

Validation d'un nouveau calcul de référence en évolution pour les réacteurs thermiques

Soutenance de Maîtrise Ès Sciences Appliquées

Axel Canbakan

Directeurs:

Alain Hébert

Jean-François Vidal

Institut de génie nucléaire

École Polytechnique de Montréal

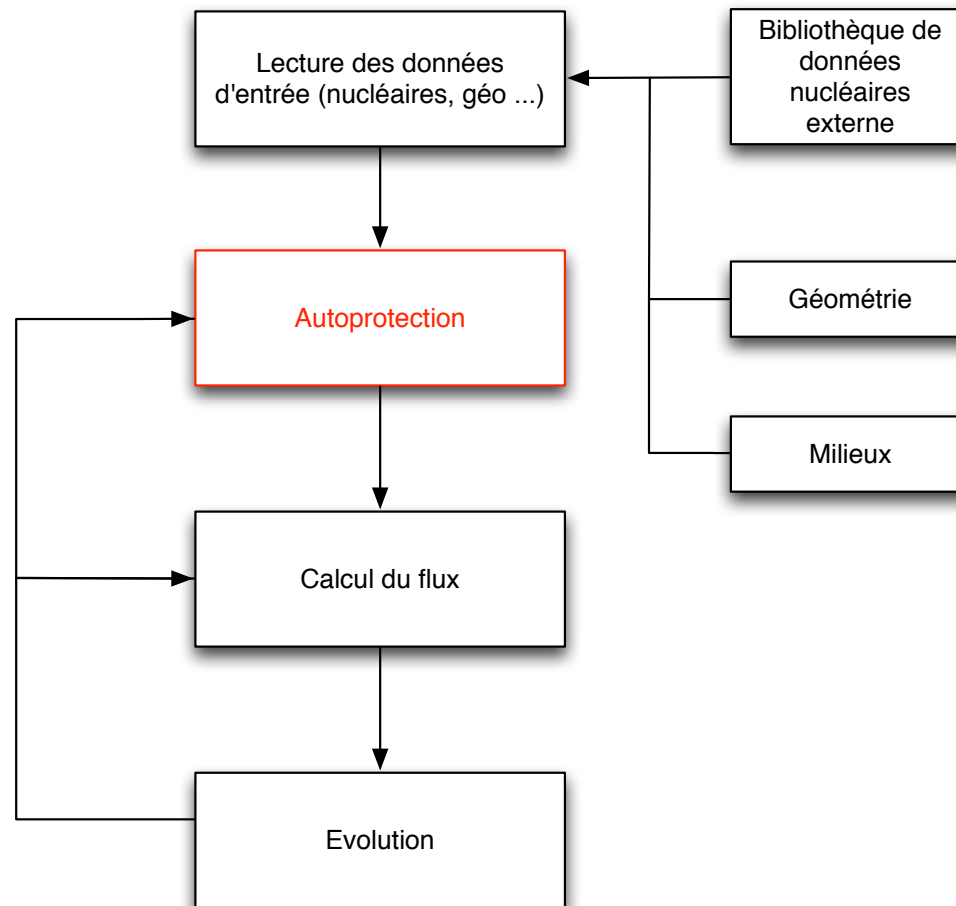
1. Contexte de l'étude
2. Théorie
3. Validation Monte Carlo du modèle à temps 0
 - APOLLO2
 - DRAGON5
4. Validation Monte Carlo en évolution
5. Conclusions & perspectives

Informatique

- Loi de Moore: Entre 1975 et 2001, le nombre de transistors des microprocesseurs a doublé chaque année
- Depuis le milieu des années 2000, mise en place de la parallélisation des stations de travail

Neutronique

- Conséquences: Développement de méthodes jugées trop coûteuses à l'époque, découpage énergétique plus fin, discrétisation géométrique raffinée, évolution en stochastique
- De nos jours, des techniques jugées inapplicables il y a 15 ans doivent être revisitées



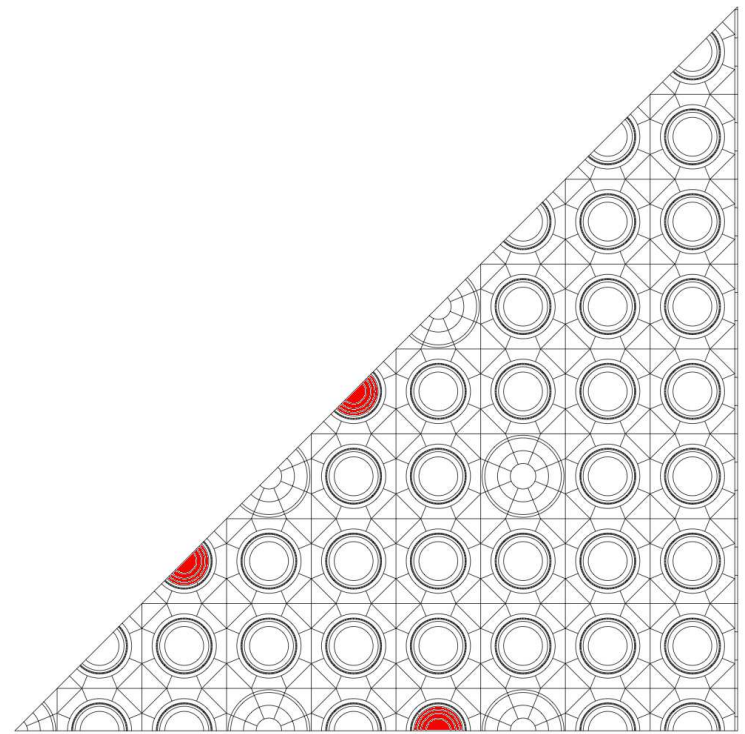
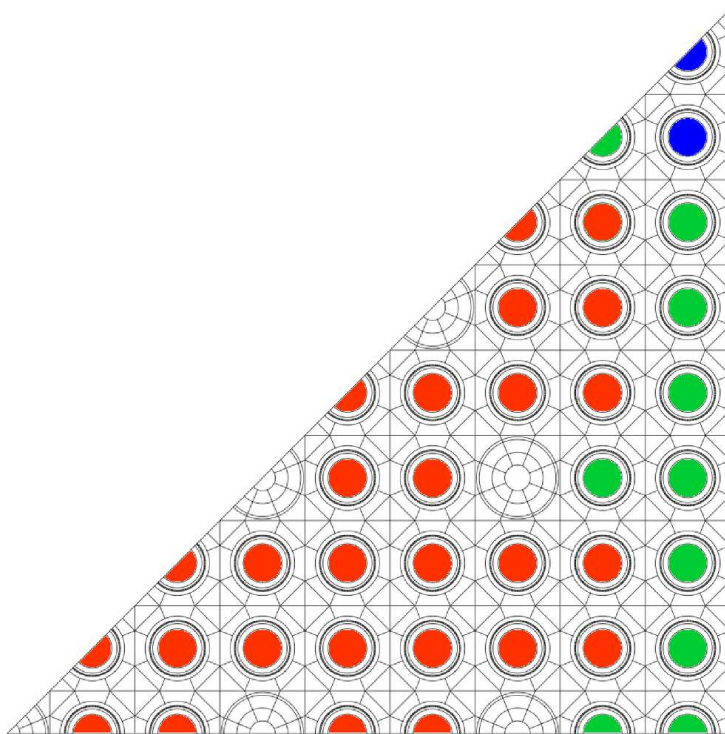
Représentation simplifiée d'un calcul réseau

Parties choisies pour la présentation

- Autoprotection en sous-groupes ou d'équivalence en dilution
- Modélisation de la loi de choc en P0 corrigé ou P3
- Découpage énergétique: SHEM281/295/361
- Maillage spatial (Moulin à Vent)
- MOC ou CI pour l'autoprotection
- Autoprotection d'un gradient de température, haute température et dans un cas REP vidangé
- Représentation spatiale linéaire du terme source dans le MOC
- Coupure thermique pour l'effet d'upscattering
- Validation en évolution avec SERPENT2

Cas observés:

Assemblages REP UOX , MOX et $UO_2Gd_2O_3$

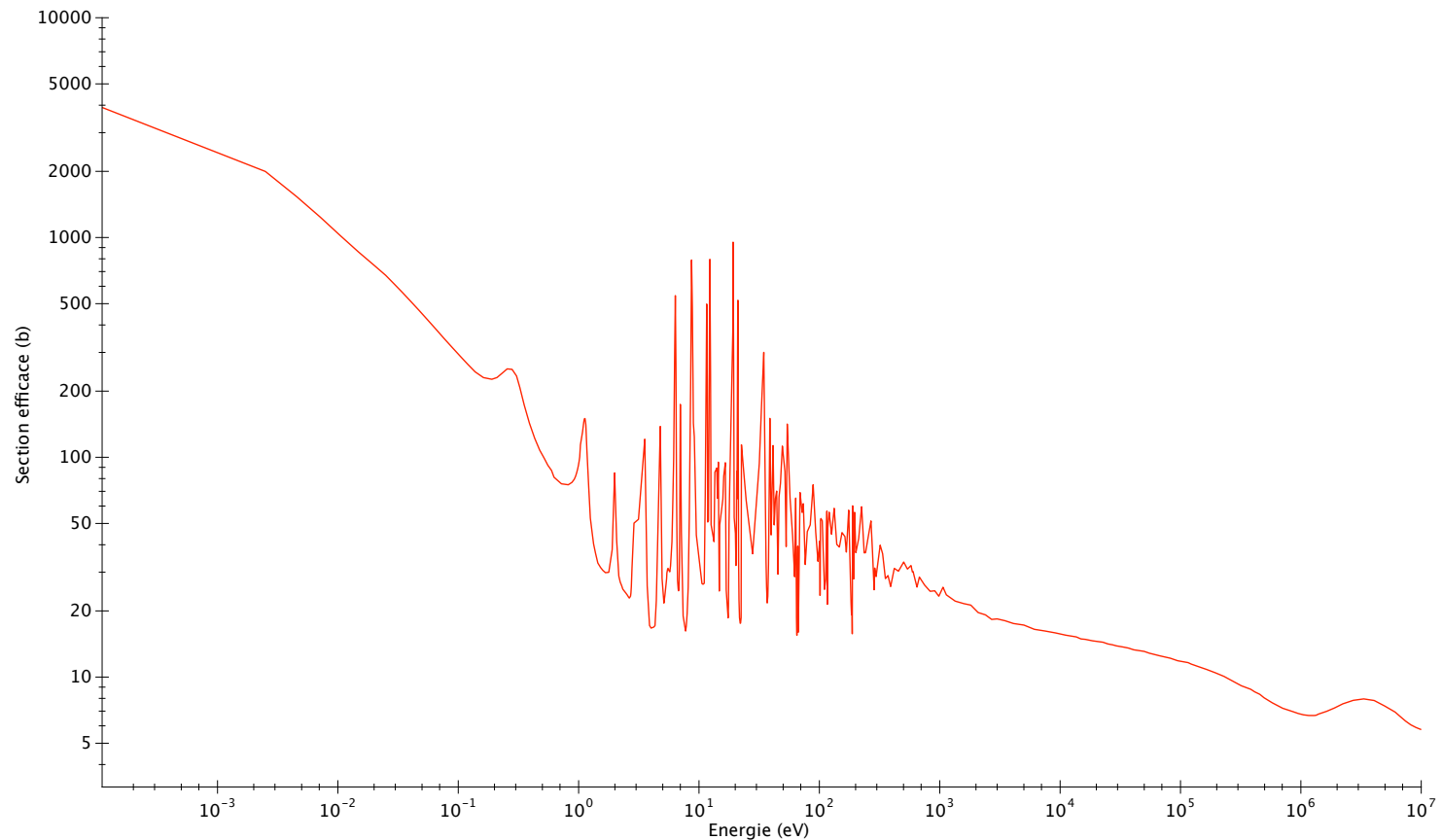


Comparaison par rapport à la référence TRIPOLI4.9

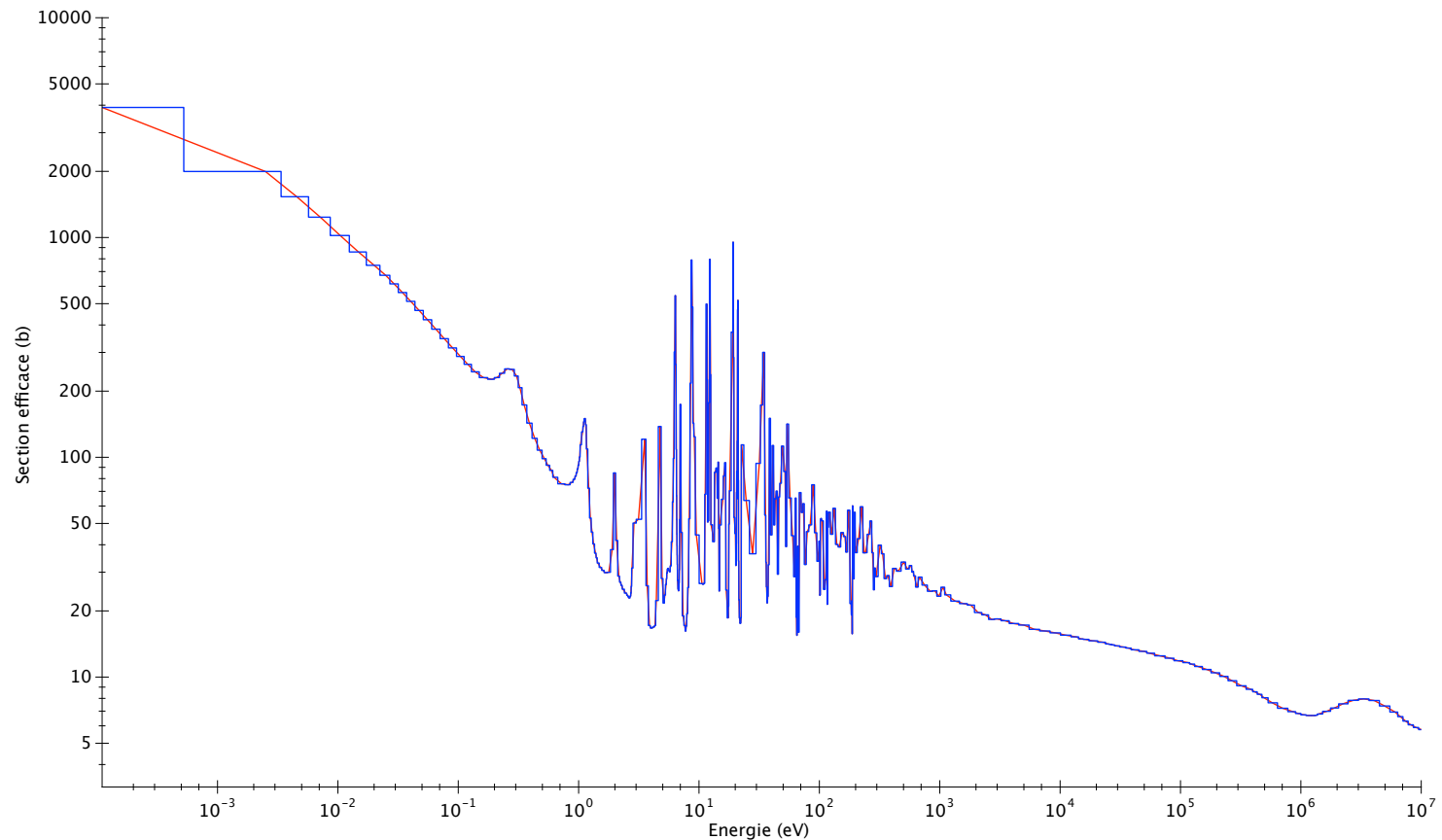
Formule des six facteurs:

$$k_{eff} = \chi_{n,2n} \cdot \epsilon_{pair} \cdot \epsilon_{impair} \cdot p \cdot f \cdot \eta \quad (1)$$

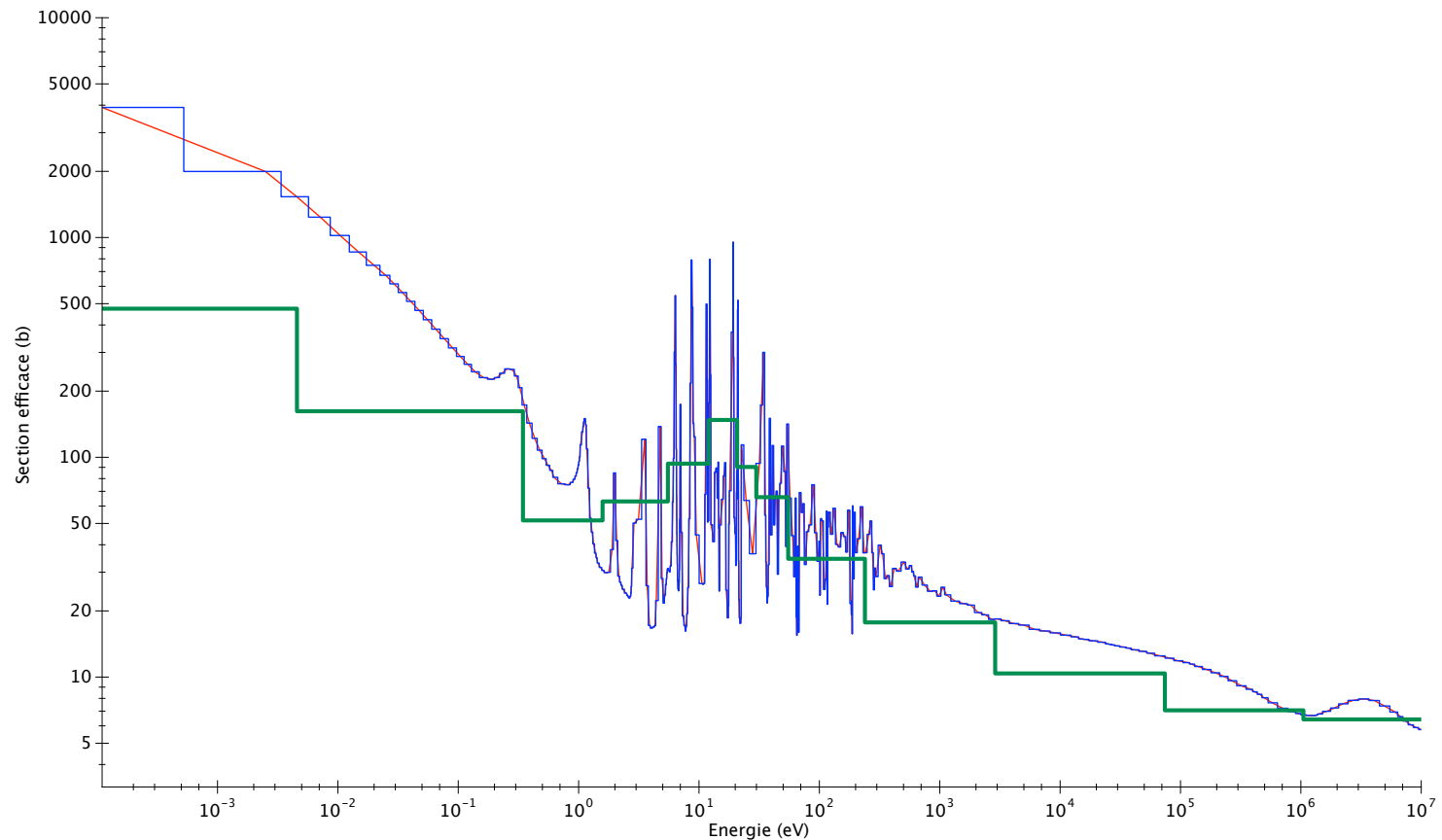
- $\chi_{n,2n}$: le facteur de la réaction à seuil (n, 2n);
- ϵ_{pair} : le facteur de fission rapide des noyaux pairs;
- ϵ_{impair} : le facteur de fission rapide des noyaux impairs;
- p : le facteur antitrappe;
- f : le facteur d'utilisation thermique;
- η : le facteur de reproduction des neutrons thermiques.



Section efficace de l'U235 en fonction de l'énergie.



Section efficace de l'U235 en fonction de l'énergie.



Section efficace de l'U235 en fonction de l'énergie.

Études des taux d'absorption sur 13 groupes (1)

Groupe	Commentaires
1	Seuil de réaction (n,xn) U238(6,2 MeV) et inélastique O16(6,4 MeV). Fissions de 2ème et 3ème chance.
2	Seuil de fission U238(1 MeV), 2ème et 3ème résonances de l'O16(1MeV et 1,31 MeV resp.)
3	1ère résonance de l'O16(434 keV), domaine des résonances non résolues pour les noyaux lourds, seuil inélastique de l'U238(45 keV)
4	Limite résolu-non résolu pour l'U238
5	Résonance du Zr91(292 eV), début de domaine résolu, résonances de l'U238 (102 eV, 117 eV et 189 eV)
6	4ème résonance de l'U238(66 eV)

Études des taux d'absorption sur 13 groupes (2)

Groupe	Commentaires
7	3ème résonance de l'U238(36.7 eV)
8	2ème résonance de l'U238(20.9 eV)
9	Résonances des isotopes impaires et du Hf177
10	1ère résonance de l'U238 et résonance du Hf178
11	Coupure thermique(4 eV), 1ère résonance du PU240 et du Pu242
12	1ère résonance de l'U235, du Pu239 et du Pu241
13	Domaine purement thermique

+ Nappe normalisée du taux de fission

En résumé:

*Validation par comparaison à un code Monte Carlo de la méthode des **sous-groupes** avec un maillage **SHEM** raffiné (361gr. et 295gr.) pour des assemblages REP **UOX**, **MOX** et **UOX gadoliné**.*

- 361 groupes pour APOLLO2;
- 295 groupes pour DRAGON5;
- Étude à temps 0 et en évolution.

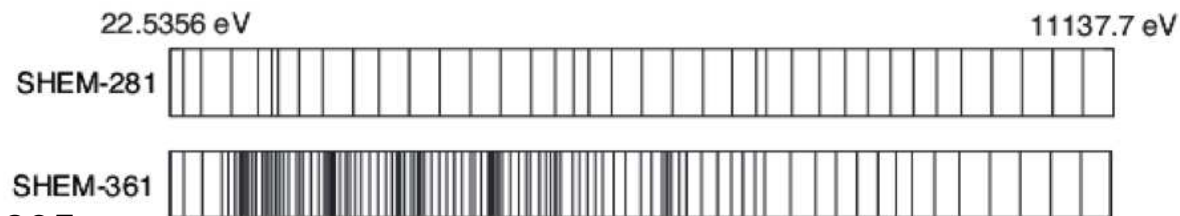
Maillage *Santamarina Hfaiedh Energy Mesh (SHEM)*

Maillage SHEM281

- Proposé par A. Santamarina et N. Hfaiedh;
- Maillage optimisé dans le domaine épithermique;
- En dessous de 22,5eV, le SHEM est suffisamment fin (188g) -> pas d'autop.

Maillage SHEM361

- Raffinement entre 27,6 eV et 3 keV;
- Utilisable pour les calculs utilisant la **méthode des sous-groupes (SPM)**.

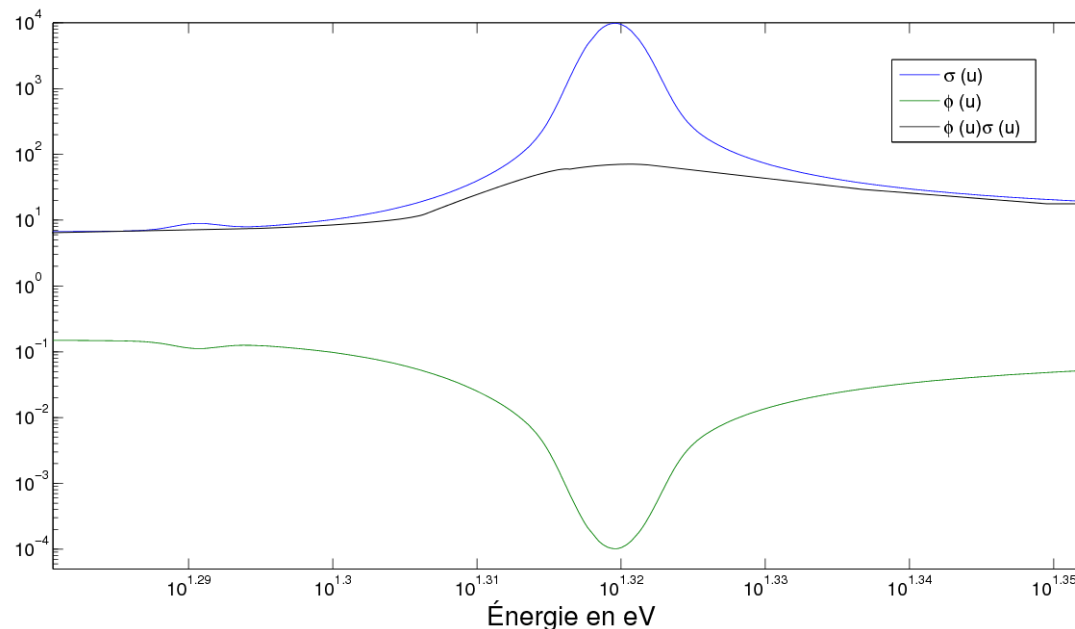


Maillage SHEM295

- Maillage optimisé avec autop. à partir de 4,63 eV;
- Relâchement entre 22,5 eV et 4,63 eV et raffinement entre 27,6 eV et 3 keV;
- Utilisable pour les calculs utilisant la **méthode des sous-groupes (SPM)**.

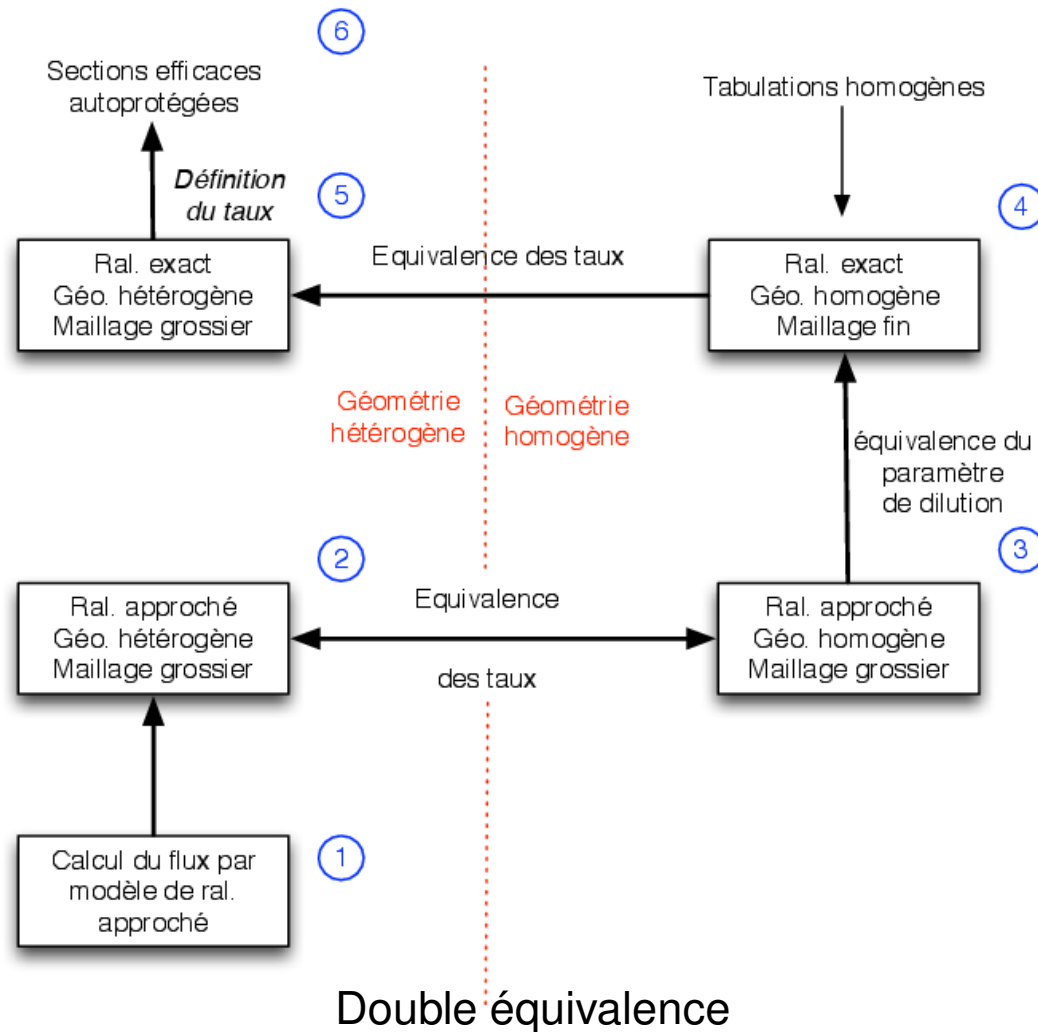
Principe d'autoprotection

- Discrétisation énergétique: Flux de pondération "représentatif" fonction de E;
- Représentation possible dans les cas où les XS sont constantes au sein d'un groupe;
- Modélisation fausse pour les isotopes résonants -> Autoprotection des résonances;
- XS autoprotégée: $\tilde{\sigma}_{\rho,g} = \mu_g \frac{\langle \sigma_{\rho} \phi \rangle_g}{\langle \phi \rangle_g}$.



Phénomène d'autoprotection

Autoprotection des résonances Sanchez-Coste



Autoprotection des résonances en sous-groupes - AP2

Conditions: Maillage relativement fin (source varie lentement sur le groupe g).

Les structures résonantes des XS sont décorréliées des sources

1. Équation de ralentissement avec source externe (*Pas de ralentissement approché.*)

$$\Sigma(u)V\Phi(u) = P(u)V(R\Phi(u) + S(u)) \quad (2)$$

2. Formules de la valeur moyenne du flux et des taux de réactions

$$\forall i \langle \Phi_i \rangle = \sum_j \frac{V_j}{V_i} \langle \frac{P_{ij}}{\Sigma_i} \rangle \langle \tau_j \rangle \text{ sur } g \quad (3)$$

$$\forall i \langle \sigma_{\rho,x,i} \Phi_i \rangle = \sum_j \frac{V_j}{V_i} \langle \sigma_{\rho,x,i} \frac{P_{ij}}{\Sigma_i} \rangle \langle \tau_j \rangle \text{ sur } g \quad (4)$$

3. Expression des taux de collision / Système triangulaire en fonction de l'énergie

$$\begin{aligned} \langle \tau_j \rangle^g &= \frac{1}{\Delta U} \sum_{g' \leq g} p_{x,\infty}^{g' \rightarrow g} \Delta u^{g'} \sum_k \frac{V_k}{V_j} \langle \Sigma_{s,x,j} \frac{P_{jk}}{\Sigma_j} \rangle^{g'} \langle \tau_k \rangle^{g'} \\ &+ \frac{1}{\Delta u} \sum_{g' \leq g} \Sigma_{s1j}^{g' \rightarrow g} \Delta u^{g'} \Sigma_k \frac{V_k}{V_j} \langle \frac{P_{jk}}{\Sigma_j} \rangle^{g'} \langle \tau_k \rangle^{g'} + \langle S_j \rangle^g \end{aligned} \quad (5)$$

4. Calcul des intégrales $\langle \frac{P_{ij}}{\Sigma_i} \rangle$ et $\langle \Sigma_{s,x,j} \frac{P_{jk}}{\Sigma_j} \rangle$ par ...

... des quadratures de tables de probabilités

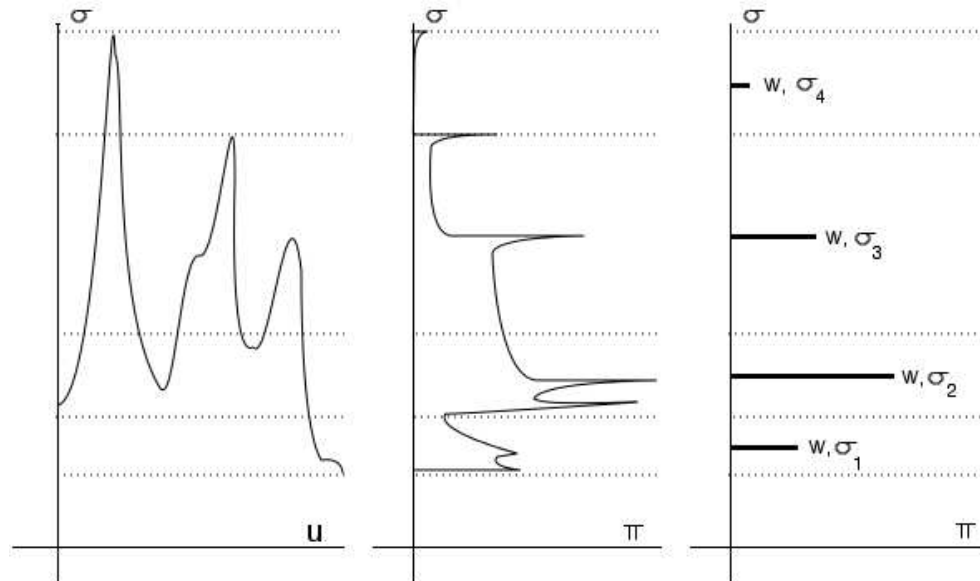
$\langle \frac{P_{ij}}{\Sigma_i} \rangle$ et $\langle \Sigma_{s,x,j} \frac{P_{jk}}{\Sigma_j} \rangle$ sont de la forme $\frac{1}{\Delta u_g} \int_{u_{g-1}}^{u_g} du f[\sigma(u)]$.

Passage d'une intégrale de Riemann à une intégrale de Lebesgue:

$$\frac{1}{\Delta u_g} \int_{u_{g-1}}^{u_g} du f[\sigma(u)] = \int_0^{max(\sigma)} d\sigma \Pi(\sigma) f(\sigma)$$

En exprimant la densité de probabilité par une série de pics de Dirac (ie. les sous-groupes):

$$\int_0^{max(\sigma)} d\sigma \Pi(\sigma) f(\sigma) = \sum_{k=1}^K \omega_k f(\sigma_k) \text{ avec des } \omega_k \text{ prétabulés.}$$



Différentes représentations d'une section efficace.

5. Calcul des taux moyens de collision, puis de la valeur moyenne du flux et des taux de réaction

6. Calcul des sections autoprotégées: $\tilde{\sigma}_{\rho,x,i}^g = \frac{\langle \sigma_{\rho,x,i} \phi_i \rangle^g}{\langle \phi_i \rangle^g}$

- Pas d'approximation de l'équation du ralentissement;
- Pas de formalisme Livolant-Jeanpierre;
- S-C: Découplage du flux non valide dans les domaines thermique et épithermique;
- Autoprotection des mélanges non nécessaire pour les sous-groupes.

Autoprotection des résonances en sous-groupes: D5

Conditions: Similaires à l'autoprotection en sous-groupes d'APOLLO2 + Formalisme

Livolt-Jeanpierre.

1. Équation de ralentissement avec source externe

$$\vec{\Omega} \cdot \nabla \varphi(\vec{r}, u, \vec{\Omega}) + \Sigma(\vec{r}, u) \varphi(\vec{r}, u, \vec{\Omega}) = \frac{1}{4\pi} [\Sigma_{1,s}(\vec{r}, u) + N_x(\vec{r}) \vec{r} \{ \phi(\vec{r}, u) \}] \quad (6)$$

avec $N_x(\vec{r})$: densité de l'isotope résonant en $\vec{r}$ et $\vec{r} \{ \phi(\vec{r}, u) \}$ l'opérateur microscopique de ralentissement de l'isotope lourd.

2. En se basant sur le modèle statistique ST, on a:

$$\vec{r} \{ \phi(\vec{r}, u) \} = \langle \sigma_{s,x}(\vec{r}) \phi(\vec{r}) \rangle_g \quad \text{si } u_{g-1} \leq u \leq u_g \quad (7)$$

3. Soit $\varphi_k(\vec{r})$ comme le flux dépendant de l'espace dans le sous-groupe k , ce qui donne:

$$\vec{\Omega} \cdot \nabla \varphi_k(\vec{r}, \vec{\Omega}) + [\Sigma_1(\vec{r}) + \Sigma_k(\vec{r})] \varphi_k(\vec{r}, \vec{\Omega}) = \frac{1}{4\pi} [\Sigma_{1,s}(\vec{r}) + N_x(\vec{r}) \sum_{l=1}^K \omega_l \sigma_{x,s,l}(\vec{r}) \varphi_l(\vec{r})] \quad (8)$$

4. En exprimant par rapport à la source, ce qui permet de le résoudre par la méthode du point fixe:

$$\vec{\Omega} \cdot \nabla \varphi_k^{(n)}(\vec{r}, \vec{\Omega}) + [\Sigma_1(\vec{r}) + \Sigma_k(\vec{r})] \varphi_k^{(n)}(\vec{r}, \vec{\Omega}) - \frac{1}{4\pi} N_x(\vec{r}) \omega_k \sigma_{x,s,k}(\vec{r}) \varphi_k^{(n)}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi} S_k^{(n)} \quad (9)$$

où

$$S_k^{(n)}(\vec{r}) = \Sigma_{1s}(\vec{r}) + N_x(\vec{r}) \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^K \omega_l \sigma_{x,s,l}(\vec{r}) \varphi_l^{(n-1)}(\vec{r}) \quad (10)$$

5. Après intégration du flux et des sections efficaces sur les régions i , on peut calculer les quantités désirées avec les tables de probabilité:

$$\langle \varphi_i \rangle_g = \sum_{k=1}^K \omega_k \varphi_{i,k} \quad (11)$$

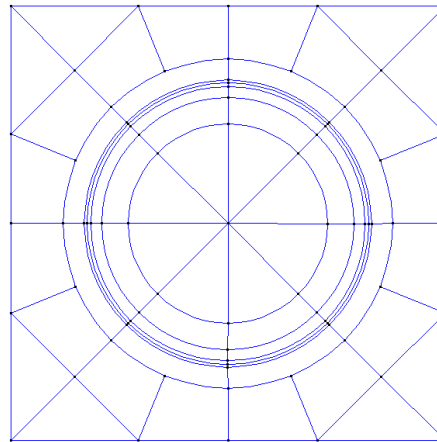
et

$$\langle \sigma_{\rho,i} \varphi_i \rangle_g = \sum_{k=1}^K \omega_k \sigma_{\rho,i,k} \varphi_{i,k} \quad (12)$$

Configuration choisie

Justifiée dans le mémoire de maîtrise

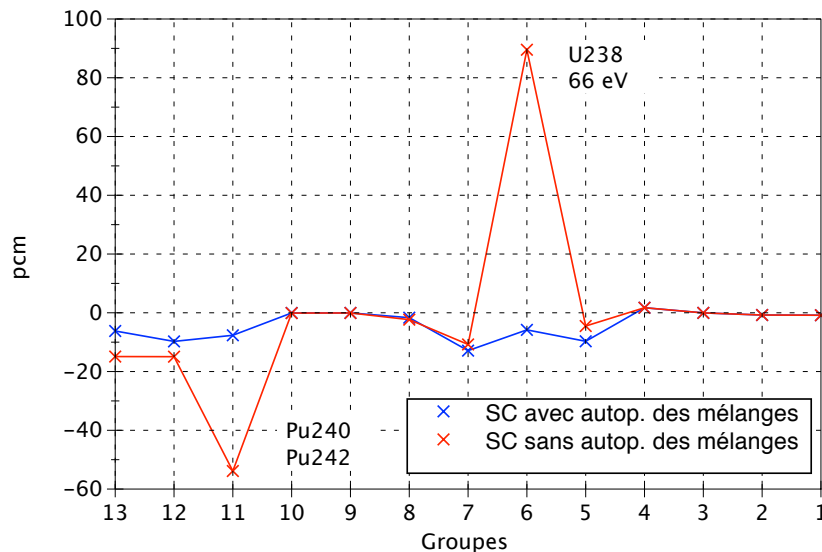
- Autoprotection: Sous-groupe ou Sanchez-Coste;
- Loi de choc: Développement en polynômes de Legendre à l'ordre 3;
- Découpage énergétique: SHEM361 basé sur JEFF3.1.1;
- Modélisation géométrique linéaire du terme source dans le MOC;
- Maillage géométrique: Raffiné (MAV + quadrants).



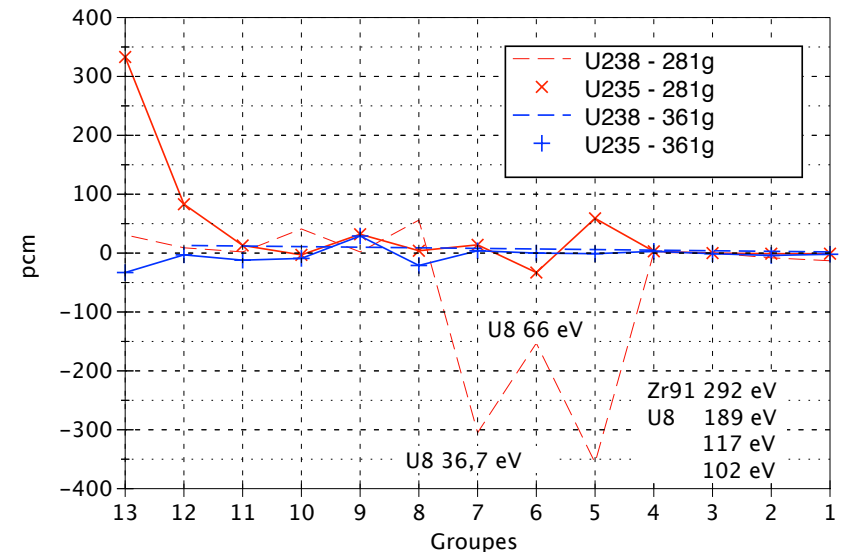
Maillage raffiné d'une cellule REP.

Validation à temps 0 - APOLLO2 2

Préliminaires (1)



(a) Pu240 en Sanchez-Coste



(b) U235/U238 en Sous-groupes

Écarts absolus des taux d'absorption par rapport à TRIPOLI4.

Sanchez-Coste: $\Delta k_{eff}(mel) = -100 pcm$ & $\Delta k_{eff}(sans mel) = -247 pcm$.

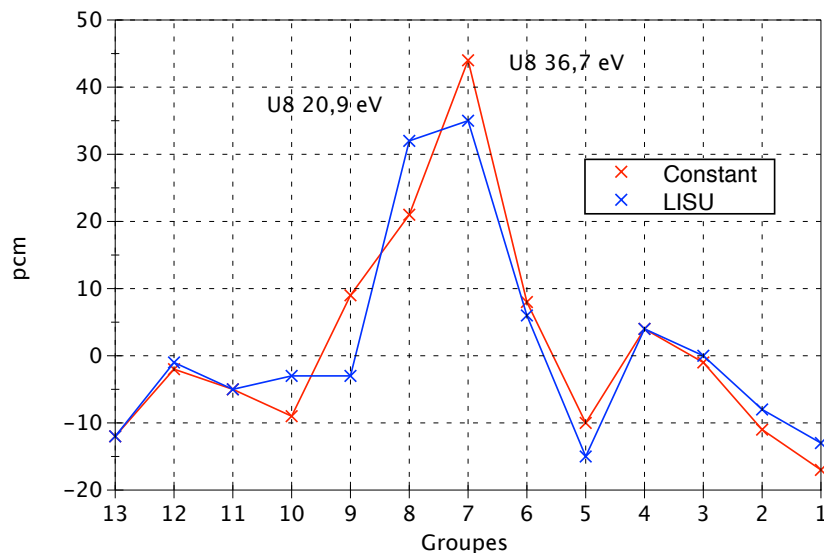
Autoprotection des mélanges fortement recommandée.

Sous-groupes: $\Delta k_{eff}(361g) = -104 pcm$ & $\Delta k_{eff}(281g) = 836 pcm$ & $\Delta t = 93\%$.

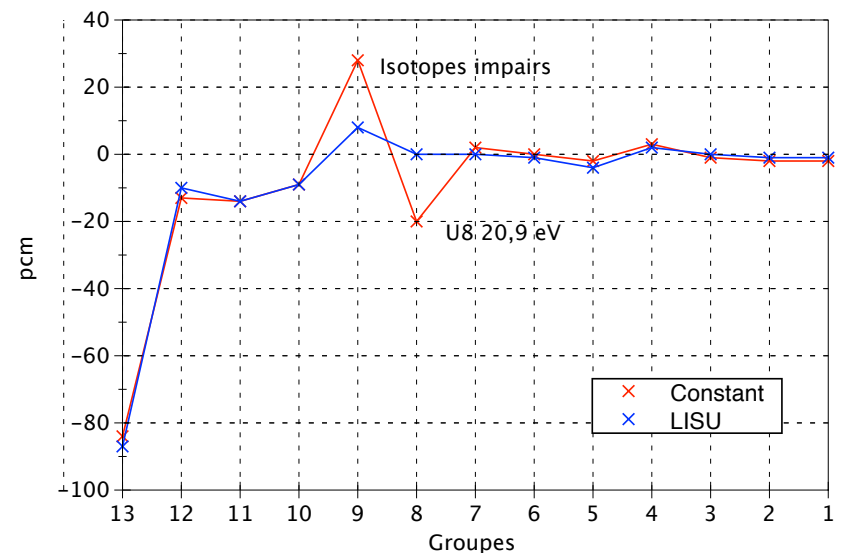
SHEM361 obligatoire.

Validation à temps 0 - APOLLO2 3

Préliminaires (2)



(a) U238



(b) U235

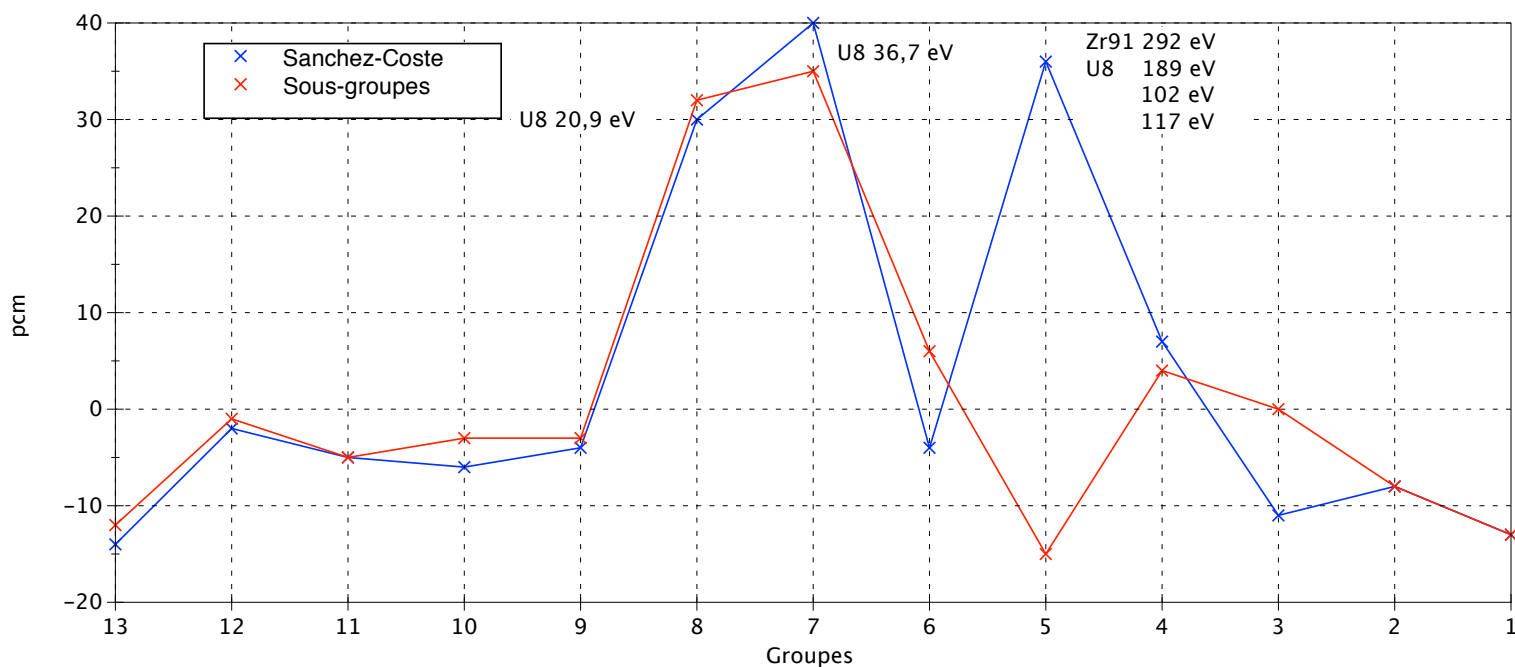
Écarts absolus des taux d'absorption par rapport à TRIPOLI4.

Modélisation de la source: $\Delta k_{eff}(LISU) = -104 \text{ pcm}$ & $\Delta k_{eff}(Constant) = -84 \text{ pcm}$ & $\Delta t = 126\%$.

Corrections principales dans le domaine thermique du H1 et B10.

Validation à temps 0 - APOLLO2 4

Cas *UOX* (1)



Écarts absolus du taux d'absorption de l'U238 UOX.

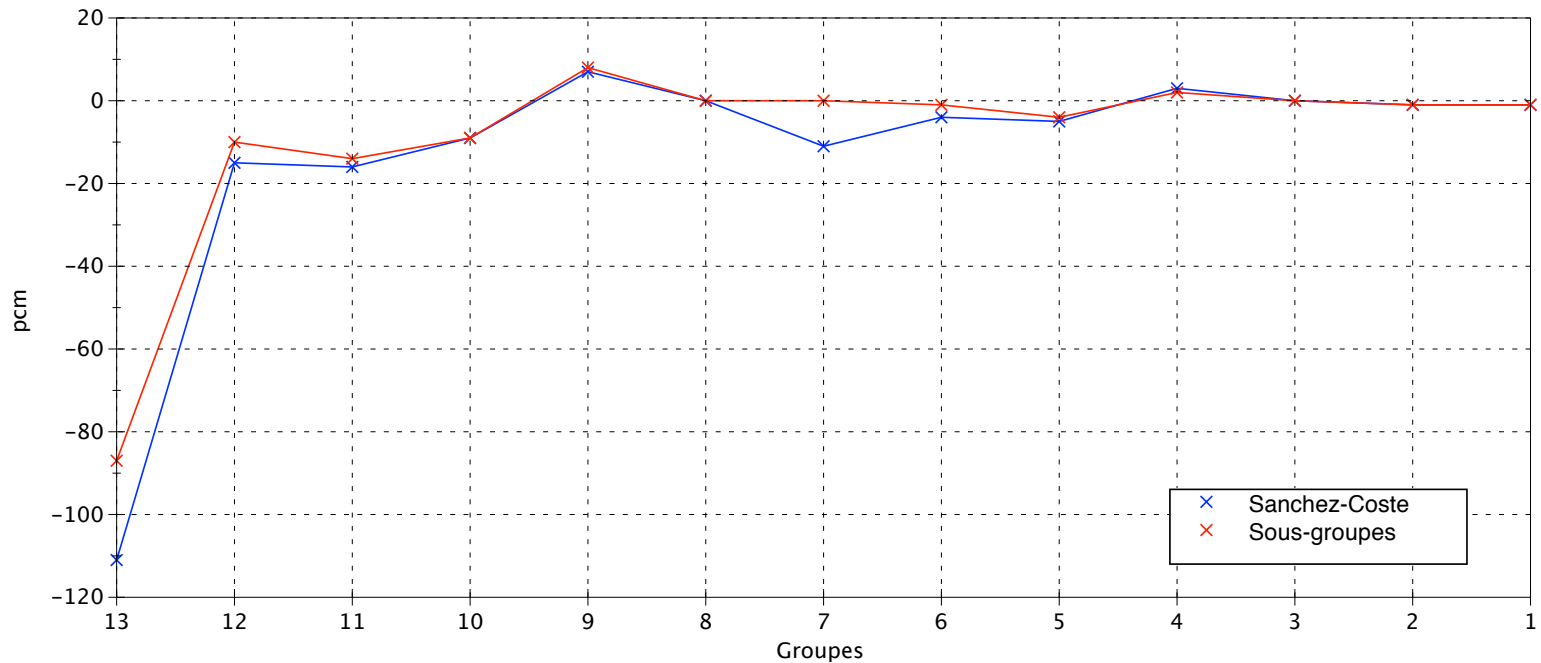
Temps d'exécution:

Sous-groupes: 1800 s dont 30 s pour l'autoprotection (+28%)

Sanchez-Coste: 1400 s dont 12 s pour l'autoprotection

Validation à temps 0 - APOLLO2 5

Cas UOX (2)



Écarts absolus du taux d'absorption de l' U^{235} UOX.

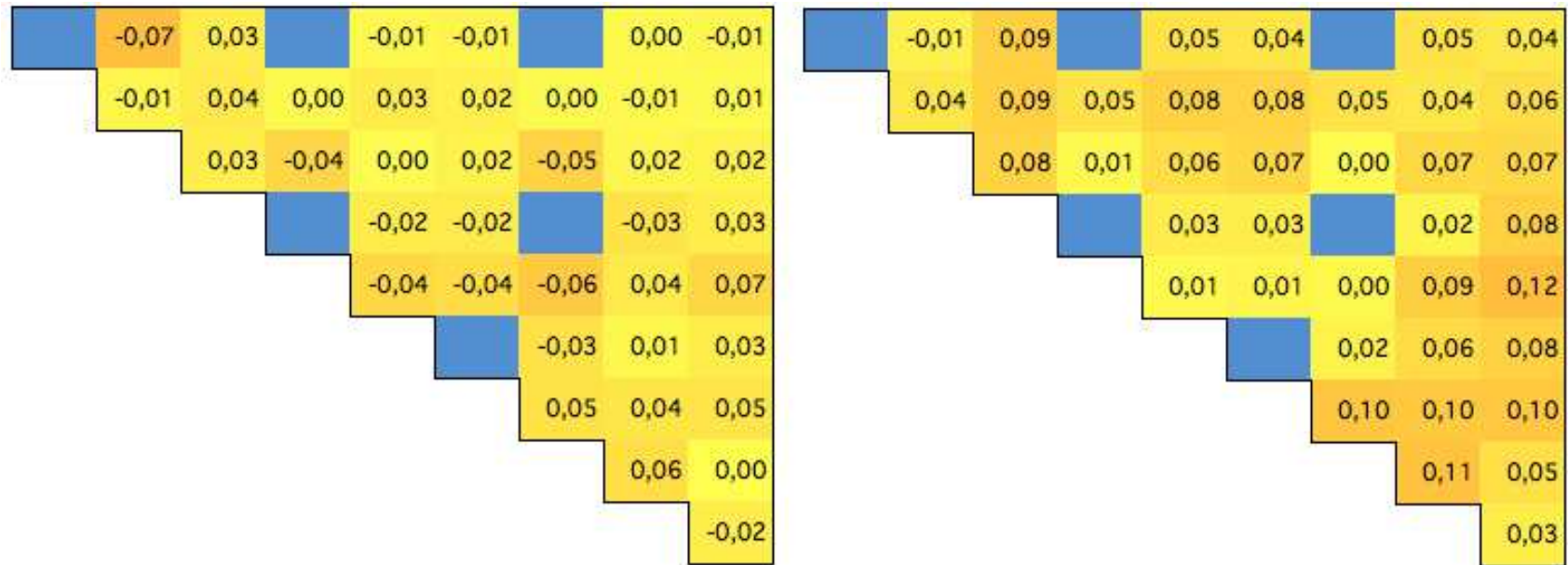
	χ	ϵ_{pair}	ϵ_{impair}	p	f	η	k_{eff}
Sous-groupes	7	-12	9	-109	-6	7	-104
Sanchez-Coste	7	-8	2	-157	-7	9	-154

Formule des six facteurs comparés à TRIPOLI4 (pcm).

Validation à temps 0 - APOLLO2 6

Cas UOX (3)

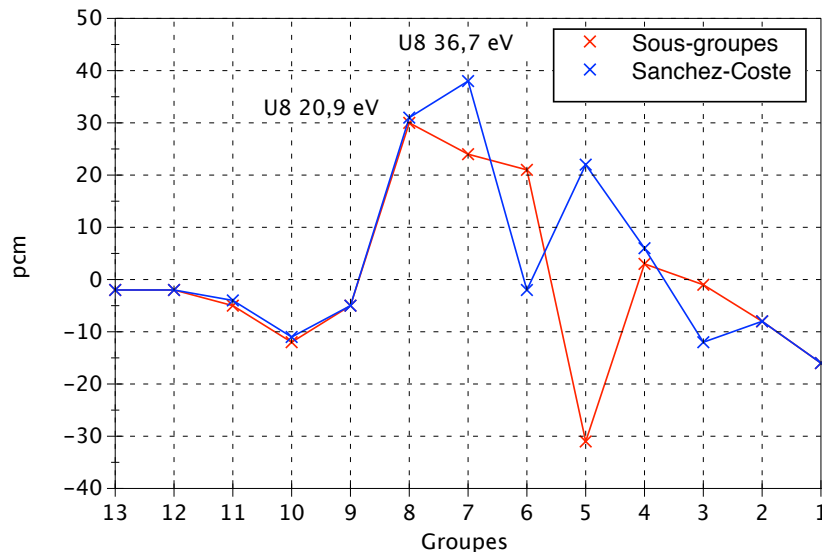
Nappe normalisée du taux de fission en %.



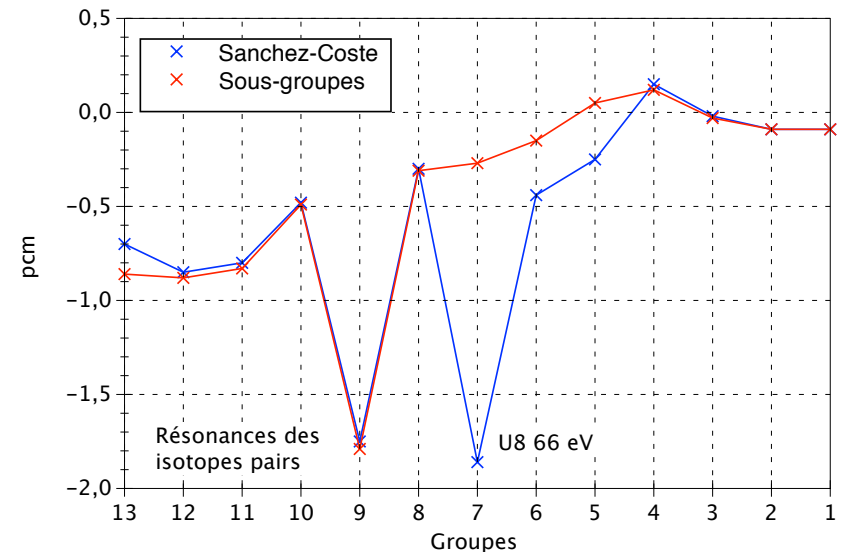
À gauche, Sanchez-Coste, à droite, sous-groupes.

Validation à temps 0 - APOLLO2 7

Cas *MOX* (1)



(a) U238



(b) U235

Étude des taux d'absorption.

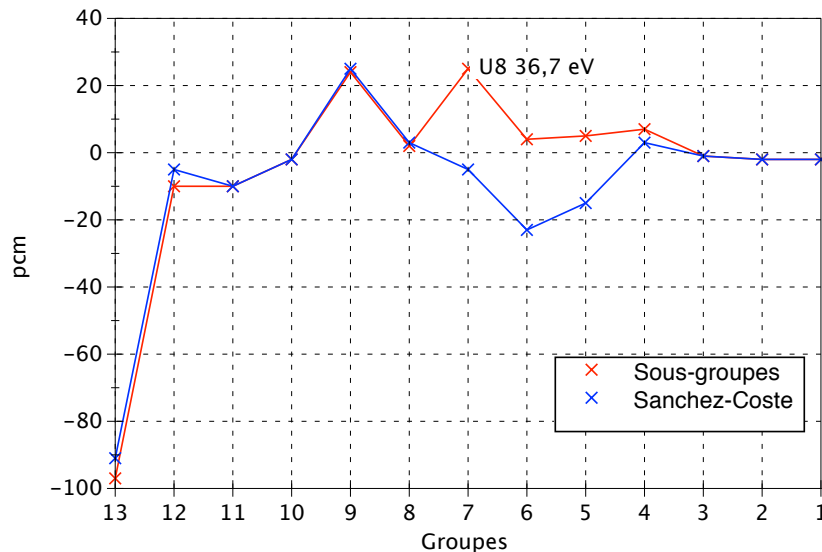
Temps d'exécution:

Sous-groupes: 1500 s dont 23 s pour l'autoprotection (+45%)

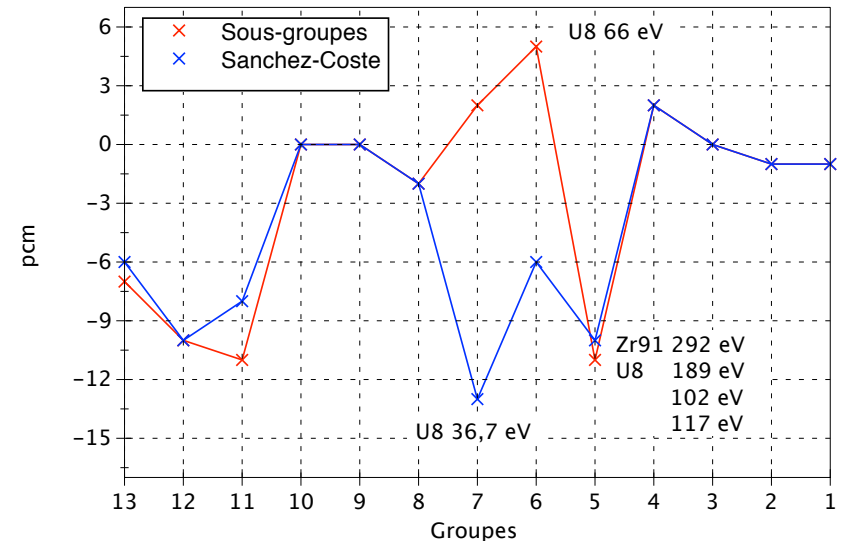
Sanchez-Coste: 1034 s dont 11 s pour l'autoprotection

Validation à temps 0 - APOLLO2 8

Cas *MOX* (2)



(a) Pu239



(b) Pu240

Étude des taux d'absorption.

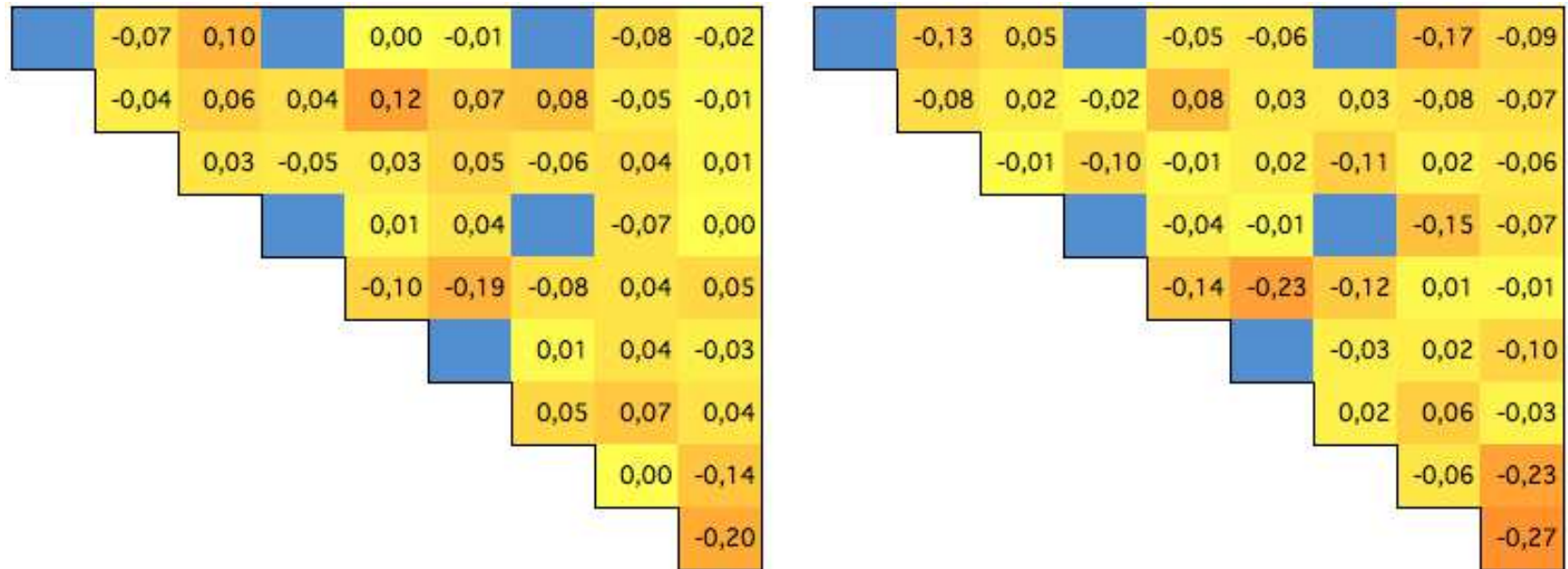
	χ	ϵ_{pair}	ϵ_{impair}	p	f	η	k_{eff}
Sous-groupes	63	-24	80	-215	-21	21	-96
Sanchez-Coste	63	-21	47	-202	-21	21	-113

Formule des six facteurs comparés à TRIPOLI4 (*pcm*).

Validation à temps 0 - APOLLO2 9

Cas *MOX* (3)

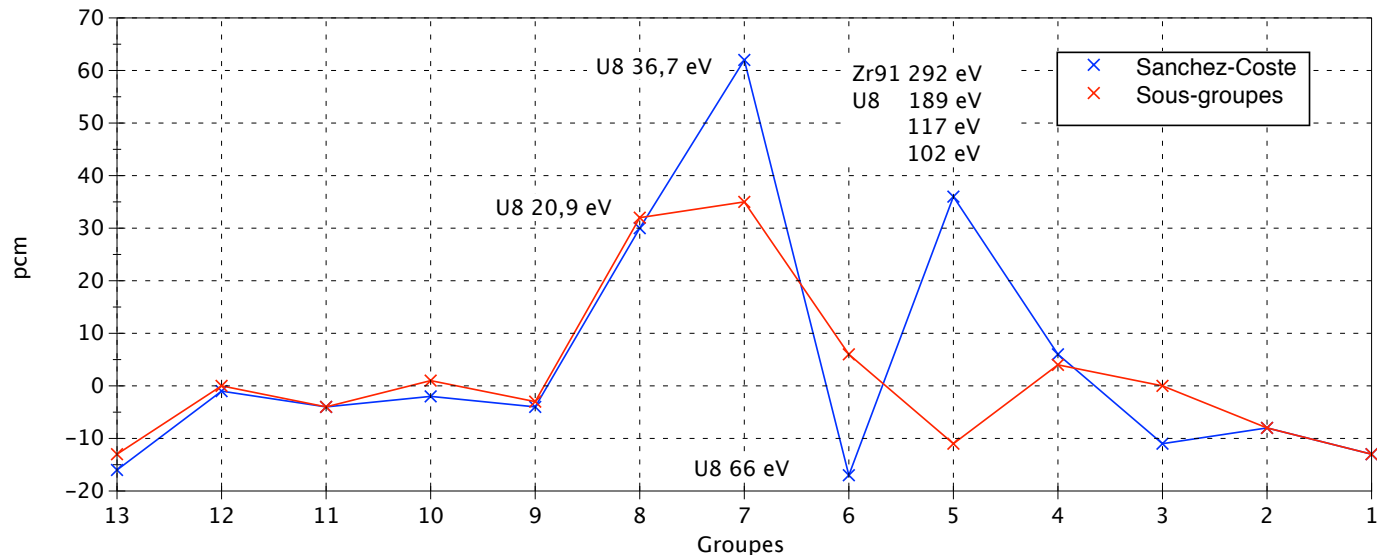
Nappe normalisée du taux de fission en %.



À gauche, Sanchez-Coste, à droite, sous-groupes.

Validation à temps 0 - APOLLO2 10

Cas $UO_2Gd_2O_3$ (1)



Étude du taux d'absorption de l'U238 pour l'UOX gadoliné.

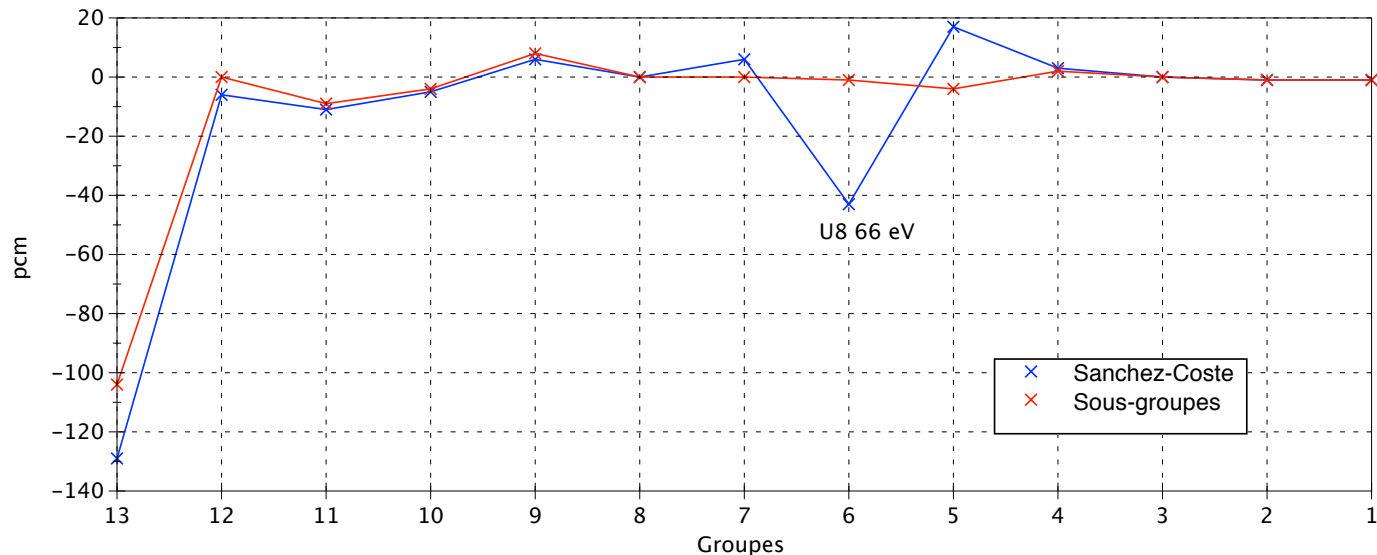
Temps d'exécution:

Sous-groupes: 1550 s dont 120 s pour l'autoprotection (+19%)

Sanchez-Coste: 1300 s dont 30 s pour l'autoprotection

Validation à temps 0 - APOLLO2 11

Cas $UO_2Gd_2O_3$ (2)



Étude du taux d'absorption de l'U235 pour l'UOX gadoliné.

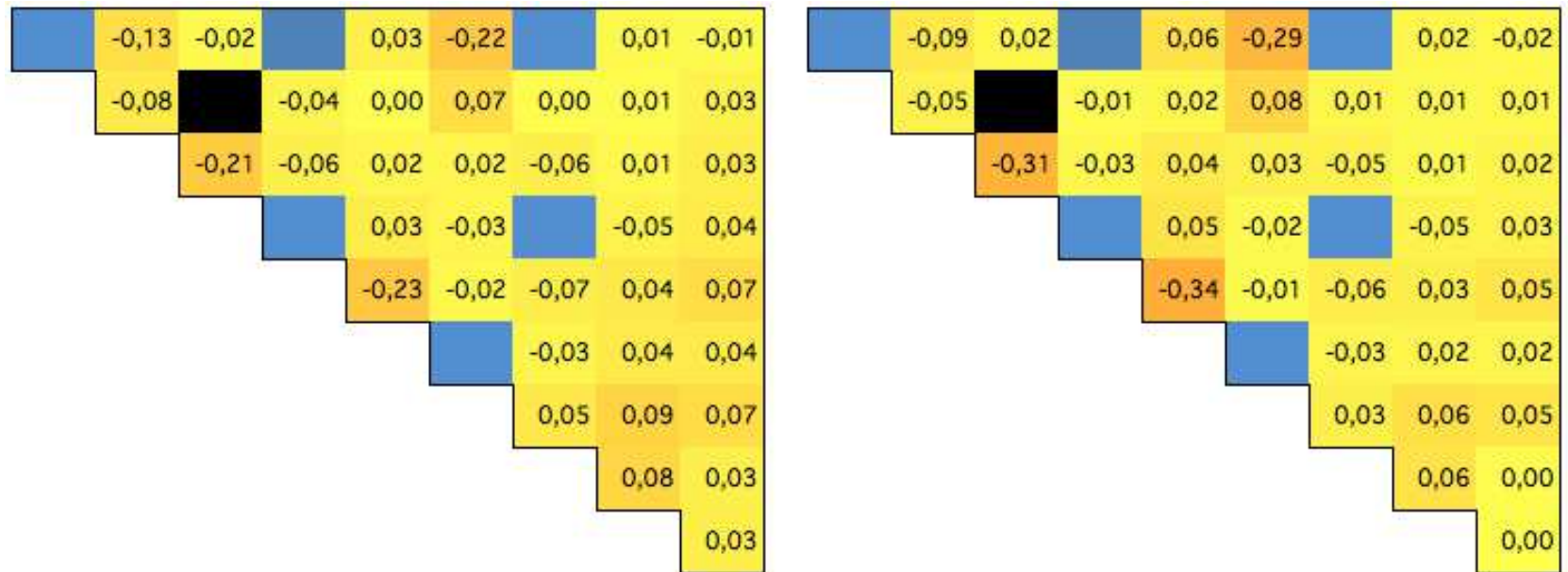
	χ	ϵ_{pair}	ϵ_{impair}	p	f	η	k_{eff}
Sous-groupes	80	-12	19	-152	-42	-18	-125
Sanchez-Coste	80	-6	21	-240	-42	-15	-202

Formule des six facteurs comparés à TRIPOLI4 (*pcm*).

Validation à temps 0 - APOLLO2 12

Cas $UO_2Gd_2O_3$ (3)

Nappe normalisée du taux de fission en %.



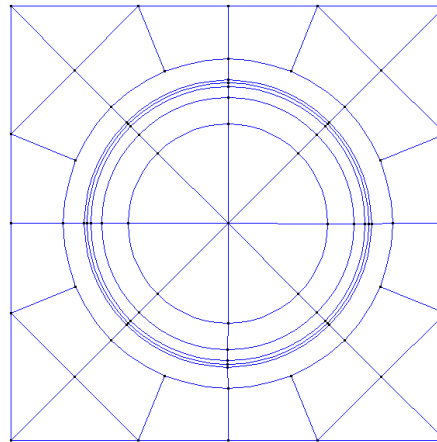
À gauche, Sanchez-Coste, à droite, sous-groupes.

Validation à temps 0 - DRAGON5 1

Configuration choisie

Justifiée dans le mémoire de maîtrise

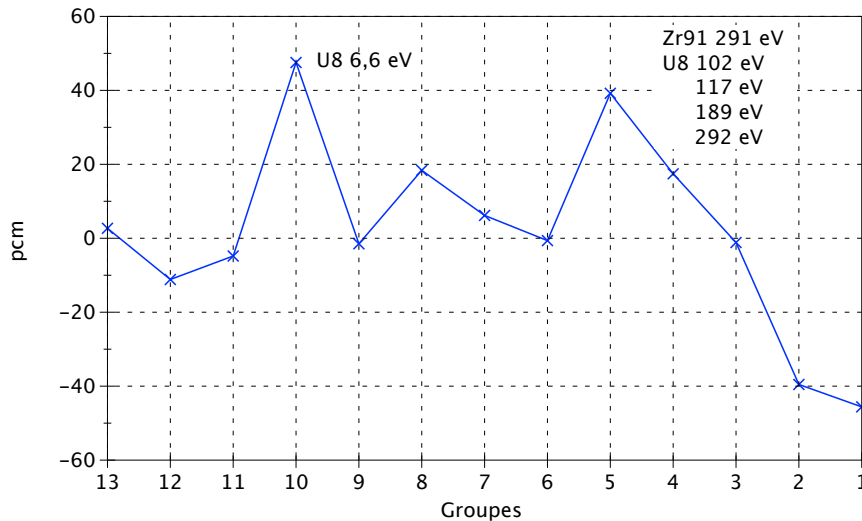
- Autoprotection: *Subgroup Projection Method*;
- Loi de choc: Développement en polynômes de Legendre à l'ordre 3;
- Découpage énergétique: SHEM295 basé sur JEFF3.1.1 (DRAGLIB);
- Modélisation spatiale constante du terme source dans le MOC;
- Maillage géométrique: Raffiné (MAV + quadrants).



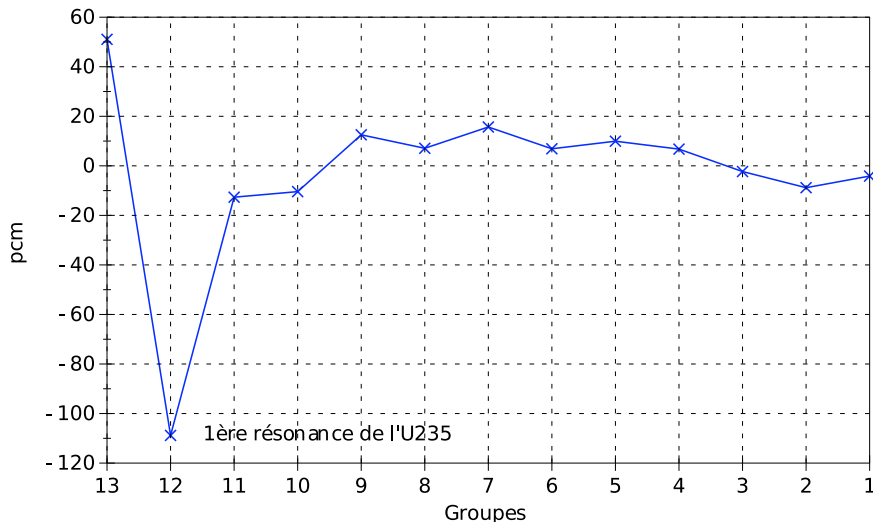
Maillage raffiné d'une cellule REP.

Validation à temps 0 - DRAGON5 2

Cas UOX



Taux d'absorption de l'U238.



Taux d'absorption de l'U235.

	0,07	0,07		0,09	0,18		0,19	-0,05
	-0,12	-0,11	0,10	-0,10	-0,07	0,15	-0,03	0,01
		-0,11	0,08	-0,07	-0,07	0,18	-0,04	-0,01
				0,21	0,18		0,18	0,03
				-0,06	0,17	0,17	-0,01	0,16
						0,22	0,09	0,03
						-0,02	0,11	0,12
							-0,04	0,10
								0,16

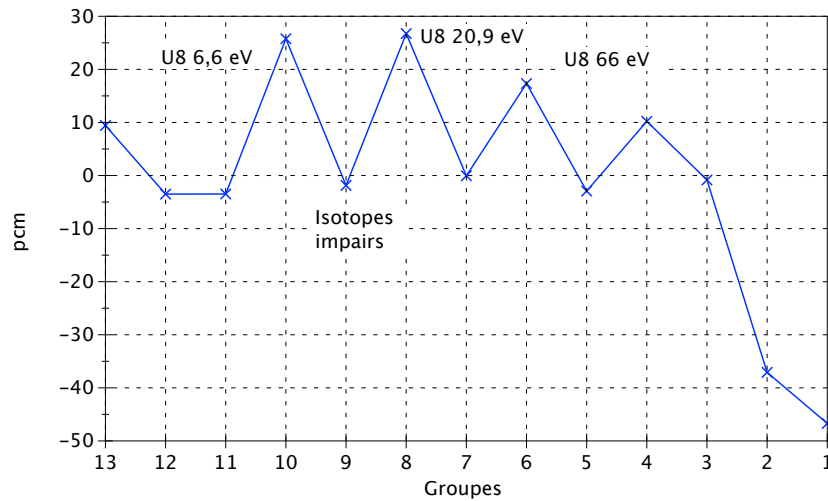
Temps d'exécution: 334 min

Résultats acceptables sauf pour les groupes 12/13.

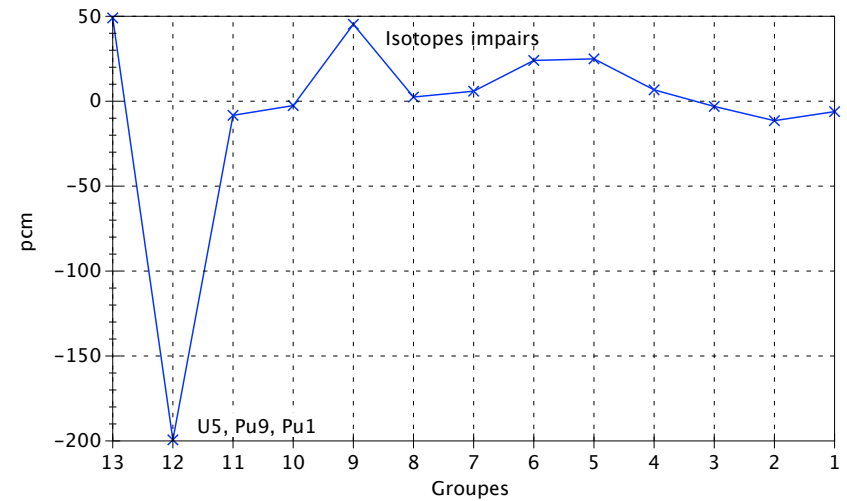
Écart k_{eff} : $-300 pcm$

Validation à temps 0 - DRAGON5 3

Cas *MOX* (1)



(a) U238

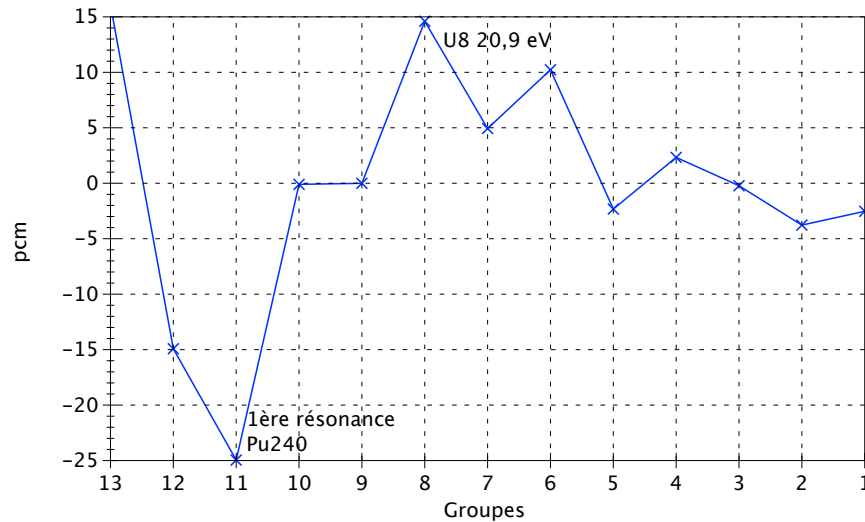


(b) Pu239

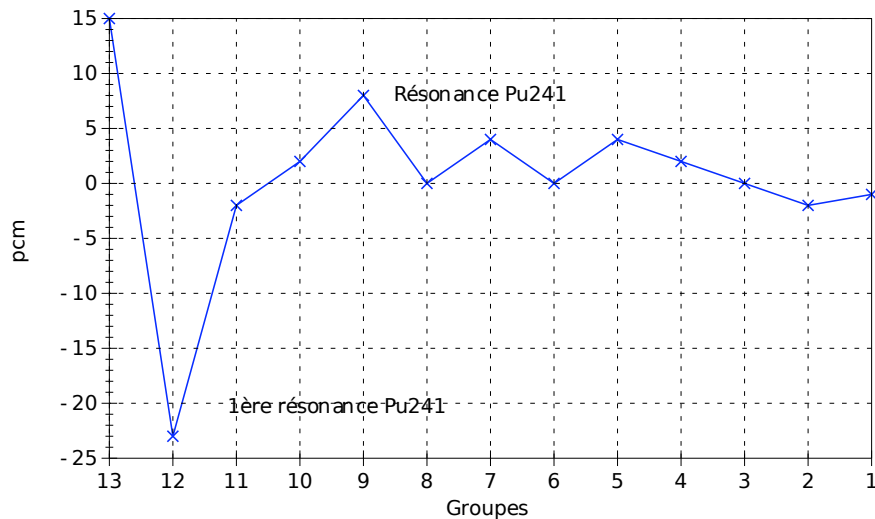
Étude des taux d'absorption.

Validation à temps 0 - DRAGON5 4

Cas *MOX* (2)



Taux d'absorption du Pu240.



Taux d'absorption du Pu241.

	0,32	0,26		0,23	0,32		0,22	-0,18
	-0,17	-0,18	0,30	-0,21	-0,24	0,17	-0,31	0,06
		-0,21	0,24	-0,19	-0,26	0,21	-0,28	0,02
				0,44	0,25		0,28	-0,06
				-0,51	0,00	0,00	-0,33	0,22
					0,32	-0,07	-0,14	
					-0,59	-0,03	-0,03	
						-0,36	-0,03	
							0,17	

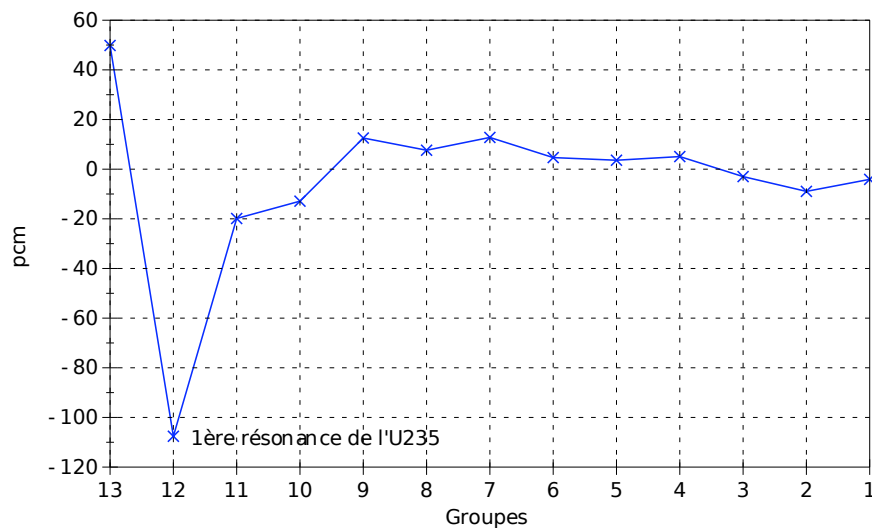
Temps d'exécution: 424 min.

Diverses compensations. On retrouve toujours les écarts dans les groupes thermiques.

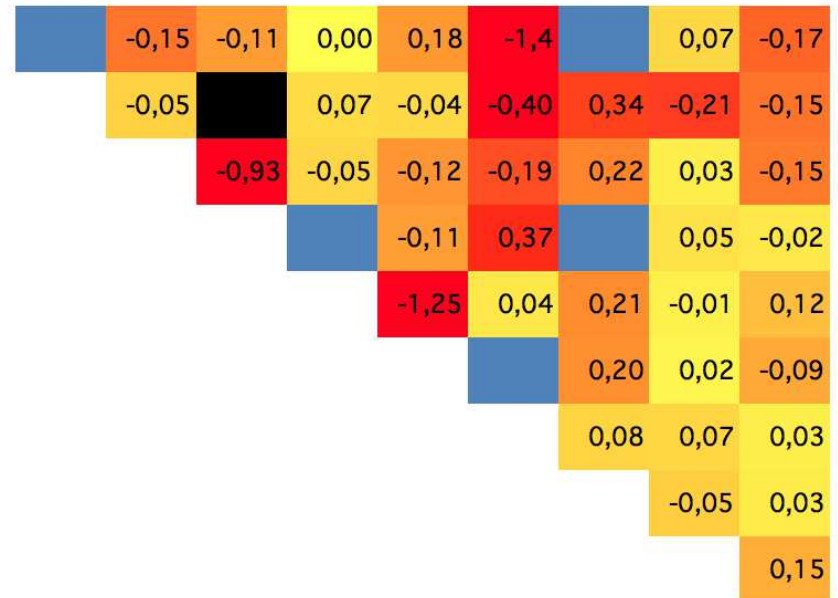
Écart k_{eff} : $-262 pcm$

Validation à temps 0 - DRAGON5 5

Cas $UO_2Gd_2O_3$



(a) Absorption U235.



(b) Taux de fission.

Écart k_{eff} : 6 pcm

Compensations importantes liées à la sous-estimation du flux thermique.

Récapitulatif à temps 0

1

k_{eff} des différents cas avec TRIPOLI4, APOLLO2, DRAGON5.

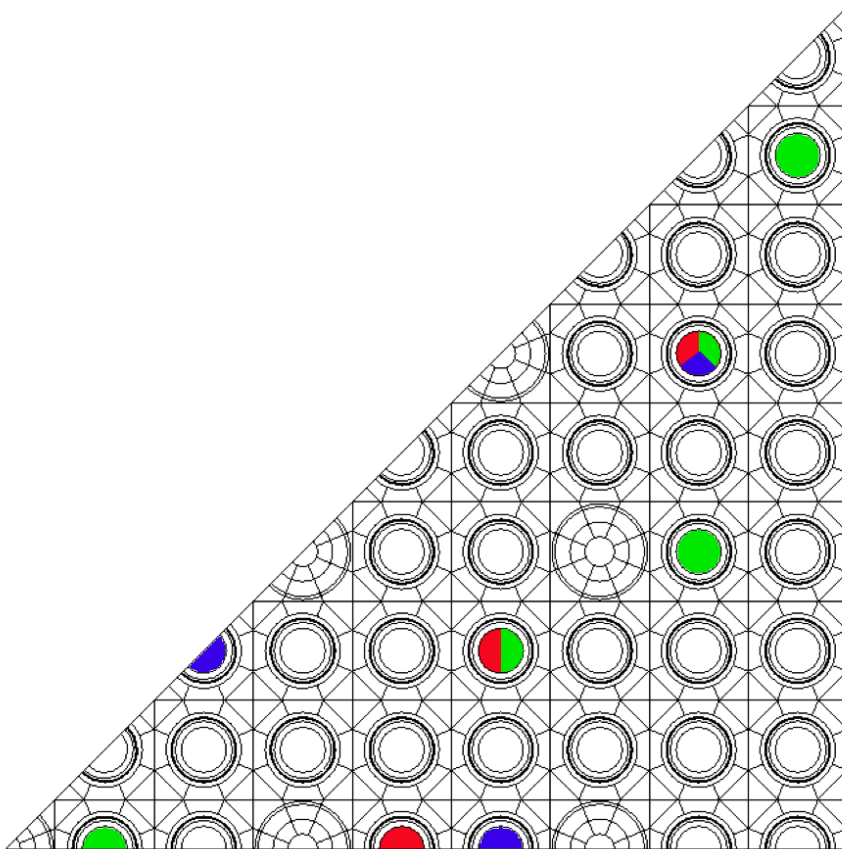
	UOX	MOX	UO ₂ Gd ₂ O ₃
TRIPOLI4	1,32334	1,12484	1,17320
DRAGON5	1,32034	1,12153	1,17299
AP2 SSG	1,32196	1,12377	1,17176
AP2 SC	1,32128	1,12360	1,17085

De manière générale, APOLLO2 couplé à la méthode des sous-groupes présente les meilleurs résultats. Sous-absorption caractéristique du domaine thermique différente entre les deux codes:

Effet du maillage?

Validation MC en évolution

1



Pastilles étudiées:

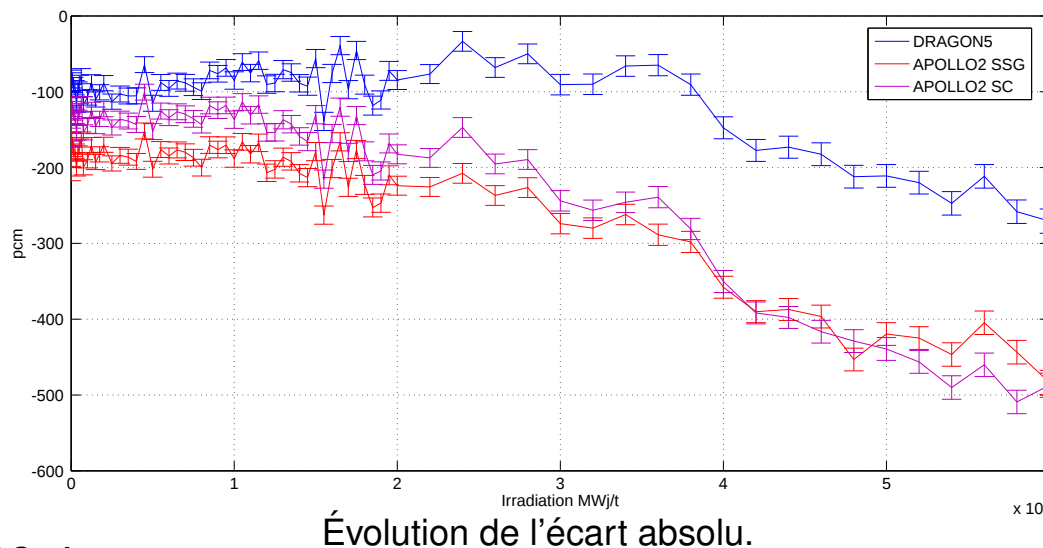
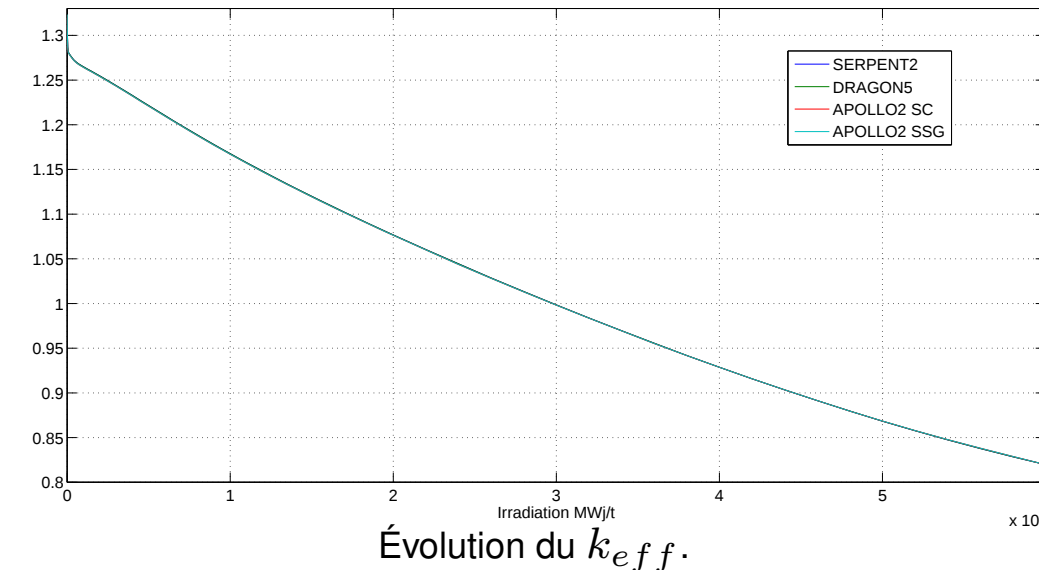
- . Rouge: UOX
- . Vert: MOX
- . Bleu: $UO_2Gd_2O_3$

Résultats DRAGON5 sensiblement similaires à ceux d'APOLLO2.

Étude qualitative et non quantitative.

UOX en évolution

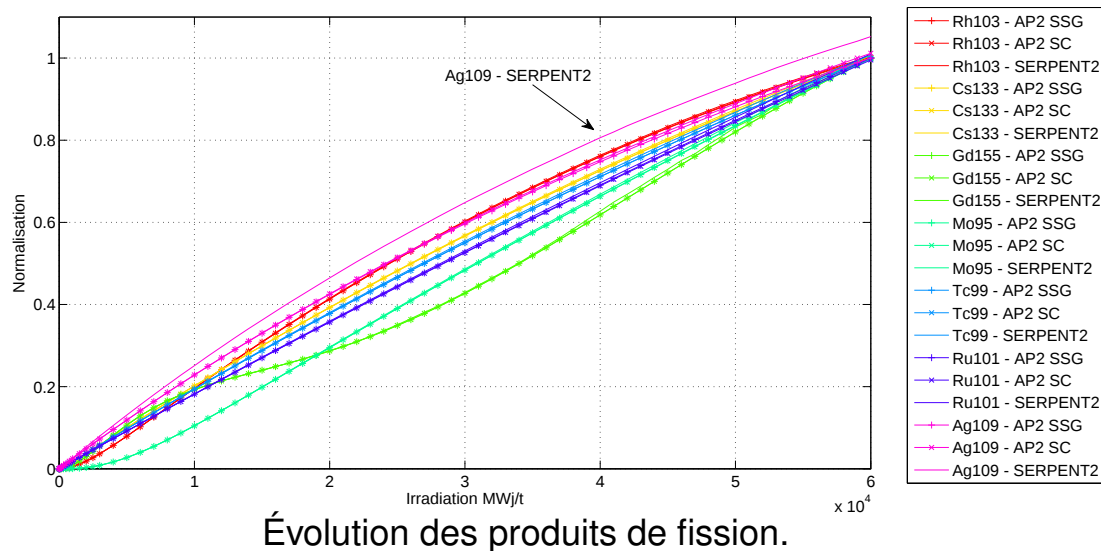
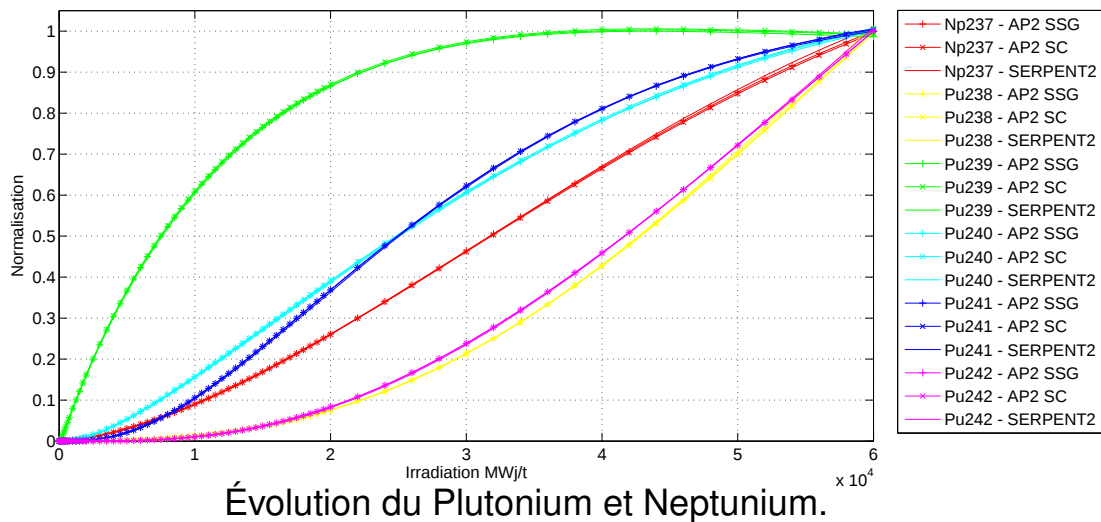
1



- DRAGON5 présente de meilleurs résultats;
- AP2 SSG plus faible déviation;
- AP2 SC plus précis en début d'irradiation.

UOX en évolution

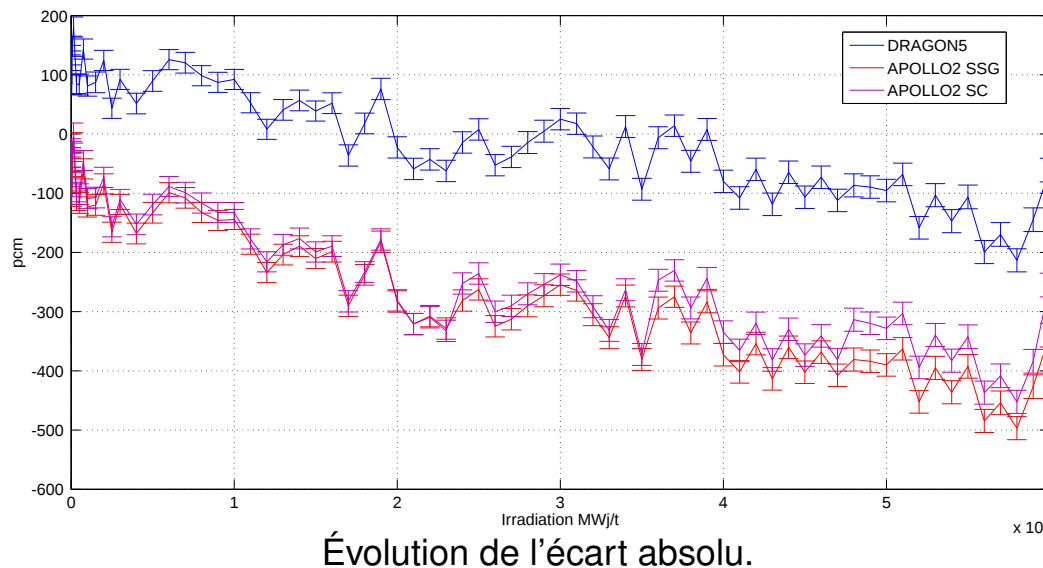
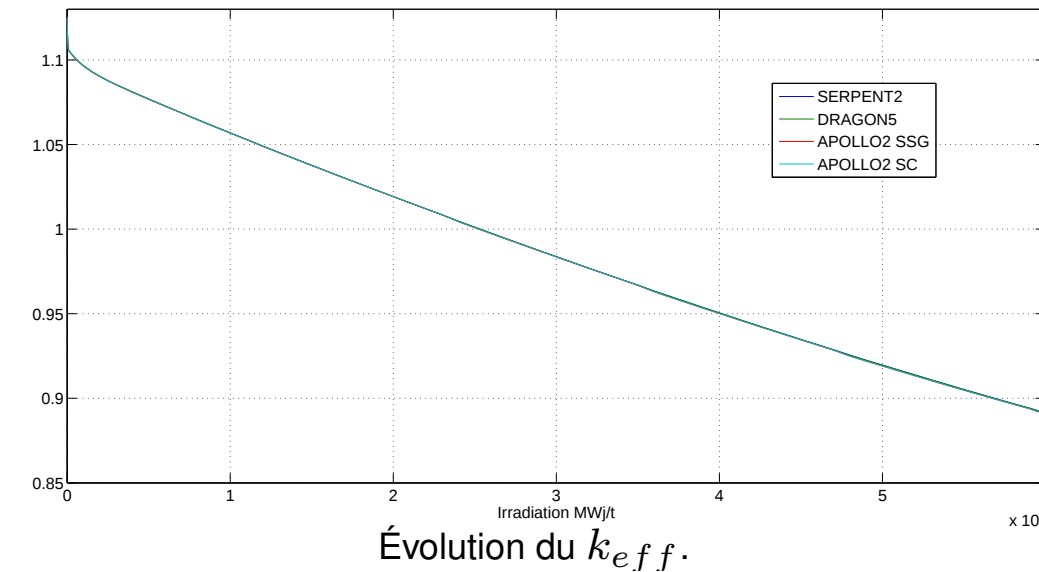
2



- Actinides correctement calculés;
- Erreur Am242m (12 %) -> Rapport d'embranchement;
- PF acceptables sauf Ag109;
- Erreur Sm149 DRAGON5.

MOX en évolution

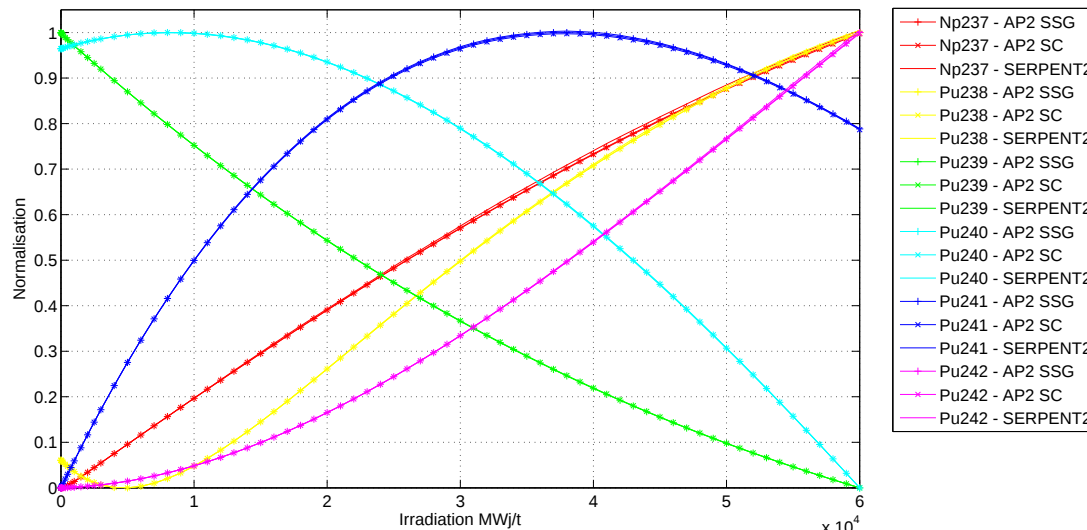
1



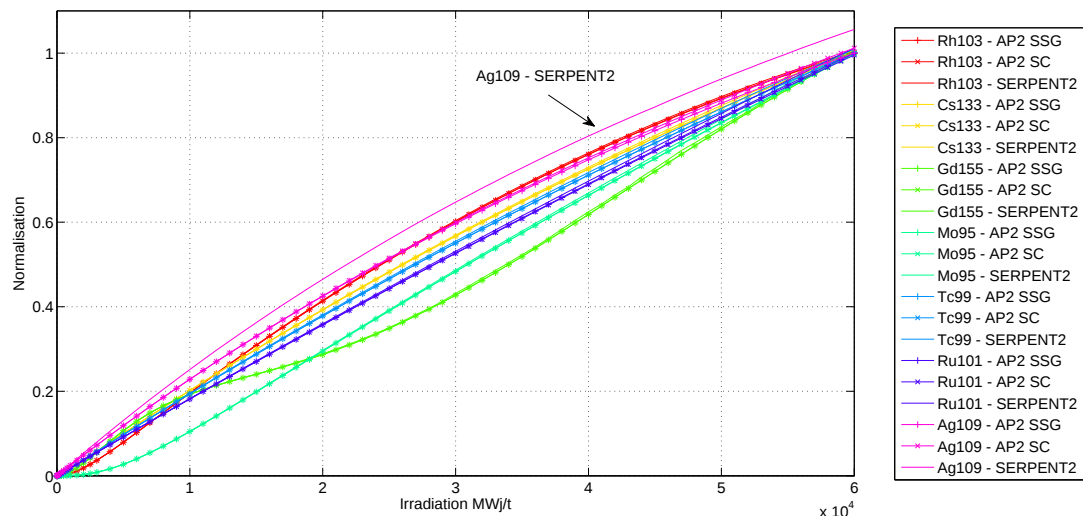
- DRAGON5 présente de meilleurs résultats;
- AP2 SSG même déviation que AP2 SC;
- AP2 SC légèrement plus précis.

MOX en évolution

2



Évolution du Plutonium et Neptunium.

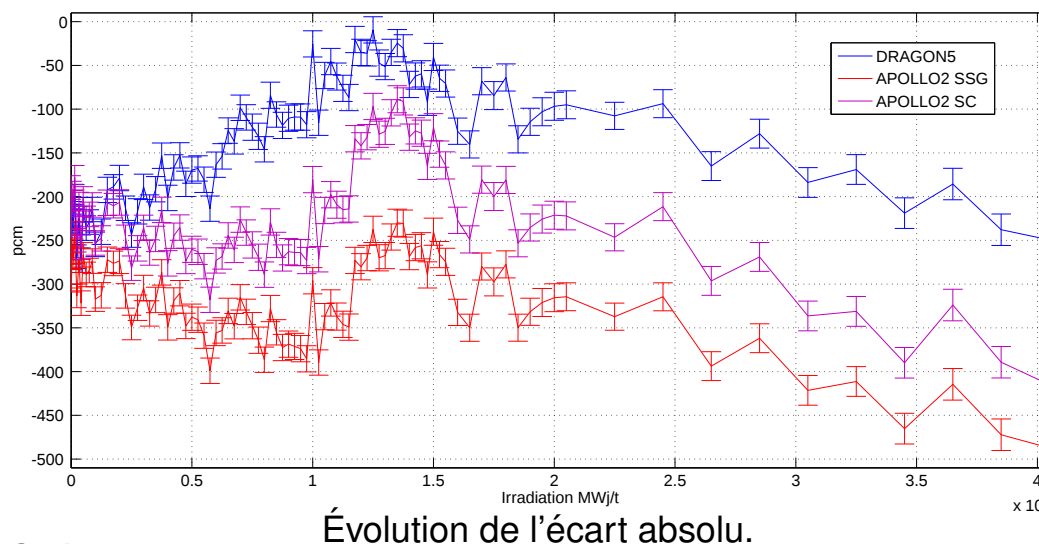
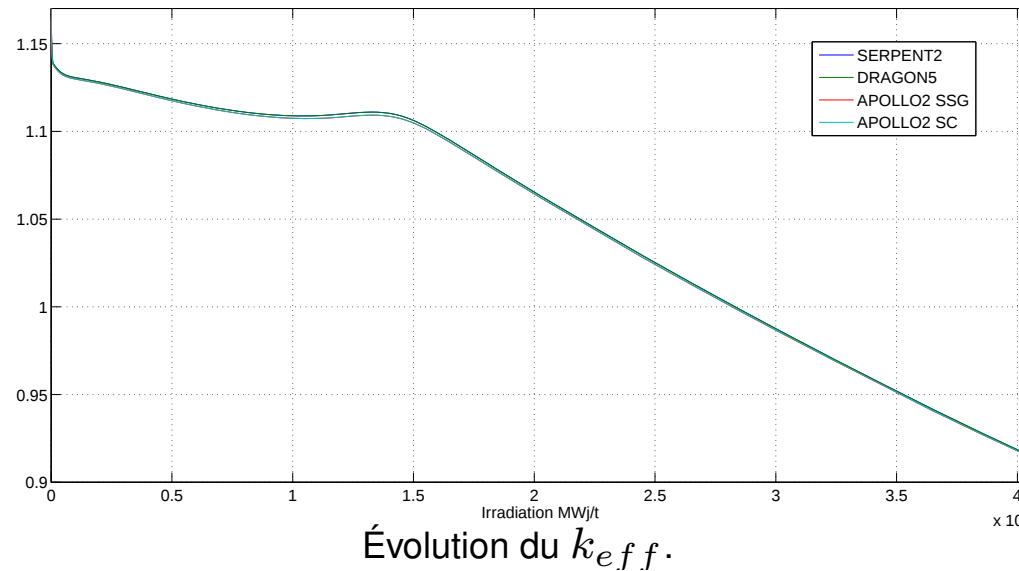


Évolution des produits de fission.

- Actinides bons;
- Divergence de qqs % des Cm et Am;
- Erreur Am242m (12 %) -> Rapport d'embranchement;
- PF corrects sauf Ag109/Sm149.

UO₂Gd₂O₃ en évolution

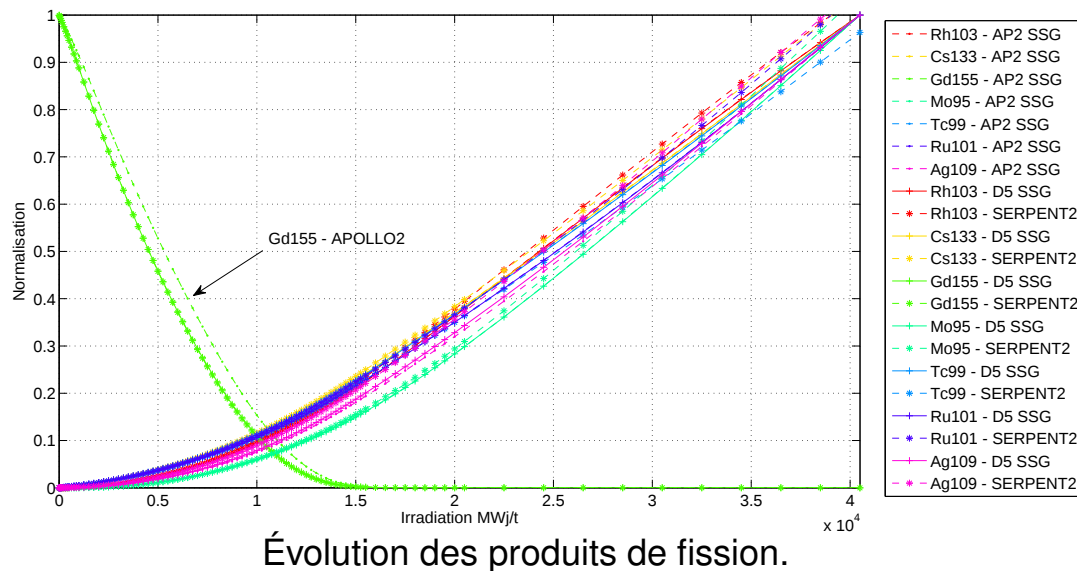
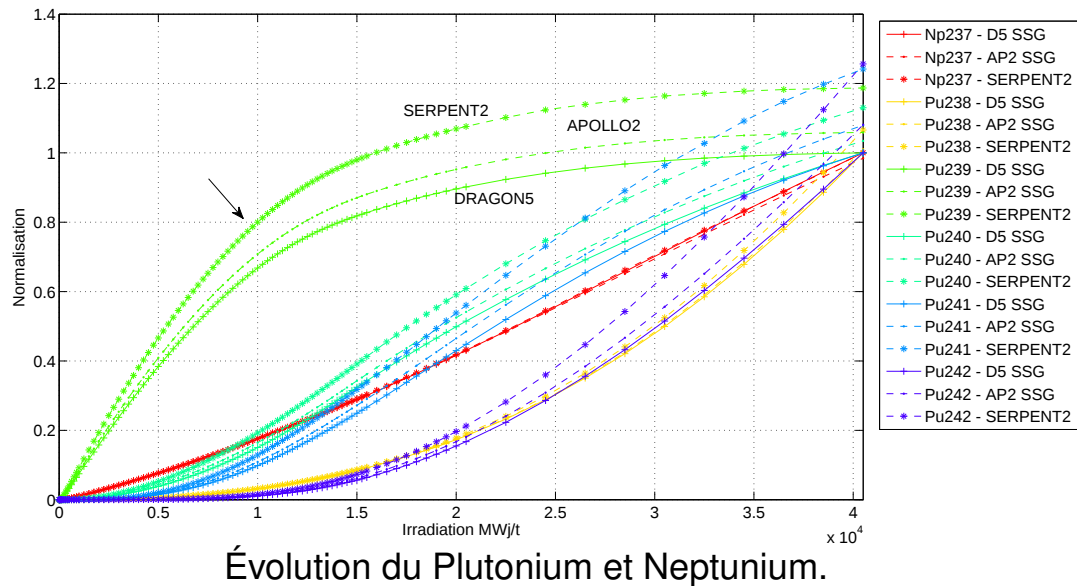
1



- DRAGON5 présente de meilleurs résultats;
- AP2 SSG même déviation que AP2 SC;
- AP2 SC plus précis de 100 *pcm*.

UO₂Gd₂O₃ en évolution

2



- DRAGON5 & AP2 représentés;
- Résultats mauvais en présence de Gd;
- UOX acceptable;
- Travail à faire.

Synthèse des travaux

- Méthode des sous-groupes plus performante que la Sanchez-Coste;
- Validation en évolution UOX et MOX acceptable;
- Problème significatif du Gadolinium en évolution;
- Temps de calcul plus long du fait de l'utilisation de certaines options;
- Résultats satisfaisants pour DRAGON5 avec SHEM295;
- Autoprotection des mélanges non nécessaire.

Perspectives

- Validation d'un schéma double niveau type REL2005;
- Utiliser TRIPOLI4D pour la comparaison avec APOLLO2;
- Réduire le temps de calcul.

Merci ! Des questions ?

Mes remerciements vont à:

- M. MARLEAU Guy, Ph.D., président du jury;
- M. HÉBERT Alain, Doct., directeur de recherche;
- M. VIDAL Jean-François, Ph.D., codirecteur de recherche;
- M. KOCLAS Jean, Ph.D., membre externe;
- Membres de l'IGN;
- Membres du LEPH;
- Ma famille et mes amis.

Découplage du flux en deux éléments:

$$\phi(\vec{r}, u, \vec{\Omega}) = \varphi(\vec{r}, u, \vec{\Omega})\psi(\vec{r}, u).$$

- $\varphi(\vec{r}, u, \vec{\Omega})$: *Flux macroscopique* qui décrit le flux asymptotique lorsque l'on fait abstraction des résonances;
- $\psi(\vec{r}, u)$: *Fonction de structure fine* qui décrit la dépression brusque du flux au sein d'une résonance. En dehors, elle équivaut à 1.

- Nappe du taux de fission:

$$TdF = TdF_{origine} \cdot \frac{\text{Nb de crayons dans 1 assemblage}}{\sum TdF_{origine}} \quad (13)$$

- Évolution isotopique:

$$y = \frac{y_{origine} - min}{max - min} ==> [0, 1] \quad (14)$$

- Normalisation à neutron source:

$$\tilde{k}_{eff} = \frac{\sum Production}{1} \iff Production = Production \cdot \frac{k_{eff}}{\sum Production} \quad (15)$$

Effet pris en compte dans les P_{ij} avec cellule unitaire. Pas le cas ici car courant d'interface $\Rightarrow$ géométrie complète.

Caractérise les neutrons qui effectuent leur première collision dans un autre crayon que celui d'origine $\Rightarrow$ Effet d'ombrage.

- Représentation *ponctuelle*;
- *Théorie Monte Carlo*;
- *Méthode analytique*.

Le physicien a à sa disposition:

Les lois de distribution des paramètres de résonance et les valeurs moyennes.

==> Création de jeux de paramètres de résonances aléatoires.

Résumé des options non présentées 1

1 P3/P0c

Recommandation du P3. 30 secondes plus chronophage avec des écarts plus importants. Explication: Sous absorption de l'U5 qui vient de la sur absorption de l'U8.

2 Linéaire Surfactive/CST

LISU corrige les problèmes dans le domaine thermique et améliore le calcul des groupes résonants.

Temps de calcul très (trop) long.

3 RAF/MAV

Constat similaire au Linéaire Surfactive.

Temps de calcul long.

Recommandé pour un schéma de référence.