

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

# LA MICROSONDE BLINDEE

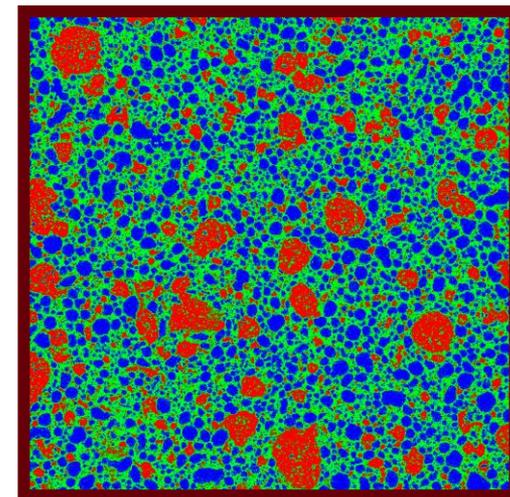
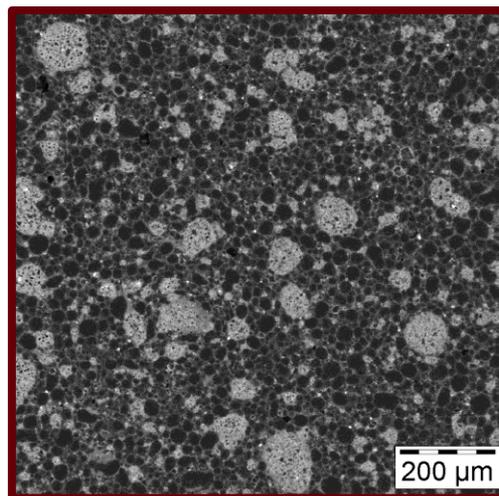
du LECA-STAR à Cadarache



LECA-STAR

DEC/SA3C/LEMCI

Karine HANIFI – Isabelle FELINES



[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

# LE CONTEXTE



## Réacteur nucléaire

Combustible neuf



H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	A
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

Ln	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Hg	Er	Tm	Yb	Lu
An	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Ln : Lanthanides ; An : Actinides

Fission

Capture de neutrons

Produits de fission  
Actinides mineurs  
Plutonium  
Uranium 235

Uranium 238

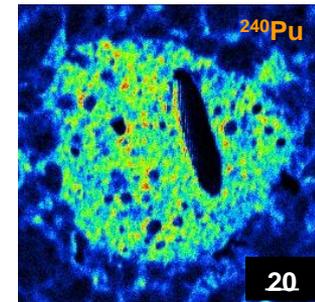
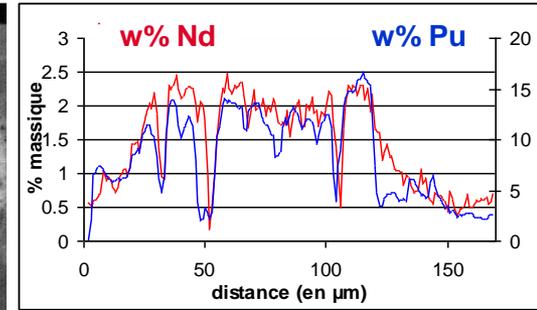
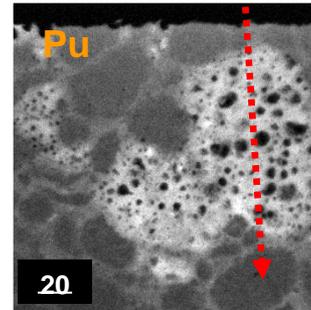
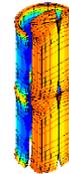
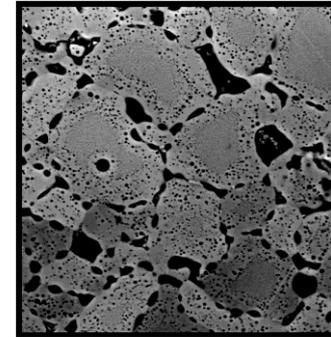
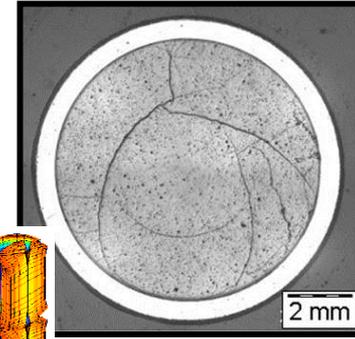
Combustible utilisé



Déchets ultimes (4%)

Matière recyclable (96%)

© CEA 2001



## Décrire l'état des combustibles irradiés, en particulier :

- la microstructure : grains, pores, fissures, précipités, défauts, phases ...
- la physico-chimie : produits et gaz de fissions (teneur, distribution, isotopie)

# Les matériaux d'Etudes

## Combustibles des réacteurs industriels (REP)

$UO_2$  avec/sans dopants ,  $(U, Pu)O_2$

## Combustibles des réacteurs du futur (GENIV) :

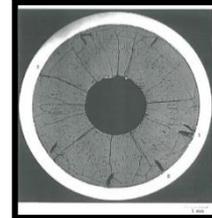
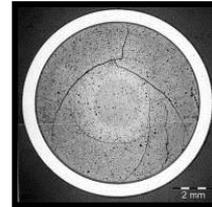
$(U, Pu)O_2$ , carbures ...

## Combustibles et cibles de transmutation :

$UAmO_2$ ,  $MgO-AmO_2$ , ...

## Combustibles des réacteurs d'essais (MTR) :

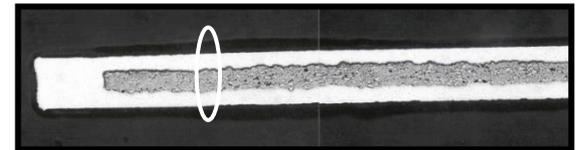
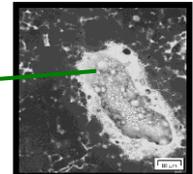
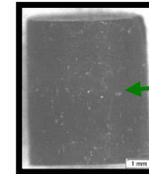
$UMo$  (avec/sans dopants)



Pastille :

$\Phi \sim 10$  mm

H  $\sim 10$ -14 mm

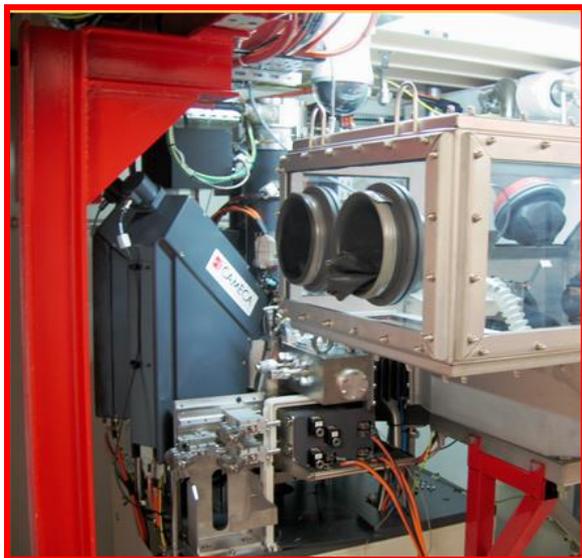


## Décrire l'état des combustibles irradiés, pour comprendre notamment

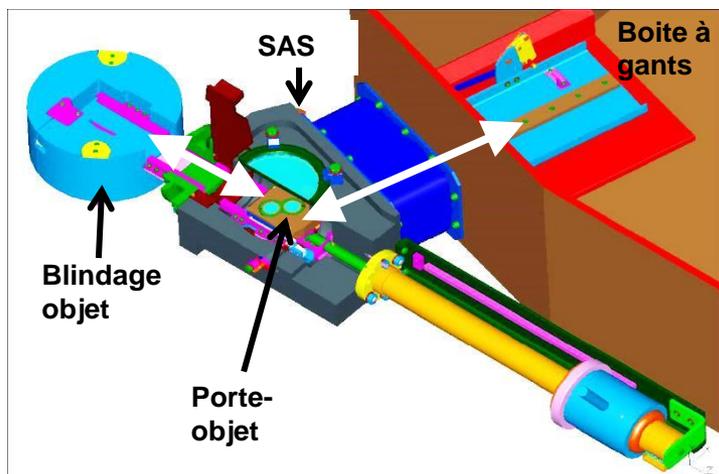
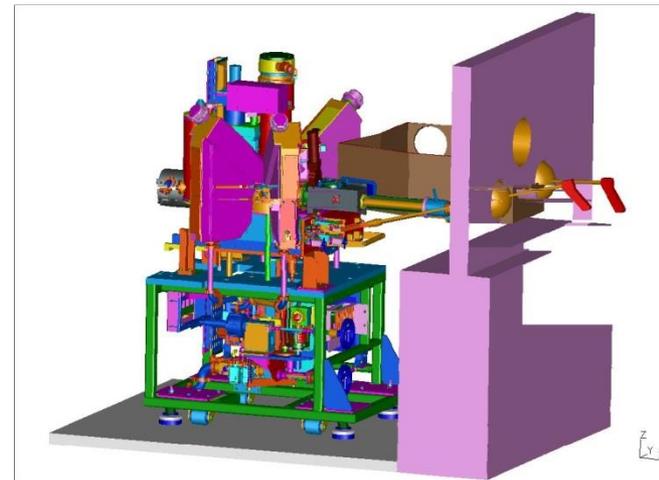
- le comportement des gaz de fission en fonctionnement normal, incidentel ou accidentel
- les phénomènes de migration et de relâchement des Produits de Fission et des actinides
- les mécanismes conduisant à la formation de la microstructure des combustibles à fort taux de combustion (HBS), au phénomène d'interaction pastille/gaine

**La microsonde SX 914 R et ses particularités!**

# Particularités de la microsonde blindée SX100 du LECA



- Boîte à gants dans l'enceinte chaude (électronique et contrôle déportés à l'extérieur)
- Eviter la contamination : Echantillon en boîte à gant, 'tunnel étanche' ou dans la chambre microsonde en dehors de la boîte à gants pour faciliter les opérations de maintenance



## Principe des bonnes pratiques de la nucléarisation :

- être capable de récupérer l'échantillon n'importe où dans la boîte à gants
- être capable d'extraire l'échantillon de la microsonde dans n'importe quelle situation
- pas de contamination de l'enceinte autour de la microsonde

# Le Blindage !

Blindage nécessaire pour réduire le bruit de fond induits par les échantillons irradiés (DENAL)

→ dans les spectromètres (autour des compteurs et à l'entrée)

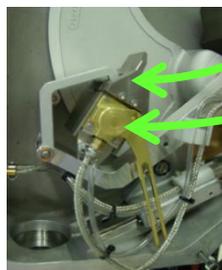
→ Sur la platine objet dans la chambre d'analyse : bloc de DENAL de 80 kg DENAL block



Spectromètre



Blindage en Denal



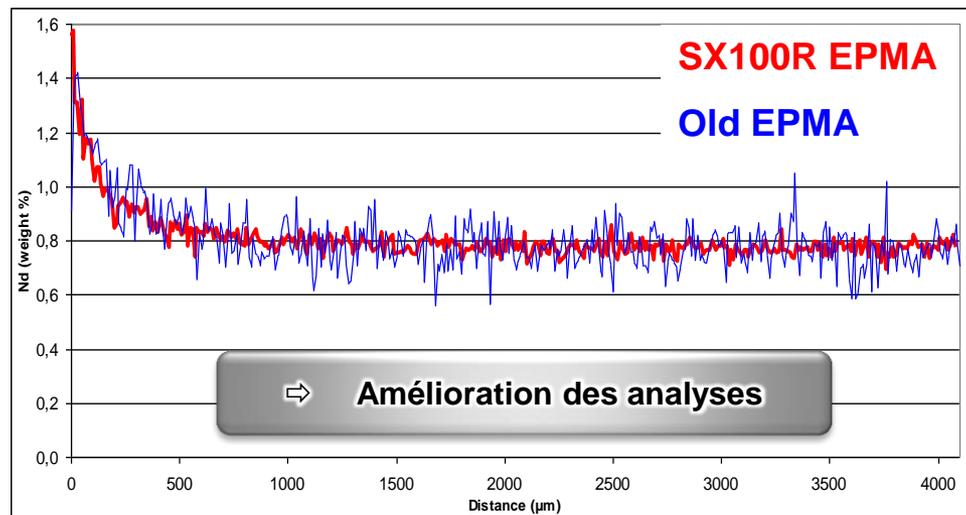
compteur



Echantillon

Blindage en Denal (80 kg)

Déplacement de l'échantillon dans la chambre d'analyse



Quelques exemples :

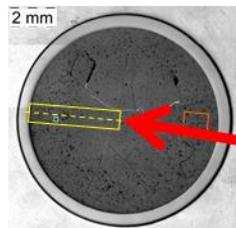
**Le combustible (U,Pu)O<sub>2</sub> (MOX)**

- après irradiation en REP
- après irradiation en RNR

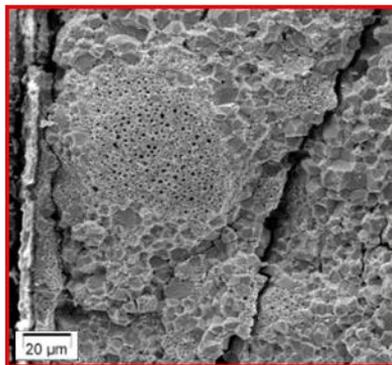
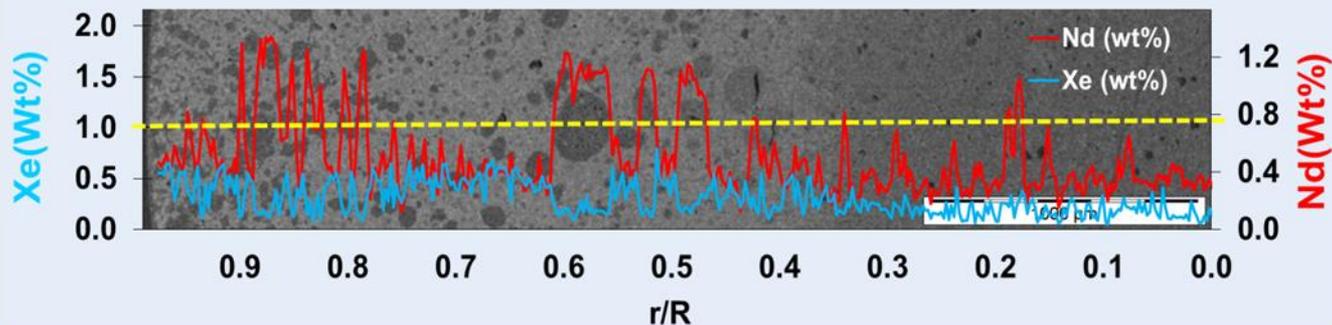
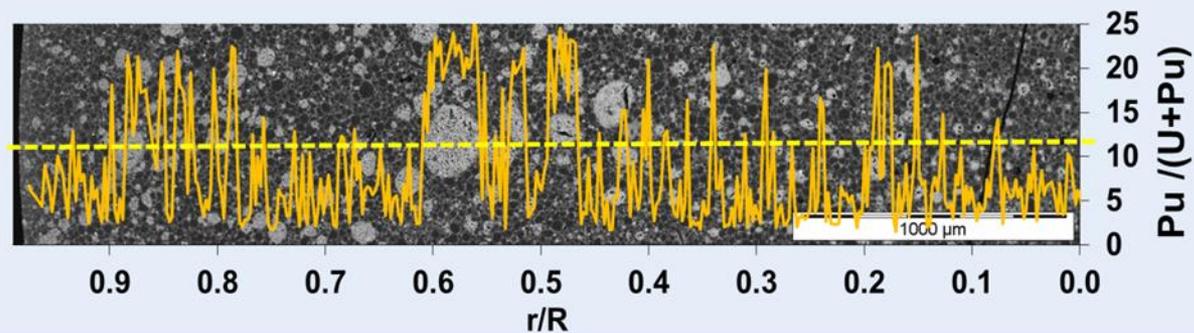
**Les cibles de transmutation (MgO-AmO<sub>x</sub>)**

# Le combustible MOX après irradiation (1/2)

Echantillon poli



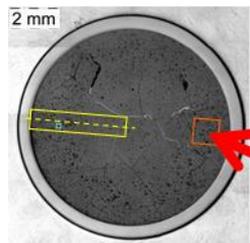
Analyses quantitatives radiales (Pu, Nd, Xe...) / Pu et Cartographies X (800 µm x 4000 µm)



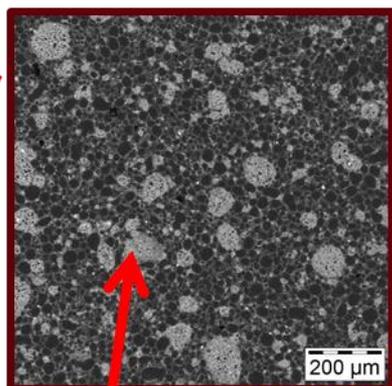
Structure HBS dans un combustible MOX

⇒ Analyses élémentaires (Pu, Nd, Xe....)  
(quantitative et distribution)

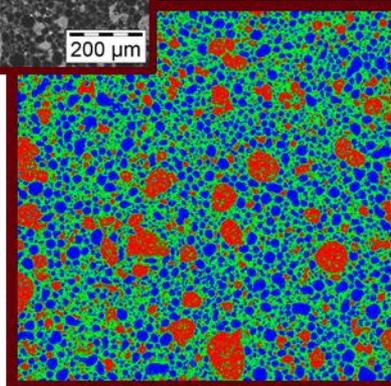
# Le combustible MOX après irradiation (2/2)



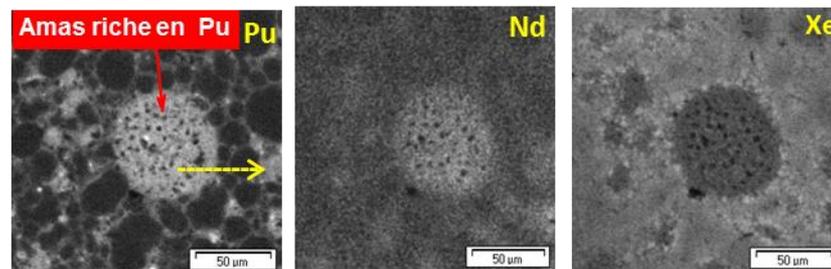
Cartographies X (1mm x 1 mm)



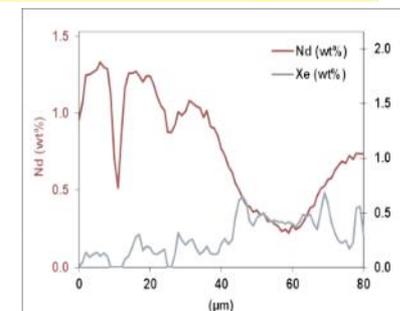
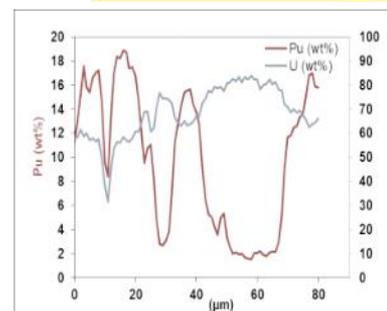
Amas riche en Pu



Cartographies X (180 µm x 180 µm)

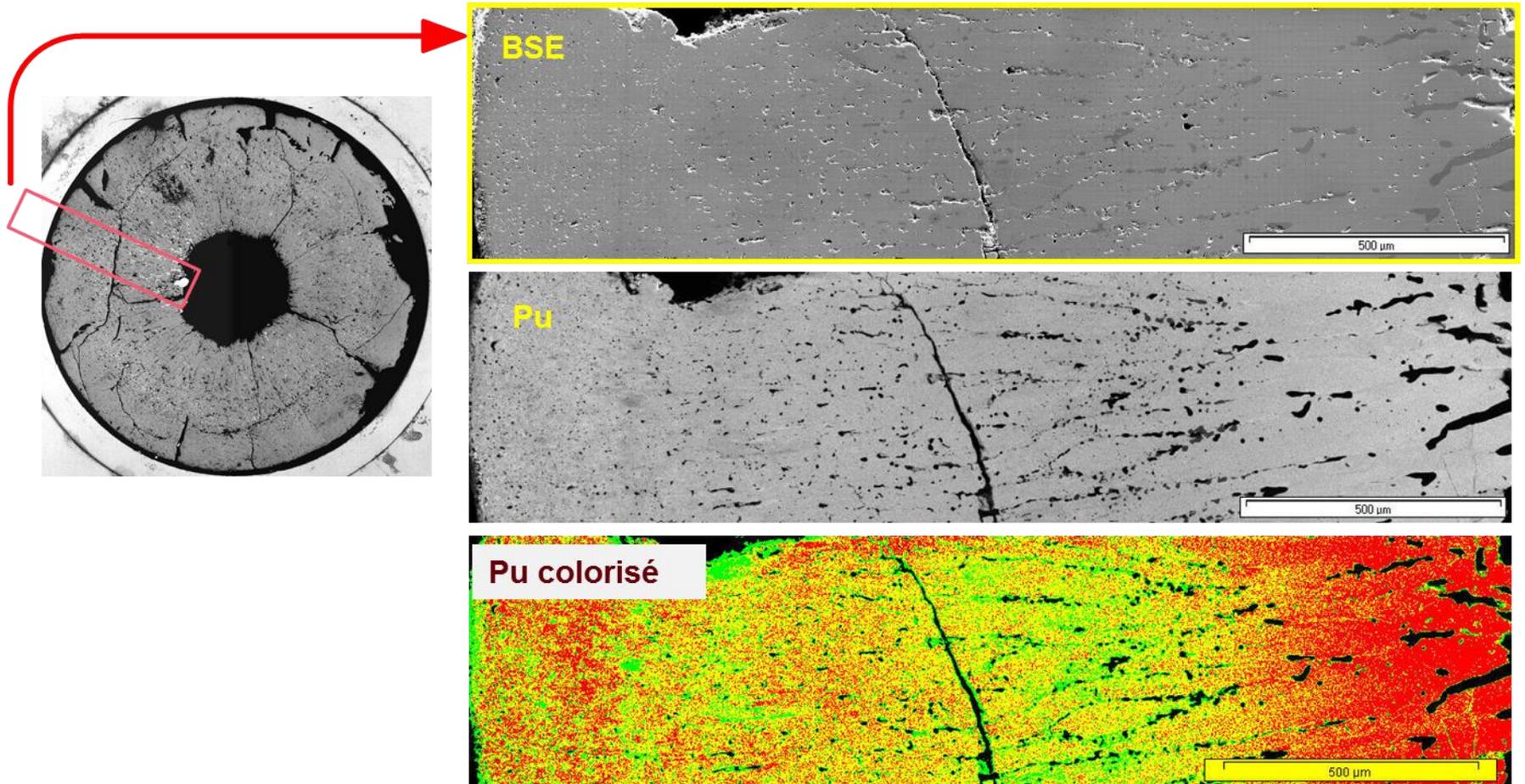


Detail d'une analyse quantitative sur la fleche jaune

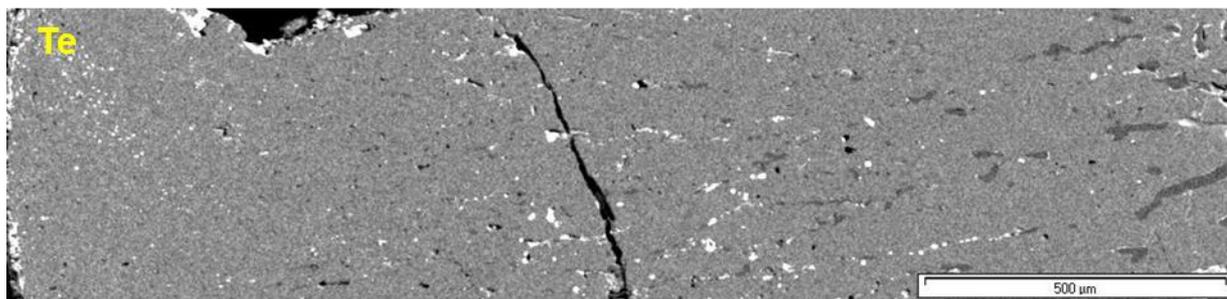
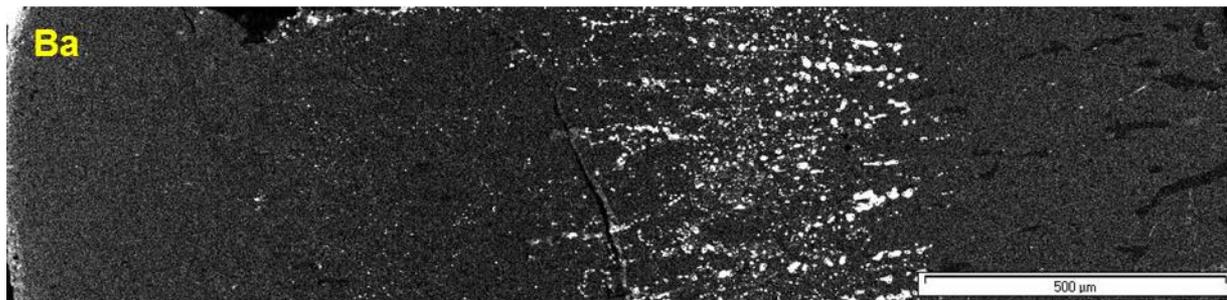


⇒ Analyses élémentaires  
(quantitative et distribution)

# Le combustible RNR après irradiation (1/2)

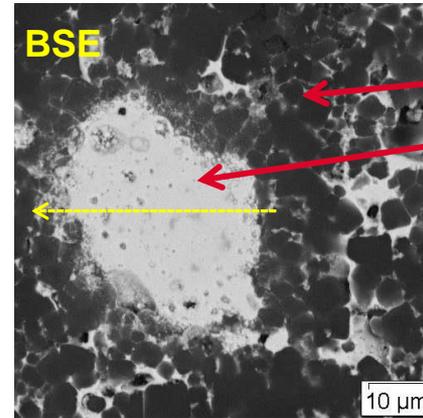
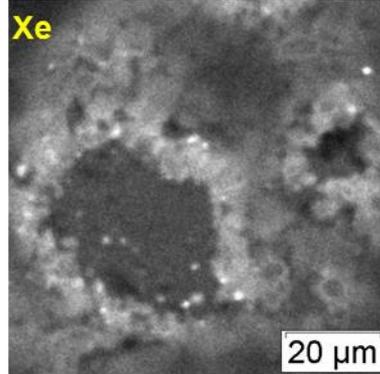
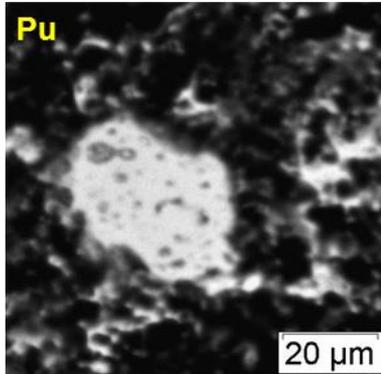


# Le combustible RNR après irradiation (2/2)



- ⇒ Analyses élémentaires (quantitative et distribution)
- ⇒ Comparaison avec les codes de calculs neutroniques

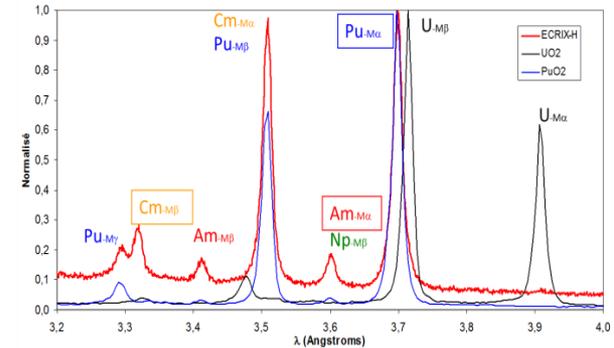
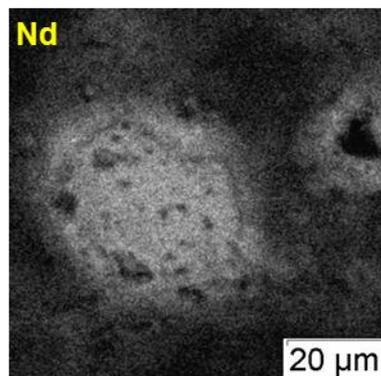
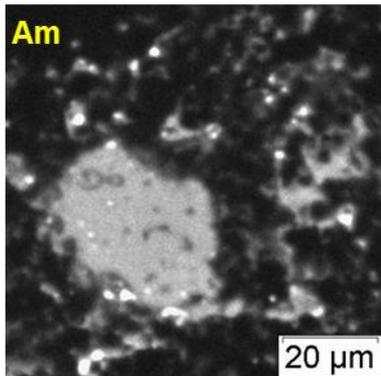
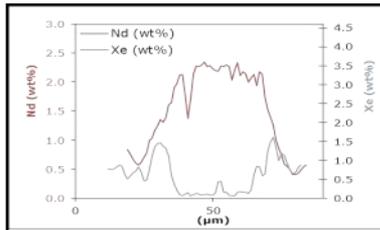
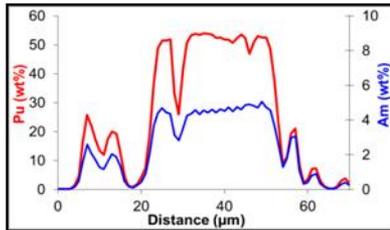
# Les cibles de transmutation ( $\text{MgO-AmO}_x$ )



Matrice MgO

$\text{AmO}_{1,62}$  particule

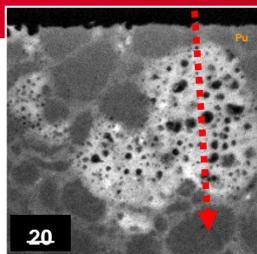
Analyses quantitatives  
au travers d'une  
particule d' $\text{AmO}_{1,62}$



⇒ Comparaison avec les codes de simulation



**EPMA**



**MET**



**Elemental and isotopic analyses**

- Local concentrations and profiles
- Mapping

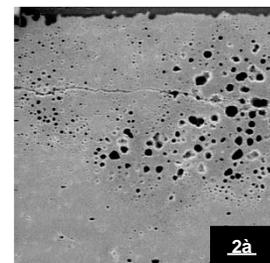
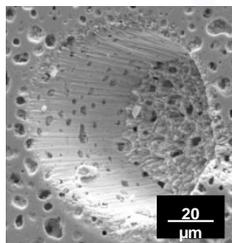
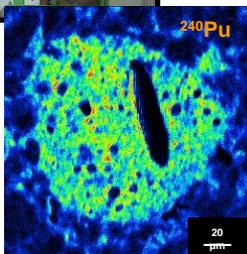
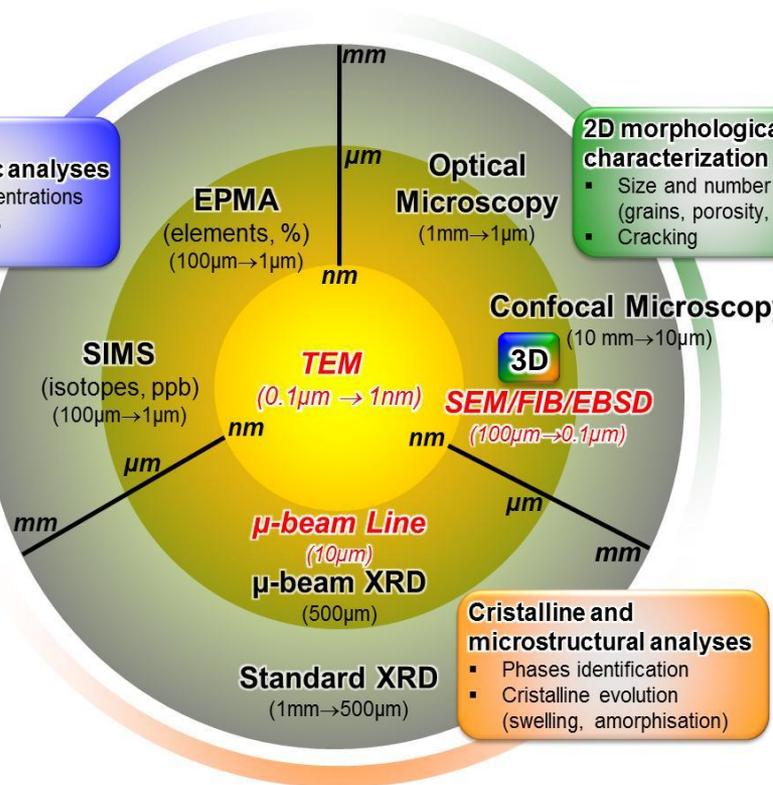
**2D morphological characterization**

- Size and number objects (grains, porosity, ...)
- Cracking

**SIMS**



**MEB-FIB**



**DRX**



⇒ **Caractérisation du combustible irradié (élémentaire, morphologique, isotopique, cristallographique...)**

**Merci de votre attention....**

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Centre de Cadarache | 13108 Saint Paul Lez Durance  
T. +33 (0)4 42 25 34 50 | F. +33 (0)4 42 25 36 11

DEN  
DEC  
SA3C  
LEMCI