

Outil de calcul neutronique en évolution pour le MSFR

J. Martinet

Team MSFR
LPSC
Grenoble

NEEDS PF Systèmes nucléaires et scénarios
5 Octobre 2018 - Grenoble

Sommaire

1 Etudes neutroniques MSFR

- Spécificités du concept MSFR
- Code neutronique évoluant

2 Les outils de calcul neutronique

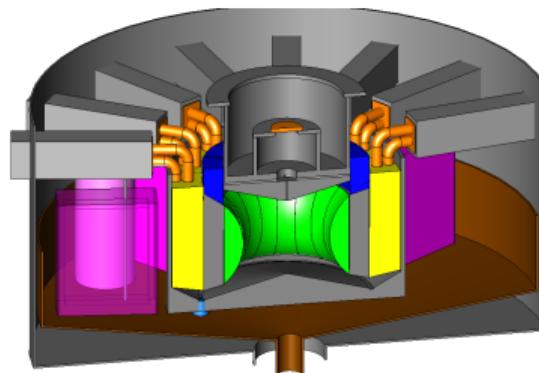
- REM : Réaliser une évolution avec MCNP
- LET : Lightweight evolution tool
- NEC : Neutronic Evolution Code

3 Conclusion

Plan

- 1 Etudes neutroniques MSFR
 - Spécificités du concept MSFR
 - Code neutronique évoluant
- 2 Les outils de calcul neutronique
 - REM : Réaliser une évolution avec MCNP
 - LET : Lightweight evolution tool
 - NEC : Neutronic Evolution Code
- 3 Conclusion

Spécificité du concept MSFR



- Combustible liquide
- Géométrie
- Unité de retraitement
- Cycle U/Th

Développement de nouveaux outils

Besoin d'outils plus génériques capables de modéliser et de prendre en compte ces spécificités.

Code neutronique évoluant pour l'étude du MSFR

- Couplage entre
 - Neutronique (réactions sous flux)
 - Décroissances radioactives
 - Retraitements (ponction en ligne, équilibre chimique, ...)
- Modélisation « continue » de l'évolution (retraitement en ligne)

Schéma de calcul

- 1 Données nucléaires (sections efficaces, décroissances radioactives, rendements de fissions)
- 2 Définition du cœur et de son unité de retraitement (données chimiques)
- 3 Calcul piloté par la précision :
 - Calcul Monte-Carlo (flux, taux de réactions)
 - Résolution de l'équation de Bateman

Equation de Bateman

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = \sum_{j,n} \lambda_j B_{n,j} \rho_{n,j \rightarrow i} N_j(t) + \sum_{j,MT} \Sigma_{MT,j} \rho_{MT,j \rightarrow i} N_j(t) - \lambda_i N_i(t) - \sum_i \Sigma_{MT,i} N_i(t) + \sum_j \lambda_{c_{j \rightarrow i}} N_j(t) - \sum_j \lambda_{c_{i \rightarrow j}} N_i(t) \quad (1)$$

avec :

- $N_i(t)$: Proportion de l'élément i à l'instant t
- λ_i : Constante de décroissance de l'élément i ($\lambda_i = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$)
- $B_{j,n}$: Fraction de l'élément j qui décroît par le mode de décroissance n
- $\rho_{n,j \rightarrow i}$: Rapport de branchement de l'élément j vers l'élément i pour le mode de décroissance n
- $\lambda_{c_{i \rightarrow j}}$: Décroissance chimique fictive de l'élément i vers l'élément j

Equation de Bateman

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = \sum_{j,n} \lambda_j B_{j,n} \rho_{n,j \rightarrow i} N_j(t) + \sum_{j,MT} \Sigma_{MT,j} \rho_{MT,j \rightarrow i} N_j(t) - \lambda_i N_i(t) - \sum_i \Sigma_{MT,i} N_i(t) + \sum_j \lambda_{c_{j \rightarrow i}} N_j(t) - \sum_j \lambda_{c_{i \rightarrow j}} N_i(t) \quad (1)$$

avec :

- Apparition
- Disparition

Equation de Bateman

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = \sum_{j,n} \lambda_j B_{j,n} \rho_{n,j \rightarrow i} N_j(t) + \sum_{j,MT} \Sigma_{MT,j} \rho_{MT,j \rightarrow i} N_j(t) - \lambda_i N_i(t) - \sum_i \Sigma_{MT,i} N_i(t) + \sum_j \lambda_{c_{j \rightarrow i}} N_j(t) - \sum_j \lambda_{c_{i \rightarrow j}} N_i(t) \quad (1)$$

avec :

- Décroissances radioactives
- Réactions induites par neutron incident
- Réactions fictives chimiques

Plan

1 Etudes neutroniques MSFR

- Spécificités du concept MSFR
- Code neutronique évoluant

2 Les outils de calcul neutronique

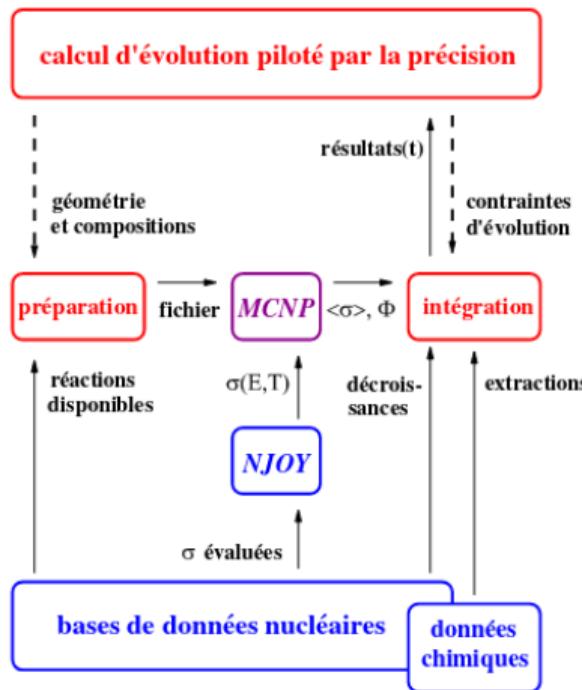
- REM : Réaliser une évolution avec MCNP
- LET : Lightweight evolution tool
- NEC : Neutronic Evolution Code

3 Conclusion

REM : code de référence

- Code de référence des études du MSFR
- Développé et maintenu au LPSC depuis plus de 20 ans
- Ecrit dans l'environnement DALI (Programmation orientée objet)
- Permet de faire l'étude neutronique et du cycle complet du MSFR
- Couplage entre : **Neutronique** - **Chimie** - **Décroissance radioactive**

REM : Structure du code

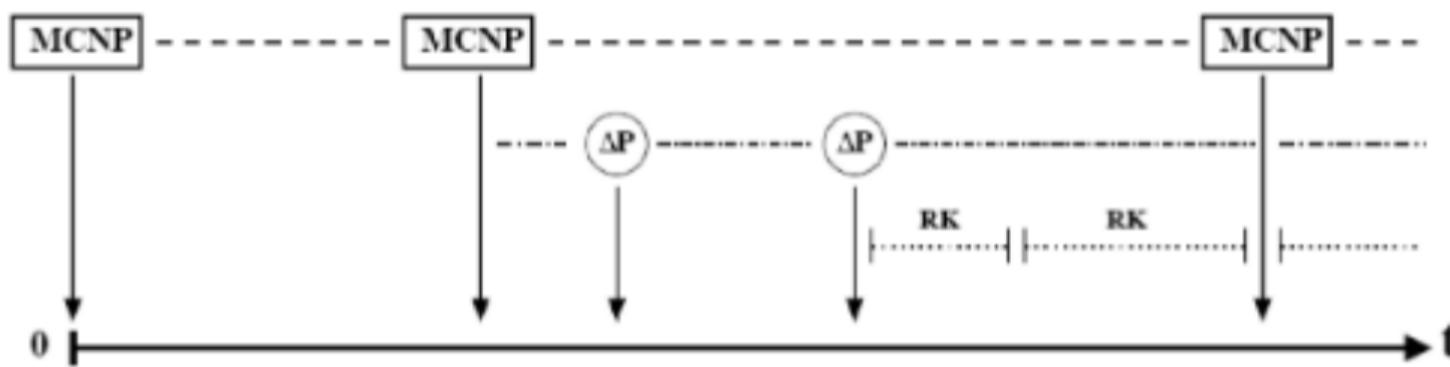


- Calcul Monte-Carlo : MCNP
- Résolution de l'équation de Bateman via Runge-Kutta (4)
- Base de données format ENDF (preprocessing NJOY)

REM : Résolution de l'équation de Bateman

Basé sur 3 pas de temps :

- 1 Pas Monte-Carlo (Calcul neutronique)
- 2 Pas d'ajustements (Contrôles)
- 3 Pas d'intégration (Runge-Kutta 4)



LET : Code d'évolution simplifié

- ① Données nucléaires (sections efficaces, décroissances radioactives, rendements de fissions)
- ② Définition du cœur et de son unité de retraitement (données chimiques)
- ③ Calcul piloté par la précision :
 - Calcul Monte-Carlo (flux, taux de réactions)
 - Résolution de l'équation de Bateman

LET : Code d'évolution simplifié

- 1 Données nucléaires (sections efficaces, décroissances radioactives, rendements de fissions)
- 2 Définition du cœur et de son unité de retraitement (données chimiques)
- 3 Calcul piloté par la précision :
 - Calcul Monte-Carlo (flux, taux de réactions)
 - Résolution de l'équation de Bateman

LET : Résolution de l'équation de Bateman

Résolution numérique directe de l'équation de Bateman simplifié :

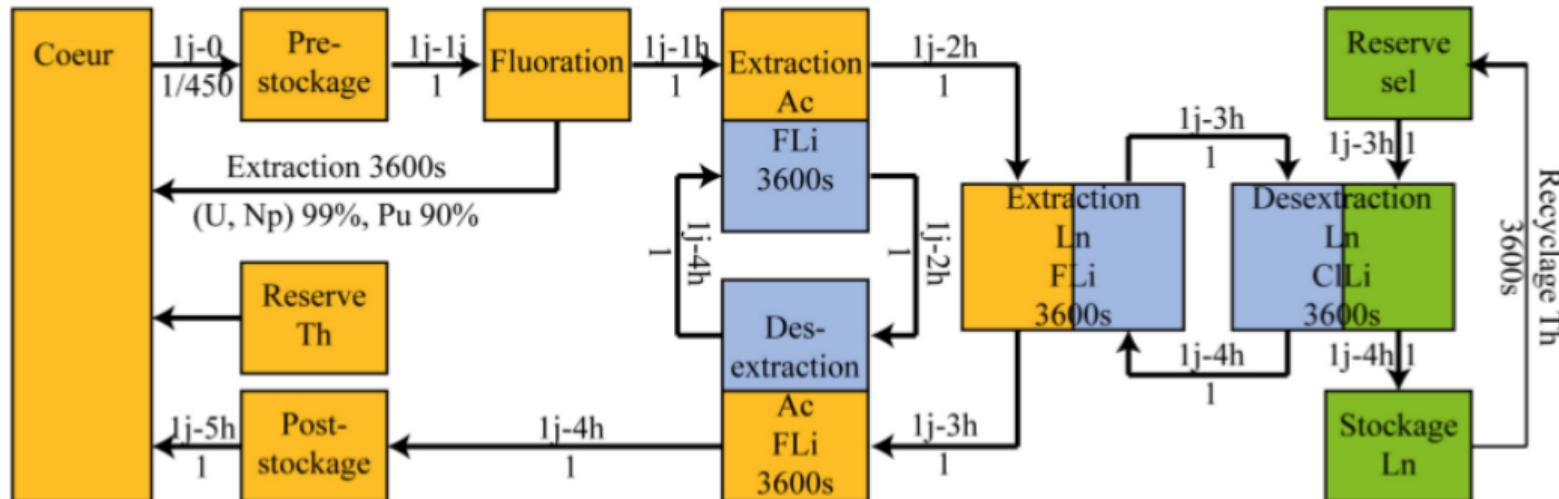
Gestion des sections efficaces

Les sections efficaces ainsi que le flux sont fixés par un unique calcul neutronique du MSFR (réalisé en amont de l'étude)

$$R = N\sigma\Phi \quad (2)$$

Calcul simplifié et plus rapide

LET : Détermination de l'unité de retraitement



NEC : Mise à jour de REM

- Mise à jour du code de référence
- Utilisation du code Monte-Carlo Serpent (version 2)
- Données nucléaires au format ENDF et ACE
- Résolution de l'équation de Bateman par calcul matriciel
- Possibilité de modéliser des réacteurs à combustibles solides
- Code en cours de développement/validation

NEC : Résolution de l'équation de Bateman

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = \sum_{j,n} \lambda_j B_{n,j} \rho_{n,j \rightarrow i} N_j(t) + \sum_{j,MT} \Sigma_{MT,j} \rho_{MT,j \rightarrow i} N_j(t) - \lambda_i N_i(t) - \sum_i \Sigma_{MT,i} N_i(t) + \sum_j \lambda_{c_{j \rightarrow i}} N_j(t) - \sum_j \lambda_{c_{i \rightarrow j}} N_i(t) \quad (3)$$

$$\frac{d\vec{N}(t)}{dt} = A\vec{N} \quad (4)$$

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & \dots & A_{1i} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & \dots & A_{2i} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{i1} & A_{i2} & A_{i3} & \dots & A_{ii} & \dots & A_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{n1} & A_{n2} & A_{n3} & \dots & A_{ni} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix}$$

Plan

1 Etudes neutroniques MSFR

- Spécificités du concept MSFR
- Code neutronique évoluant

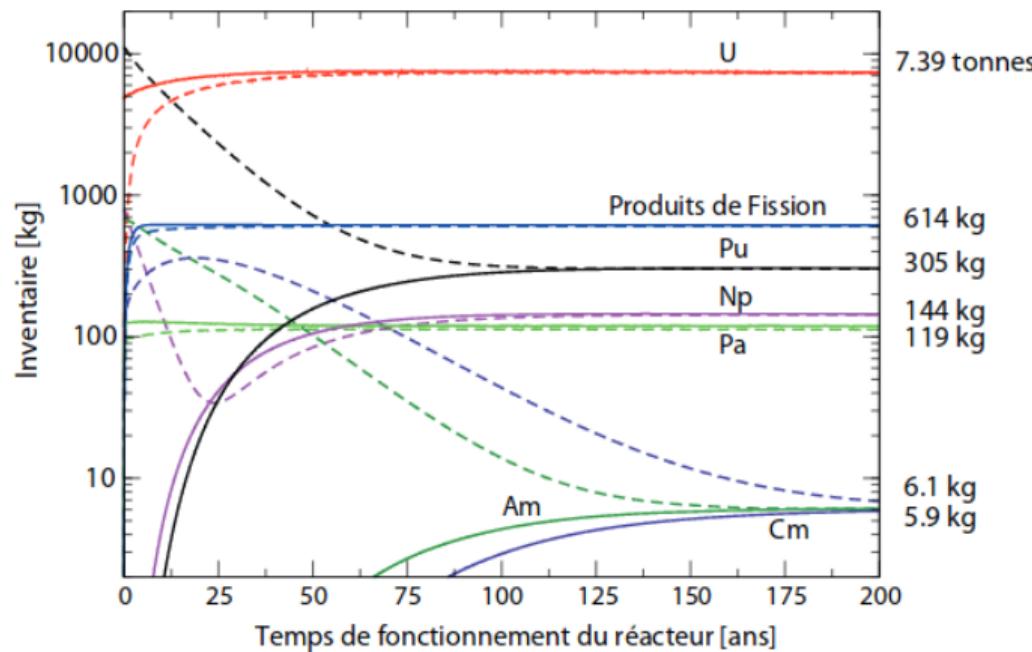
2 Les outils de calcul neutronique

- REM : Réaliser une évolution avec MCNP
- LET : Lightweight evolution tool
- NEC : Neutronic Evolution Code

3 Conclusion

Conclusion : Résultats

Plein : Démarrage U233, Pointillé : Démarrage TRU



Conclusion

Outil de calcul neutronique évoluant

Nécessité de développer des outils capables de modéliser les spécificités du MSFR notamment son combustible liquide et son unité de retraitement avec des outils plus **génériques**.

Merci de votre attention