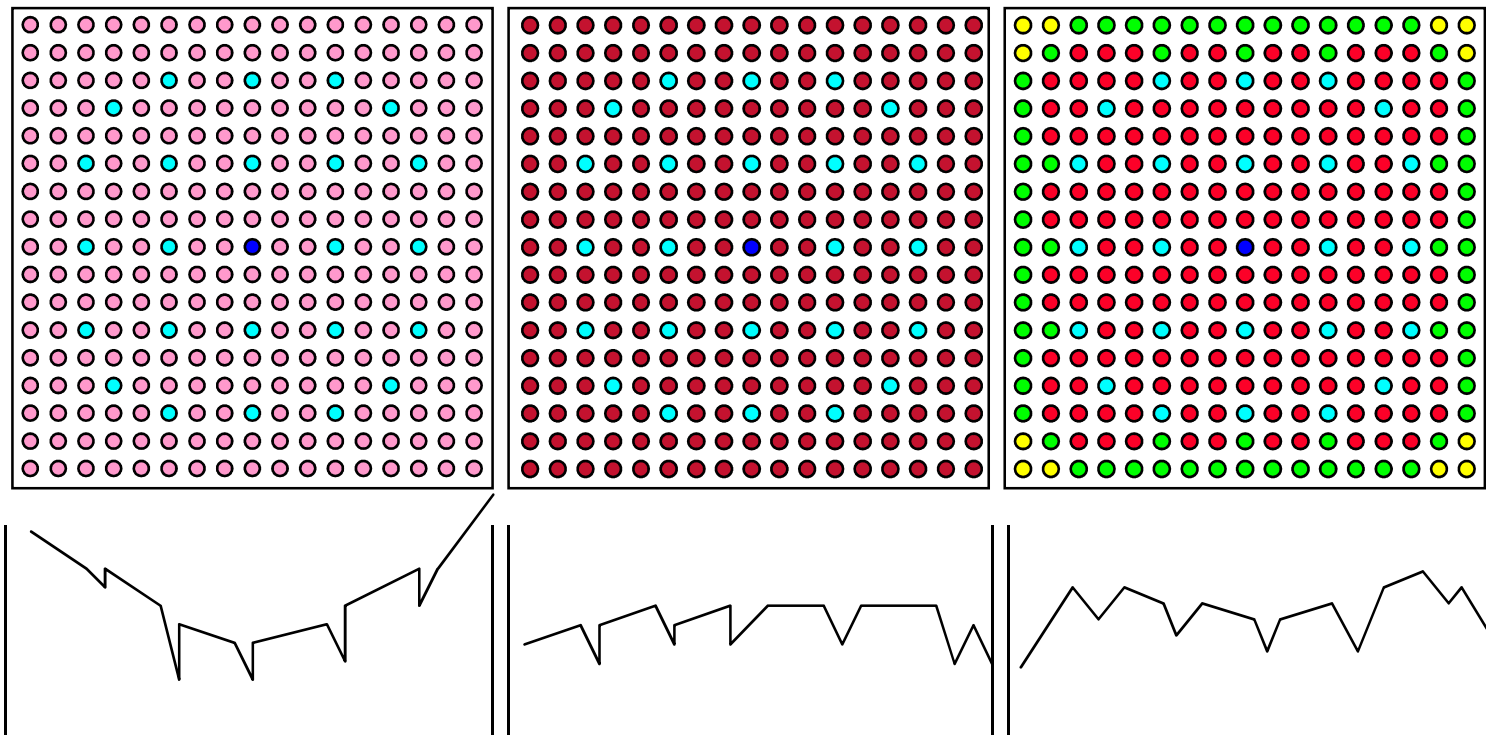
Problématique cœurs mixtes



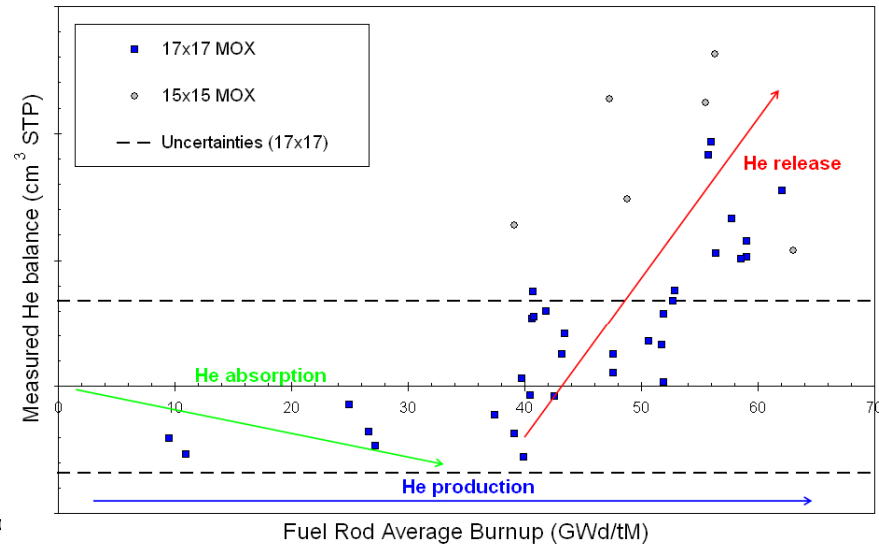
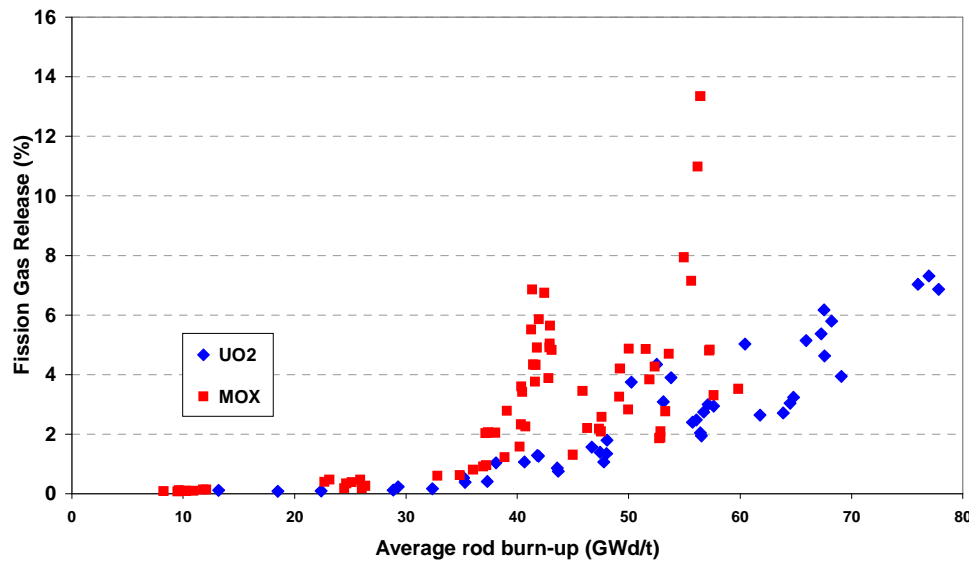
MOX sans zonage

UO₂

MOX tri-zoné



Conception Thermomécanique MOX Thermique et RGF



**Relâchement des P.F. gazeux accéléré +
relâchement d'Hélium**

Conception MOX Crayon et Assemblage Combustible



- ▶ **Conséquences sur la conception du crayon**
 - ◆ Conception limitée par le critère de pression interne (non-réouverture du jeu pastille-gaine)
 - ◆ Augmentation du volume libre dans le crayon par réduction de la hauteur de colonne fissile

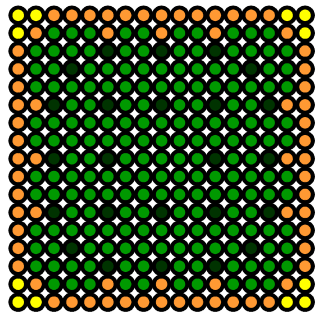
- ▶ **En revanche, pas de modification liée au MOX sur la conception assemblage**
 - ◆ Introduit en réacteurs REPs et REBs jusqu'à 1300 MWe
 - ◆ Utilisé pour différentes conceptions d'assemblage combustible

Potentiel Energétique du MOX

Cœur MOX Homogène



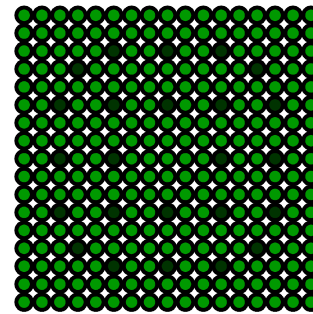
► Assemblage MOX pour cœur mixte et pour cœur 100% MOX



Assemblage MOX pour cœur mixte

3 teneurs en Pu différentes

→ Teneur moyenne en Pu limitée à 88% de la haute teneur

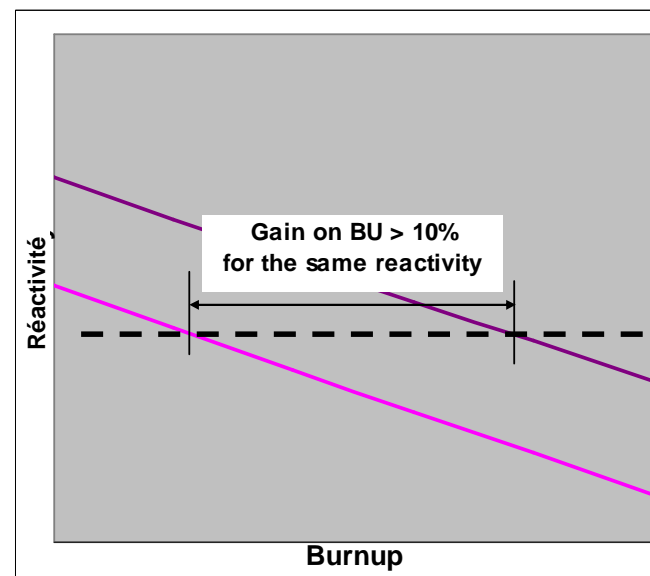
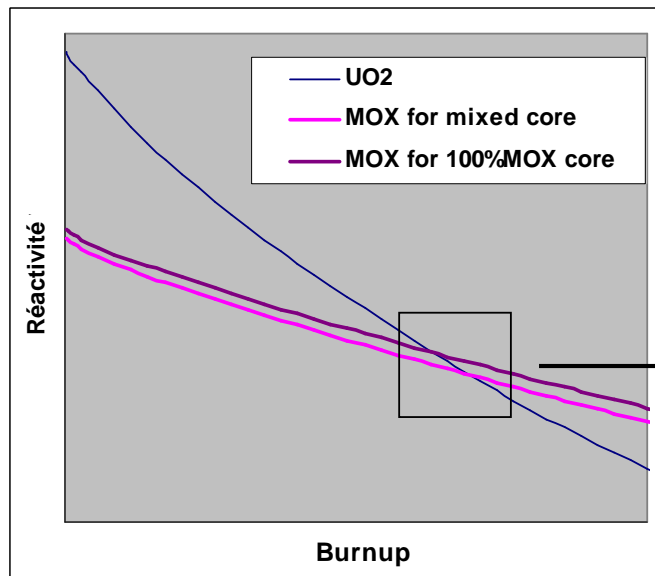


Assemblage MOX pour cœur 100% MOX

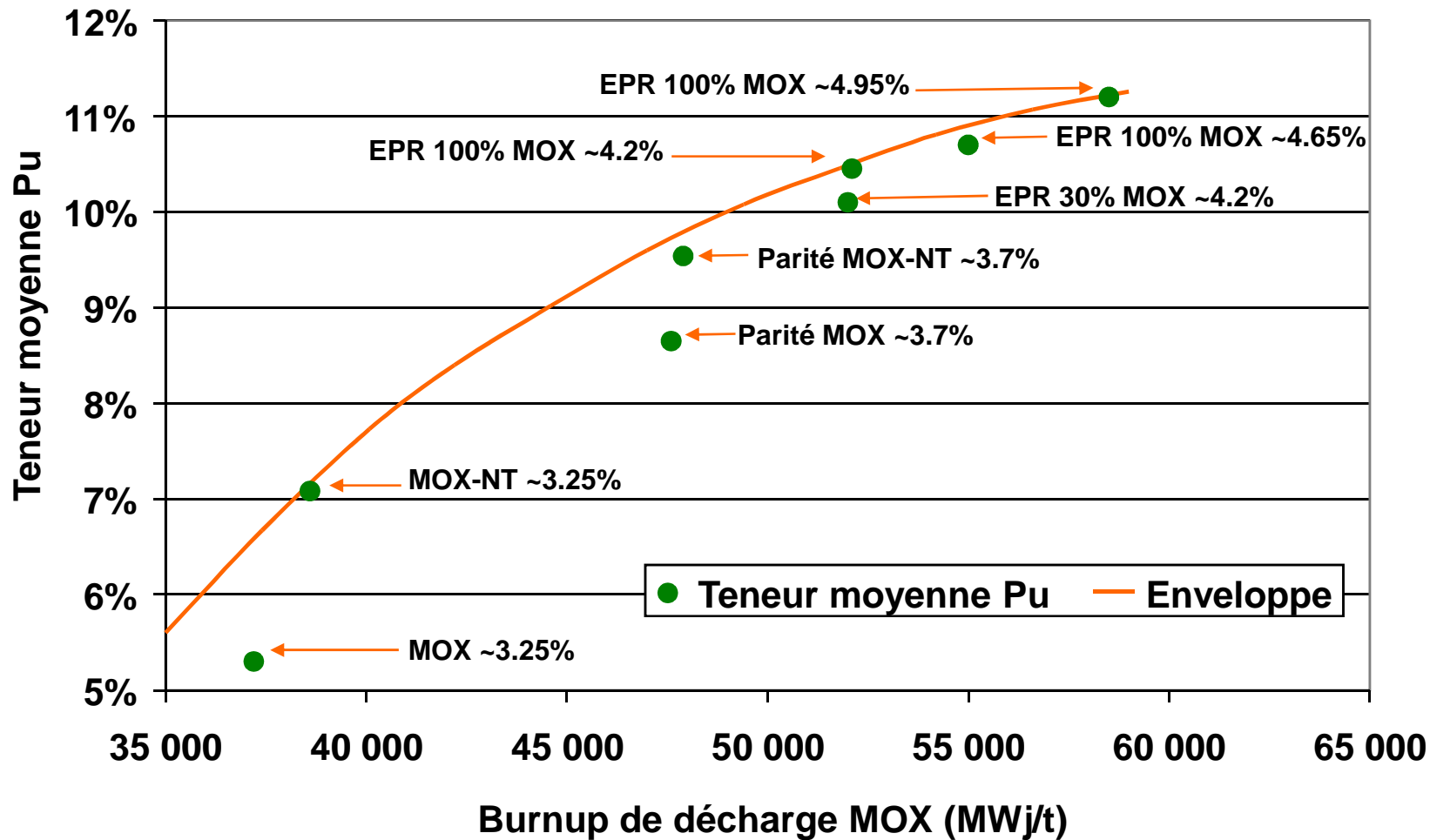
Teneur en Pu homogène

→ Teneur moyenne en Pu peut être maximisée

► Gain potentiel en burnup résultant d'une teneur Pu plus élevée



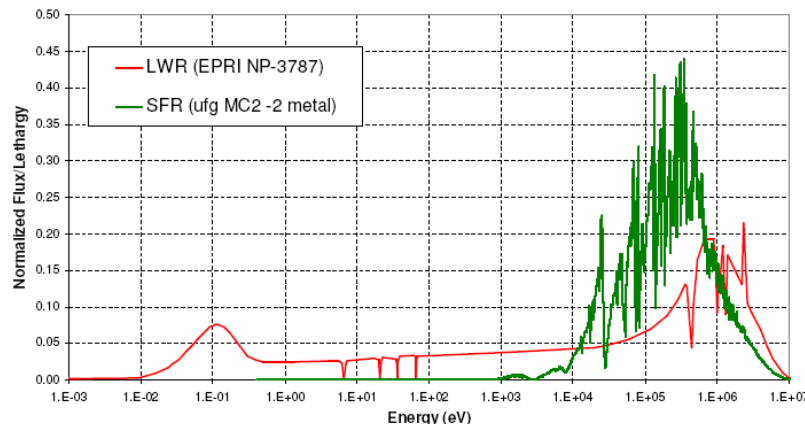
Perspectives Evolution des Gestions MOX en REP



Perspectives Combustible MOX en Gen-IV



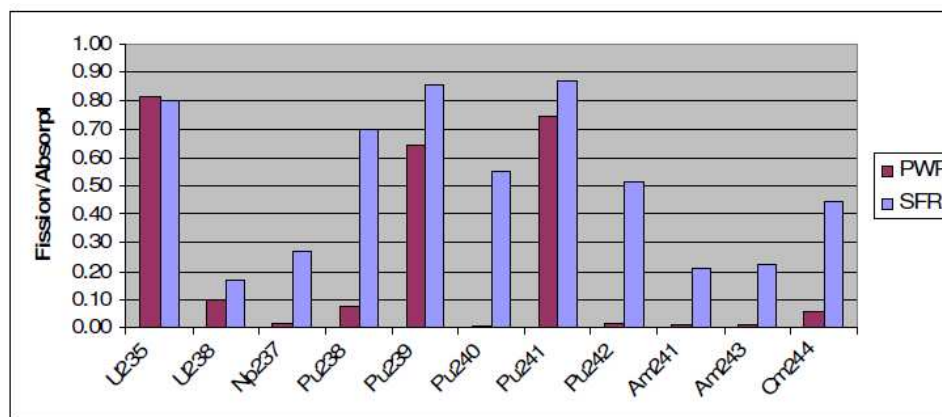
► **Spectre neutronique très différent**



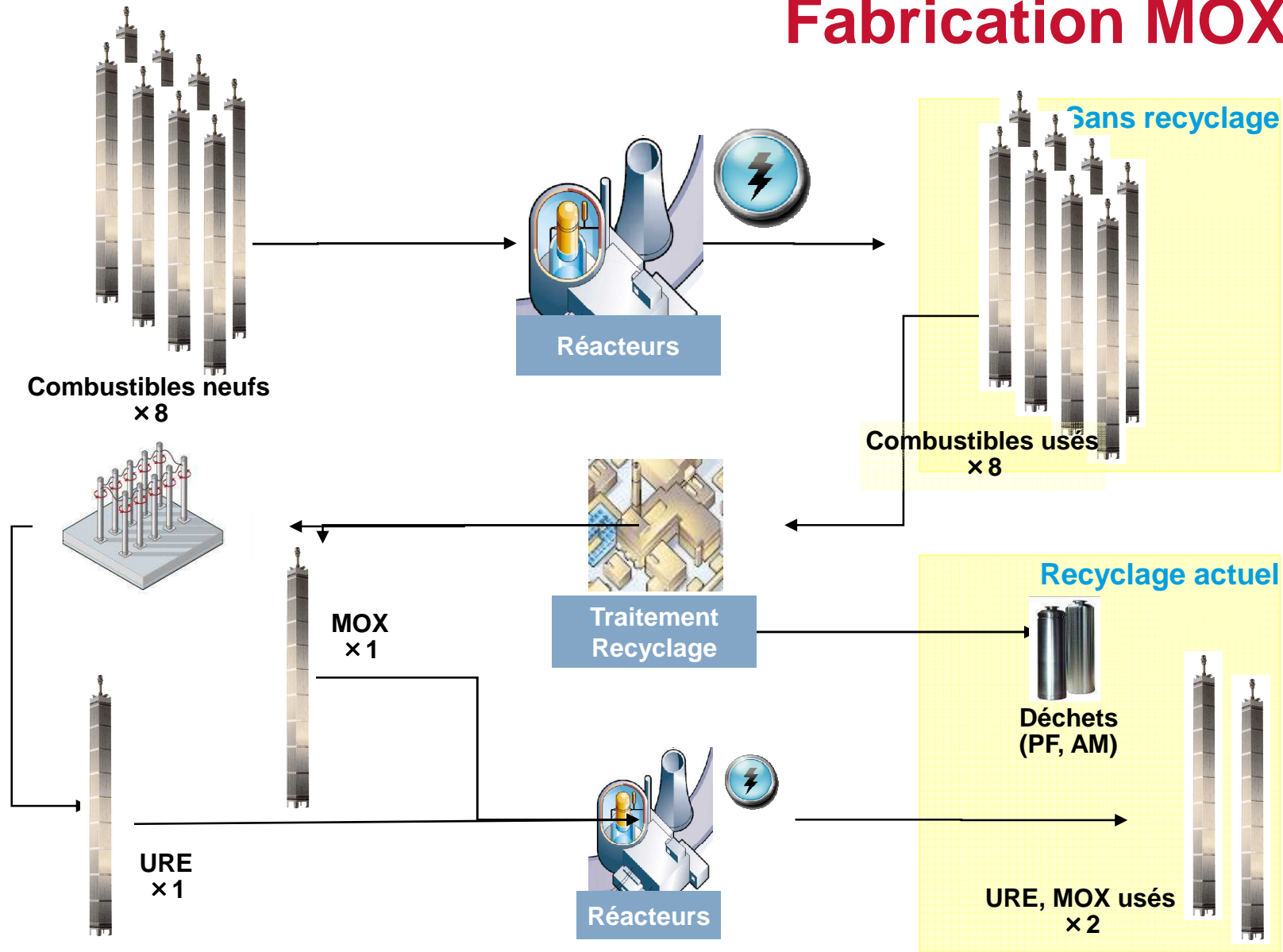
- In LWR, most fissions occur in the 0.1 eV thermal "peak"
- In SFR, moderation is avoided – no thermal neutrons

► **Idéal pour brûler le MOX**

- ◆ Utilisation de tous les isotopes (fissile et fertile)
- ◆ Augmentation de la teneur Pu (compensation capture U238)

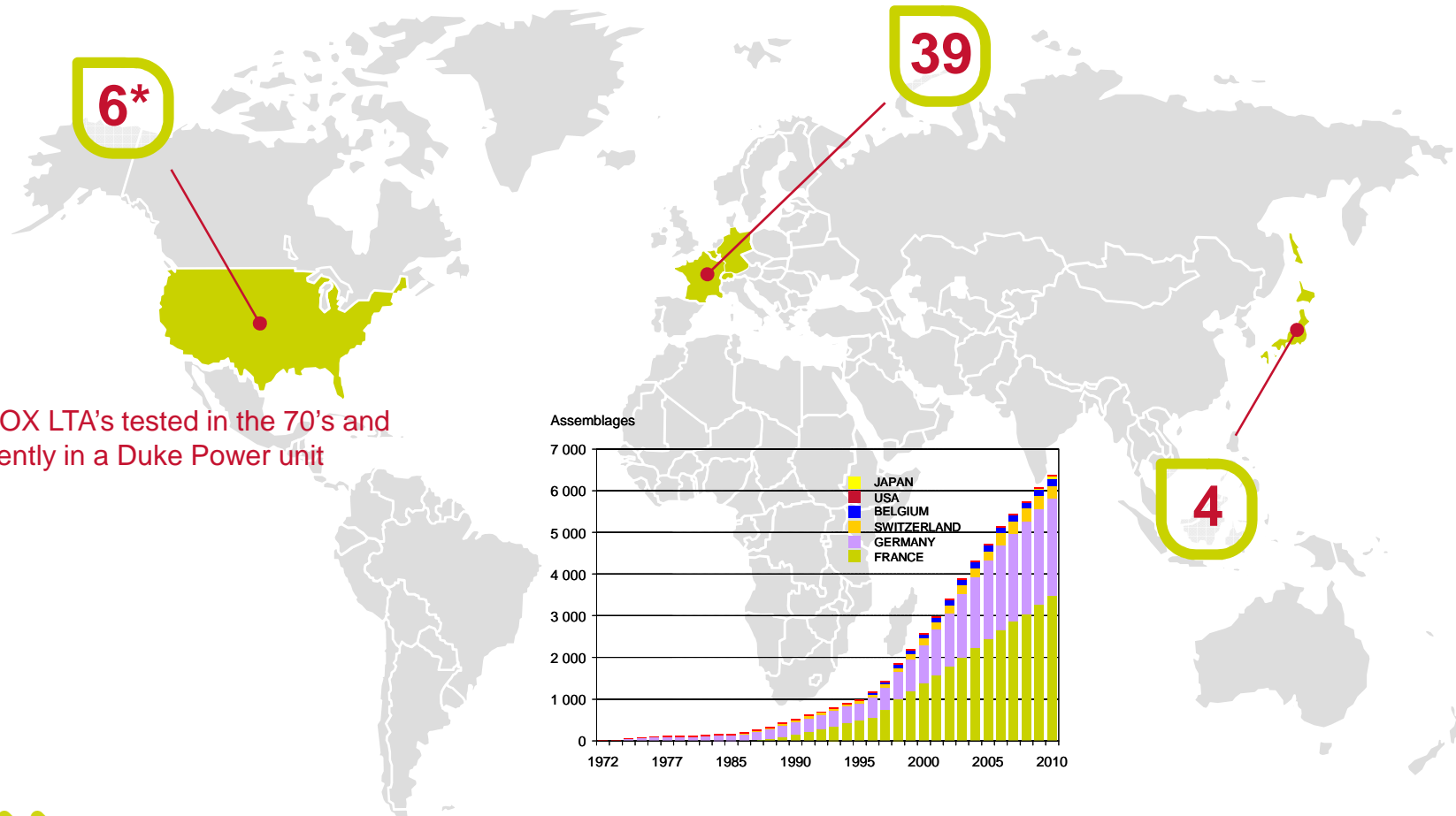


Fabrication MOX



Fabrication MOX

Déploiement du MOX dans le Monde



* MOX LTA's tested in the 70's and recently in a Duke Power unit



Plus de 6400 MOX irradiés dans plus de 40 réacteurs

Fabrication MOX L'usine MELOX



15 années de fonctionnement
1559 tML de MOX fabriquées



Caractéristiques du MOX par rapport à l'UOX



▶ UOX – MOX: des similitudes

- ◆ Les spécifications de conception mécanique et thermohydraulique
- ◆ La géométrie et les composants par exemple:
 - Longueur et diamètre des crayons...
 - Design de l'assemblage ...

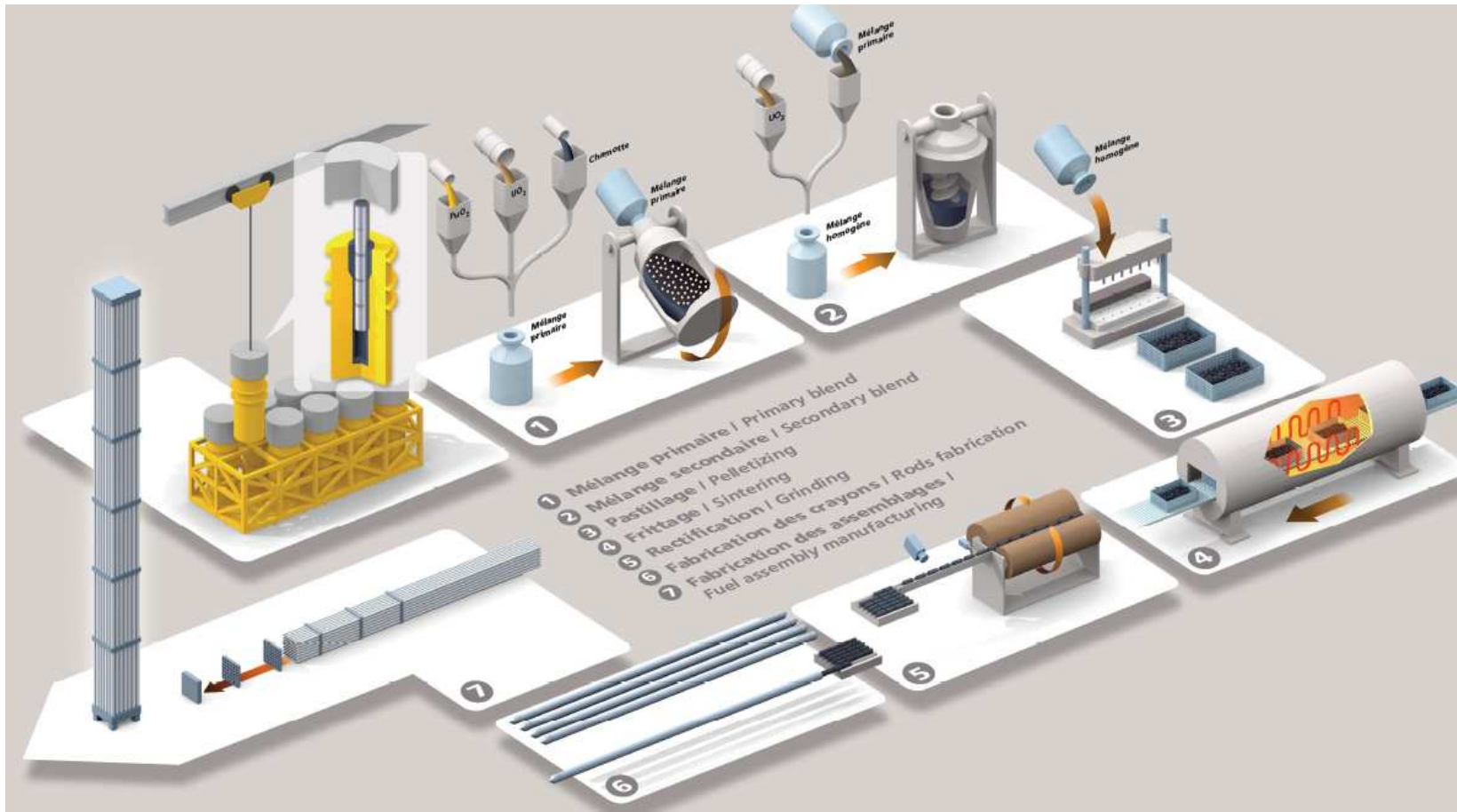
▶ UOX – MOX: les différences

- ◆ UOX, la matière fissile (U235 enrichi) est répartie de manière homogène dans le combustible
- ◆ MOX la matière fissile, l'oxyde de plutonium, doit être mélangé à de l'oxyde d'uranium (uranium appauvri)



Le mélange des 2 oxydes fissile/fertile est la principale différence dans les procédés de fabrication de l'UOX et du MOX

Le procédé de fabrication



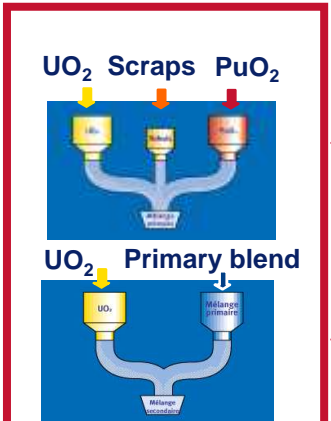
L'ensemble du procédé depuis le mélange des poudres jusqu'au gainage est en BaG

MOX

Fabrication MOX Spécificités du procédé

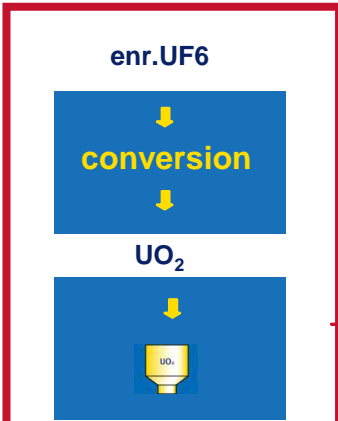


Préparation du mélange Primaire
Préparation du mélange Secondaire



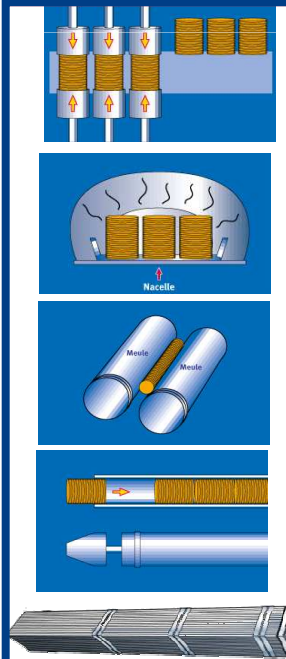
Dosage (Pu% ≈ 30%)
+ Lubrifiant
Micronisation

Dosage (Pu% < 12%)
+ Porogène
Homogénéisation

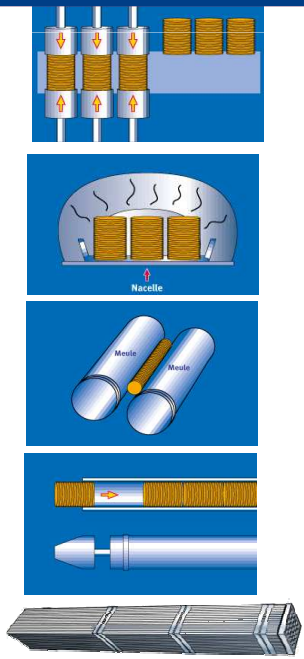


UOX

+ Porogène
Pré-compaction
Granulation



Pastillage
Frittage
Rectification
Gainage
Assemblage



↑
Etapes requises pour améliorer la coulabilité de la poudre

Spécifications des pastilles MOX

Exemples de paramètres différenciant



▶ 80 paramètres clés examinés:

◆ Visuel

- Rugosité
- Aspect
- Défauts de fabrication
- **Microstructure**
- Taille de Grain
- Spectre de porosité
- Homogénéité Pu
- Composition isotopique U et Pu
- Caractéristiques physique/chimique
- Teneurs U e Pu
- Solubilité
- Rapport de Stœchiométrie

◆ Gaz c

◆ Impuretés

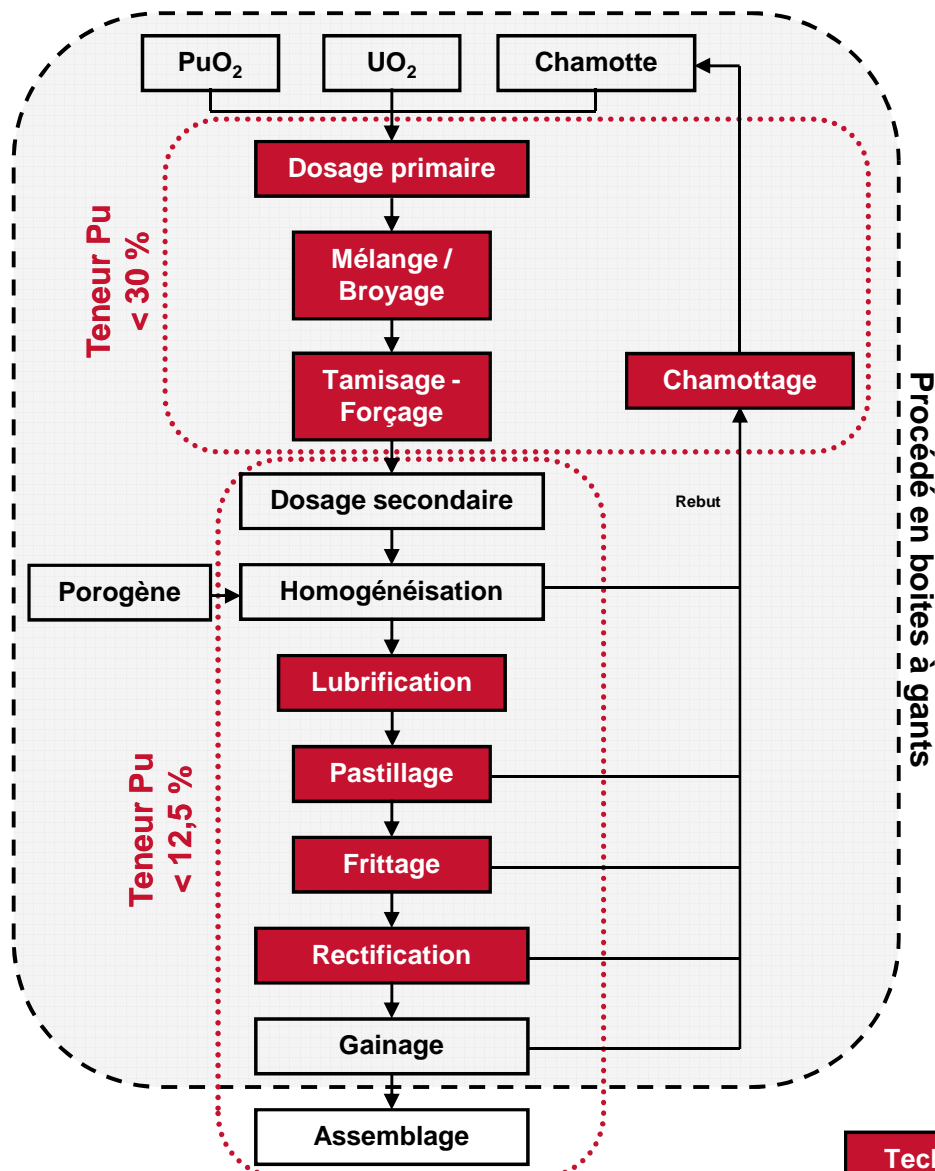
◆ Dimensions

- Longueur
- Diamètre
- Mesures d'extrémités
- Densité

Principaux paramètres différenciant MOX/UOX

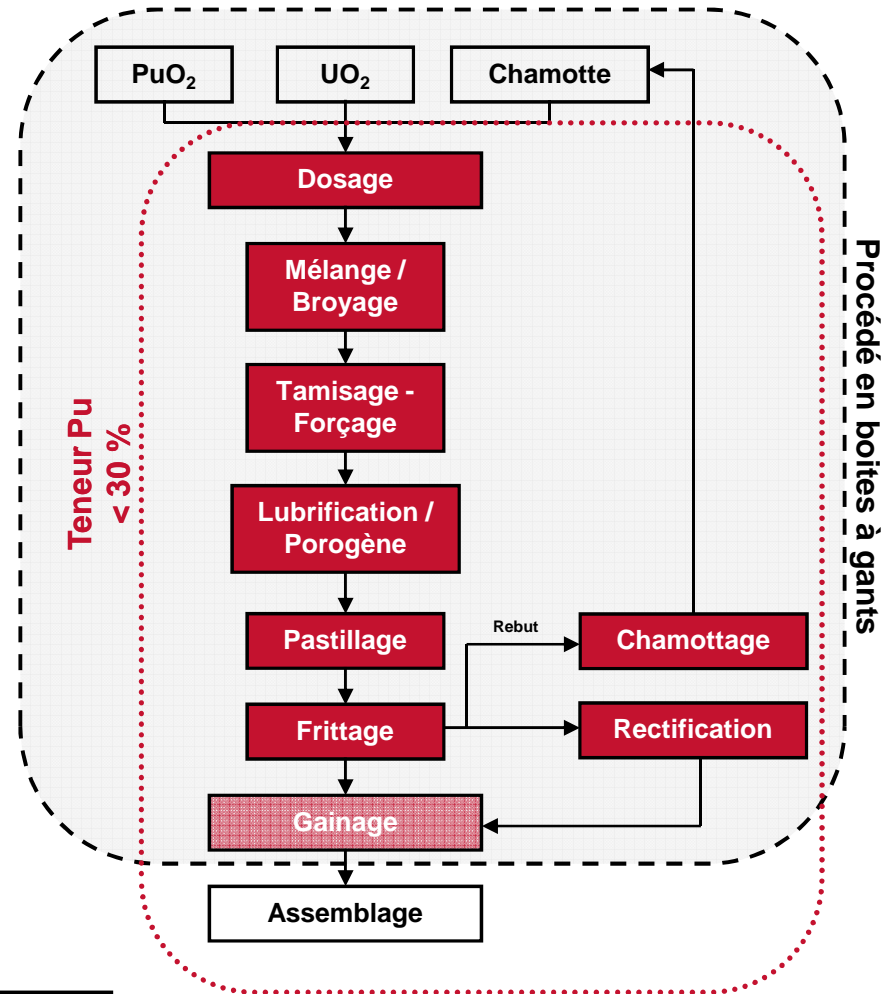


Fab. Gen-IV vs. REL Procédés similaires



Procédé MELOX

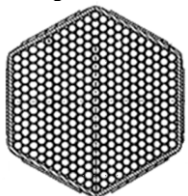
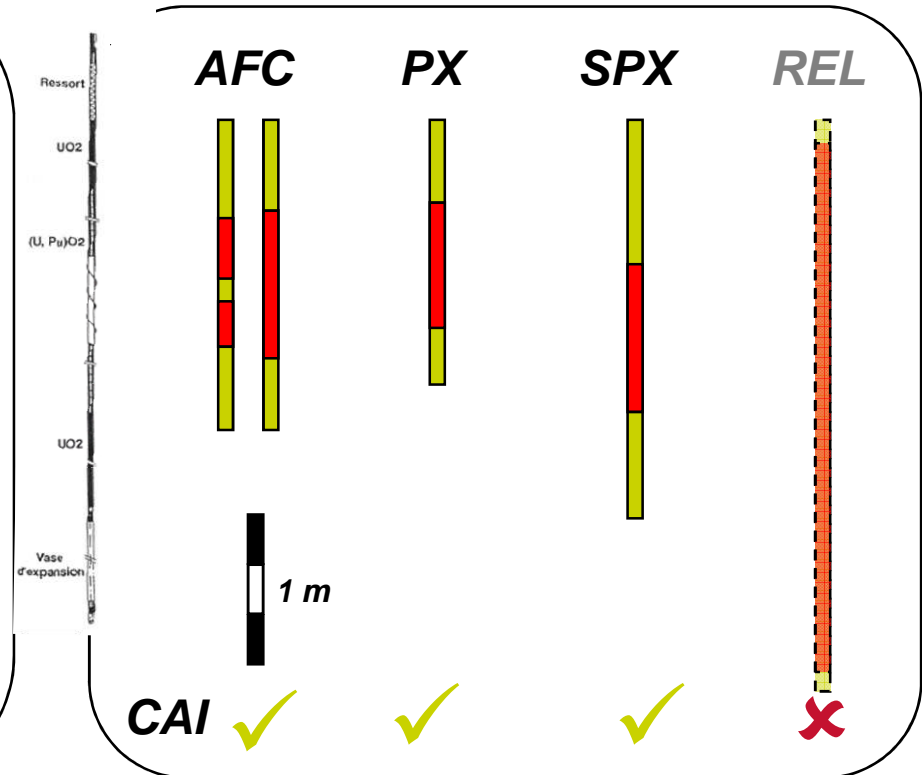
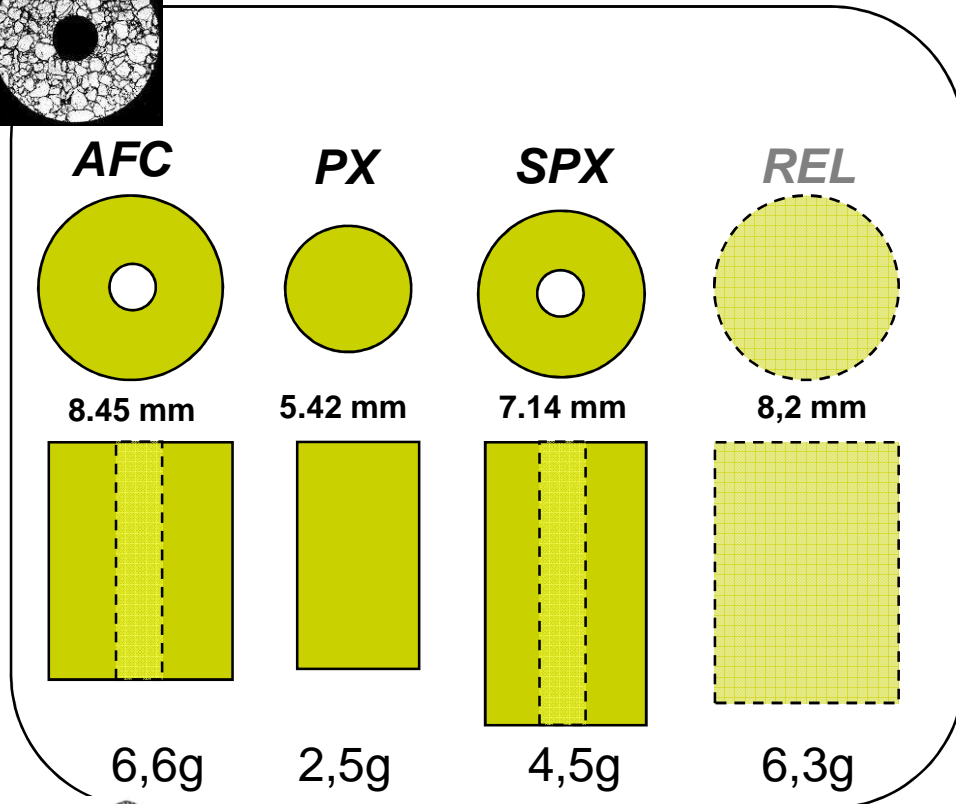
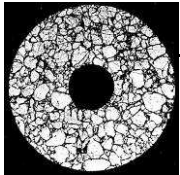
Technologies similaires



Procédé COCA

Combustibles Gen-IV vs. REL

Caractéristiques Similaires



	AFC	PX	SPX	REL
Ass. L	4.5m	4.3m	5.4m	4m
Mox	119kg	45kg	105kg	515kg

AFC	PX	SPX	REL
Mas. Ox 550g	206g	387g	1950g

Conclusions



- ▶ **Plus de 40 ans d'expérience en réacteurs ont démontré la qualité et les performances du combustible MOX conçu et fabriqué par AREVA.**
- ▶ **Les performances et la fiabilité du procédé MELOX sont reconnues au niveau mondial.**
- ▶ **Une expérience qui permet d'être confiant pour la transition vers des combustibles pour les réacteurs de Gen-IV (procédé et technologie similaires aux MOX REL)**