Gestion Avancée du plutonium en REP

Une thèse en physique des réacteurs nucléaires à l'IN2P3

Marc Ernoult

Institut de Physique Nucléaire d'Orsay

Gestion Avancée du plutonium en REP

Marc Ernoult

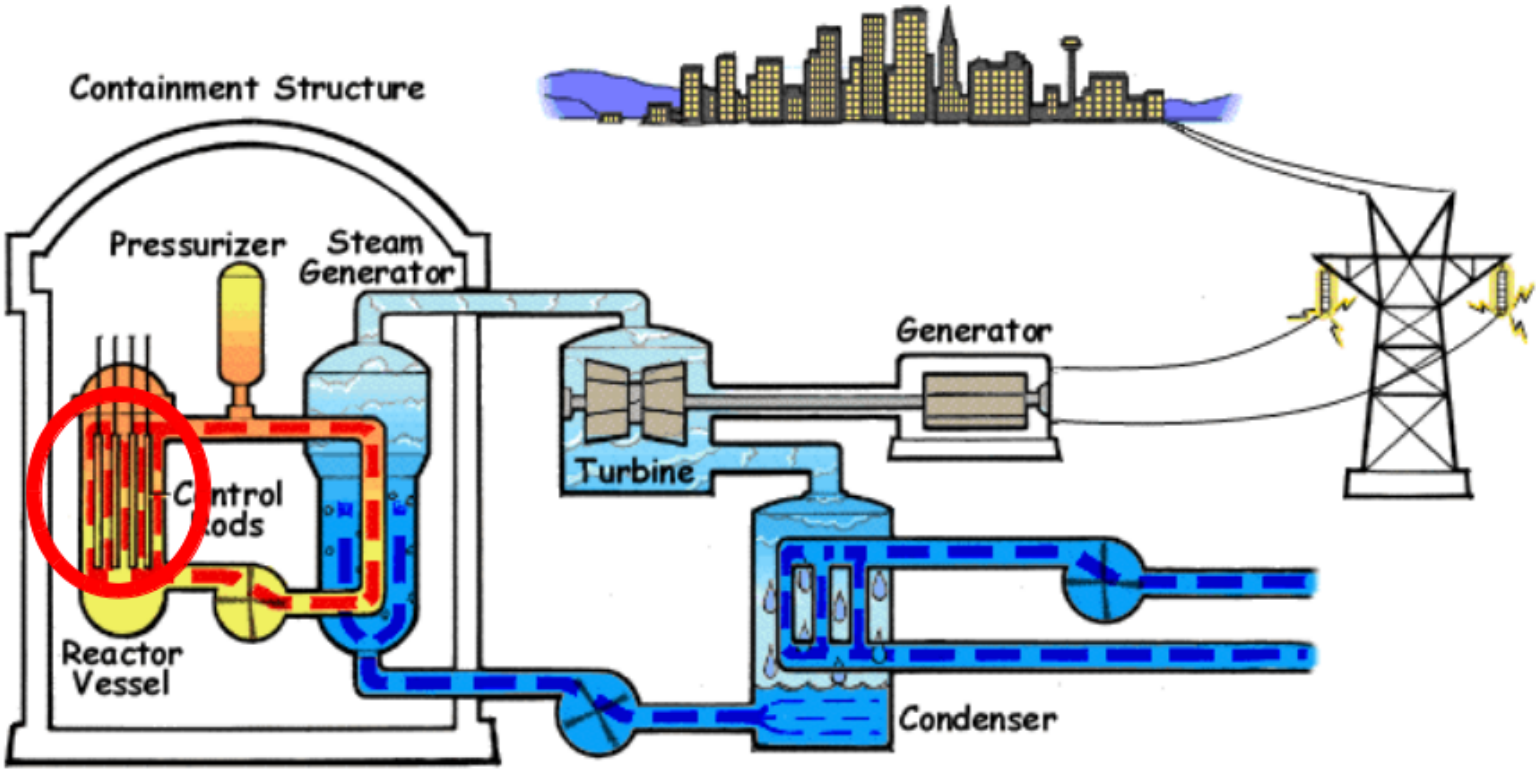
Les Réacteurs à Eau Pressurisée

La Gestion Du Pu

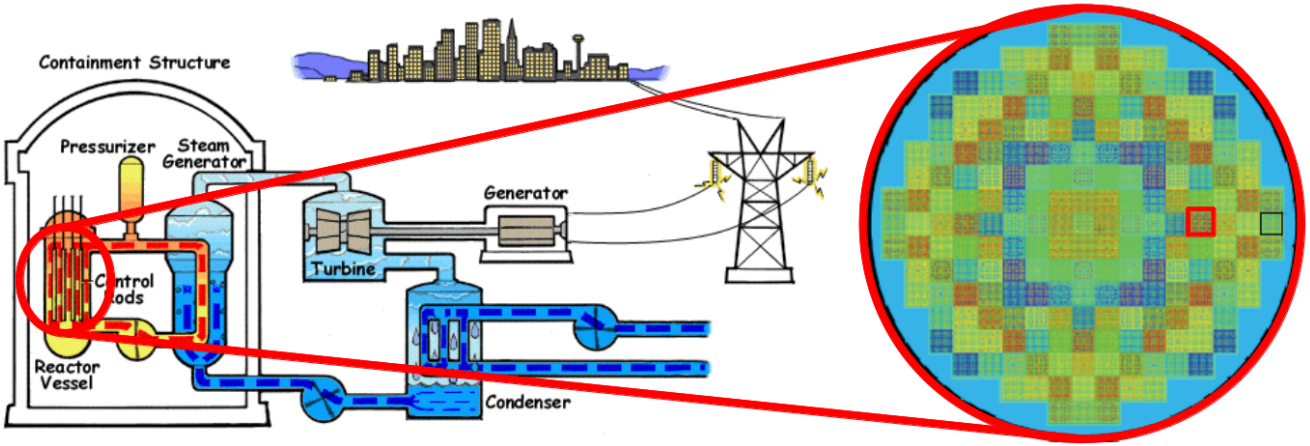
Exemple de résultats

Conclusion

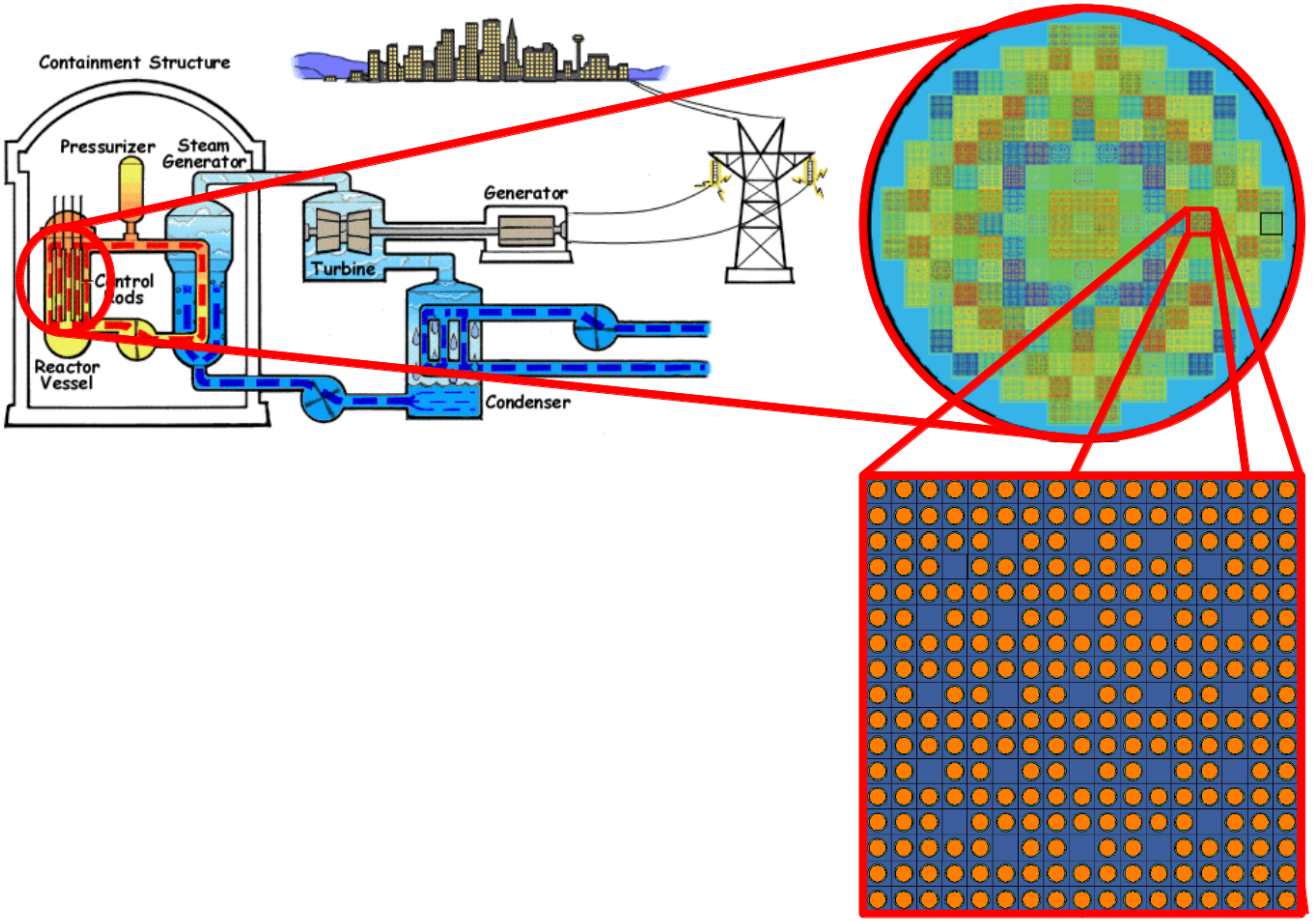
L'objet d'étude : le REP



L'objet d'étude : le REP



L'objet d'étude : le REP



Résoudre l'équation de Bateman

Notre problème de base : Résoudre l'équation de Bateman

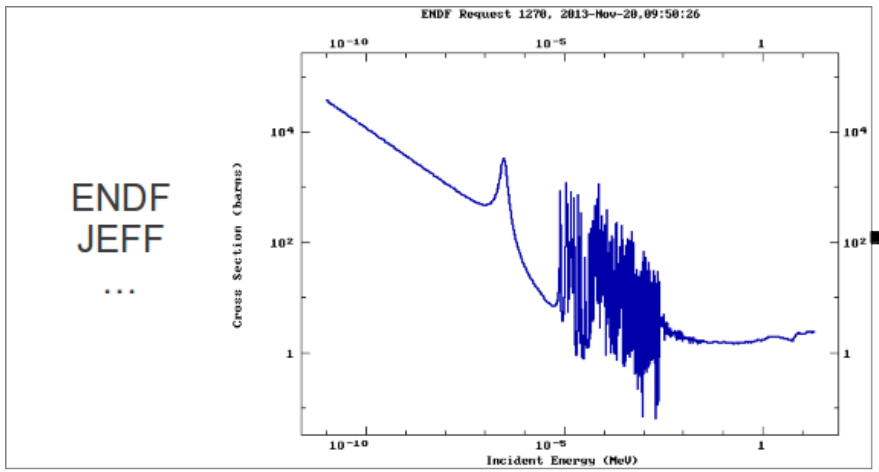
$$\frac{dN_i}{dt} = -\lambda_i N_i - N_i < \sigma^a \phi > + \sum_j N_j < \sigma_j^{j \to i} \phi > + \sum_j \lambda_j^{j \to i} N_j \quad (1)$$

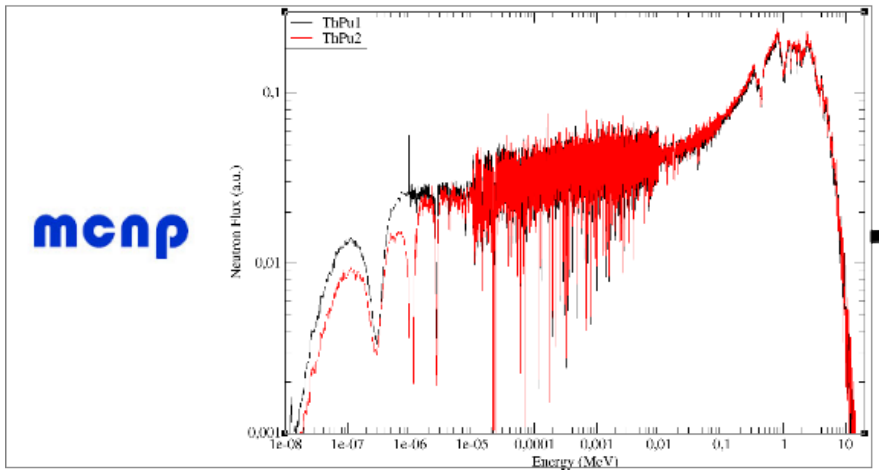
Un outil a été développé au CNRS :

LPSC - Subatech - IPNO

Calculer des Taux de Réaction

MCNP développé à Los Alamos, nous permet de calculer les taux de réactions moyens

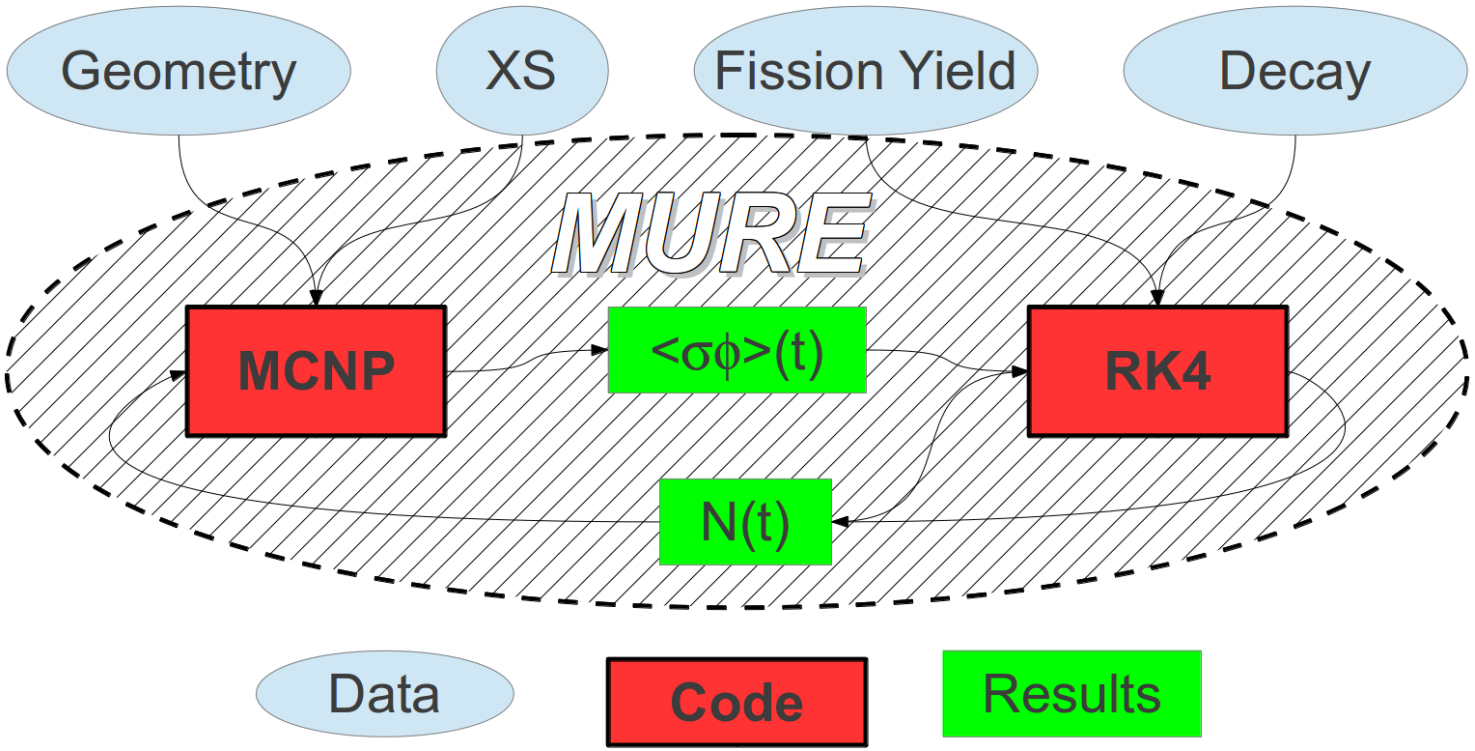




$<\sigma\phi>$

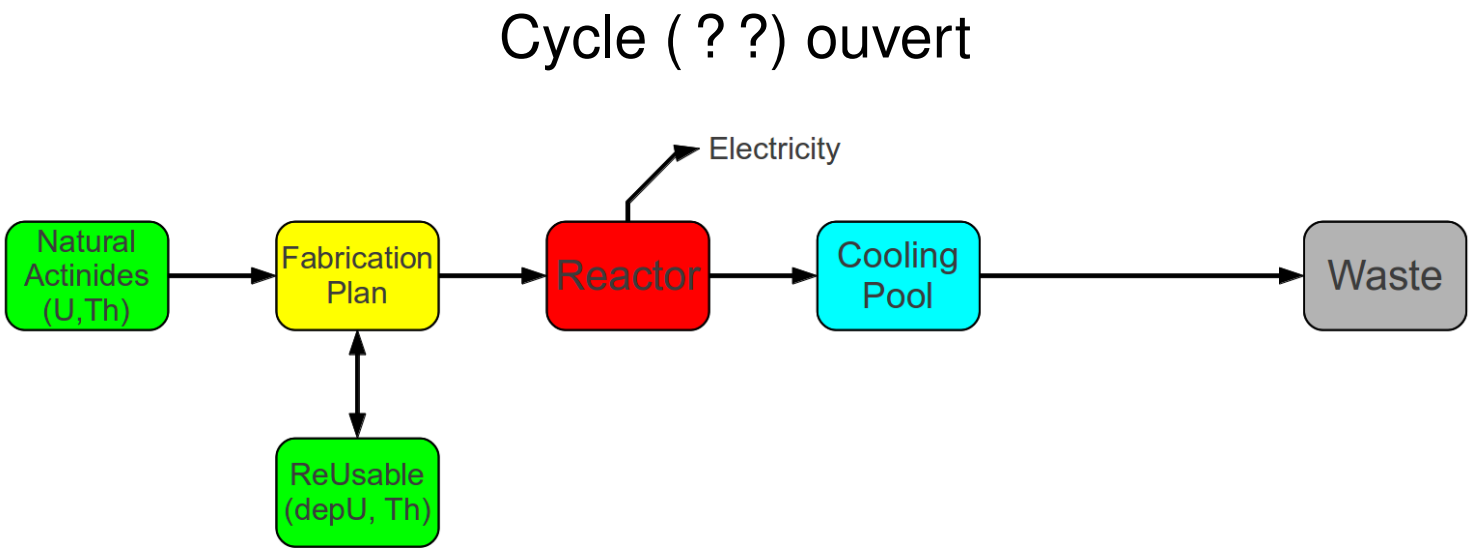
Gestion Avancée du plutonium en REP
Marc Ernoult
Les Réacteurs à Eau Pressurisée
L'objet d'étude : le REP
Simuler un REP
La Gestion Du Pu
Exemple de résultats
Conclusion

Calculer l'évolution isotopique



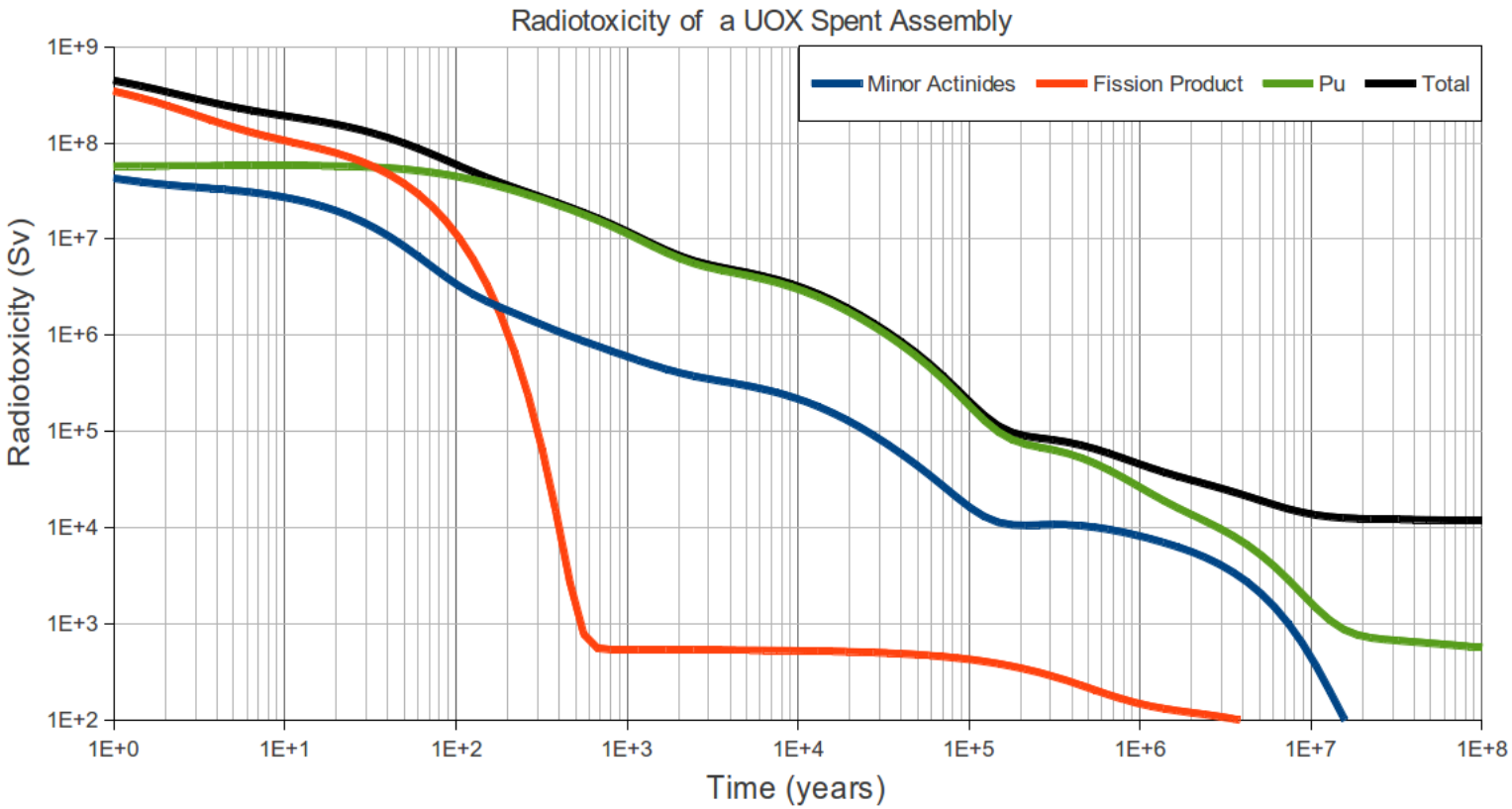
⇒ Évolution des différents isotopes durant l'irradiation du combustible

Le cycle du combustible



Les Réacteurs à Eau Pressurisée
La Gestion Du Pu
Le cycle du combustible
Le problème du Plutonium
Le cycle du combustible 2
Scénarios à l'équilibre
Exemple de résultats
Conclusion

Le problème du Plutonium



^{239}Pu : 24 000 ans

250 kg de *Pu* par GWe.an (15 t par an en France)

Gestion Avancée du plutonium en REP

Marc Ernoult

Les Réacteurs à Eau Pressurisée

La Gestion Du Pu

Le cycle du combustible

Le problème du Plutonium

Le cycle du combustible 2

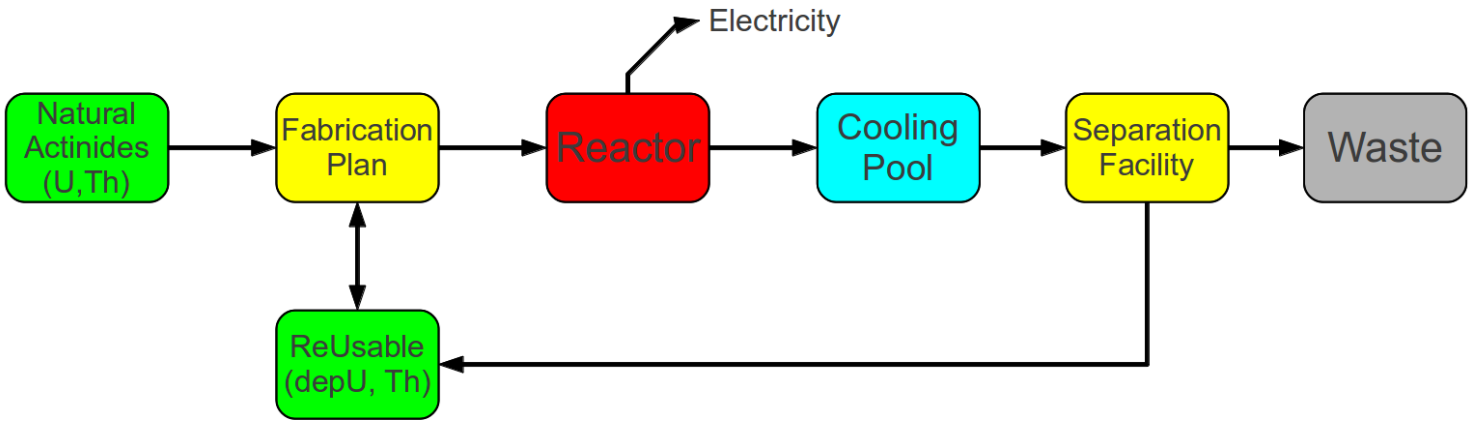
Scénarios à l'équilibre

Exemple de résultats

Conclusion

Le cycle du combustible

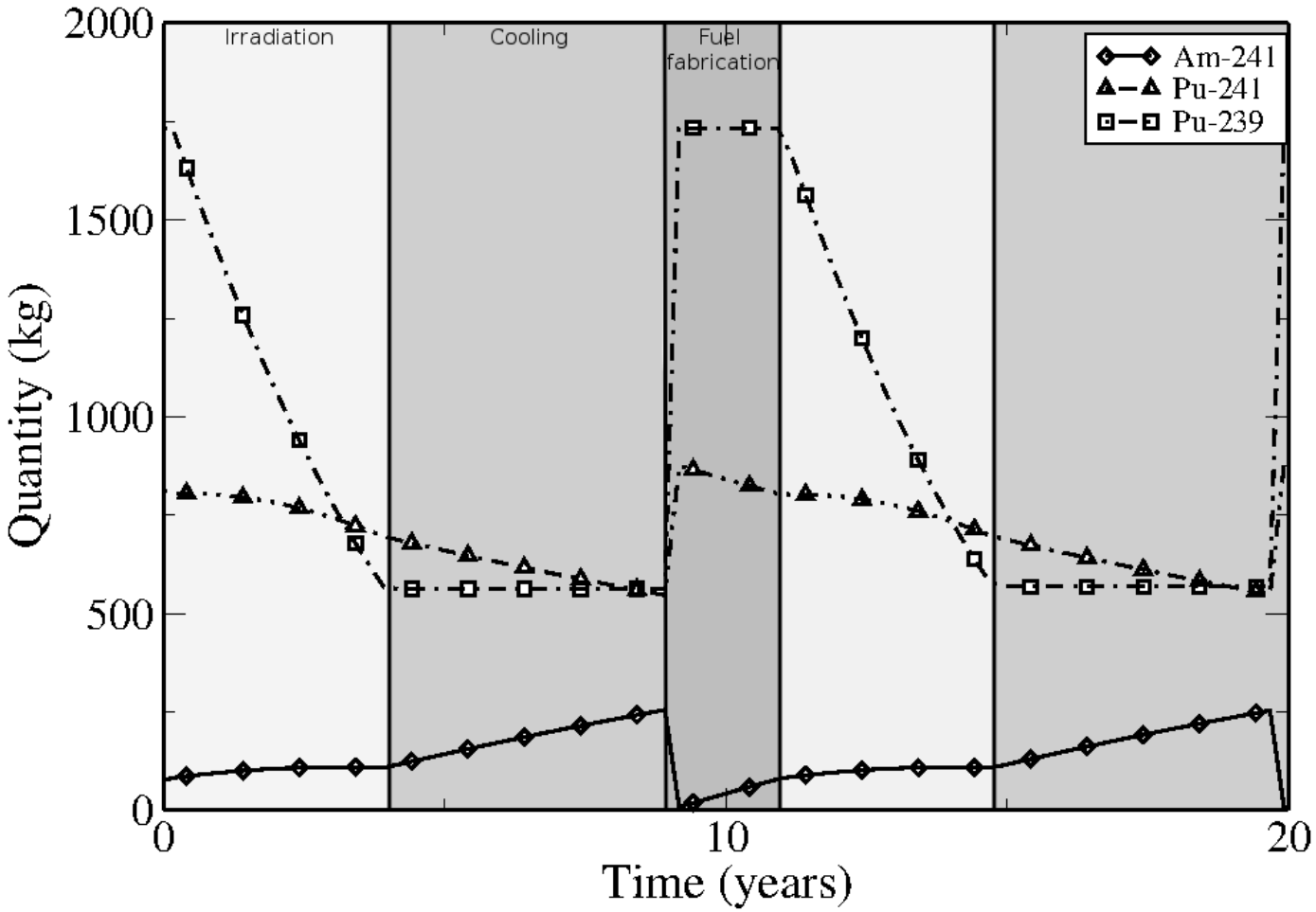
Fermeture du cycle du combustible



scénario = mise en application d'un cycle du combustible

Gestion Avancée du plutonium en REP
Marc Ernoult
Les Réacteurs à Eau Pressurisée
La Gestion Du Pu
Le cycle du combustible
Le problème du Plutonium
Le cycle du combustible 2
Scénarios à l'équilibre
Exemple de résultats
Conclusion

Scénarios à l'équilibre



Scénario à l'équilibre = État stationnaire du parc

Les Réacteurs à Eau Pressurisée

La Gestion Du Pu

Le cycle du combustible

Le problème du Plutonium

Le cycle du combustible 2

Scénarios à l'équilibre

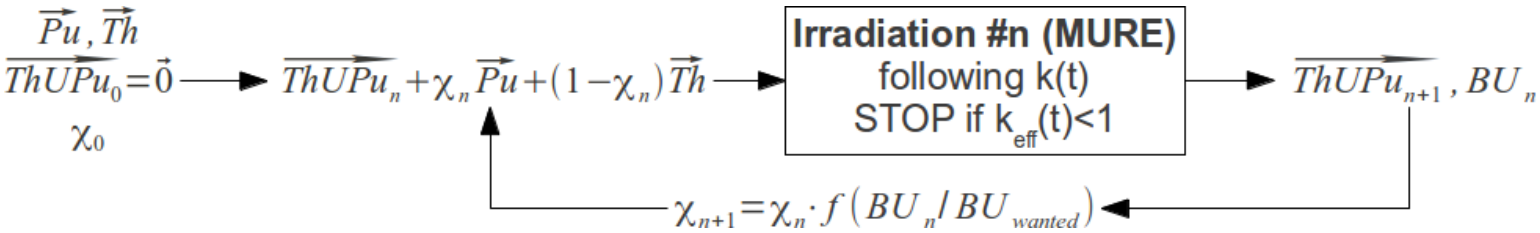
Exemple de résultats

Conclusion

Scénarios à l'équilibre

Fortes corrélations entre la composition du combustible et les taux de réactions

$\Rightarrow$ on est obligé d'utiliser un algorithme numérique :



Temps de calcul : 40 jours.processeurs

Gestion Avancée du plutonium en REP
Marc Ernoult
Les Réacteurs à Eau Pressurisée
La Gestion Du Pu
Le cycle du combustible
Le problème du Plutonium
Le cycle du combustible 2
Scénarios à l'équilibre
Exemple de résultats
Conclusion

Scénarios à l'équilibre

- Les scénarios à l'équilibre ne représentent pas quelque chose de réaliste (il faudrait utiliser la même stratégie pendant plus d'un siècle)
- Pourquoi les étudier ?
  - les plus simples des scénarios : point de départ pour comprendre les comportements des scénarios
  - peu de paramètres : permet de rendre faisable les études paramétriques et donc d'évaluer l'influence de chacun de ces paramètres

Les Réacteurs à Eau Pressurisée

La Gestion Du Pu

Le cycle du combustible

Le problème du Plutonium

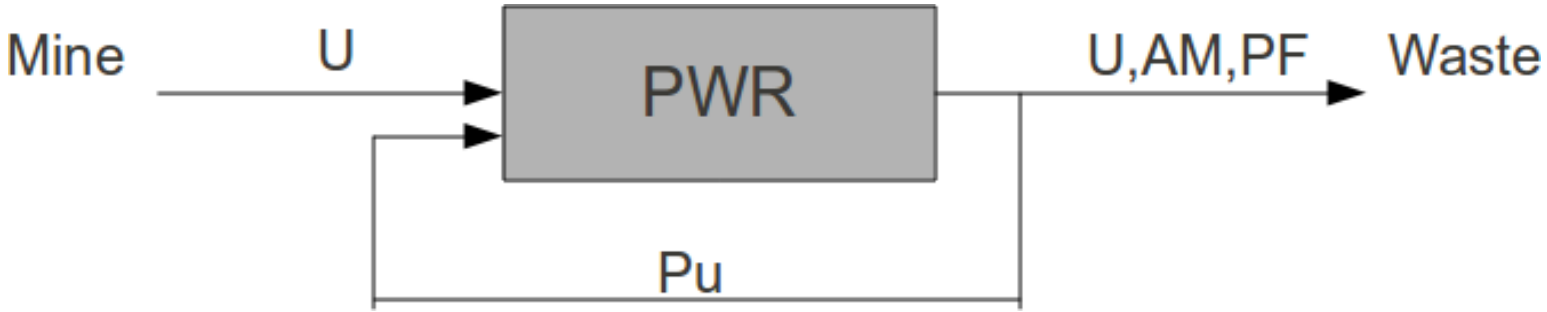
Le cycle du combustible 2

Scénarios à l'équilibre

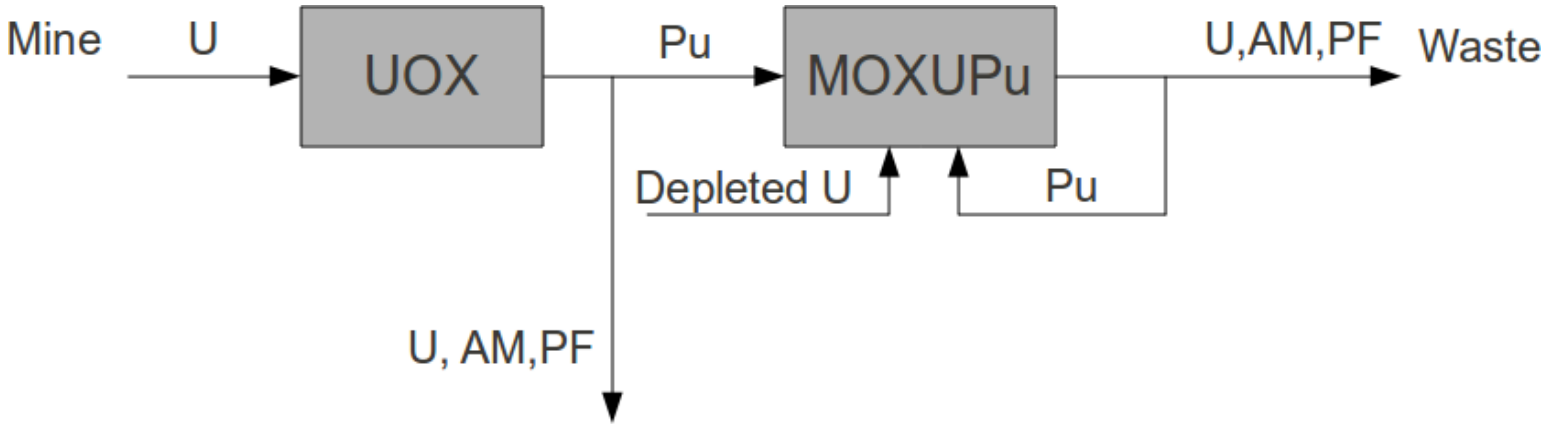
Exemple de résultats

Conclusion

Scénarios étudiés et utilisés dans la suite de la présentation



multiUePu

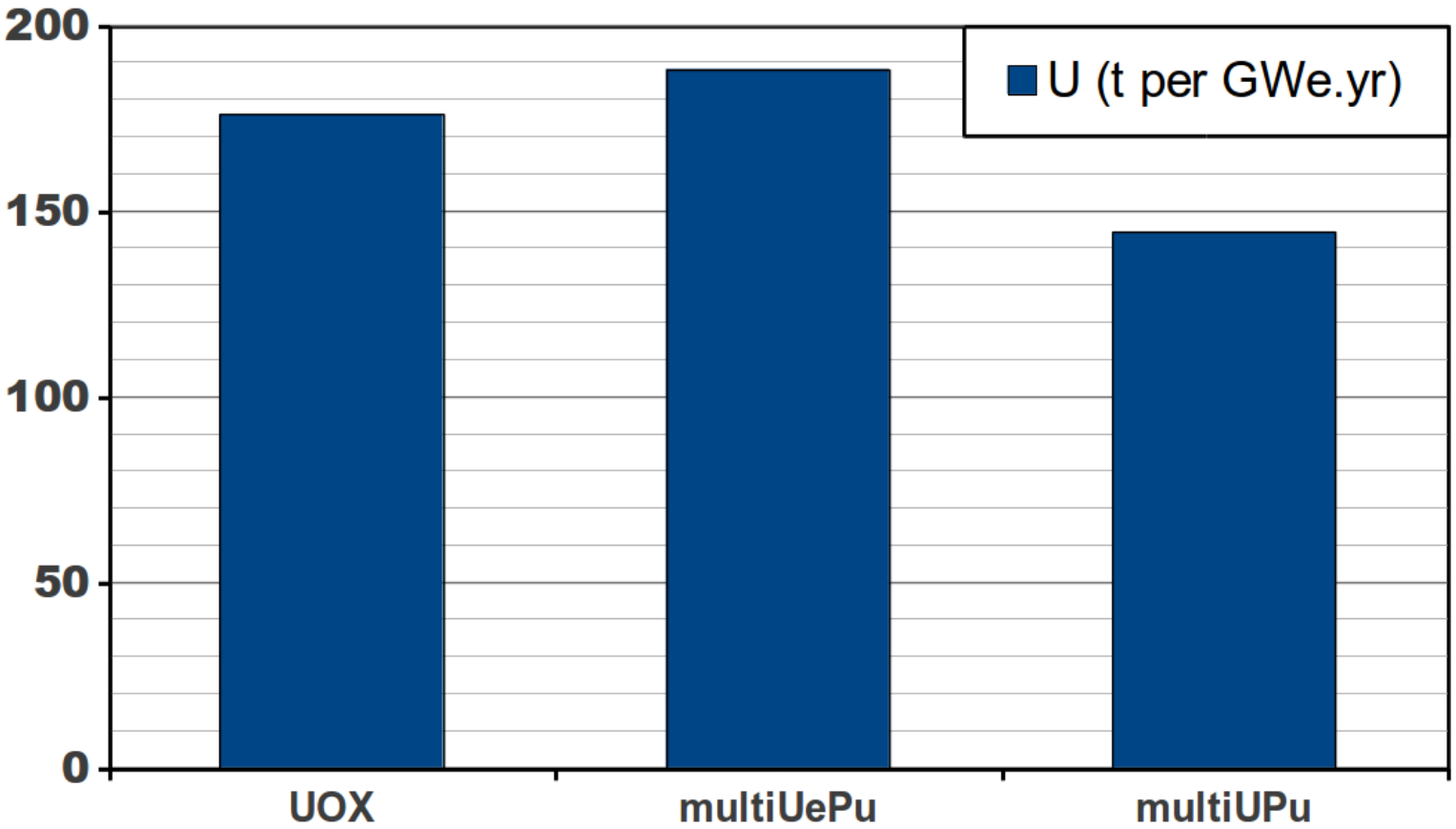


multiUPu

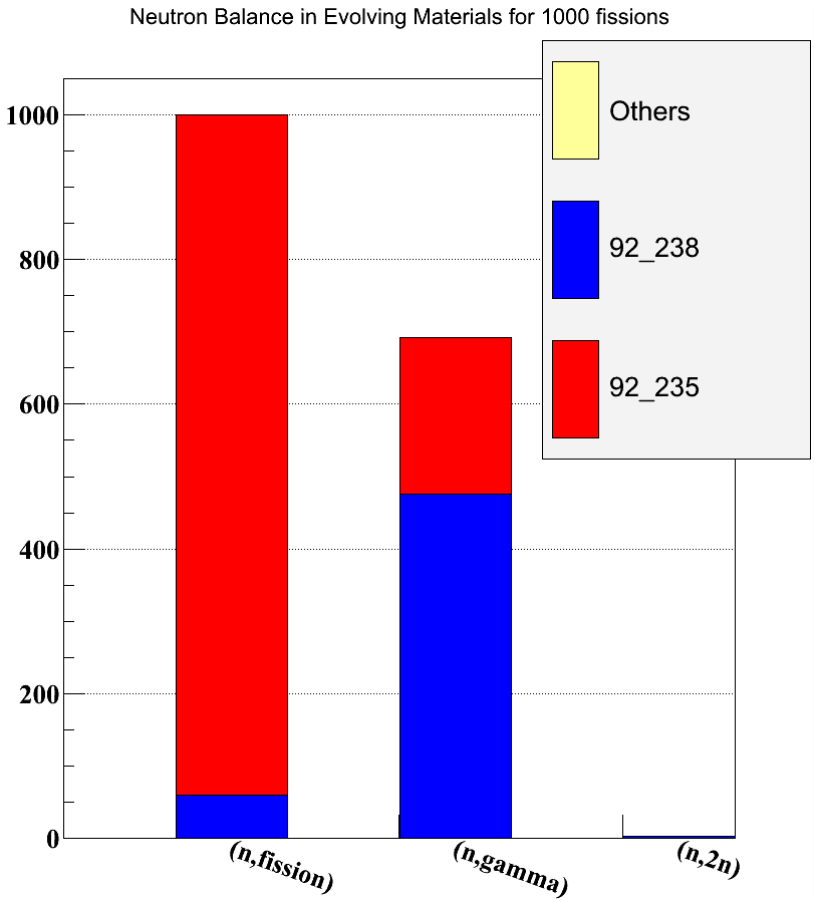
+ 6 autres scénarios (dont certain utilisant du Th)

Gestion Avancée du plutonium en REP
Marc Ernoult
Les Réacteurs à Eau Pressurisée
La Gestion Du Pu
Exemple de résultats
Scénarios étudiés
Consommation de ressources
Analyse neutronique
Conclusions
Conclusion

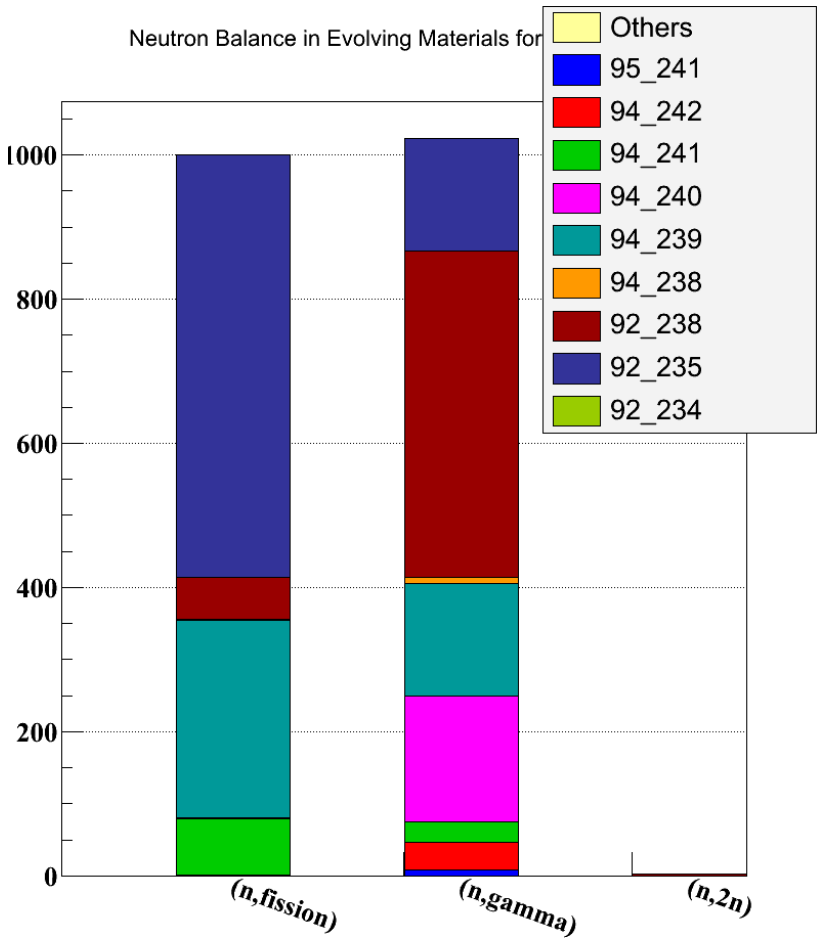
Consommation de ressources



Bilans neutroniques



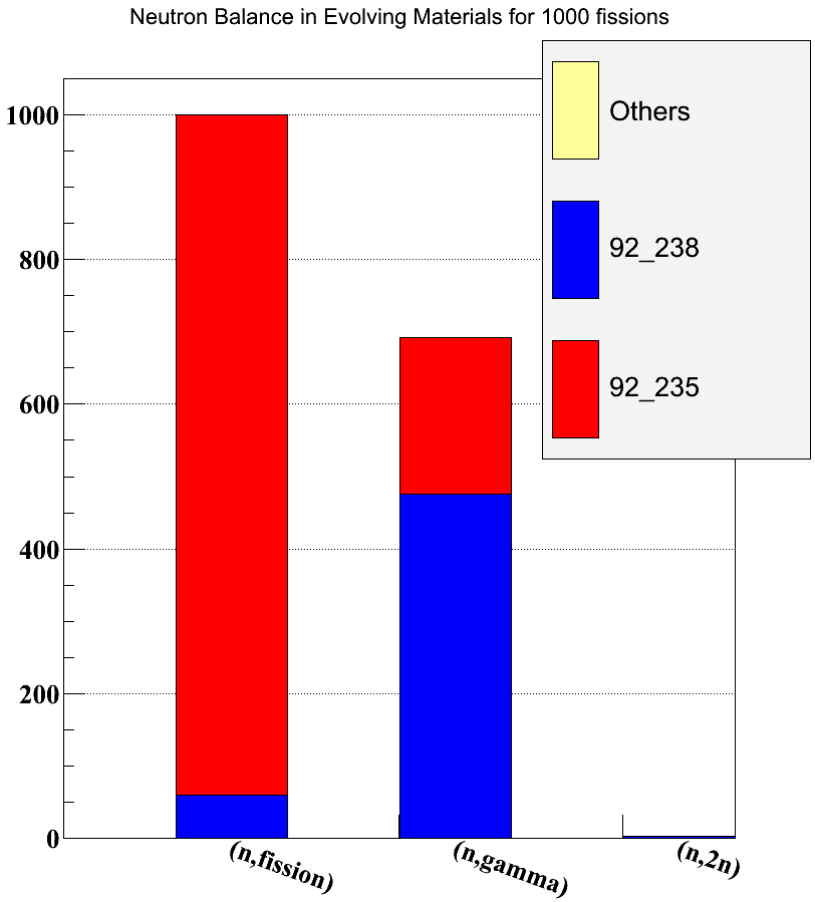
UOX



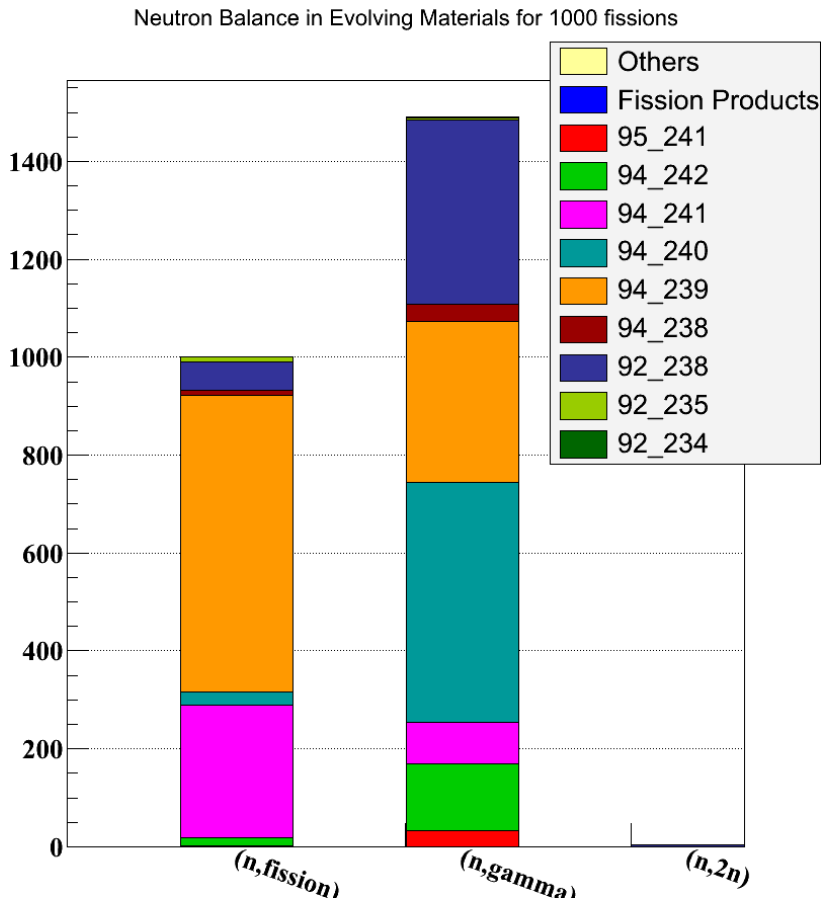
multiUePu

Gestion Avancée du plutonium en REP
Marc Ernoult
Les Réacteurs à Eau Pressurisée
La Gestion Du Pu
Exemple de résultats
Scénarios étudiés
Consommation de ressources
Analyse neutronique
Conclusions
Conclusion

Bilans neutroniques



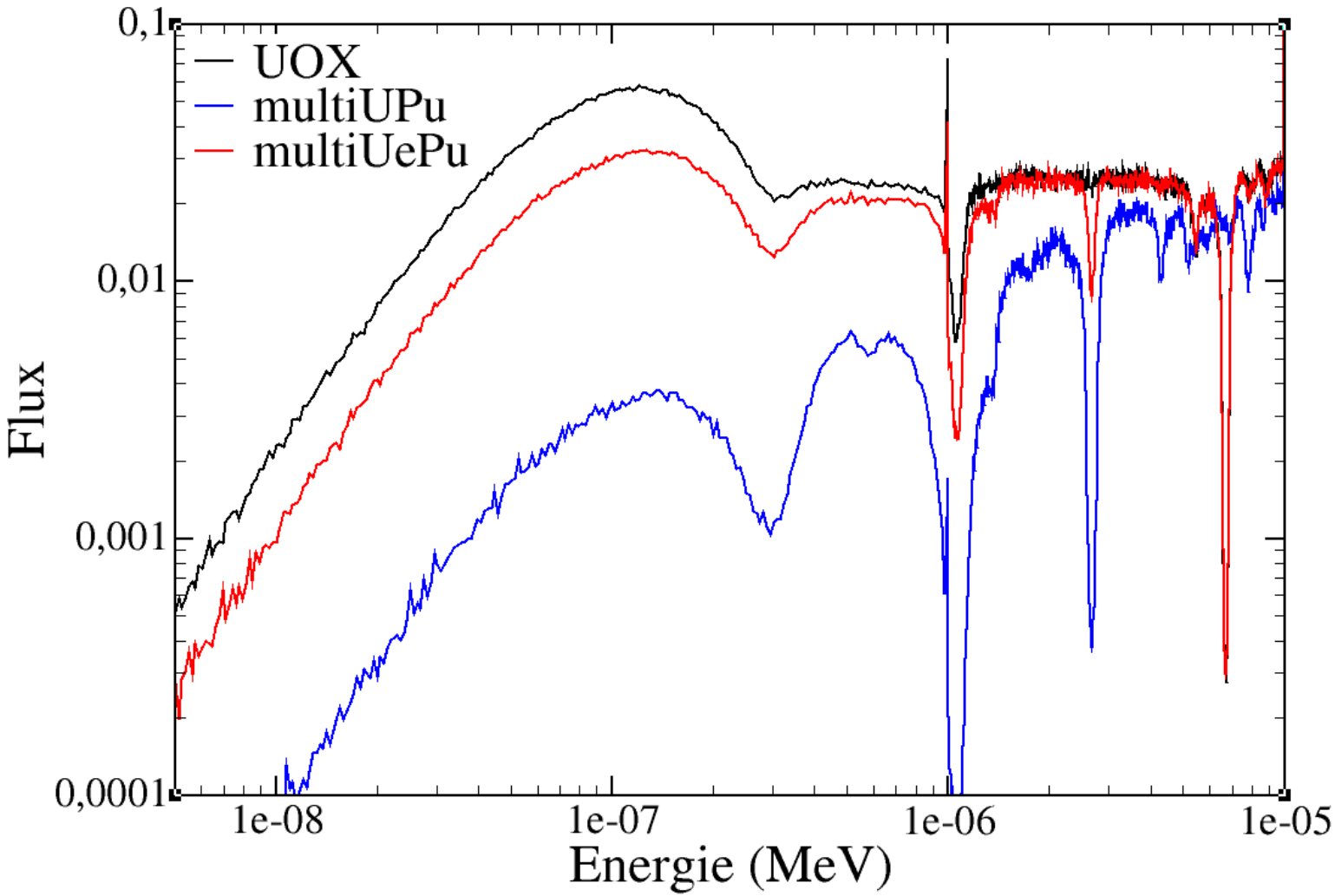
UOX



multiUPu

Gestion Avancée du plutonium en REP
Marc Ernoult
Les Réacteurs à Eau Pressurisée
La Gestion Du Pu
Exemple de résultats
Scénarios étudiés
Consommation de ressources
Analyse neutronique
Conclusions
Conclusion

Spectres neutroniques



Taux de réactions

	^{238}U	^{235}U			^{239}Pu		^{240}Pu	
	(n,γ)	(n,f)	(n,γ)	η	(n,γ)	(n,f)	(n,γ)	η
UOX	0.80	8.85	38.5	**3.4**	57.5	101	228	*4.33*
multiUePu	0.85	6.37	23.8	**2.2**	31.3	55.4	68.1	**2.6**
multiUPu	0.80	/	/	*0.5*	7.03	12.8	11.3	**2.3**

Sections efficaces (en barn) et facteurs de multiplication de U et Pu dans les scénarios étudiés

$$\eta = \frac{\nu\Sigma_{fission}}{\Sigma_{abs}}$$: mesure de la "fissibilité" d'un élément

Gestion Avancée du plutonium en REP
Marc Ernoult
Les Réacteurs à Eau Pressurisée
La Gestion Du Pu
Exemple de résultats
Scénarios étudiés
Consommation de ressources
Analyse neutronique
Conclusions
Conclusion

Conclusions

- Le recyclage du Pu dans le multiUePu fait apparaître 2 effets :
  - Les réactions sur le Plutonium engendre une production nette supplémentaire de neutrons.
  - La modification du spectre neutroniques causée par la présence du plutonium entraîne une baisse des performances de l'uranium enrichi.
- Les résultats de nos simulations montrent que c'est le deuxième effet qui l'emporte

$\Rightarrow$ + 6.9% d'uranium nécessaire

Gestion Avancée du plutonium en REP
Marc Ernoult
Les Réacteurs à Eau Pressurisée
La Gestion Du Pu
Exemple de résultats
Scénarios étudiés
Consommation de ressources
Analyse neutronique
Conclusions
Conclusion

Conclusion

- La physique des réacteurs nucléaire est à l'interface entre la physique nucléaire et les problèmes sociétaux de l'énergie.
- Le recyclage du Pu est un problème dont on est loin d'en avoir fait le tour ; pourtant la société demande des réponses claires pour faire les choix du futur de l'énergie
- Le manque de connaissance en physique nucléaire sur certains noyaux (Actinides mais aussi produit de fission) conduit à des incertitudes importantes sur des paramètres macroscopiques du cycle électro-nucléaire.