
SÉMINAIRE DOCTORANT

ÉTUDE DE LA CAPACITÉ DE CONVERSION DES ACTINIDES EN RÉACTEURS À SELS FONDUS

Laura Mesthiviers
Équipe MSFR

SOMMAIRE

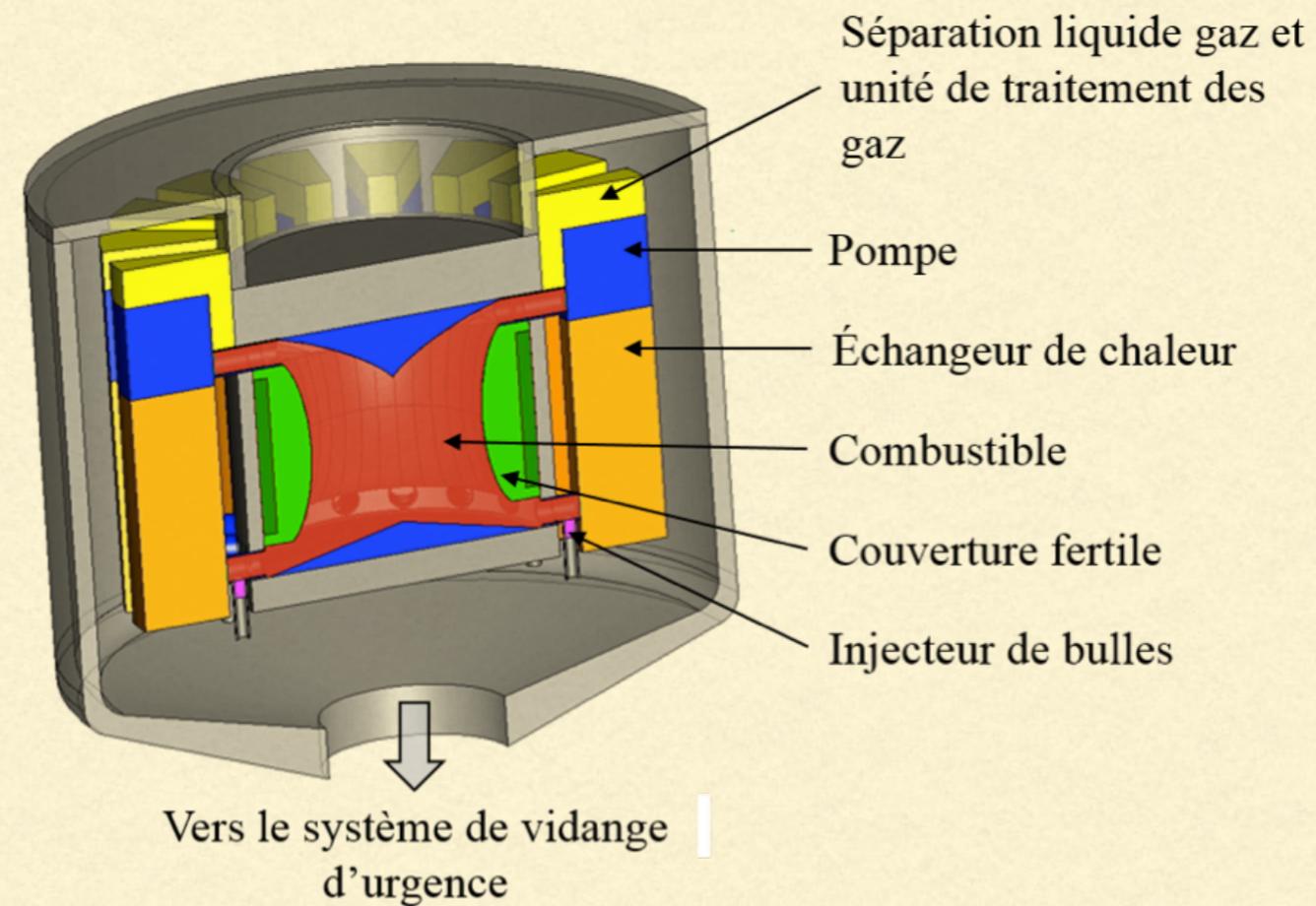
- Contexte
- Calculs préparatoires
 - Calculs de coefficients de contre-réaction à l'état initial
 - Impact neutronique du matériau de réflecteur
 - Changement de combustible
- Scénarios de déploiement
- Conclusions / perspectives

SOMMAIRE

- Contexte
- Calculs préparatoires
 - Calculs de coefficients de contre-réaction à l'état initial
 - Impact neutronique du matériau de réflecteur
 - Changement de combustible
- Scénarios de déploiement
- Conclusions / perspectives

Réacteur à sels fondus : késako ?

- Réacteur nucléaire de 4^è génération
- Combustible liquide circulant
- Modulable
- Sûreté intrinsèque
- MSFR de référence



Réacteur à sels fondus : un nouvel objectif

- ~~Régénérateur~~ → convertisseur
- Diminuer inventaire Actinides
- Optimisation sel solvant (Cl), géométrie, sûreté

→ pré-études nécessaires

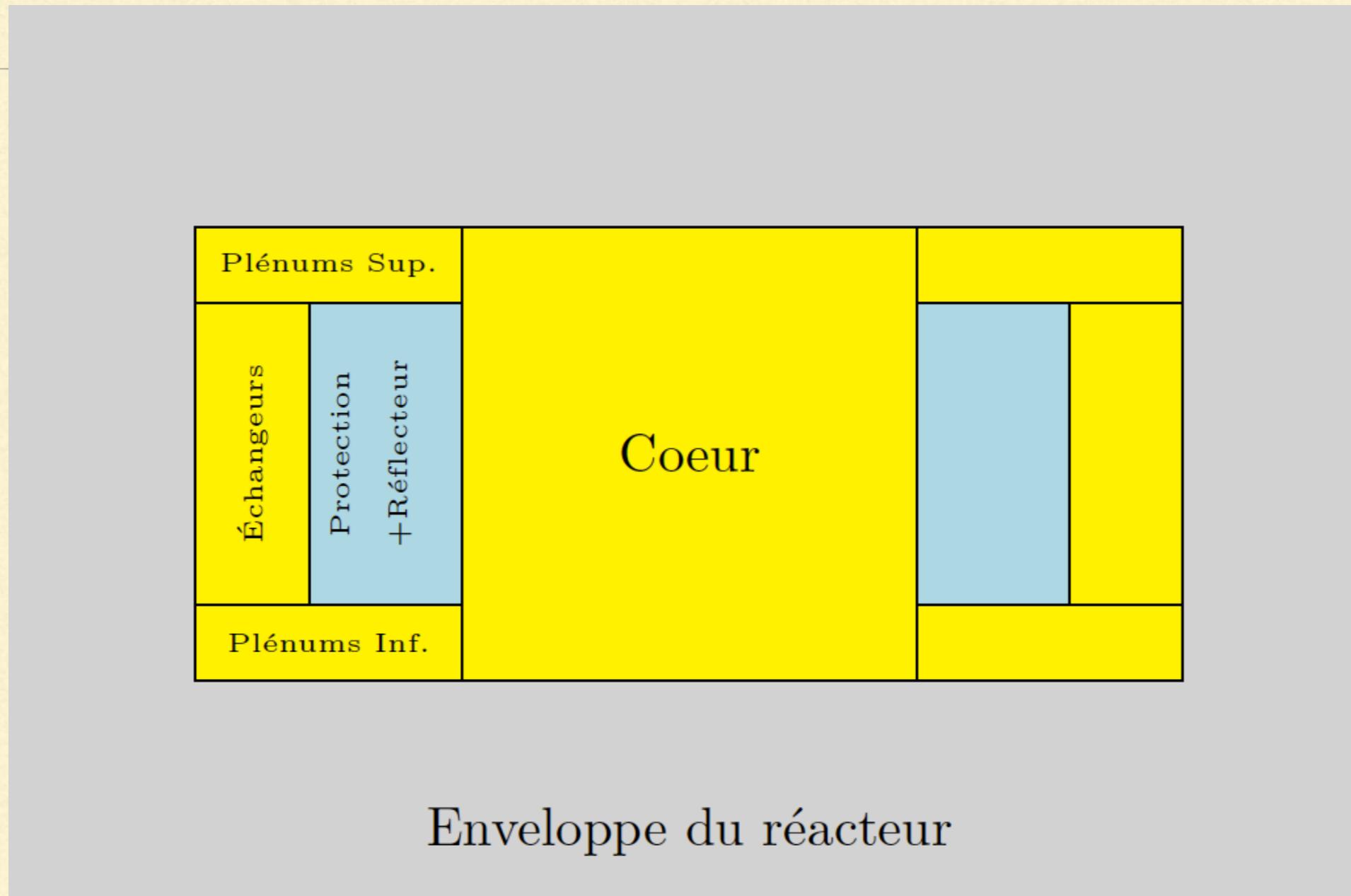
SOMMAIRE

- Contexte
- Calculs préparatoires
 - Calculs de coefficients de contre-réaction à l'état initial
 - Impact neutronique du matériau de réflecteur
 - Changement de combustible
 - Designs spéciaux
- Scénarios de déploiement
- Conclusions / perspectives

Calculs de coefficients de contre-réaction

- 3 sels combustibles : Pu UOX / Pu MOX
 - 61.5 NaCl - 38.5 PuCl₃ (80 / 100 litres en cœur)
 - 62 NaCl - 26.6 MgCl₂ - 11.5 PuCl₃ (750 / 1000 litres en cœur)
 - 59.5 NaCl - 36.5 MgCl₂ - 4 PuCl₃ (7 / 10 m³ en cœur)
- 50% de sel en cœur
- 2 combustibles (PuUOX et PuMOX)
- Base de données JEFF 3.3

Calculs de coefficients de contre-réaction



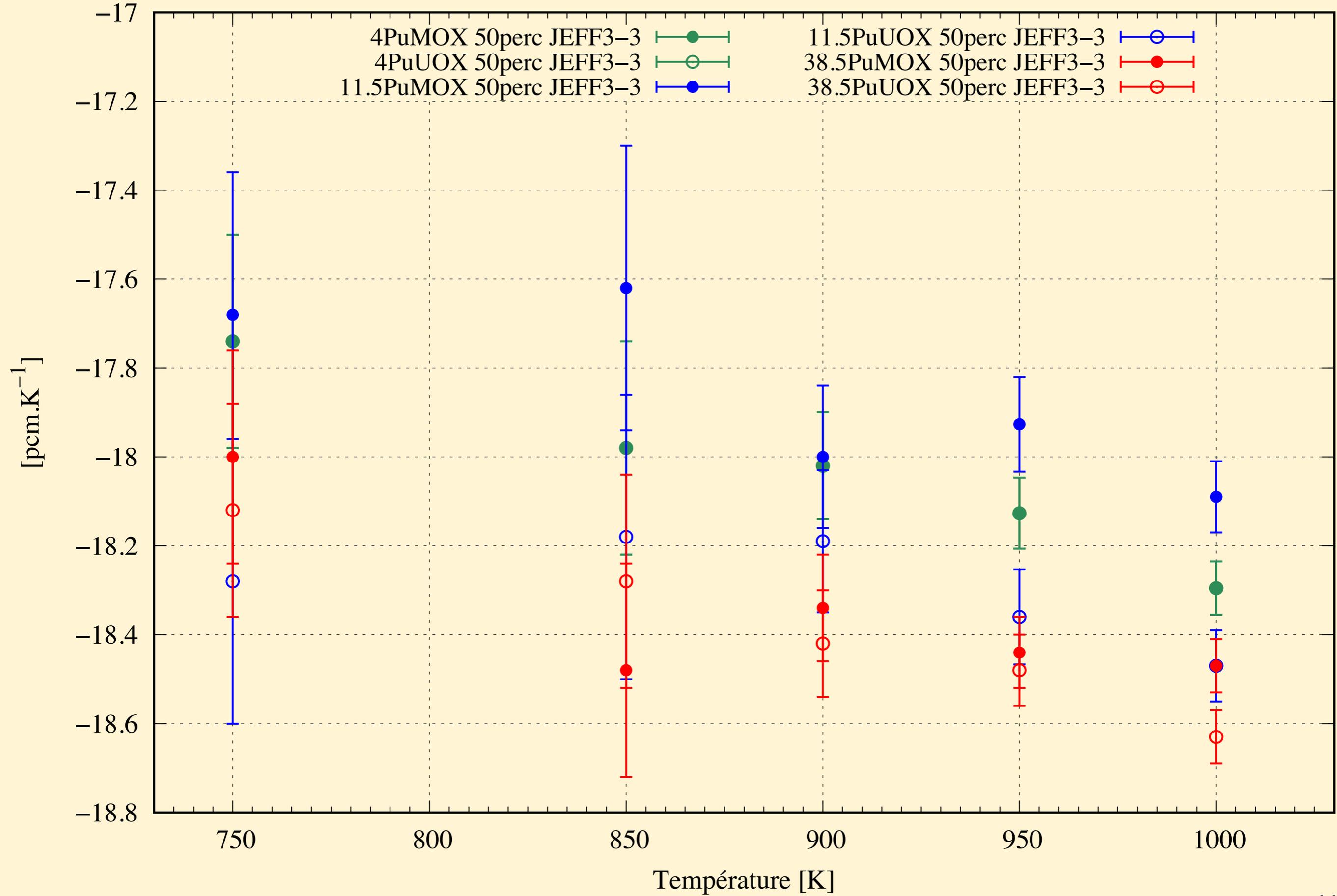
- Réflecteur radial en acier 316H de 40 cm + protection neutronique en B_4C de 10 cm

Calculs de coefficients de contre-réaction

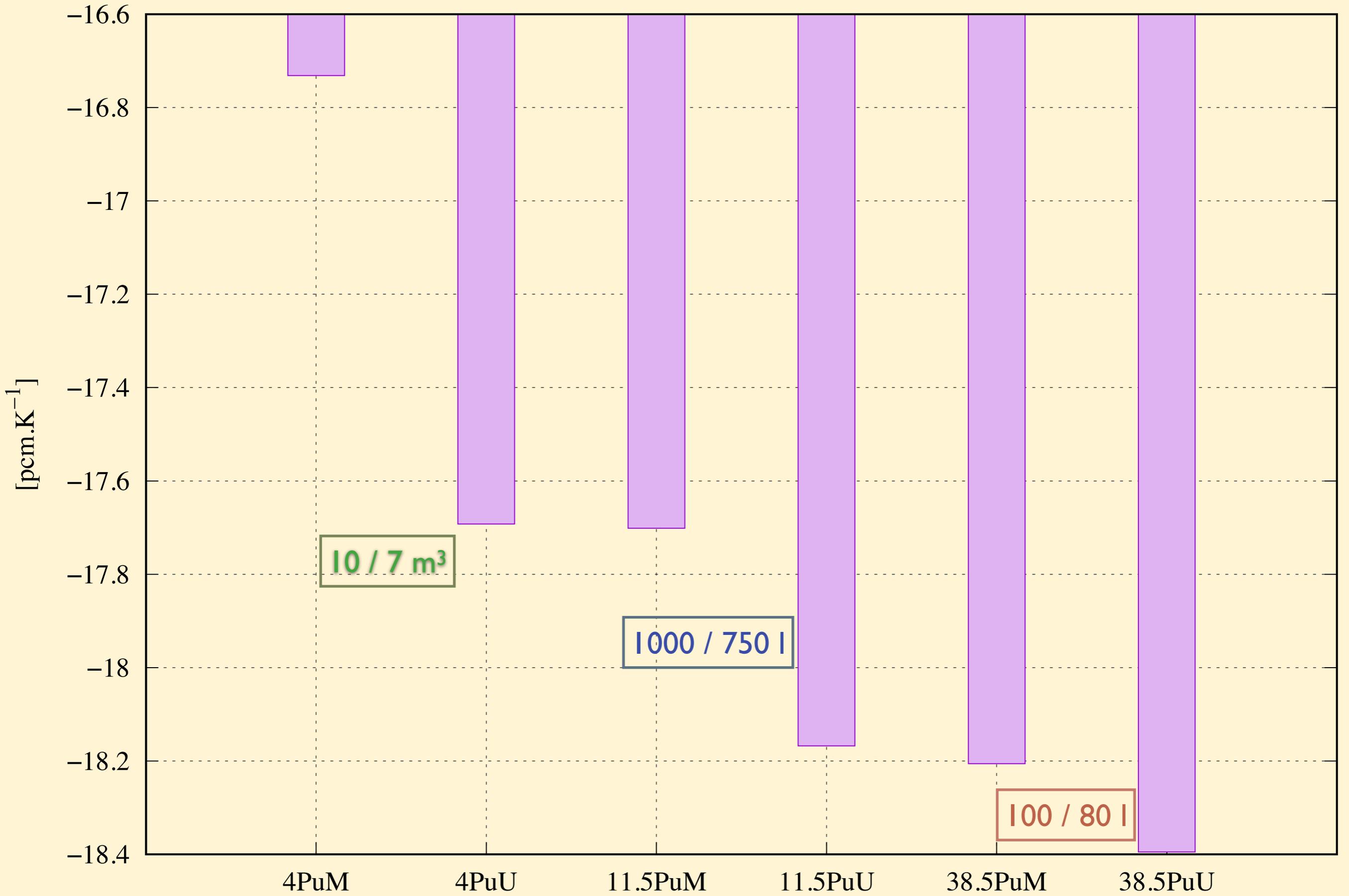
Protocole :

- Température de référence ($T_{\text{ref}} = 800 \text{ K}$) + densité de référence (ρ_{ref})
- CCR Doppler : changement de la température du sel combustible + ρ_{ref}
- CCR densité combustible : changement de la densité du sel combustible + T_{ref}
- Calculs pour $T = [750, 850, 900, 950, 1000] \text{ K}$
- CCR globaux = CCR densité + CCR Doppler

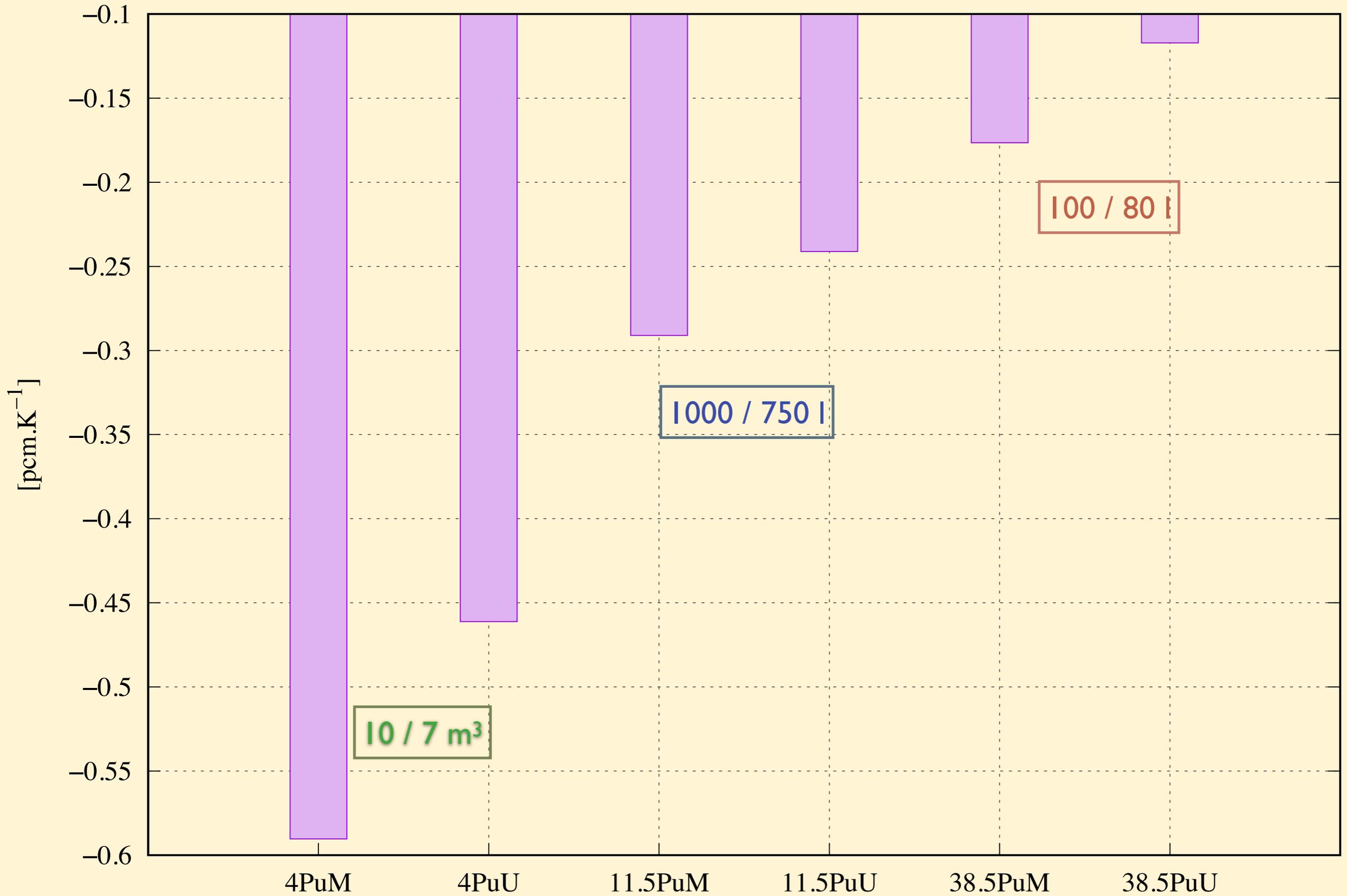
Coefficients globaux



Densité



Doppler



Calculs de coefficients de contre-réaction

CCR Doppler meilleurs pour combustible ex-MOX
+ Meilleurs pour les grand volumes

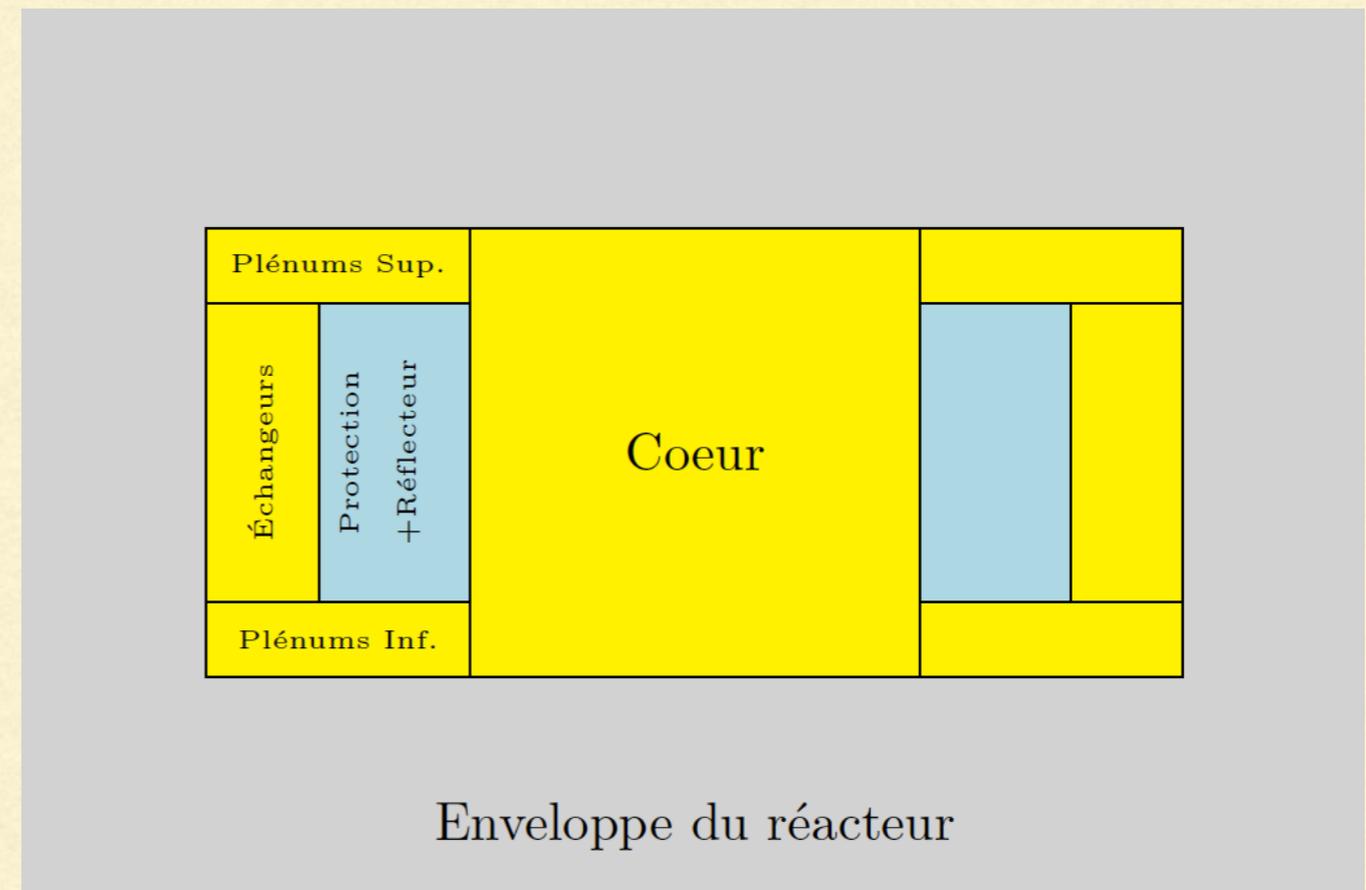
CCR Densité très largement négatifs, meilleurs pour
petits volumes

SOMMAIRE

- Contexte
- Calculs préparatoires
 - Calculs de coefficients de contre-réaction à l'état initial
 - Impact neutronique du matériau de réflecteur
 - Changement de combustible
- Scénarios de déploiement
- Conclusions / perspectives

Impact du choix du matériau de réflecteur sur la neutronique

- I sel combustible : **61.5 NaCl - 38.5 PuCl₃** (80 litres en cœur, PuUOX)
- 50% de sel en cœur
- Réflecteur radial :
 - Acier 316H (40 cm)
 - Plomb naturel (40 à 80 cm)
 - Molybdène (40cm)
 - Hastelloy (40 cm)
 - Graphite (40 cm)
- Protection neutronique en B₄C de 10 cm
- BdD JEFF 3.3



38.5 % Pu-UOX, 50% sel cœur

Acier 316H (40 cm) —

Molybdène (40 cm) —

Plomb (60 cm) —

Hastelloy (40 cm) —

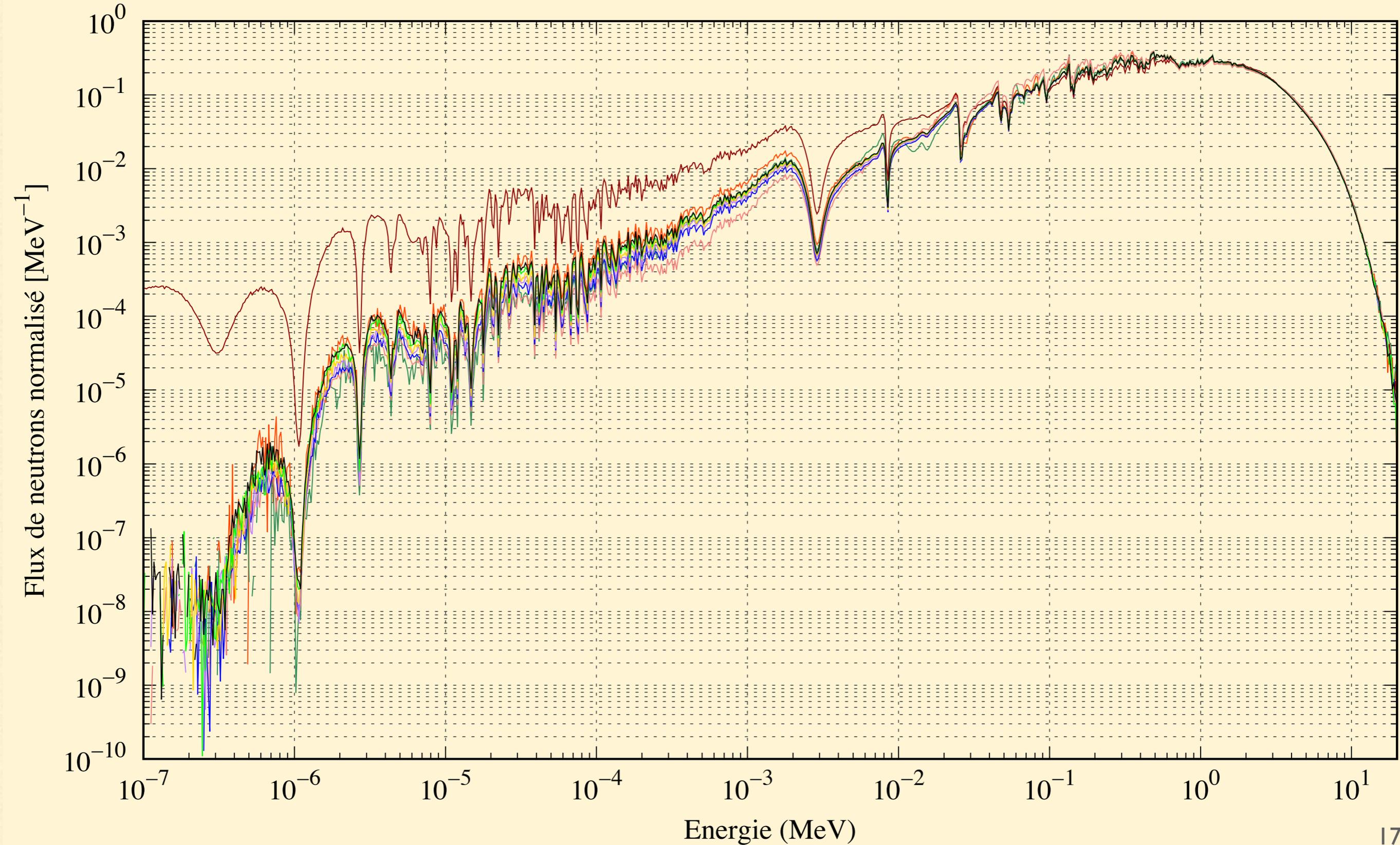
Plomb (40 cm) —

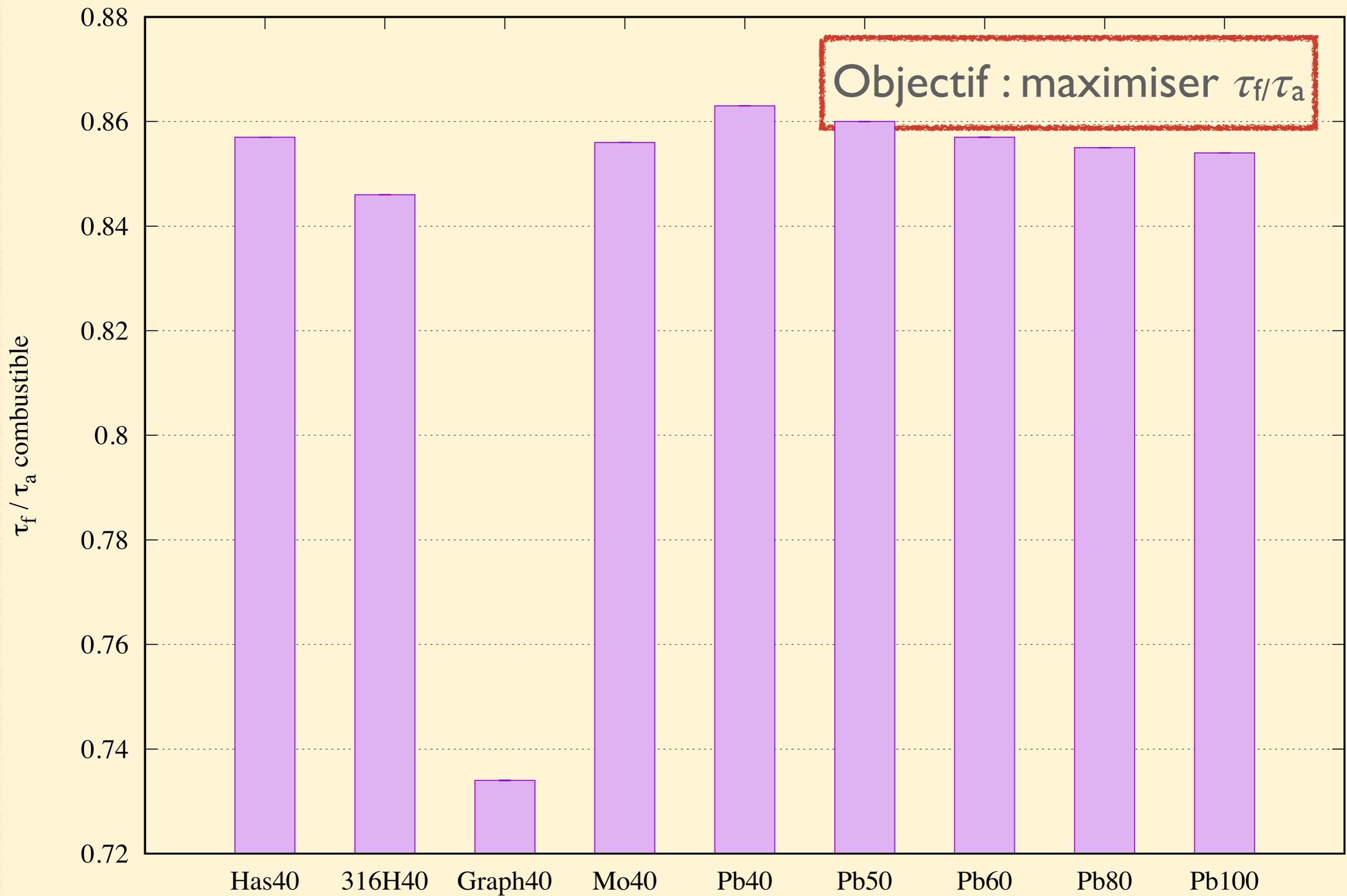
Plomb (80 cm) —

Graphite (40 cm) —

Plomb (50 cm) —

Plomb (1 m) —





TRAVAUX EN COURS

Impact du matériau de réflecteur radial sur la neutronique

Spectres similaires

Réf. Graphite augmente captures

Réflecteurs (hors graphite) ont un impact similaire sur captures / fissions

SOMMAIRE

- Contexte
- Calculs préparatoires
 - Calculs de coefficients de contre-réaction à l'état initial
 - Impact neutronique du matériau de réflecteur
 - Changement de combustible
- Scénarios de déploiement
- Conclusions / perspectives

Changement d'isotopie de Pu (PuUOX → PuMR)

Si V_{crit} fixé, quelle contrainte sur la proportion de Pu ?

Pu UOX

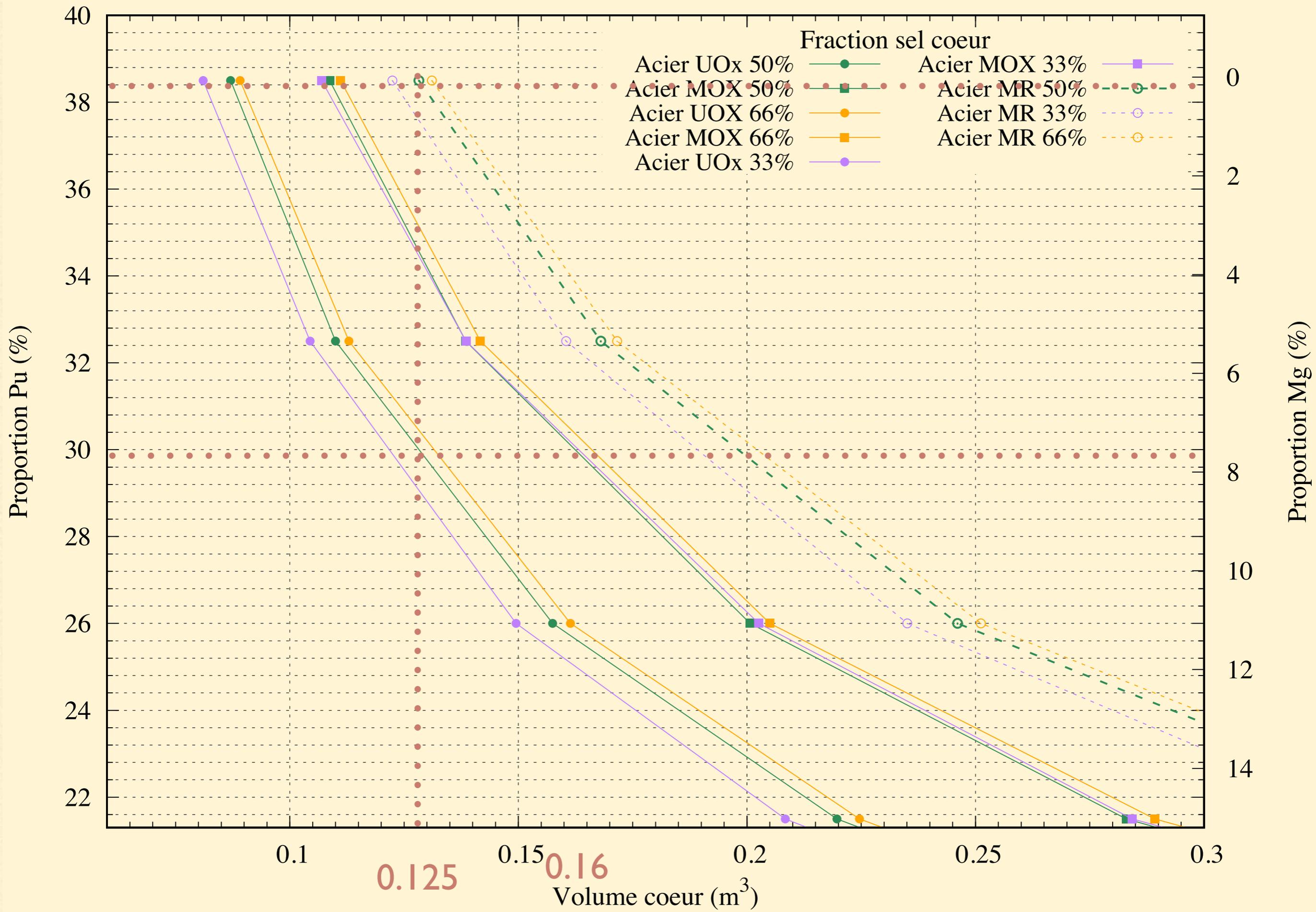
| | |
|---------|--------|
| 238Pu | 2.8 % |
| 239Pu | 52.7 % |
| 240Pu | 26.6 % |
| 241Pu | 9.5 % |
| 242Pu | 8.4 % |
| Impairs | 62.2 % |
| Pairs | 37.8 % |

Pu MOX

| | |
|---------|----------|
| 238Pu | 3.996 % |
| 239Pu | 39.46 % |
| 240Pu | 33.367 % |
| 241Pu | 10.19 % |
| 242Pu | 12.987 % |
| Impairs | 49.65 % |
| Pairs | 50.35 % |

Pu MR

| | |
|---------|------|
| 238Pu | 7 % |
| 239Pu | 30 % |
| 240Pu | 29 % |
| 241Pu | 10 % |
| 242Pu | 24 % |
| Impairs | 40 % |
| Pairs | 60 % |



Changement d'isotopie de Pu (PuUOX \rightarrow PuMR)

Dégradation vecteur isotopique \Rightarrow V augmente

%Pu min et max à volume fixé

Augmentation de la proportion de magnésium pour compenser la dégradation du vecteur isotopique

SOMMAIRE

- Contexte
- Calculs préparatoires
 - Calculs de coefficients de contre-réaction à l'état initial
 - Impact neutronique du matériau de réflecteur
 - Changement de combustible
- Scénarios de déploiement
- Conclusions / perspectives

SCÉNARIOS DE DÉPLOIEMENT

Comment inscrire ces réacteurs au sein d'un parc électronucléaire ?

Formuler des scénarios d'utilisation en fonction des besoins présents et/ou futurs

→ 6 scénarios à l'étude

SCÉNARIOS DE DÉPLOIEMENT

| Scénario | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------------------|----------------|------------|------------------------------|------------|---------------------|------------|
| Combustible Initial + Alimentation | Pu + AM ex-UOX | Pu ex-UOX | (Pu + AM) ex-MOX + AM ex-UOX | Pu ex-MOX | AM (ex-UOX + ex-MR) | Pu ex-MR |
| Cycle Actinides | Fermé | Ouvert | Fermé | Ouvert | Fermé | Ouvert |
| Sortie | PF | Mendeleiev | PF | Mendeleiev | PF | Mendeleiev |

SOMMAIRE

- Contexte
- Calculs préparatoires
 - Calculs de coefficients de contre-réaction à l'état initial
 - Impact neutronique du matériau de réflecteur
 - Changement de combustible
- Scénarios de déploiement
- Conclusions / perspectives

CONCLUSIONS

Coefficients de contre-réactions :

- CCR densité combustible ✓ (petits volumes ++)
- CCR Doppler ~ (grands volumes ++)

Matériaux réflecteur :

- similaires (hors graphite) à l'état initial
- autres critères nécessaires

Évolution vecteur isotopique Pu :

- compensation en Mg nécessaire si vecteur isotopique dégradé

PERSPECTIVES

CCR :

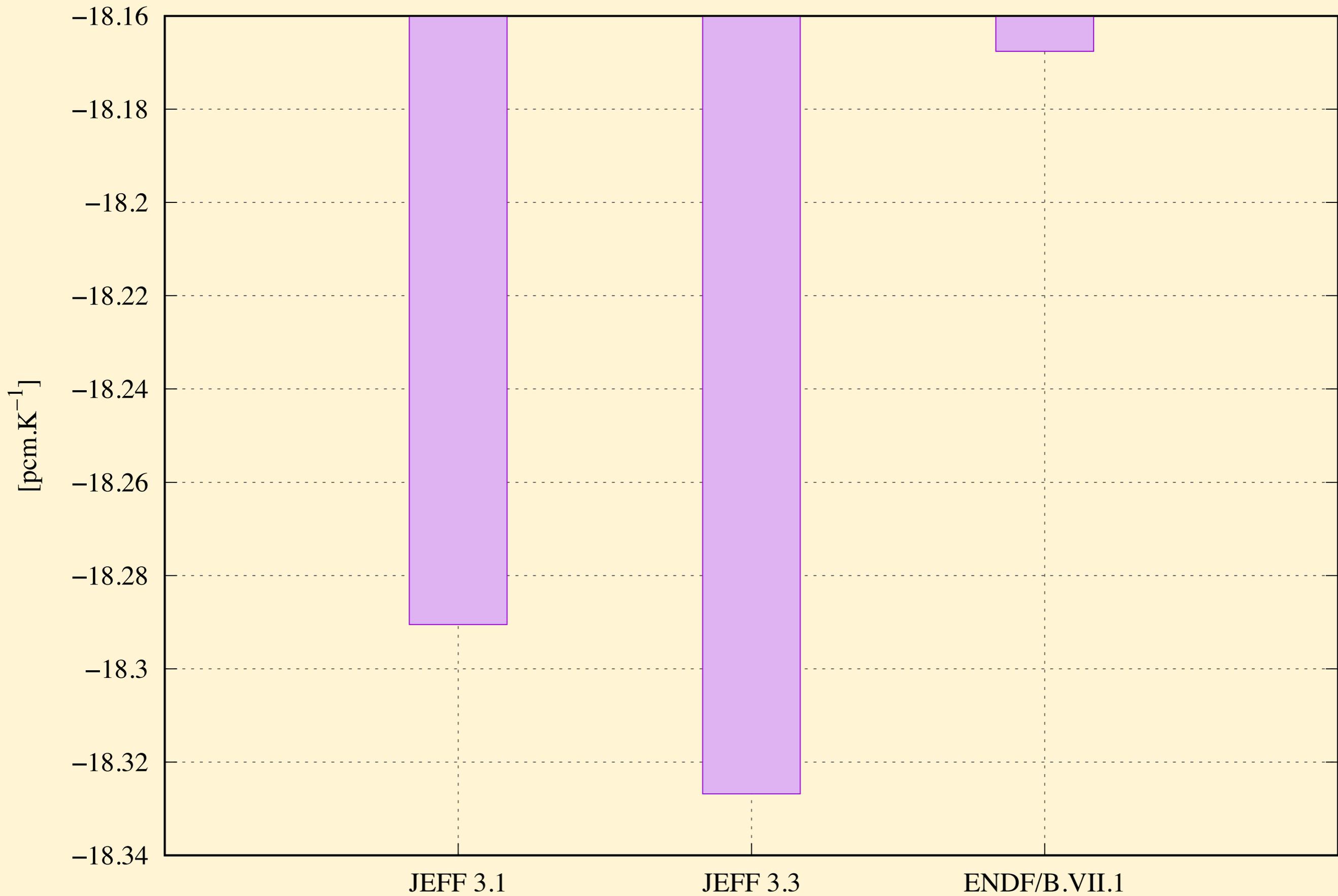
- calculs pour des températures plus élevées (conditions accidentelles)
→ 1200, 1500 K
- Calculs avec une composition évoluée du combustible (EN COURS)

Évolution du vecteur isotopique en fonction du temps et du matériau de réflecteur (EN COURS)

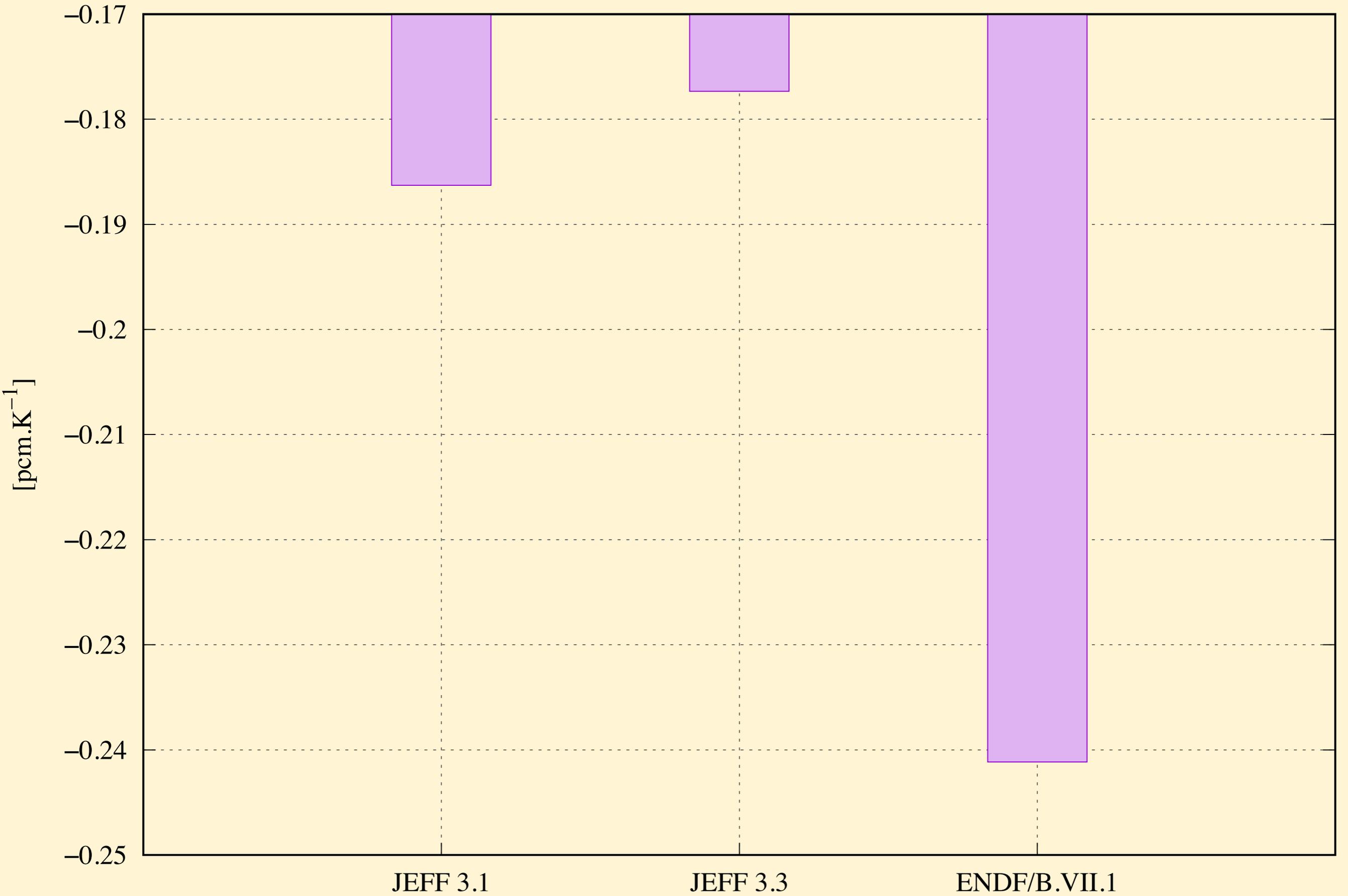
Calculs neutroniques-thermohydrauliques (TFM-OpenFOAM)
commencés

Scénarios : appliquer la méthodologie MSFR

Comparaison des CR pour le 11.5PuUOX – 50% — Densité combustible



Comparaison des CR pour le 11.5PuUOX – 50% — Doppler



11.5 % Pu-UOX, 50% sel cœur

Acier 316H (40 cm) —

Molybdène (40 cm) —

Plomb (60 cm) —

Hastelloy (40 cm) —

Plomb (40 cm) —

Plomb (80 cm) —

Graphite (40 cm) —

Plomb (50 cm) —

Plomb (1 m) —

