



SERMA



LNC



IPNO ; LPSC ; SUBATECH

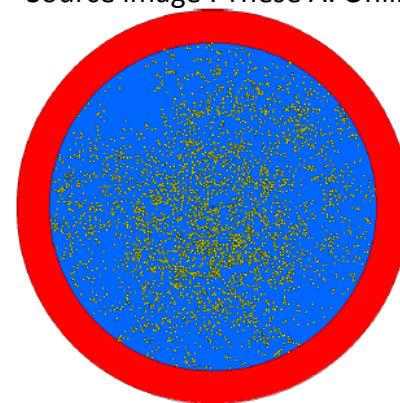
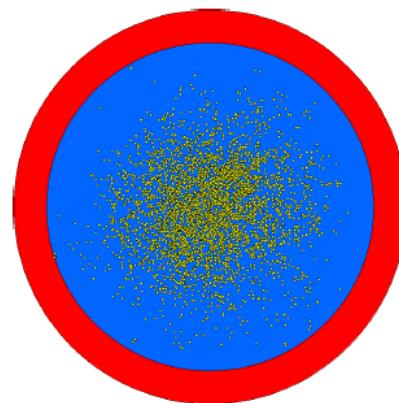
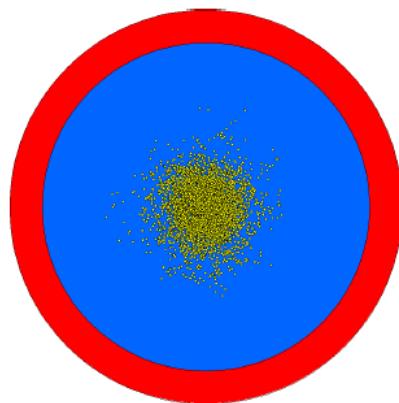
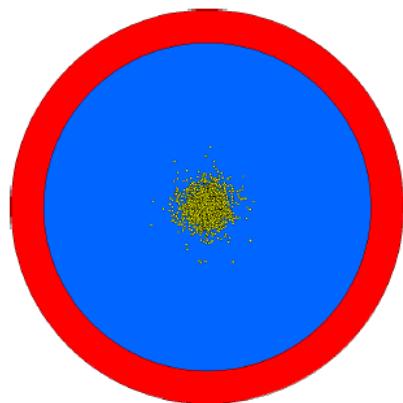
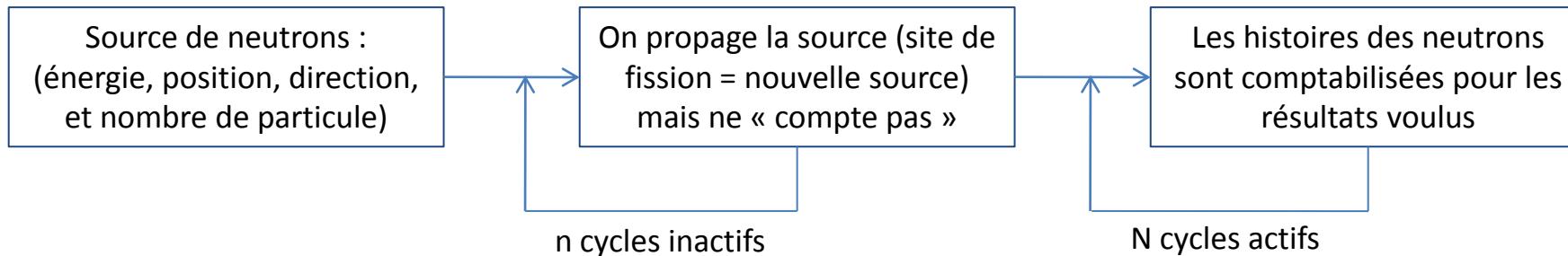
# M2C2 : Multiphysics and Monte-Carlo Convergence issues in neutronic Calculations

Atelier bilan NEEDS  
PF systèmes nucléaires et scénarios

*Adrien Bidaud, Emeric Brun, Nicolas Capellan, Jean-Baptiste Clavel, Bertrand Cochet, Xavier Doligez, Eric Dumonteil, Marc Ernoult, Muriel Fallot, Alexis Jinaphanh, Fausto Malvagi, Guy Marleau, Olivier Méplan, Joachim Miss, Baptiste Mouginot, Alexis Nuttin, Anthony Onillon, Nicolas Thiolliere, Johnathan Wilson*

## Introduction (1/2) : Solveur de flux Monte-Carlo

On calcule l'histoire d'un grand nombre de particules  
→ *calcul en KCODE (l'histoire s'arrête à la fission)*



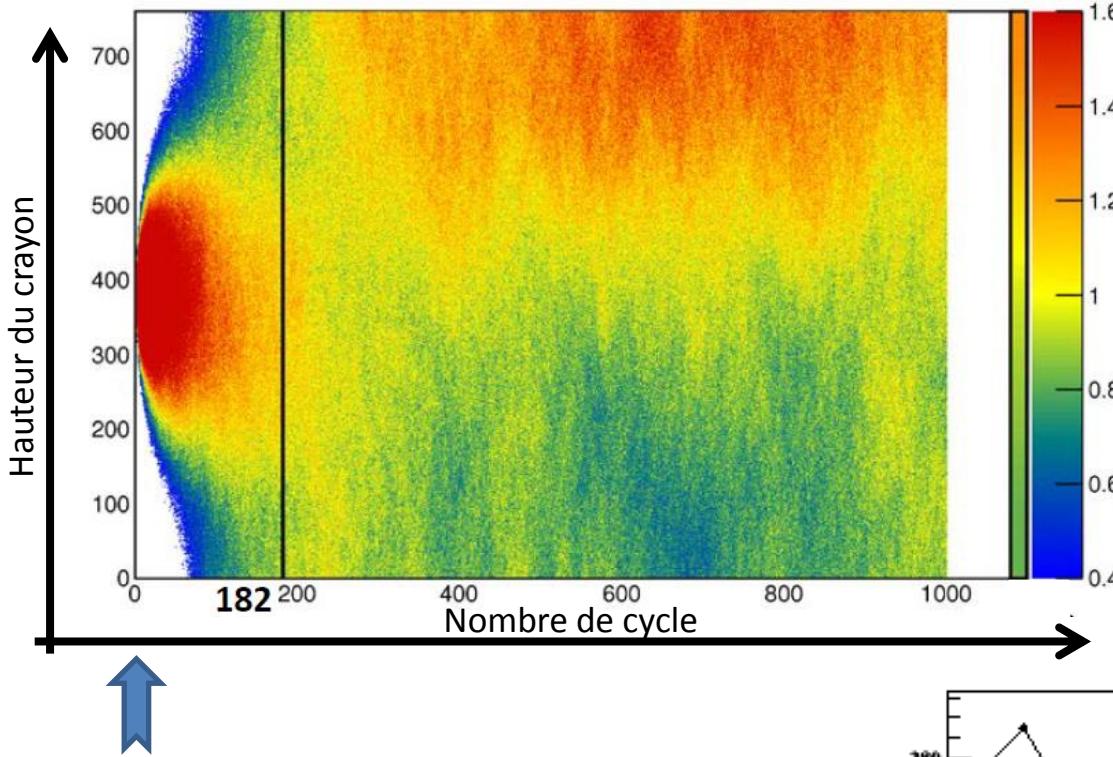
## Propagation de la source lors des cycles inactifs

## Conséquences :

- Chaque observable est associée à une erreur statistique qui dépend du nombre d'histoires simulées (*et donc de la puissance de calcul*)
  - Il faut s'assurer que la source a convergé « correctement » avant d'estimer les observables

## Introduction (2/2) : Conséquences sur la distribution du flux

Exemple sur un crayon réfléchi UO<sub>2</sub> en début d'irradiation → 100 000 particules par cycle

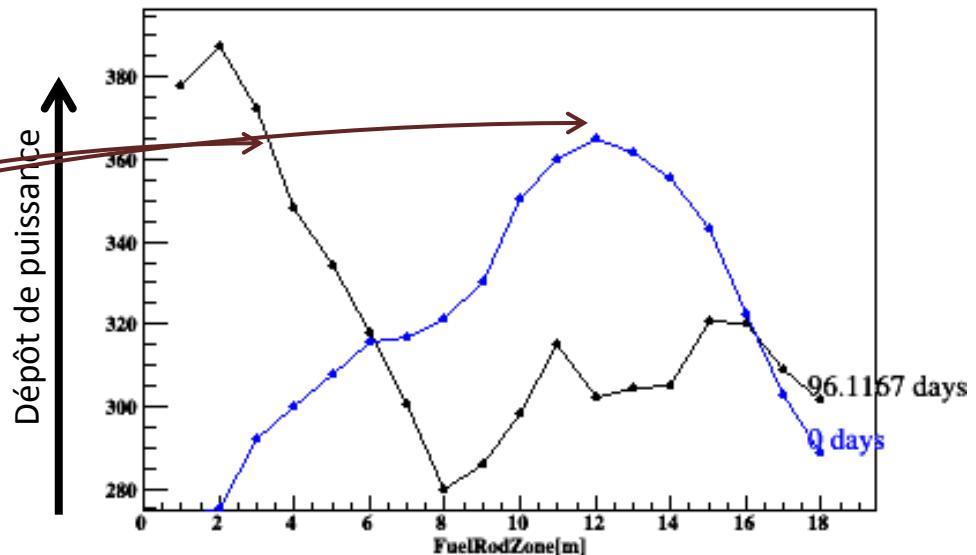


Le flux est piqué dans une zone suite au phénomène de « clusterisation »

L'incertitude MC est très sous-estimée (cycle s supposés indépendant)  
→ Calcul de l'incertitude réelle (*papier en cours par IRSN/CEA*)

La source est placée au centre du crayon

A t ~100 jours : répercussion sur la consommation locale d'uranium



## Objectifs du projet M2C2 :

- *Maîtrise des incertitudes pour les propager*
- *Quantification des biais pour le couplage multi-physique (évolution ; thermohydraulique ; scénarios,...)*
- *Possible amélioration des schémas de calcul*
- **5 différents WP :**
  - **Benchmark des codes utilisés (MURE, VESTA et TRIPOLI-4) sur des cas simples en évolution**  
→ **CEA, IRSN, CNRS**
  - Benchmark des codes sur des configurations réelles (échelle cœur) en statique (NEA - EGAMCT)  
→ **CEA, IRSN**
  - **Etude de la représentativité assemblages/cœurs (bore, fuite, environnement,...)**  
→ **CNRS**
  - *Propagation des incertitudes dans les études du cycle du combustible*  
→ **CNRS**
  - *Couplage neutronique/thermohydraulique*  
→ **CNRS**

Thèse A. Somaini

Thèse P. Prévot

### Objectifs (long terme) :

→ Estimer les biais inhérent à l'utilisation du Monte-Carlo couplé

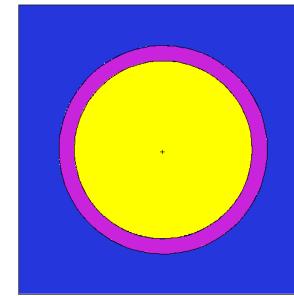
→ Comparer avec les autres sources d'incertitudes

*(données nucléaires, biais de modélisation, données technologiques)*

3 codes pour 3 organismes (TRIPOLI-4, MURE, VESTA) + codes externes (SERPENT2, DRAGON)

Objectifs :

1. valider les codes (chaines d'évolution) pour comprendre les différences éventuelles  
→ Cas « simple » pour limiter les différences induites par les différents traitements
2. Faire des recommandations pour un « schéma de calcul »



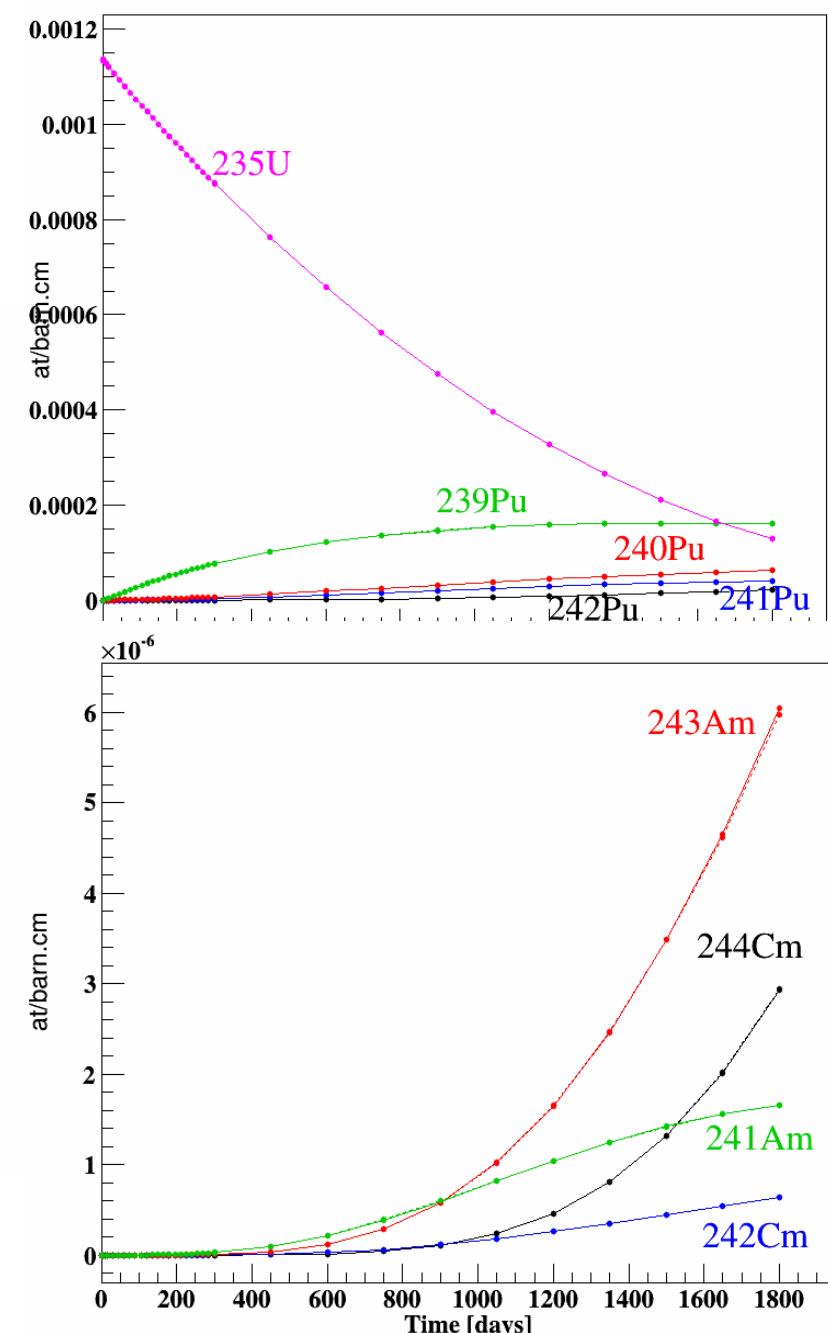
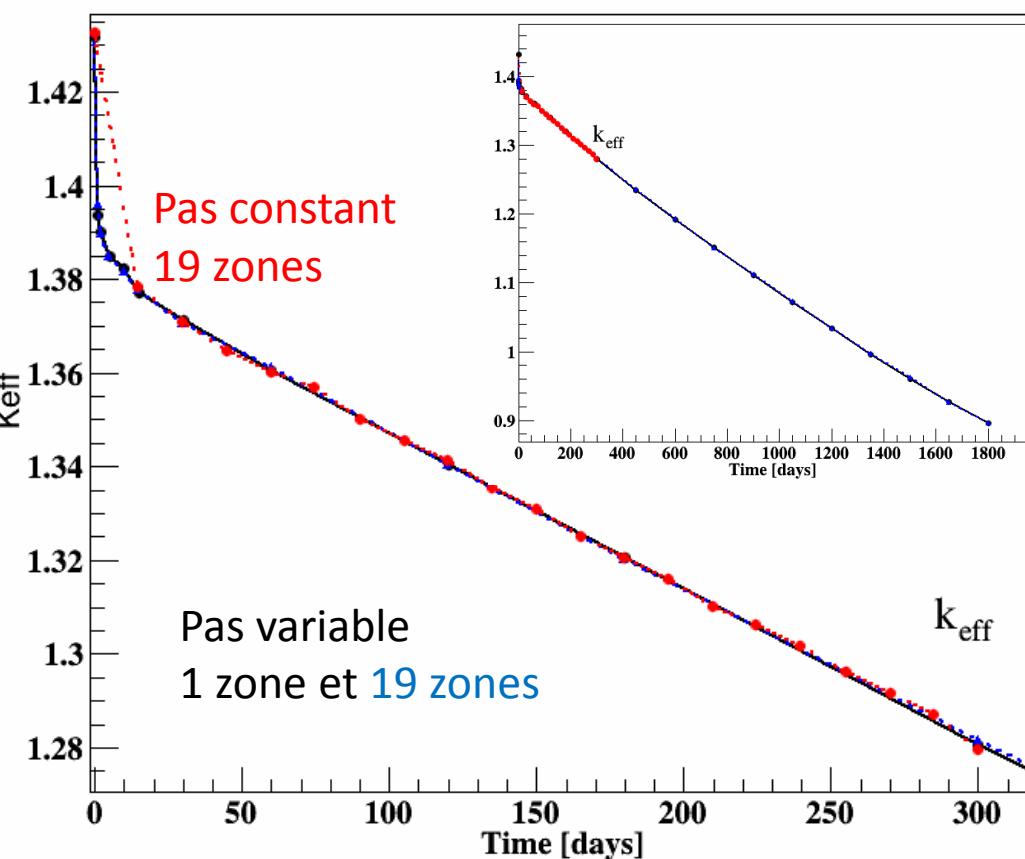
- 1 crayon unique réfléchi sur 3 directions
- 2 hauteurs simulées : 19 cm ou 3,8 m
- Traitements des données nucléaires les plus simples :  
(pas de  $S(\alpha,\beta)$  ; pas de p-table ;  $Q_{\text{fission}} = 200$  MeV)
- 2 discrétisations temporelles
- 3 découpages axiaux (1, 5 ou 19 zones)

# Tâche 1 (CEA/CNRS/IRSN) : benchmark dans des configurations simples

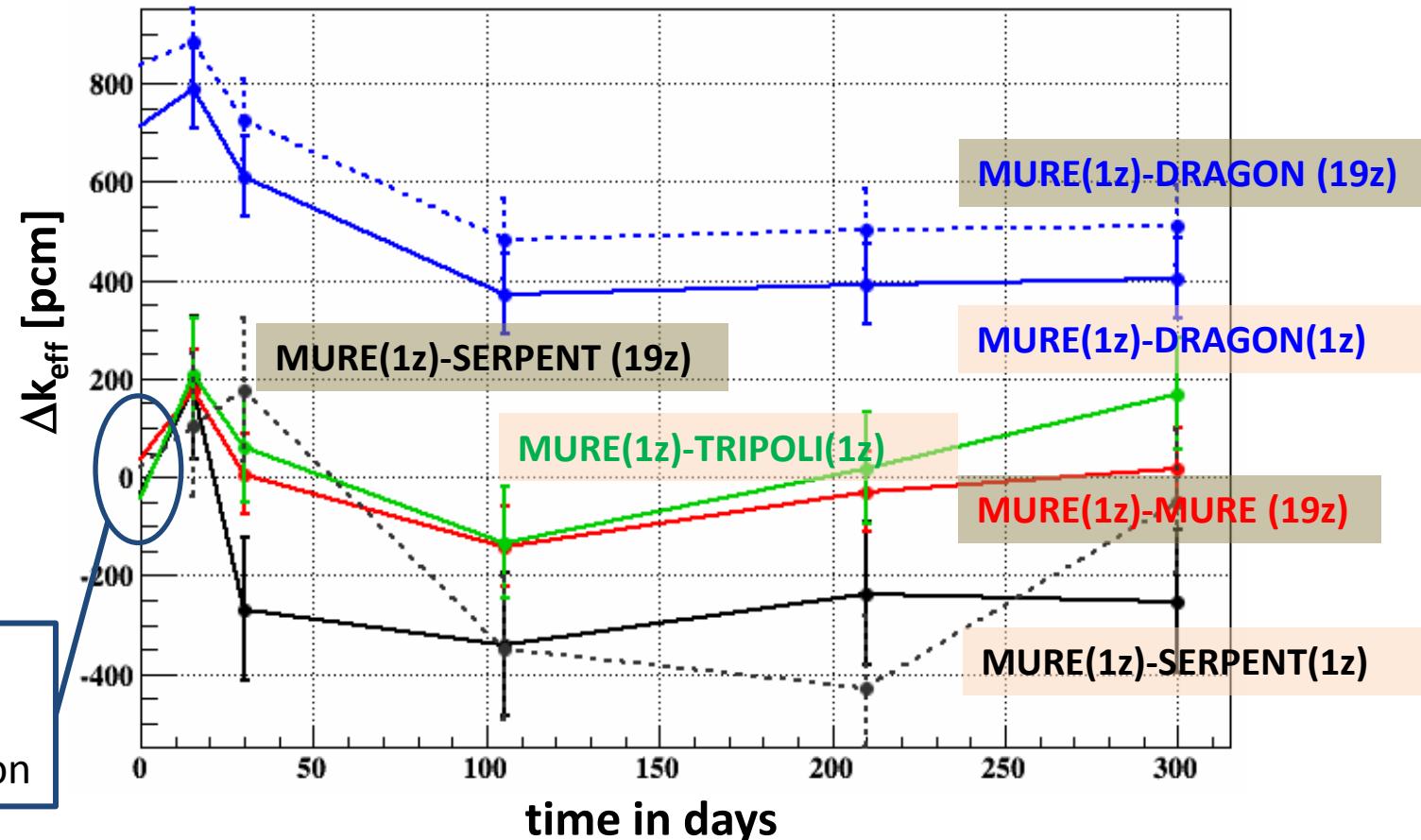
➤ 19 cm : tout va bien...

*Maille infinie*

→ *Visualisation des résultats MURE*

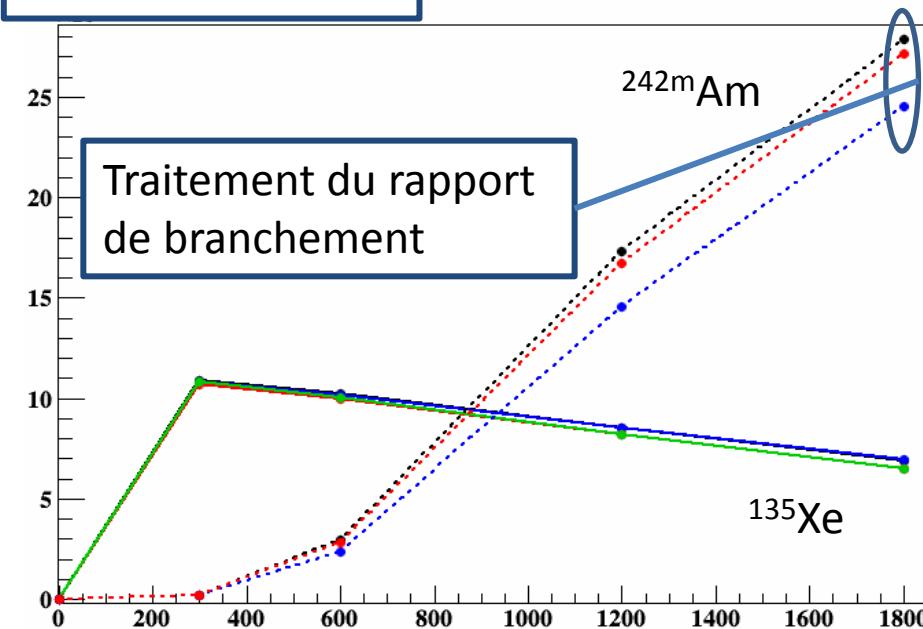
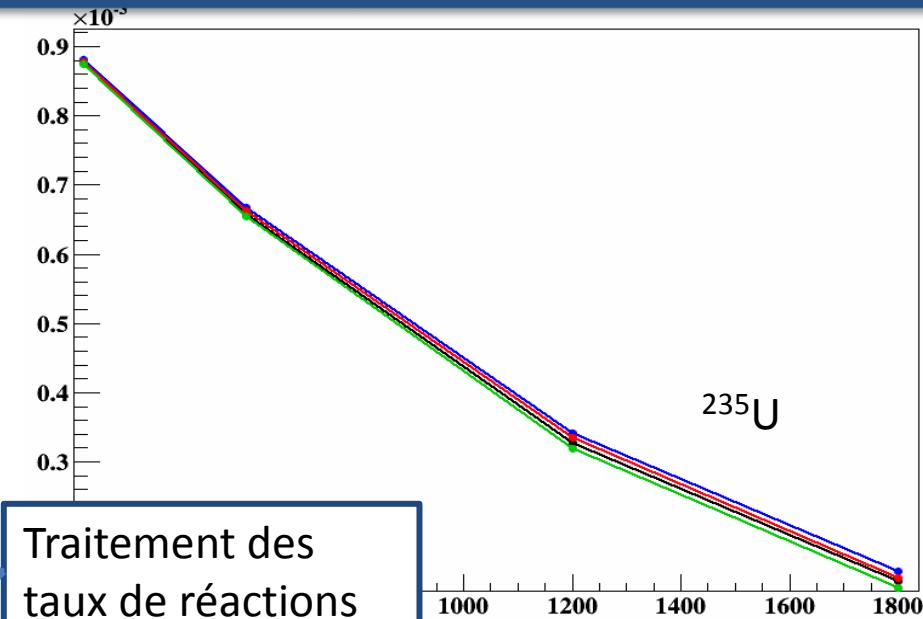
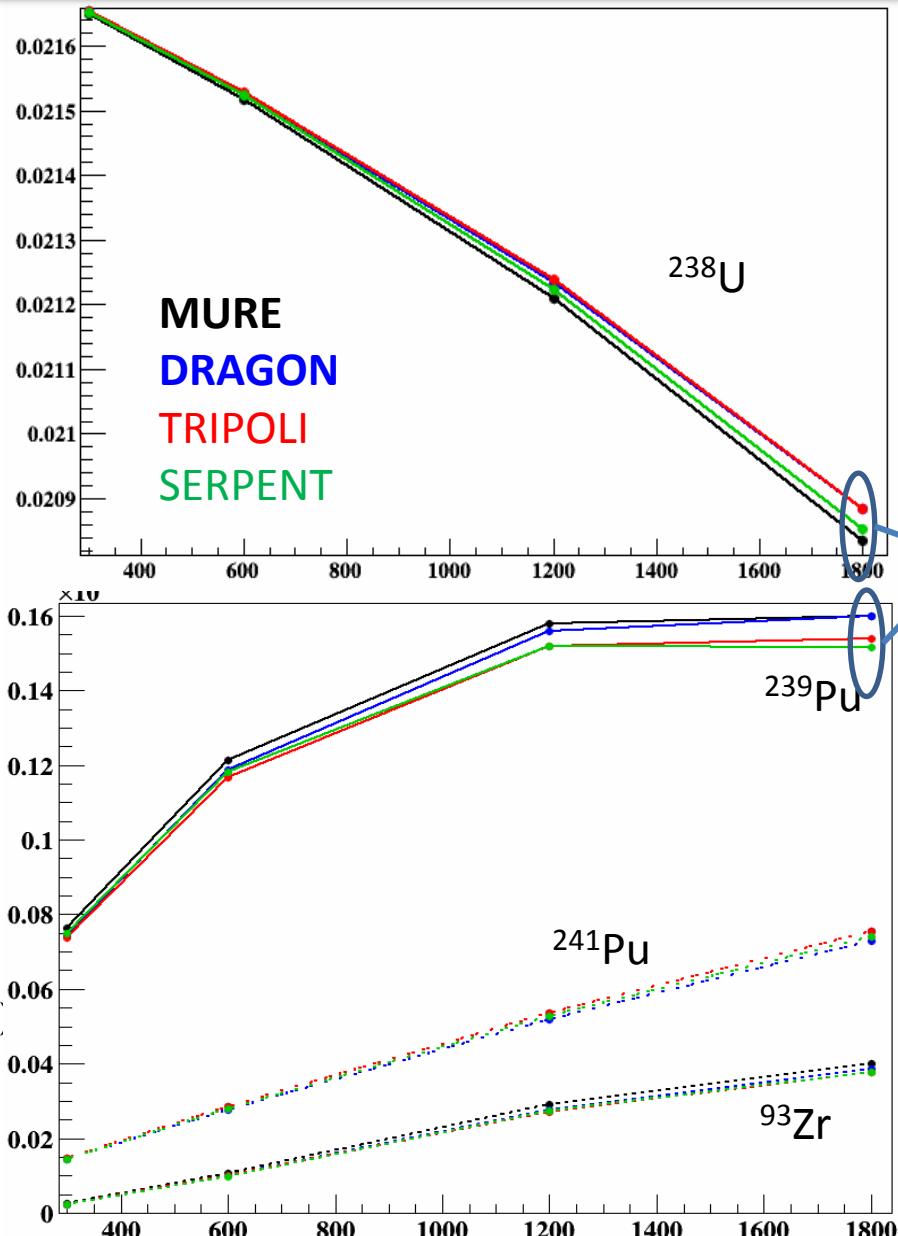


➤ Comparaison MURE/TRIPOLI/DRAGON/SERPENT



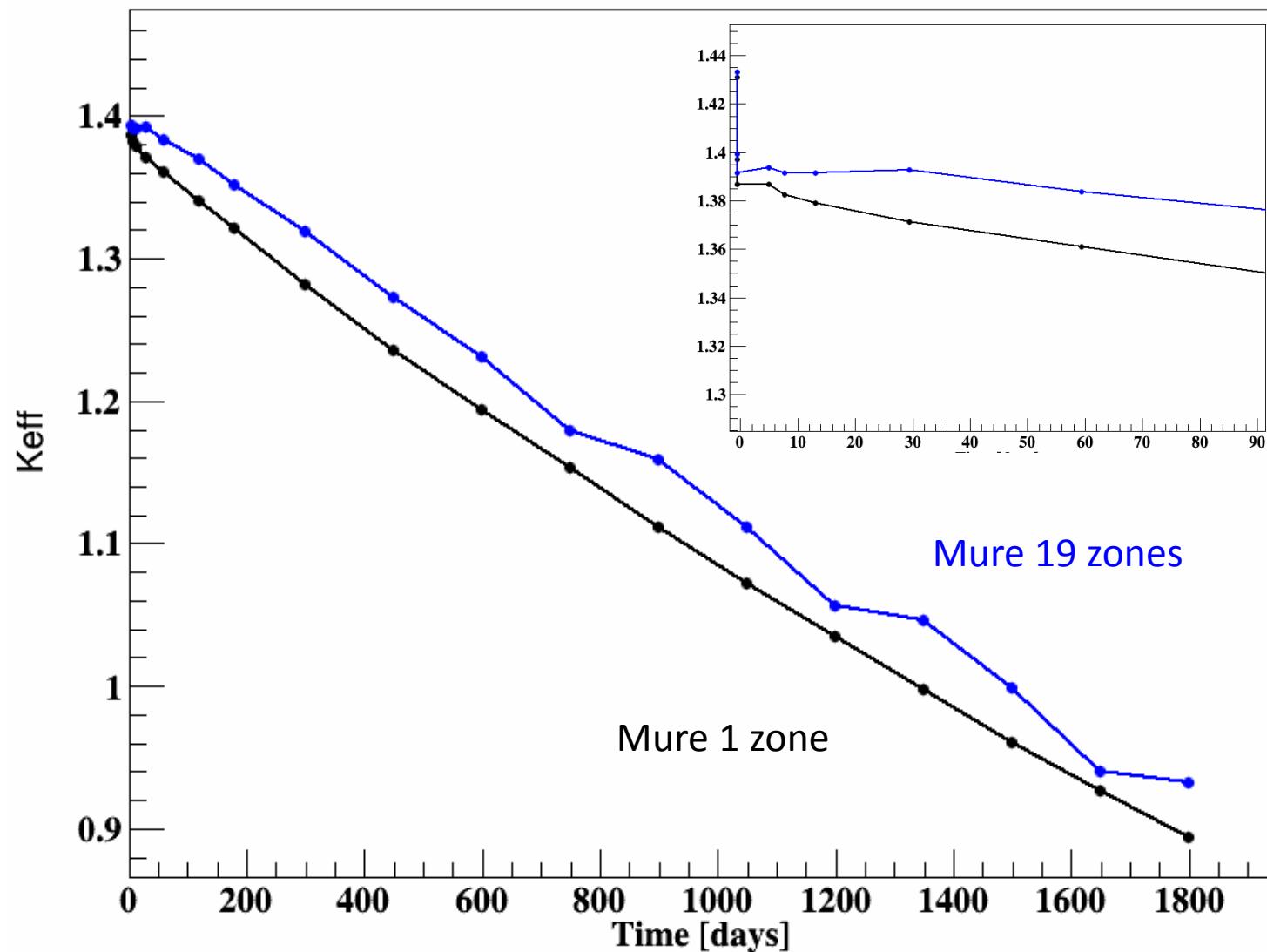
- Les écarts augmentent avec l'évolution dues à des évolutions différentes du combustible  
*Ecart maximum entre MURE et TRIPOLI : 300 pcm !*

# Tâche 1 (CEA/CNRS/IRSN) : benchmark dans des configurations simples

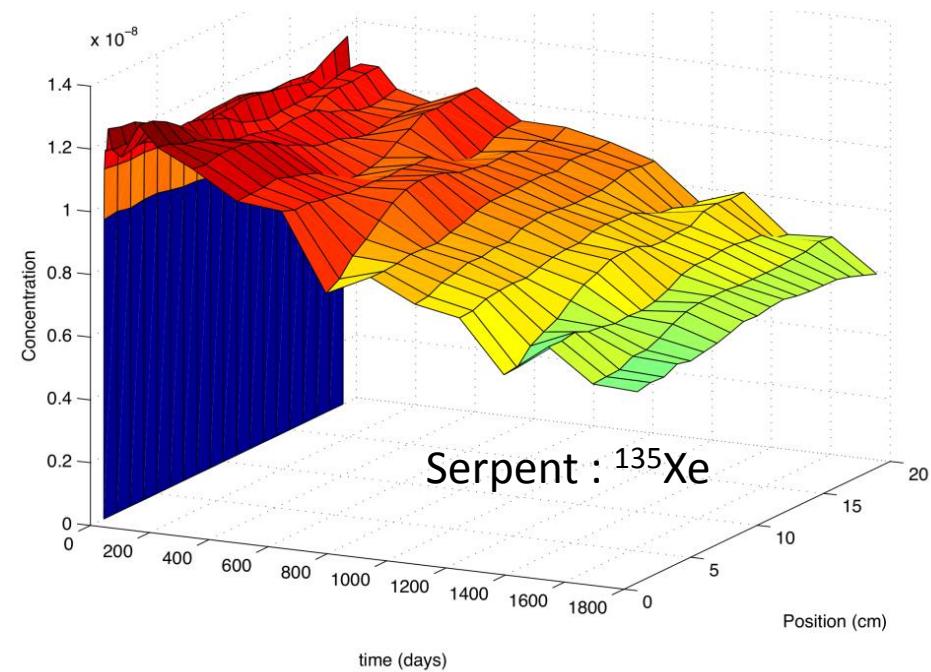
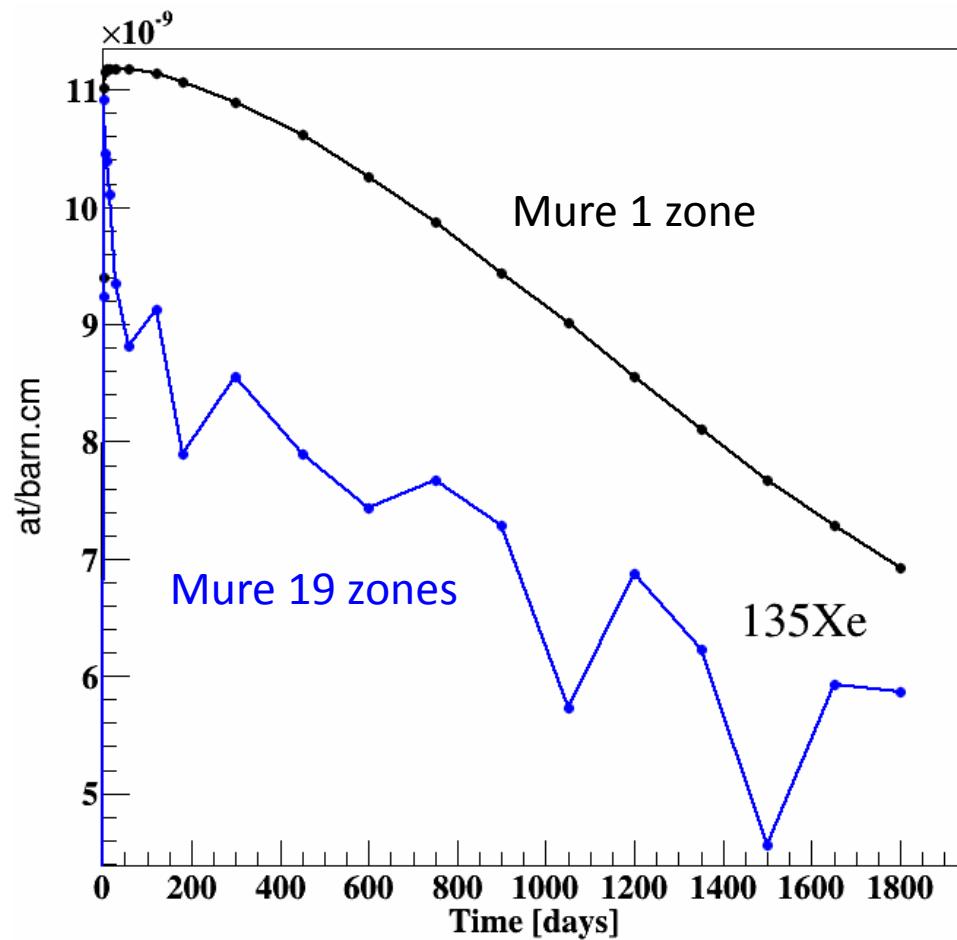


➤ Modification du traitement de l'U-238 → Ecarts expliqués et corrigés

➤ 3,8 m : Rien ne va plus



- 3,8 m : Rien ne va plus
  - Une des causes : le Xe-135



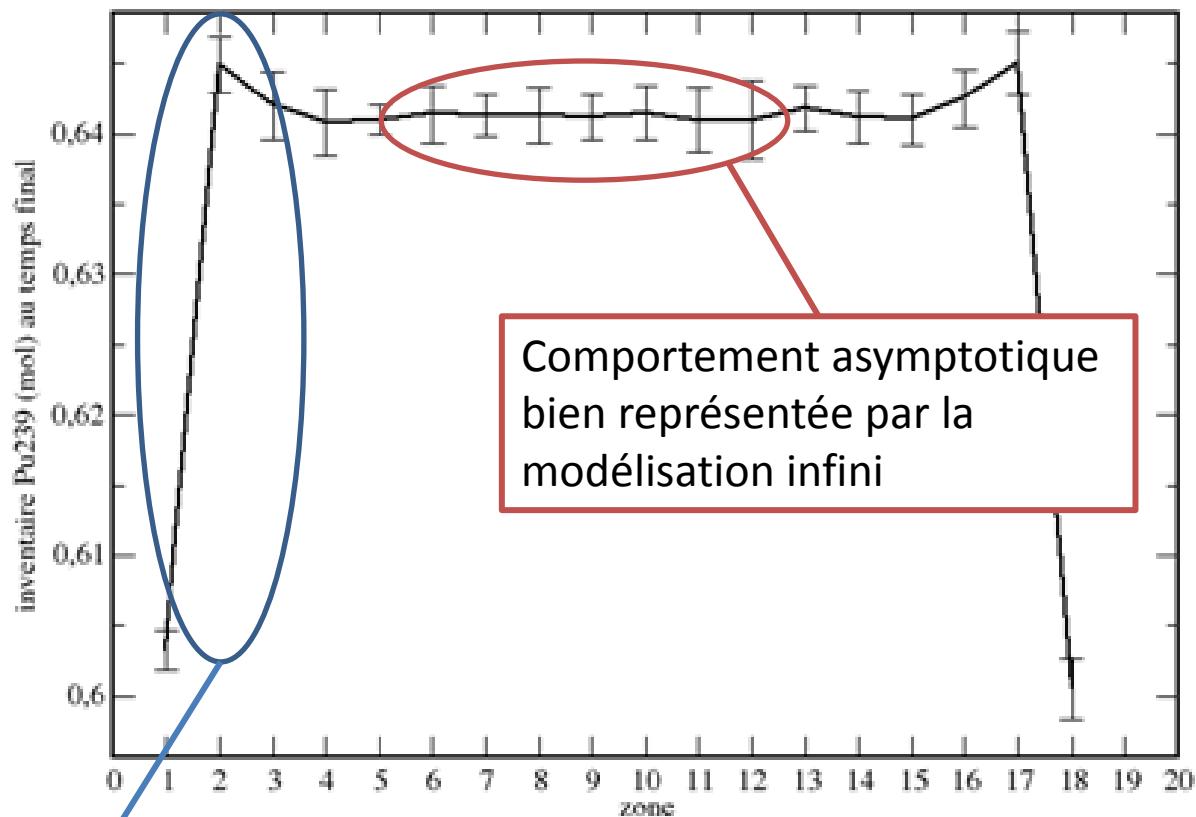
- La non-convergence du flux provoque des oscillations Xénon « non-physique »
- Adaptation des pas de temps
- Gestion de la symétrie
- Mise à l'équilibre du Xénon « forcée »

Malgré de grosse incertitude sur le flux, Le calcul d'évolution semble robuste moyennant un certain nombre de recommandations

### Tâche 3 : Comparaison maille ouverte et maille réfléchie (*thèse A. Somaini*)

- Maille de 3,8m ; découpage en 19 zones et prise en compte des fuites axiales
  - Suppression des conditions miroirs en haut et en bas de la cellule

Isotope @EOC	Ecart (%)
U8	-0,03
U5	<b>8,76</b>
Pu39	-0,14
Pu40	-1,44
Pu41	-1,78
Cm44	<b>10,20</b>
Am41	<b>3,60</b>
Am43	<b>-3,37</b>
Np37	-0,87



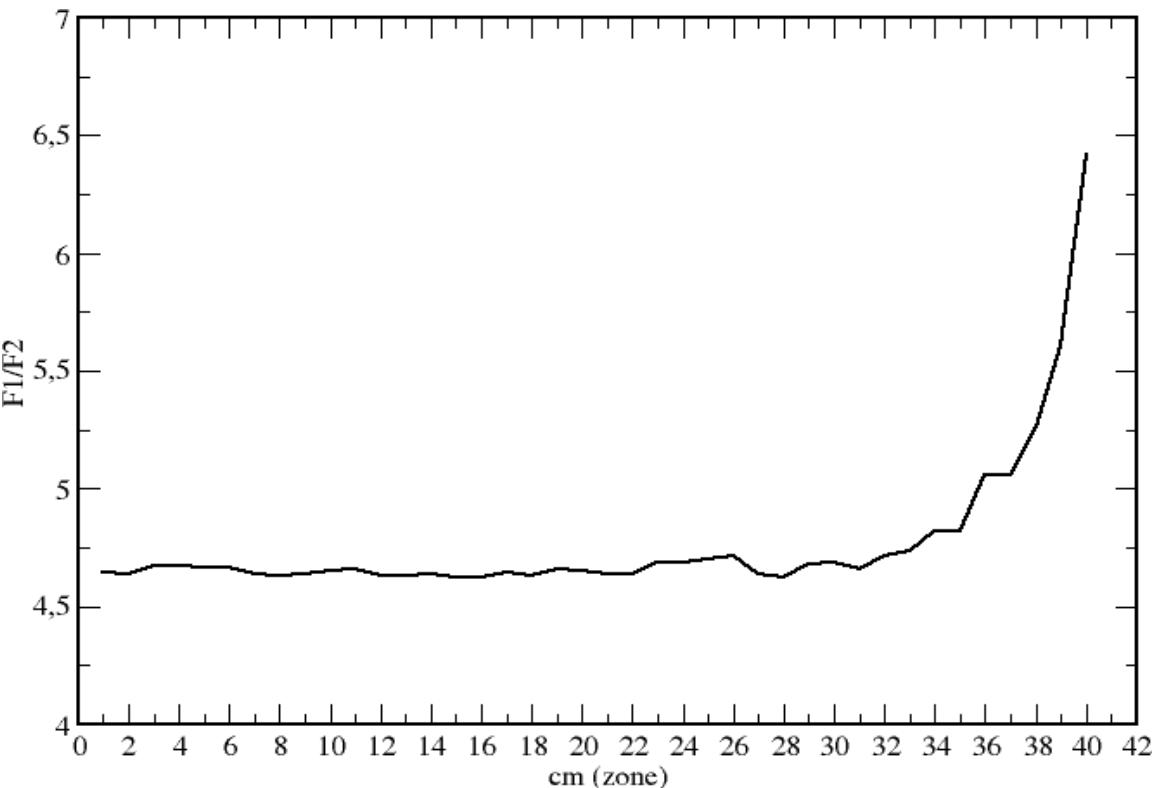
Effet de spectre pondéré par la forme du flux

Les fuites axiales **durcissent** le spectre **localement**

## Importance du découpage axiale

### ➤ Rapport du spectre rapide sur spectre thermique

*Zoom sur les 40 derniers cm ; zone de 1 cm*



Durcissement du spectre induite par une différence de gradient des neutrons rapides et thermiques

*Risque de gommer l'effet de spectre si les zones ont des dimensions trop importantes*

$\frac{\delta U5}{U5}$	18-36	18-8	18-1
$\frac{U5_{X\text{ zones}} - U5_{18\text{ zones}}}{U5_{18\text{ zones}}} \%$	2,67	-4,99	-8,07

→ 10 % sur l'estimation du BU max

- Recherche du « buckling » dans SERPENT
    - Modification du spectre due à la correction de criticité (méthode B1)
    - Modification des corrections de réflexions (méthode Albédo)
- Modèle sans dépendance axiale

- Exemple : calcul de la section efficace moyenne de fission de l'U-235

$\sigma_{fiss}^{U235}$	assemblage infini (sans correction de fuites)	Modèle de fuite axiale ( $k_{target} = 1$ )	Modèle de fuite axial ( $k_{target} = k_{MCNP\,ouvert}$ )
MCNP	44,18	42,05	-
SSS B1	44,13	41,55	44,14
SSS2 ALBEDO	44,12	39,97	43,98

- Implique de gros biais sur les inventaires en fin d'irradiation  
*Explique en partie les résultats de COMPRIS*
- Impact sur les données de diffusions calculées ?  
Codes cœurs  
Codes cinétique (tâche 5 de M2C2)

- Importance des benchmarks sur des cas simples
  - Amélioration des chaînes de calculs
  - Quantification des biais imputable à chacun des paramètres de la simulation
- Développement de nouvelles méthodes
  - calcul des corrélations entre cycle pour la maîtrise des incertitudes
  - application de la théorie des perturbations pour les incertitudes de composition
  - cinétique nodale pour le couplage
- Deux thèses en cours CNRS/IN2P3 (tâche 3 et tâche 5)
  - Biais calcul assemblage (fuites neutroniques) et propagation dans les calculs cœurs
  - Couplage neutronique/thermo-hydraulique ; schéma de cinétique nodale
  - Liens avec les modèles physiques des codes de scénarios
- Pour le futur :
  - Un projet fédérateur modélisation des réacteurs ?





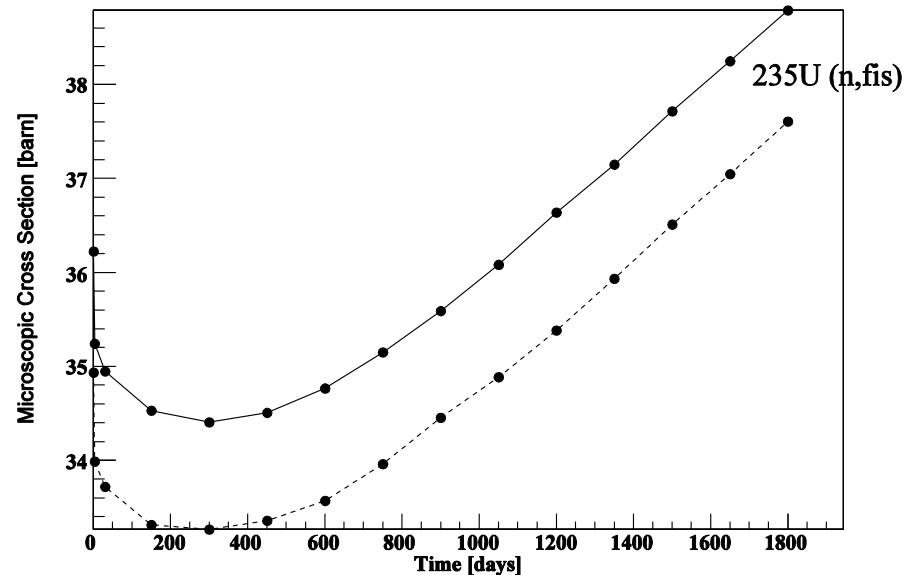
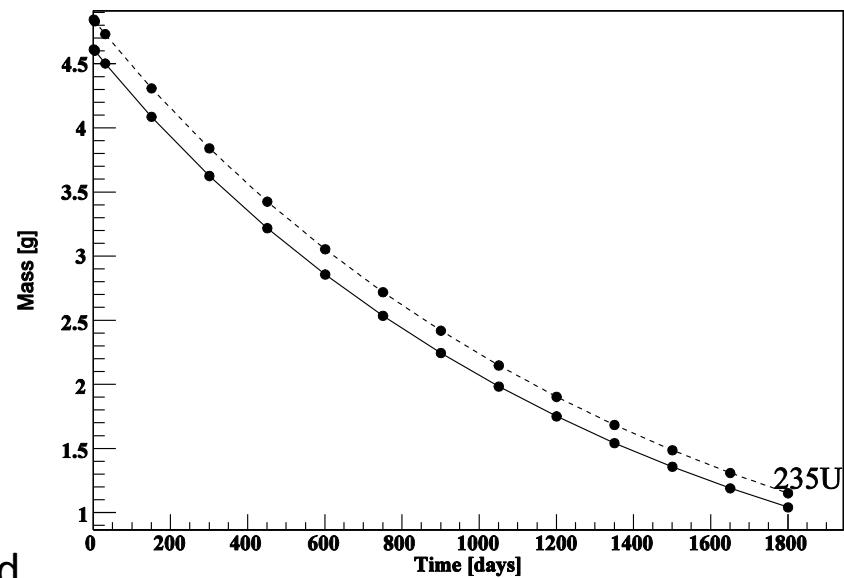


## Ratio GPT/Direct

### Sensibilité à l'U5

233U	1,28E+00
234U	9,33E-01
235U	4,73E-01
236U	1,16E+00
238U	2,34E-03
237Np	1,72E+00
238Np	6,45E+00
239Np	-6,92E-04
236Pu	1,98E+00
237Pu	2,34E+00
238Pu	3,64E+00
239Pu	2,79E-02
240Pu	-4,74E-02
241Pu	5,36E-02
242Pu	-2,60E-03
241Am	1,26E-02
242Am*	6,17E-03
243Am	-1,23E-03
243Cm	-2,42E-03
244Cm	-5,67E-04
245Cm	-4,37E-04

XS diminuent de 3% quand  
U235 augmente de 5%



➤ Objectifs :

- *Maitriser les incertitudes des calculs Monte-Carlo*
- *Quantifier leurs impacts en situation de couplage*
- *Comparer ces incertitudes aux différents biais induits par la modélisation*

➤ 5 différents WP :

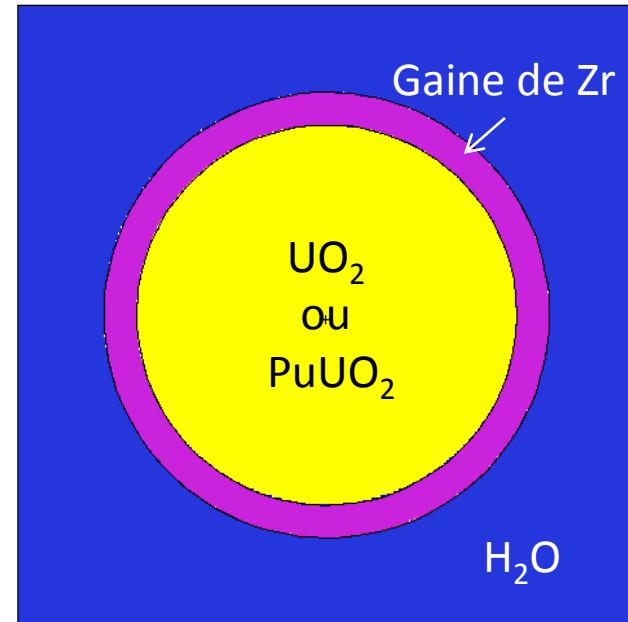
- *Benchmarking des codes utilisés (MURE, VESTA et TRIPOLI-4) sur des cas simples en évolution (CEA, IRSN, CNRS)*
- *Benchmarking des codes sur des configurations plus complexes (échelle cœur) en statique (NEA - EGAMCT) (CEA, IRSN)*
- *Etude de la représentativité assemblages/cœurs (bore, fuite, environnement,...) (CNRS)*
- *Propagation des incertitudes dans les études du cycle du combustible (CNRS)*
- *Couplage neutronique/thermohydraulique (CNRS)*

➤ Historique de Gédépon et de la communauté SIRIUS pour le CNRS

➤ *Au départ porté par l'IRSN*

## ➤ Tâche 1 :

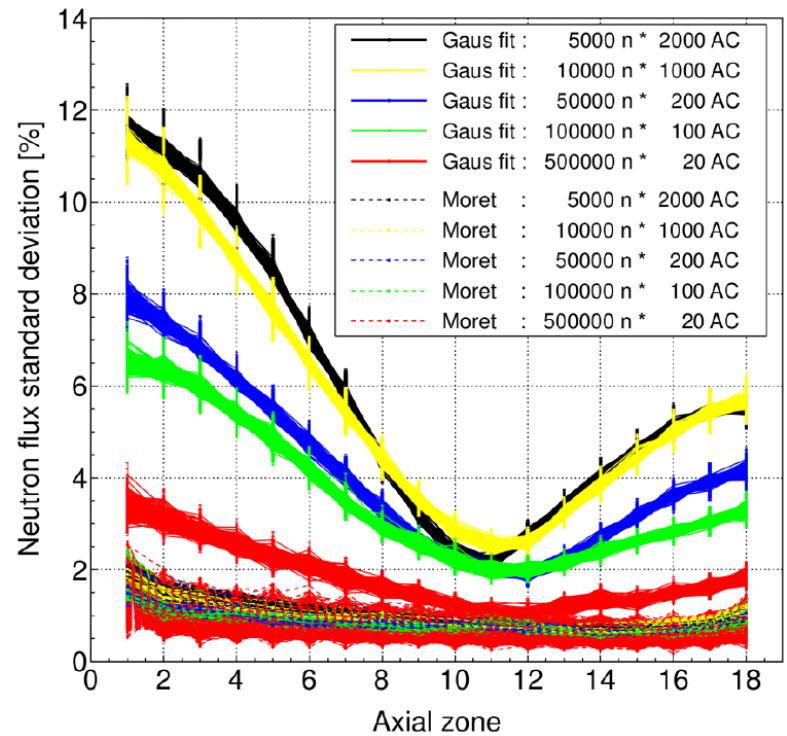
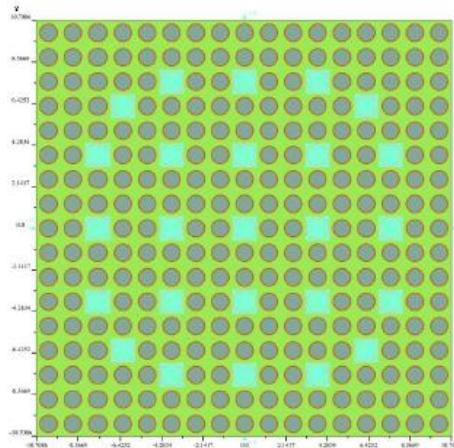
- *Objectifs :*
  - valider les différentes chaînes d'évolution et compréhension des différences
  - Faire des recommandations pour un « schéma de calcul »
- *Géométrie crayon simple ouvert ou réfléchi*
- *Pas d'étude sur les ND (sauf pour les énergies par fission)*
- *Impact de la discrétisation spatiale et temporelle*
- *Codes comparés :*
  - *TRIPOLI-4*
  - *MURE*
  - *VESTA (MCNP)*
  - *SERPENT*
  - *DRAGON*



- Comparaison satisfaisante
- Update de quelques méthodes d'évolution dans MURE (XE, traitement de l'U8, etc...)

## ➤ Tâche 2 :

- *Objectif :*
  - *Convergence des sources dans des géométries à haut rapport de dominance*
- *Géométrie assemblage en réseau infini*
- *Géométrie ¼ de cœur (pas encore réalisé)*
- *Code : MORET, MCNP et Tripoli-4*
- *Mesure des flux locaux et de leurs incertitudes*



- Tous les MC sous-estime l'erreur sur les flux locaux
  - Début d'une collaboration CEA/IRSN sur la quantification de ces erreurs via la prise en compte des corrélations entre les différents cycles

## ➤ Tâche 3 :

- *Objectifs :*
  - *Estimation des biais de calculs assemblages en évolution (bore, fuites,...)*
  - *Etude de la représentativité de ces calculs par rapport à un calcul cœur*
- *Pour les fuites*
  - *Géométrie assemblage ; infini ou réaliste*
  - *Quantification des écarts*
  - *Essai d'implémentation d'une correction de Buckling*
  - *Extrapolation en radial*
- *Pour le bore*
  - *Géométrie assemblage ; infini*
  - *Sensibilité des inventaires fin de cycle au niveau de bore très important*
  - *Tentative de suivi de bore*

Problématique : quelle référence ?

→ Thèse d'Alice Somaini (début en octobre 2014)

➤ Tâche 4 :

- *Objectifs :*

→ *Propagation des incertitudes aux études du cycle*

~ *Incertitude sur les quantités isotopiques en début de cycle*

- Application de la méthode des perturbations en évolution

$N^*(t)$  = probabilité que le noyau  $N_i$  devienne le noyau cible à  $t = t_{final}$

$$\frac{\partial N_j^*}{\partial(t_{final} - t)} = AN_j^*, N_j^*(0 = t_{final} - t) = \delta_{ij}$$

- *Comparaison de la sensibilité à la quantité d'U-235 calculé avec la théorie des perturbations par rapport à des calculs directs*

→ *Les sections efficaces moyennes sont beaucoup trop dépendantes des inventaires*

→ *La méthode est applicable pour connaître les sensibilités aux noyaux dont ne dépend pas le spectre (ex : U-232)*

233U	1,28E+00
234U	9,33E-01
235U	4,73E-01
236U	1,16E+00
238U	2,34E-03
237Np	1,72E+00
238Np	6,45E+00
239Np	-6,92E-04
236Pu	1,98E+00
237Pu	2,34E+00
238Pu	3,64E+00
239Pu	2,79E-02
240Pu	-4,74E-02
241Pu	5,36E-02
242Pu	-2,60E-03
241Am	1,26E-02
242Am*	6,17E-03
243Am	-1,23E-03
243Cm	-2,42E-03
244Cm	-5,67E-04
245Cm	-4,37E-04

## ➤ Tâche 5 :

- *Objectifs :*
  - *Implémentation d'une méthodologie de couplage neutronique/thermodynamique*
    - *Cinétique nodale*
  - *Production de données de diffusion avec les codes MCNP fiables dont on maîtrise les incertitudes*
    - *Identification du niveau de discréétisation optimal*
  - *Prospectives long terme : étude d'une éjection de grappe dans un REP*
  - *Cf. Nicolas Capellan*

→ **Thèse de Pierre Prévot (début en octobre 2015)**