

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Enhancing nuclear safety*

## NEEDS / SEC

# Comparaison des calculs de coefficients de sensibilité en Monte Carlo

A. Jinaphanh - IRSN/SNC/LNC

X. Doligez - CNRS/IPNO

A. Bidaud - CNRS/LPSC

Atelier bilan NEEDS

15/12/2016

# Sommaire

- Contexte
- Méthodes de calcul
- Configurations étudiées
- Résultats
- Perspectives

# Objectifs & Participants

## Objectifs

- Créer un cadre d'échanges et de proposition d'actions portant sur les calculs de sensibilités et d'incertitudes en Monte-Carlo
- Physique des réacteurs, neutronique et criticité
  - Propagation d'incertitudes
  - Qualification
- Comparer les méthodologies développées par chacun des partenaires
- Impossibilité d'effectuer une comparaison à des résultats expérimentaux
- Comparaison code à code et entre différentes méthodes devient indispensable

## Participants

- IRSN / PSN-EXP / SNC / LNC
- CNRS/IN2P3 / IPN ORSAY - UMR 8608
- CNRS/IN2P3/LPSC
- CEA

# Utilisation des sensibilités aux DNB

- Identifier les paramètres importants du systèmes
- Propagation de l'incertitude due aux données nucléaires
  - Principale source d'incertitude
  - Jusqu'à 2000 pcm selon les configurations
- Assimilation de données
  - Transposer un biais d'une base de qualification à une configuration d'étude
- Aide au dimensionnement d'expériences critiques
  - Estimation a priori de l'apport des expériences
- “Retour” sur les données nucléaires

# Coefficients de Sensibilités

## ■ Définition

- Estimer l'effet sur la réponse d'un changement sur une entrée
- Sans dimension ( % / % )

$$S_{\alpha} = \frac{\alpha}{k_{eff}} \frac{\partial k_{eff}}{\partial \alpha}$$

## ■ Calcul de criticité

- Effet sur le keff d'une perturbation d'une section efficace
- Valeurs intégrales
- Profils en énergie

# Calcul des coefficients de Sensibilités

■ Perturbation directe : CNRS/IN2P3 / IPN ORSAY

■ Utilisation de MCNP

- Modification “directe” des fichiers ACE
- ACE = A Compact ENDF
- Contient les données nucléaire (section efficace, ... )

■ Calcul de référence

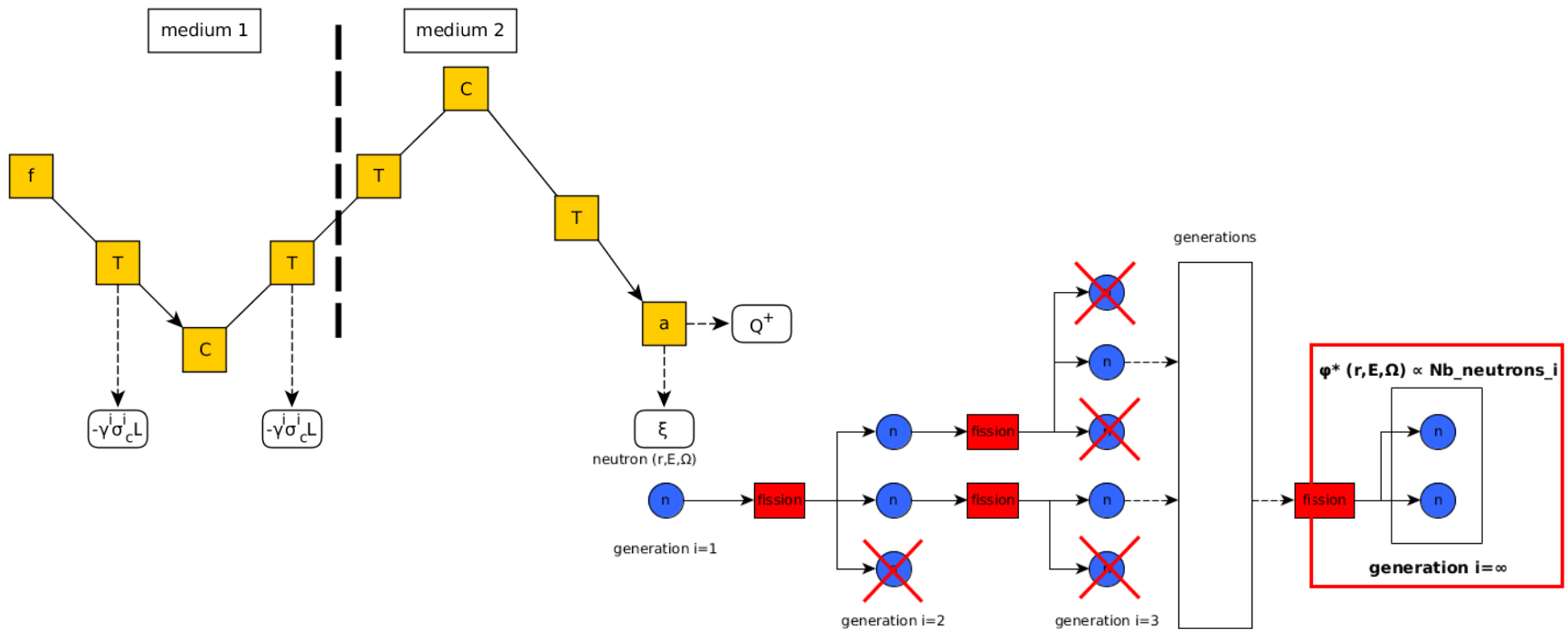
■ Calcul “perturbé”

- Perturbation de 1% de la section d'intérêt

# Coefficients de Sensibilités

Code MORET 5 : IRSN / PSN-EXP / SNC / LNC

- Differential operator method
- Iterated Fission Probability

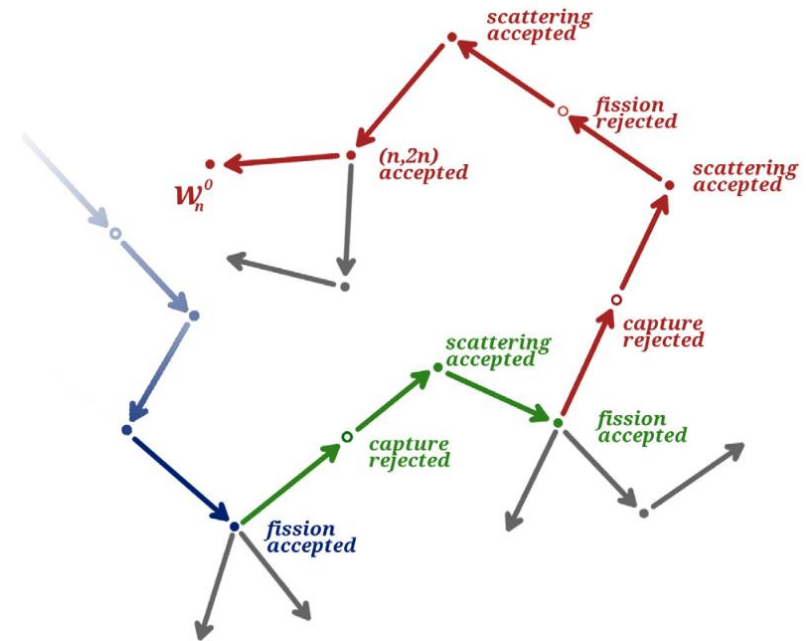


A. Jinaphanh et al., "Continuous-Energy Sensitivity Coefficients in the MORET Code",  
Nuclear Science and Engineering, volume 184 pp. 53-68 (2016)

# Coefficients de Sensibilités

Code SERPENT : CNRS / IN2P3 / LPSC

- Code de VTT (Finlande)
- Fonctionnalité développée au CNRS / IN2P3 / LPSC



M. Aufiero et al., “A collision history-based approach to sensitivity/perturbation calculations in the continuous energy Monte Carlo code SERPENT”, Annals of Nuclear Energy Volume 85, 2015, p245-258



# Coefficients de Sensibilités

## ■ MCNP 6 calculs de sensibilité : IRSN/SNC/LNC

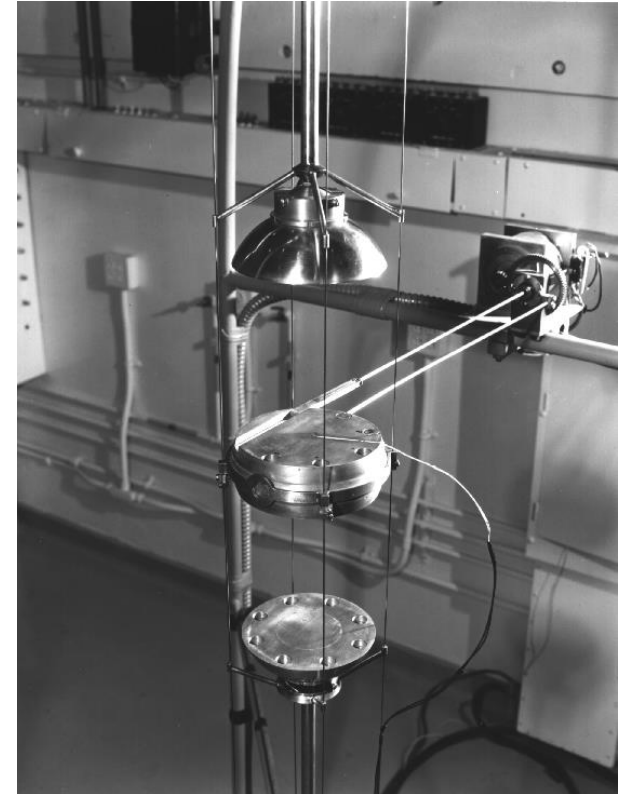
- Los Alamos National Laboratory, USA
- Energie Continue
- Théorie perturbations
- Pondération par le flux adjoint
- B. Kiedrowski et al., “Adjoint-Based k-Eigenvalue Sensitivity Coefficients to Nuclear Data using Continuous-Energy Monte Carlo”, Nuclear Science And Engineering: 174, 227-244 (2013)

## ■ SCALE 6.1 : calculs de sensibilité multigroupe : IRSN/SNC/LNC

- Oak Ridge National Laboratory, USA
- Multigroupe
- Calcul direct / Calcul adjoint
- B. T. Rearden, “Perturbation Theory Eigenvalue Sensitivity Analysis with Monte Carlo Techniques,” Nuclear Science And Engineering, 146, 367 (2004);

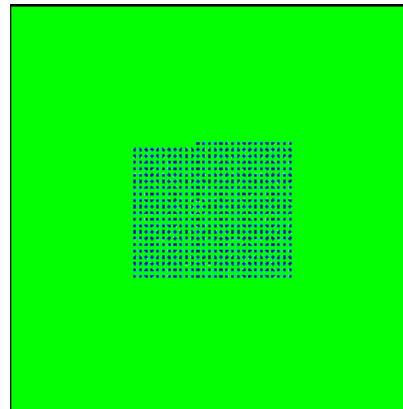
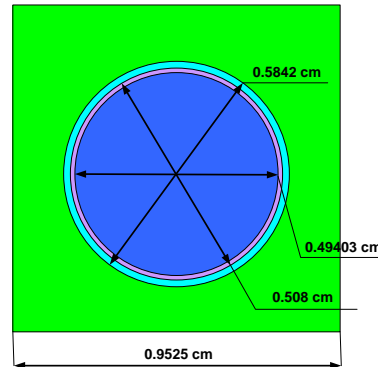
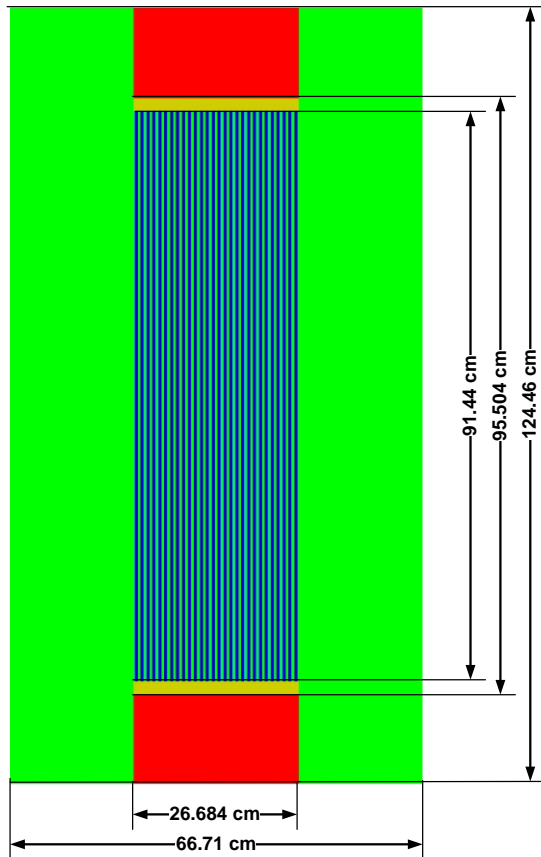
# Configurations étudiées






- Jezebel
- Sphere en spectre rapide
  - Quantité  $^{239}\text{Pu}$  > 90 wt.%
- Calculs
  - Précision ~ 0.00010 (10 pcm)
  - Bibliothèques
    - ENDF/B-VII.1
    - JEFF3.1
  - Utilisation des tables de probabilités



# Configurations étudiées

## Benchmark OCDE/NEA : UACSA



-  Material 1: MOX Fuel
-  Material 2: Stainless steel clad
-  Material 3: Water
-  Material 4: Natural UO<sub>2</sub> insulator, clad, and water homogenized
-  Material 5: Inconel 600 reflector, stainless steel clad, and water homogenized
-  Material 6: Gap between fuel and clad

# Résultats

## Jezebel

- Comparaison des méthodes
  - R1 : écart relatif
  - R2 : R1 rapporté à l'écart type combiné

Isotope	MORET5	M5 / MCNP6.1	M5 / SCALE6.1	M5 / Serpent	M5/Directe				
Reaction	± rel. std (%)	R1 (%)	R2	R1 (%)	R2	R1 (%)	R2	R1 (%)	R2
$^{239}\text{Pu } \bar{\nu}$	$0.9657 \pm 0.01$	0.01	0.55	0.01	0.21	0.01	0.1	-	-
$^{239}\text{Pu } \sigma_f$	$0.7272 \pm 0.03$	0.13	3.62	0.15	0.48	0.11	2.79	1.0	0.09
$^{239}\text{Pu } \sigma_{el}$	$0.0639 \pm 0.95$	0.98	0.75	0.60	0.32	0.34	0.32	8.7	0.79
$^{239}\text{Pu } \sigma_{in}$	$0.0388 \pm 0.99$	2.36	1.83	5.04	1.05	1.05	0.92	-	-
$^{240}\text{Pu } \bar{\nu}$	$0.0315 \pm 0.41$	0.26	0.65	0.17	0.42	0.29	0.71	-	-
$^{240}\text{Pu } \sigma_f$	$0.0237 \pm 0.54$	0.21	0.39	0.29	0.44	0.48	0.79	39	3.54
$^{239}\text{Pu } \sigma_{n,\gamma}$	$-0.0075 \pm -0.19$	0.31	1.01	0.63	0.63	1.16	2.73	37.5	3.5
$^{240}\text{Pu } \sigma_{el}$	$0.0034 \pm 4.02$	7.51	1.33	3.11	0.72	3.92	0.88	57.5	4.91
$^{241}\text{Pu } \bar{\nu}$	$0.0028 \pm 1.41$	0.23	0.16	0.43	0.31	0.50	0.22	-	-
$^{241}\text{Pu } \sigma_f$	$0.0021 \pm 1.88$	0.42	0.22	0.39	0.21	2.12	1.03	-	-
$^{240}\text{Pu } \sigma_{in}$	$0.0020 \pm 4.14$	0.26	0.04	0.44	0.07	0.37	0.08	-	-
$^{240}\text{Pu } \sigma_{n,\gamma}$	$-0.0006 \pm -0.15$	0.12	0.52	2.21	2.60	5.23	3.89	45.5	4.14

# Résultats

## Jezebel

### Résultats cohérents entre les différents voies de calculs

- MORET5, MCNP6.1, SCALE6.1, SERPENT
  - pour l'ensemble des coefficients
  - Ecart relatif < 3% dans la majorité des cas
  - Intervalles de confiance se recouvrent
- Perturbation directe pour les coefficients les plus importants

### Sensibilité à la diffusion

- La plus difficile à faire converger
- Correspond aux écarts relatifs les plus importants (>3%)
- Incertitudes les plus importantes
- Les grandeurs calculées restent cohérentes
  - Intervalles de confiance se recouvrent

# Résultats

## Jezebel

## Perturbation directe

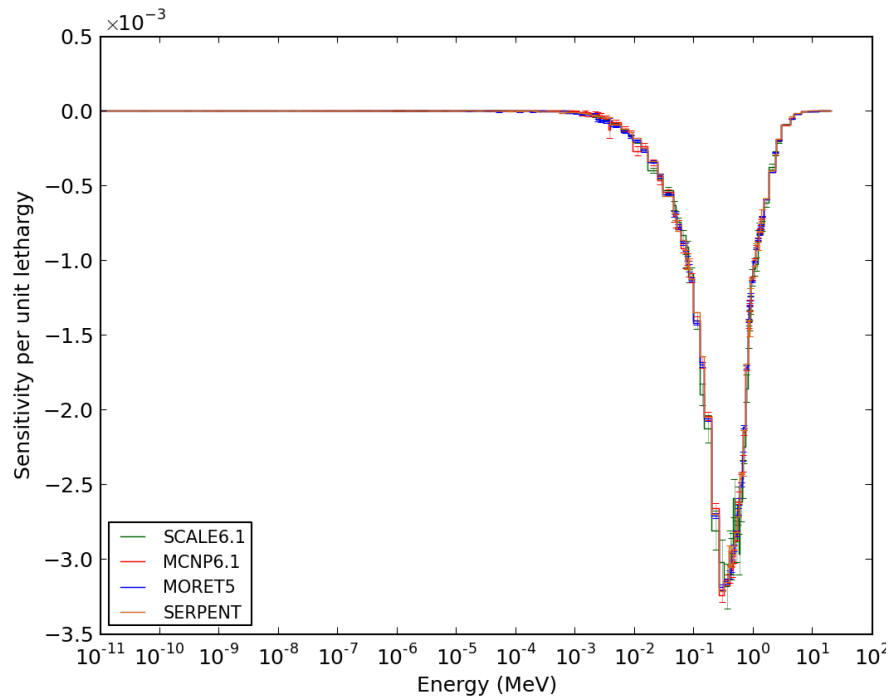
- Méthode de référence
- précision de l'ordre de 10 pcm → impossible de calculer des sensibilités plus petites que 0.02
- Estimation des coefficients de sensibilités pour les isotopes-réactions majoritaires

## Limitations

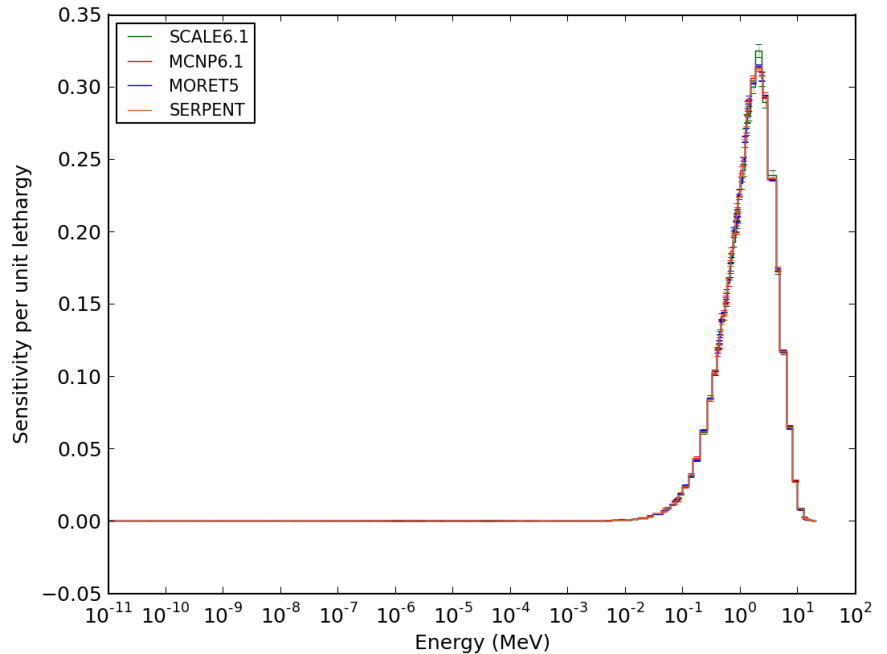
- Autant de calculs que de coefficients de sensibilité désirés
- Requier une précision importante pour chaque calcul
- Perturber d'avantage la section efficace peut modifier le spectre de manière importante

# Résultats

## Profils $^{239}\text{Pu}$



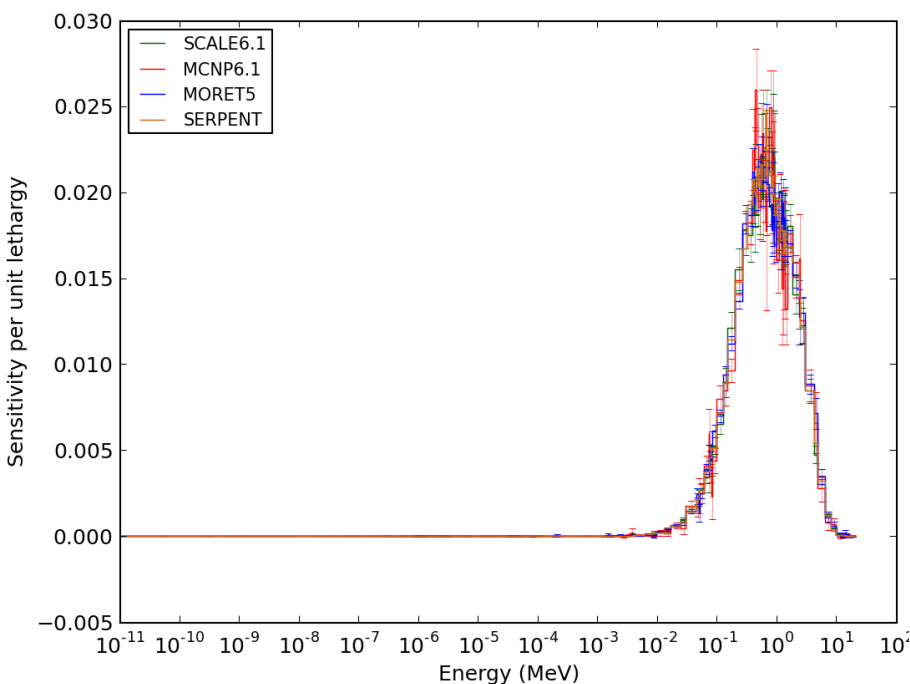
## Capture Radiative



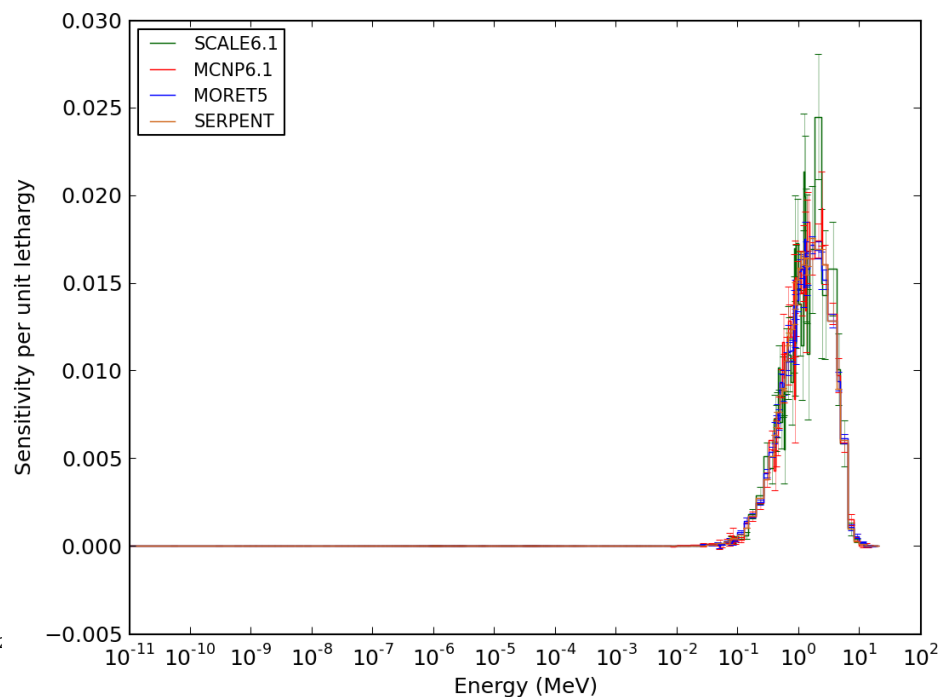
## Fission

# Résultats

## Profils Diffusions $^{239}\text{Pu}$



## Elastique



## Inélastique



# Résultats

- Résultats cohérents entre les profils
  - MORET5, MCNP6.1, SCALE6.1, SERPENT
  - Pour l'ensemble des isotopes
  - Intervalles de confiance se recouvrent
- Incertitude importante pour les profils liés à la diffusion
- Pas d'effet important de la bibliothèque sur les coefficients de sensibilités
- Pas d'effet important de la répartition des cycles

# Résultats

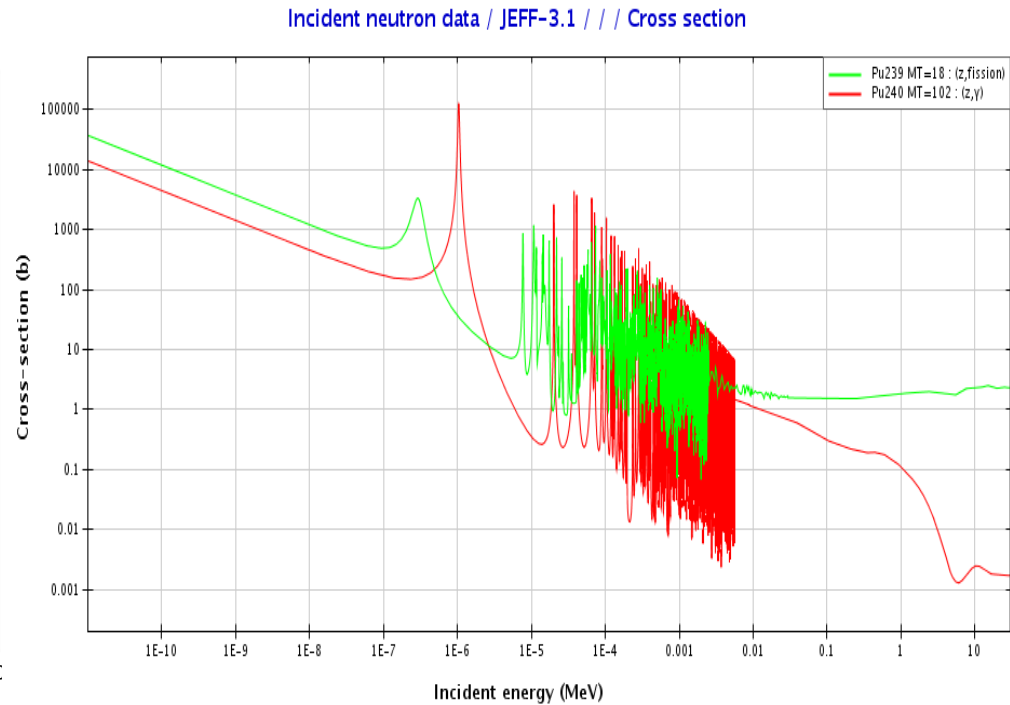
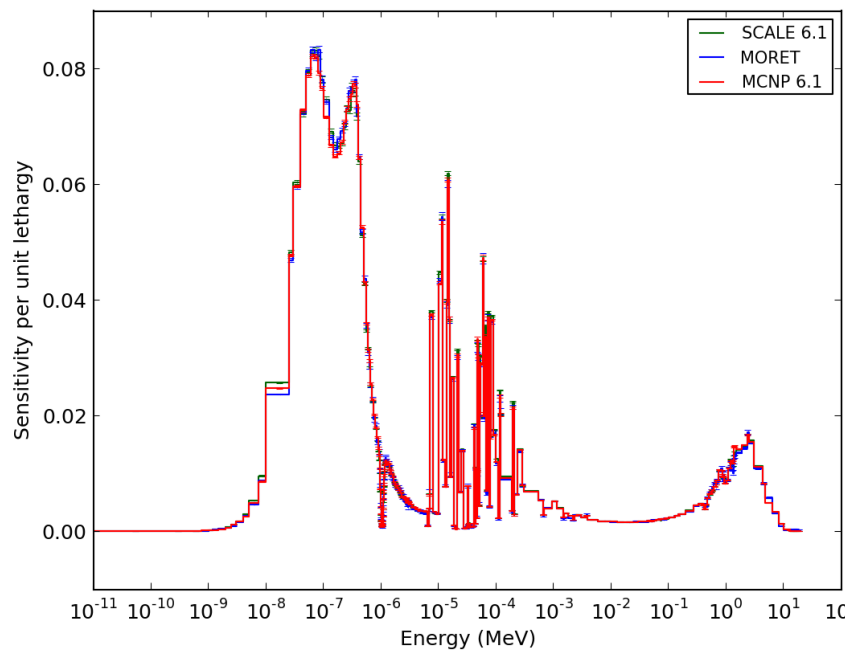
## UACSA

- Coefficients intégraux

Isotope	MORET5	M5 / MCNP6.1		M5 / SCALE6.1		M5 / Serpent	
Reaction	$\pm$ rel. std (%)	R1 (%)	R2	R1 (%)	R2	R1 (%)	R2
$^{239}\text{Pu } \bar{\nu}$	$0.9246 \pm 0.015$	-0.01	0.4	0.06	3.7	0.05	2.69
$^1\text{H } \sigma_{el}$	$0.4085 \pm 0.596$	3.32	1.4	1.24	0.4	-	-
$^{239}\text{Pu } \sigma_f$	$0.3776 \pm 0.081$	0.02	0.1	1.01	10.1	1.48	11.42
$^{239}\text{Pu } \sigma_c$	$-0.2619 \pm 0.058$	0.03	0.1	-0.36	5.2	1.47	14
$^{16}\text{O } \sigma_{el}$	$0.0858 \pm 0.968$	-0.75	0.2	-1.40	1.1	-	-
$^1\text{H } \sigma_c$	$-0.0811 \pm 0.16$	-2.81	4.7	0.87	3.5	-	-
$^{240}\text{Pu } \sigma_c$	$-0.0581 \pm 0.13$	0.21	0.4	3.69	27.1	4.12	78.00
$^{238}\text{U } \sigma_c$	$-0.0502 \pm 0.127$	0.79	1.7	16.05	121.6	-	-
$^{241}\text{Pu } \bar{\nu}$	$0.0281 \pm 0.3$	0.36	0.8	0.23	0.8	1.4	0.66
$^{238}\text{U } \bar{\nu}$	$0.0255 \pm 0.345$	1.46	1.7	-0.47	1.4	-	-

# Résultats UACSA

## Profil pour la section de fission du Pu9



# Conclusion

## ■ Résultats similaires

- Codes différents
- Méthodes différentes
- Consistance des résultats

## ■ Peu d'effet de bibliothèque de données nucléaires

## ■ Sensibilités aux sections efficaces pour code Monte Carlo

- Très bon accord entre différentes méthodes
- Robuste vis à vis des conditions de simulation

# Perspectives

## ■ Sensibilités aux Distributions

- Spectre de fission
- Cosinus de diffusions
- Diffusion Sab

■ Peut être important dans l'incertitude totale

■ Fonctionnalité récente (pour les codes Monte Carlo)

■ Peu de validation

- Difficile d'évaluer la fiabilité des résultats

■ Mettre en place une méthode de validation

# Perspectives

## ■ Incertitude des données nucléaires propagées sur le keff

- Coefficients de sensibilités (profils)
- Matrice de Covariance

$$\sigma = \sqrt{S^t C S}$$

## ■ Avec

- S : vecteur des profils de sensibilités
- C : Matrice de Covariance
- t : transposée

## ■ Incertitude

- Totale
- Sources d'incertitudes
  - Par couple isotope-réaction / isotope-réaction

Merci de votre attention