

---

# 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

---

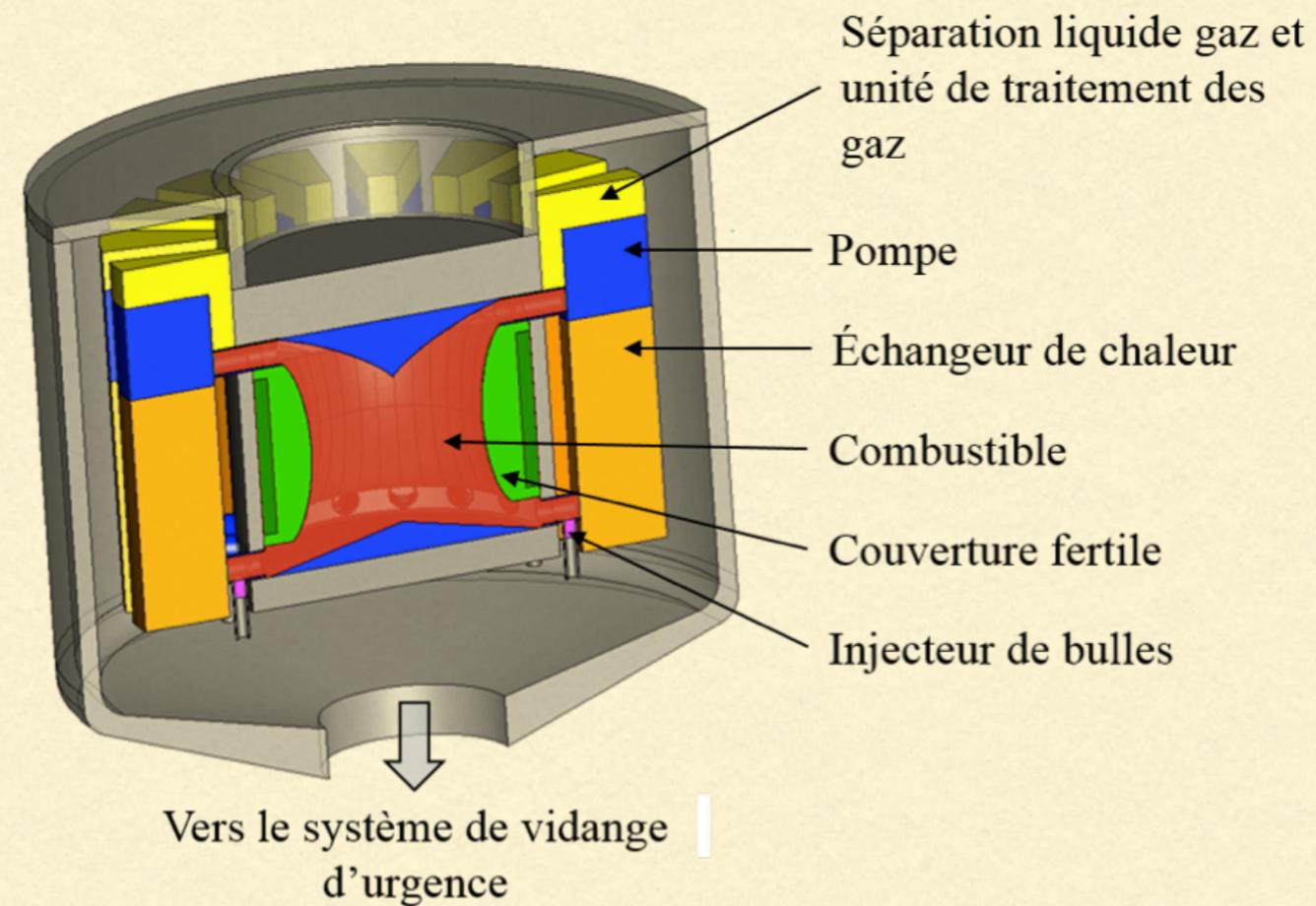
# SOMMAIRE

---

- 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<sup>è</sup> 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

---

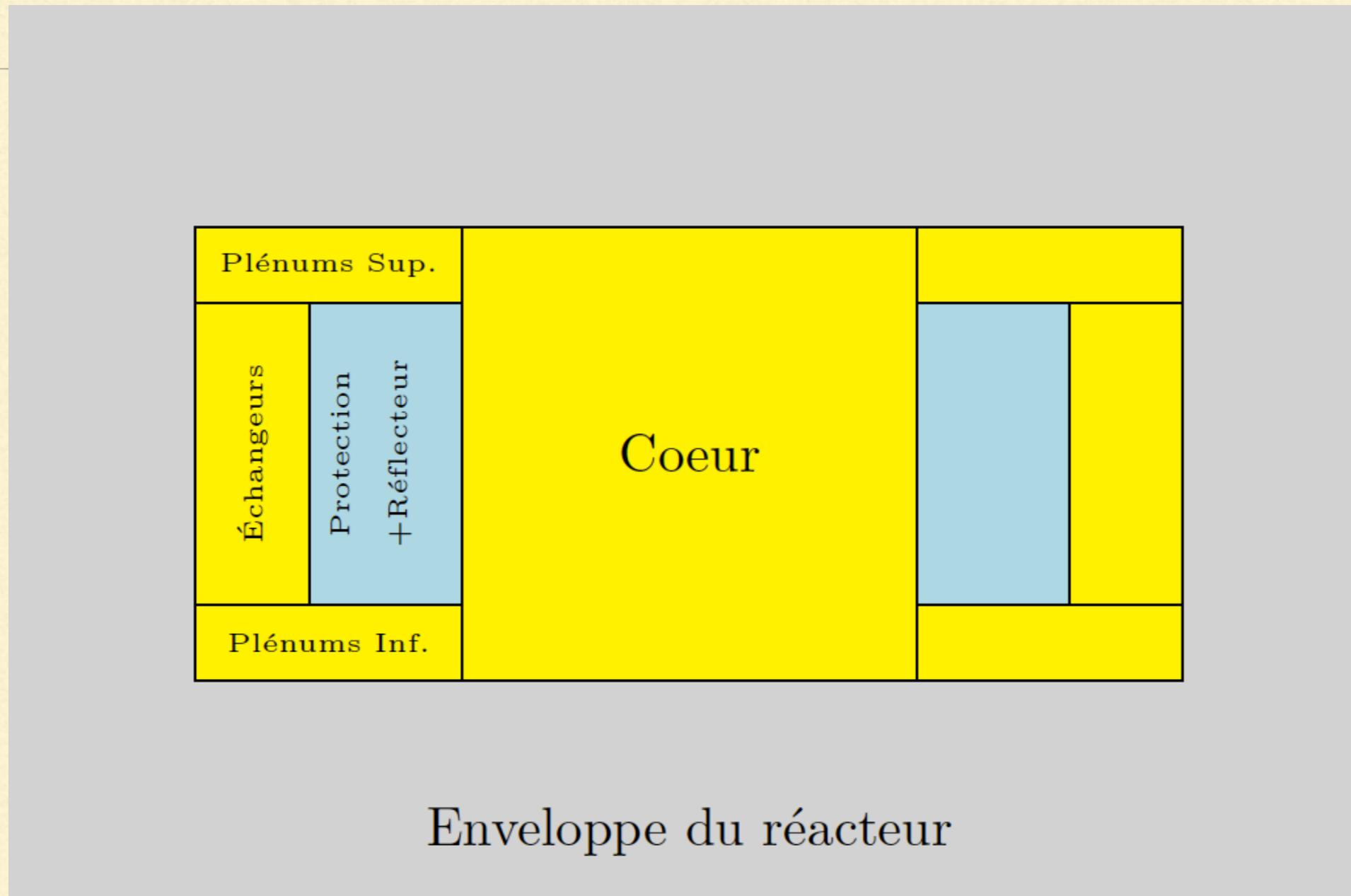
# Calculs de coefficients de contre-réaction

---

- 3 sels combustibles : Pu UOX / Pu MOX
  - 61.5 NaCl - 38.5 PuCl<sub>3</sub> (80 / 100 litres en cœur)
  - 62 NaCl - 26.6 MgCl<sub>2</sub> - 11.5 PuCl<sub>3</sub> (750 / 1000 litres en cœur)
  - 59.5 NaCl - 36.5 MgCl<sub>2</sub> - 4 PuCl<sub>3</sub> (7 / 10 m<sup>3</sup> 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

---

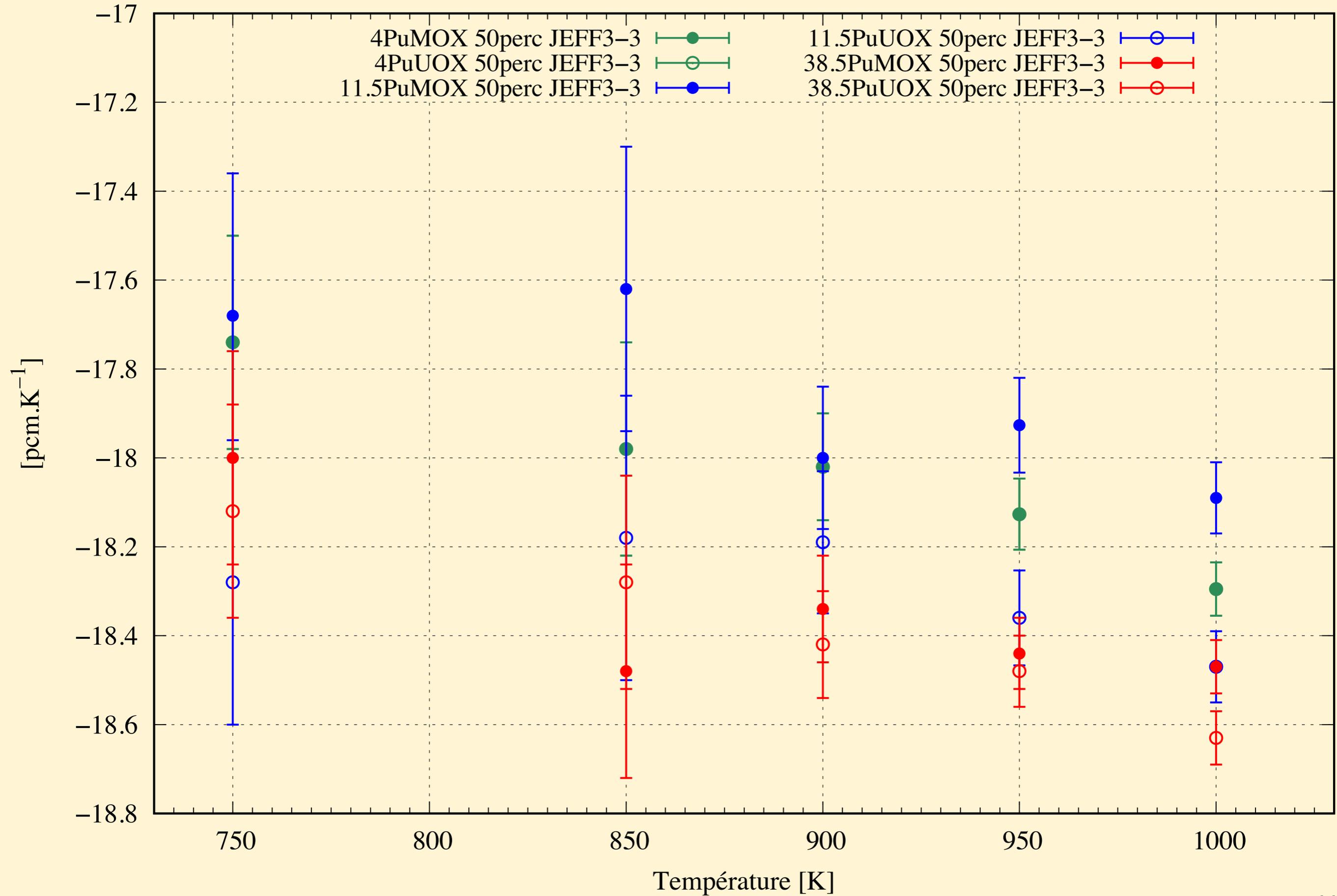
# Calculs de coefficients de contre-réaction

---

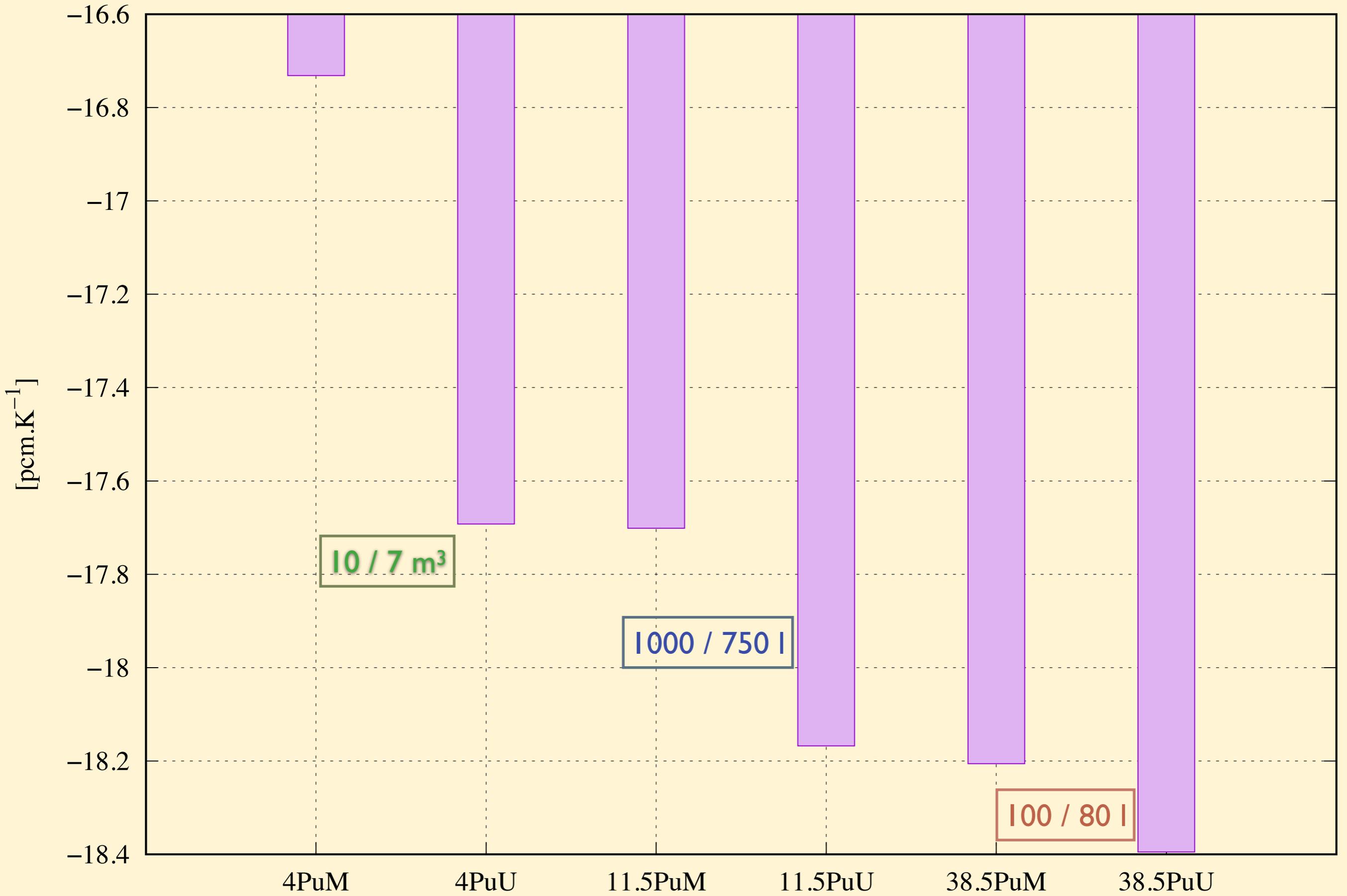
## Protocole :

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

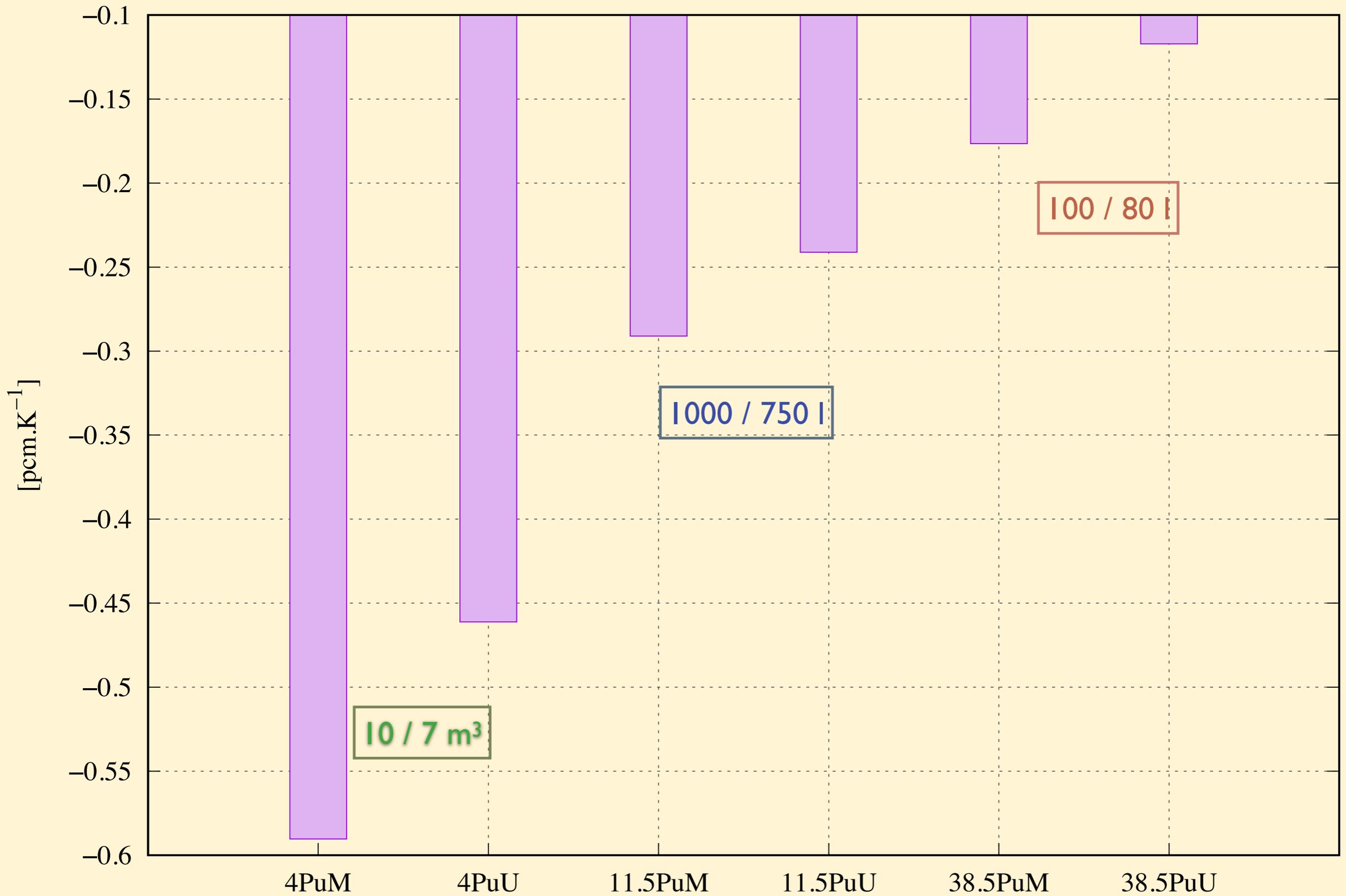
# Coefficients globaux



# 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

---

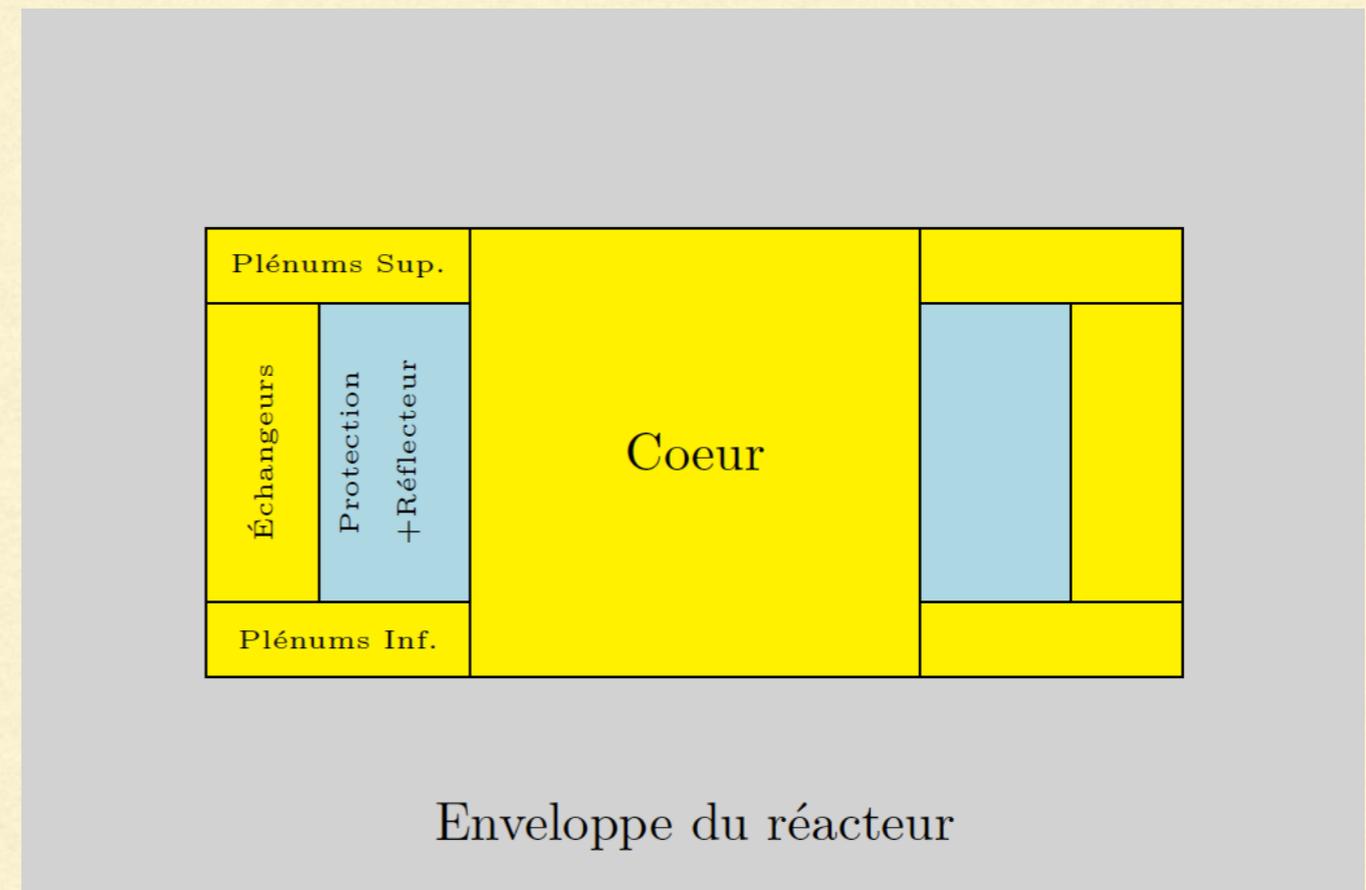
# SOMMAIRE

---

- 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 PuCl<sub>3</sub>** (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 B<sub>4</sub>C 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) —

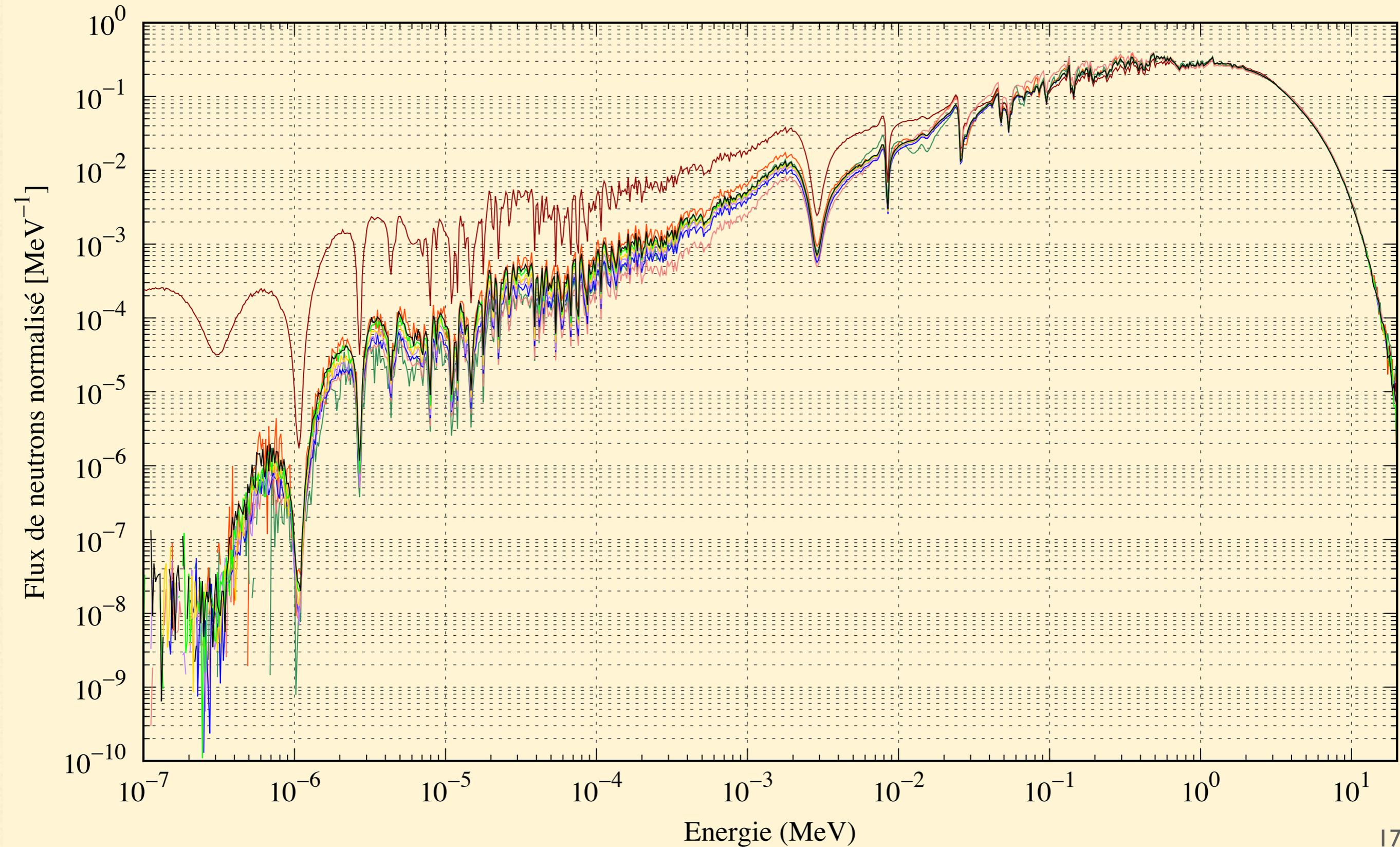
Plomb (40 cm) —

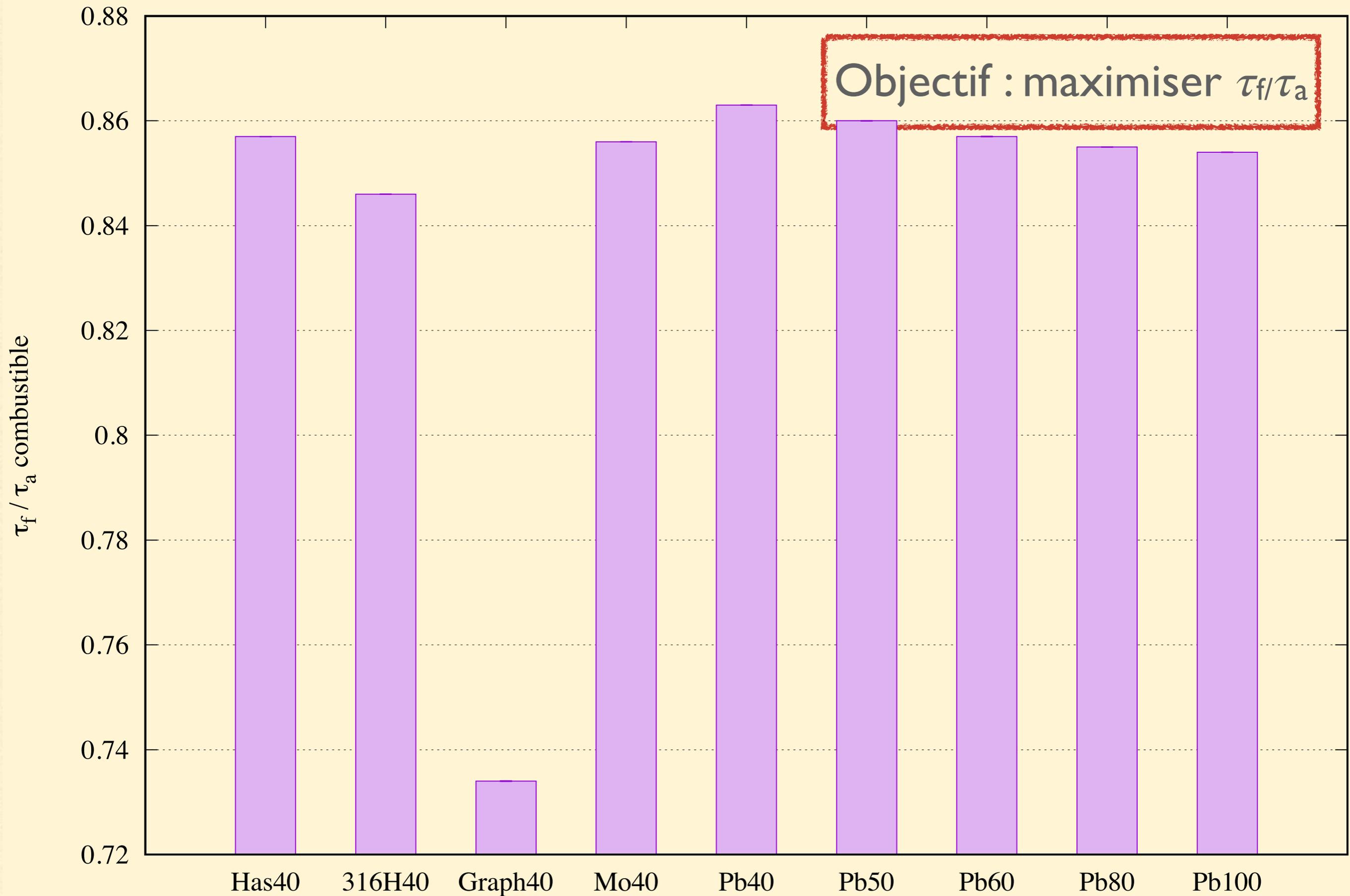
Plomb (80 cm) —

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

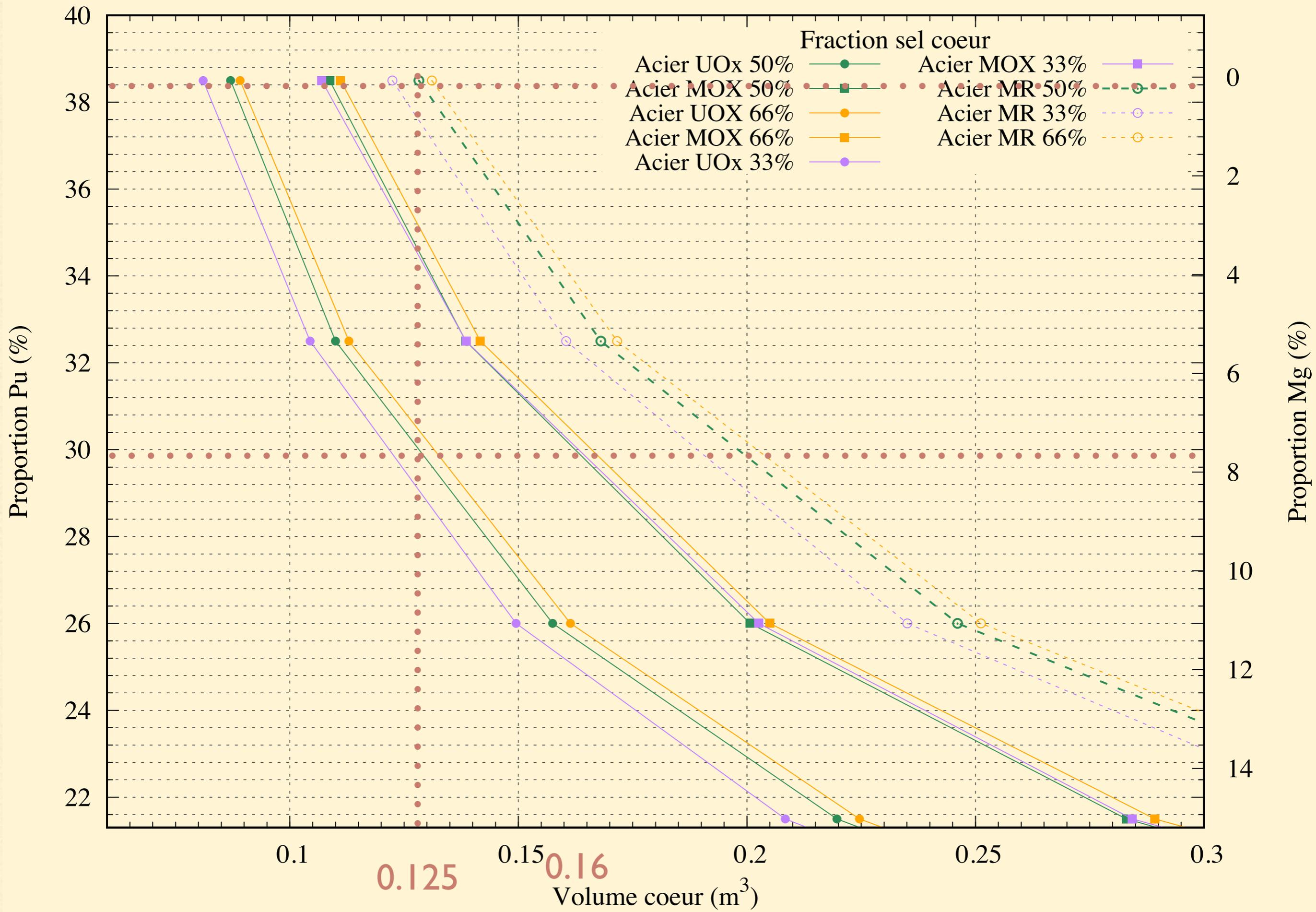
238Pu	2.8 %
239Pu	52.7 %
240Pu	26.6 %
241Pu	9.5 %
242Pu	8.4 %
Impairs	62.2 %
Pairs	37.8 %

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)

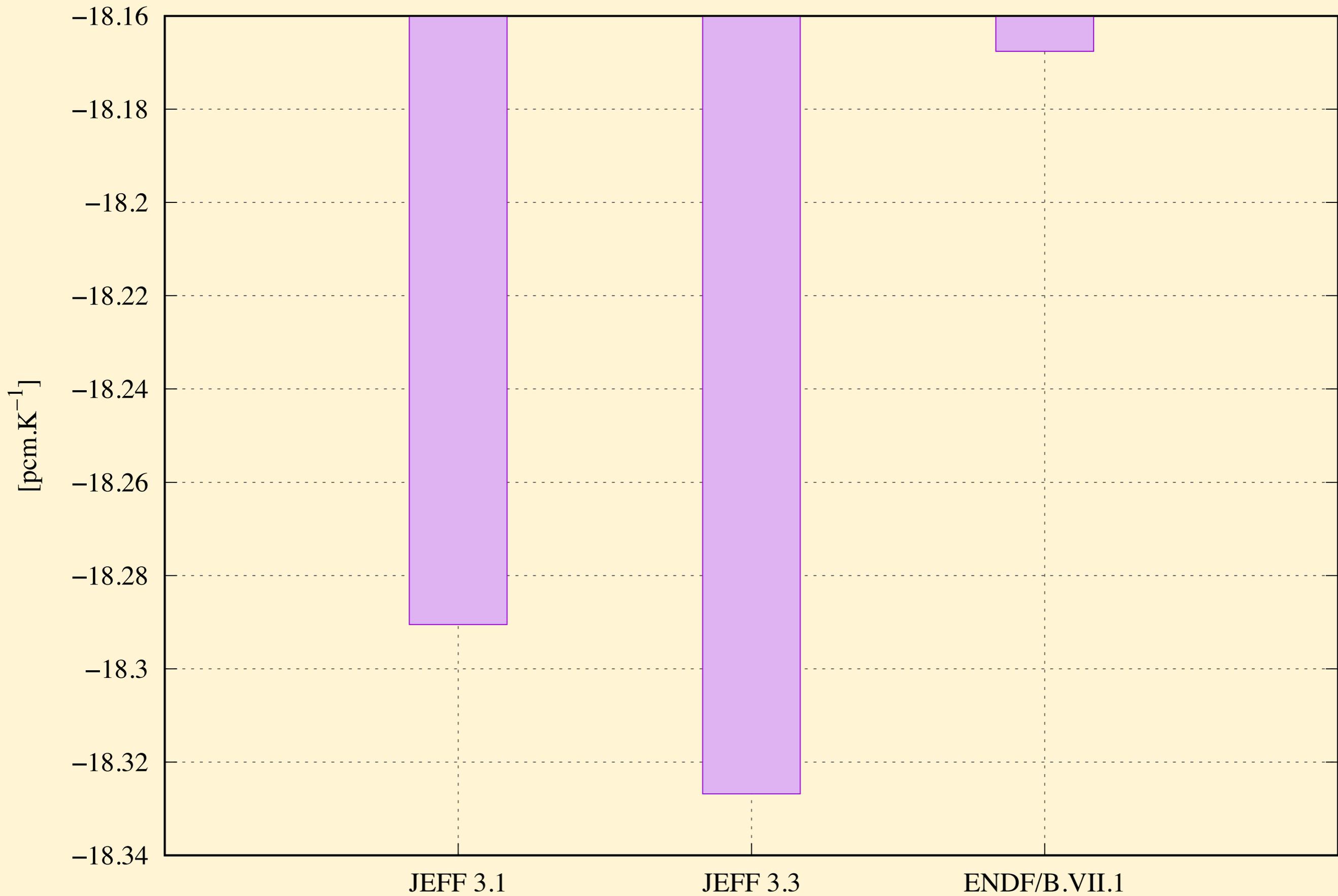
Calculs neutroniques-thermohydrauliques (TFM-OpenFOAM)  
commencés

Scénarios : appliquer la méthodologie MSFR

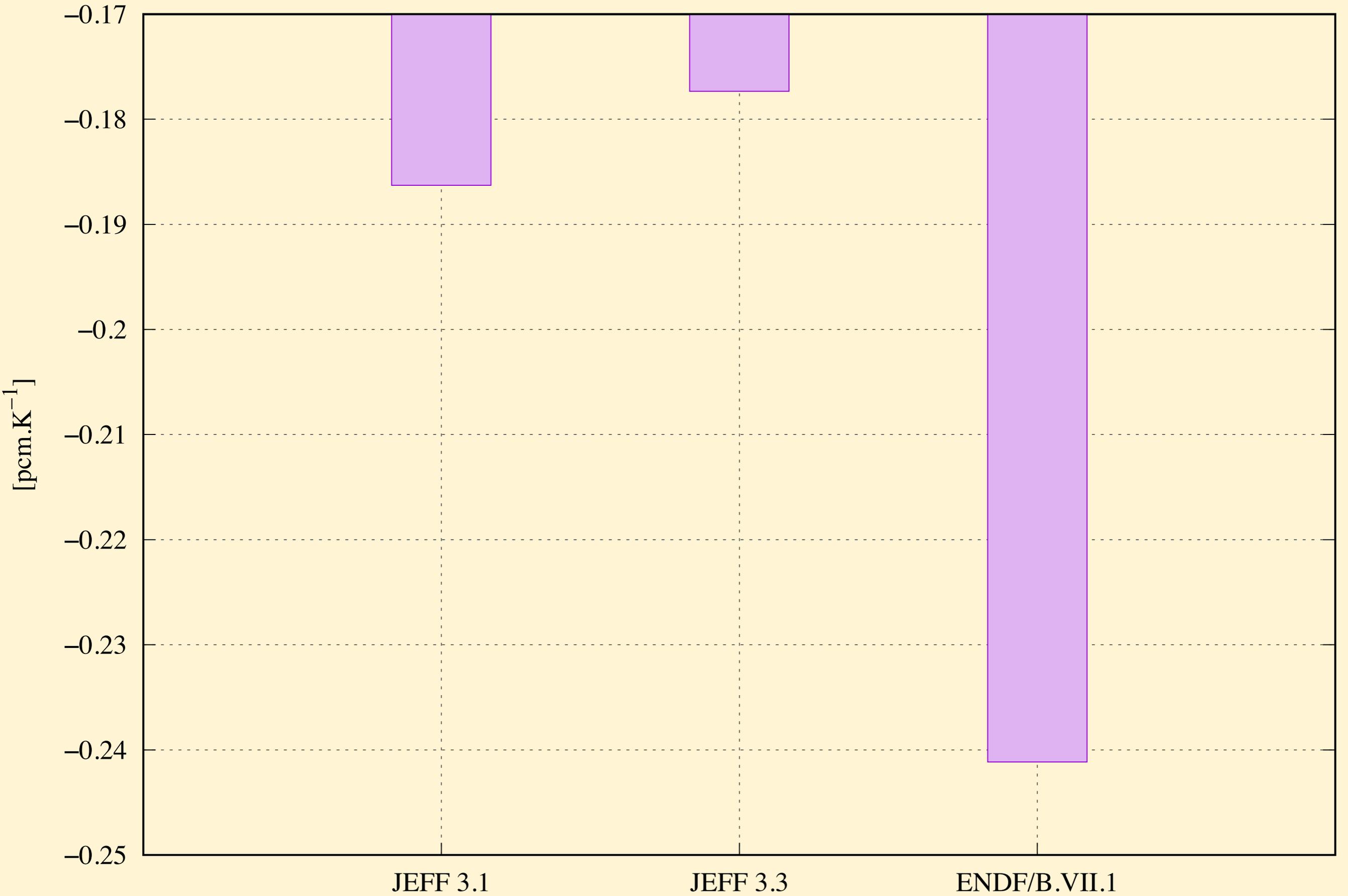
---



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) —

