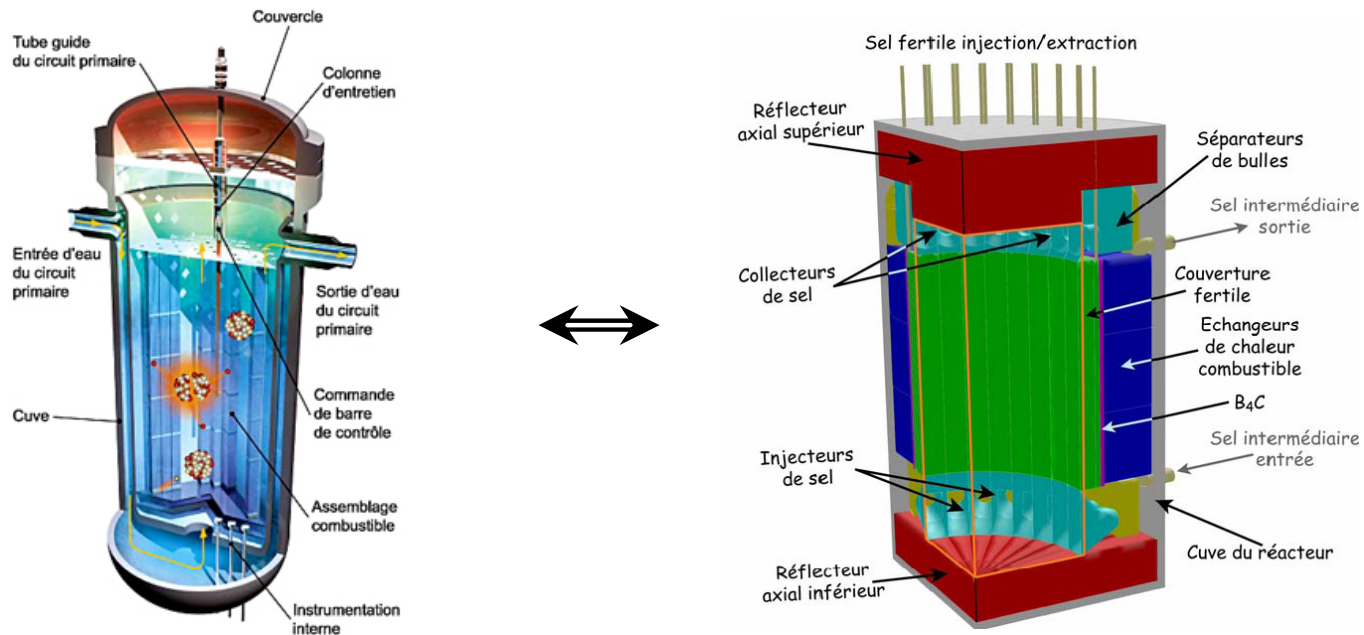


Atelier thermo-hydraulique du PCR-ANSF

NICOLAS CAPELLAN

CENBG Bordeaux

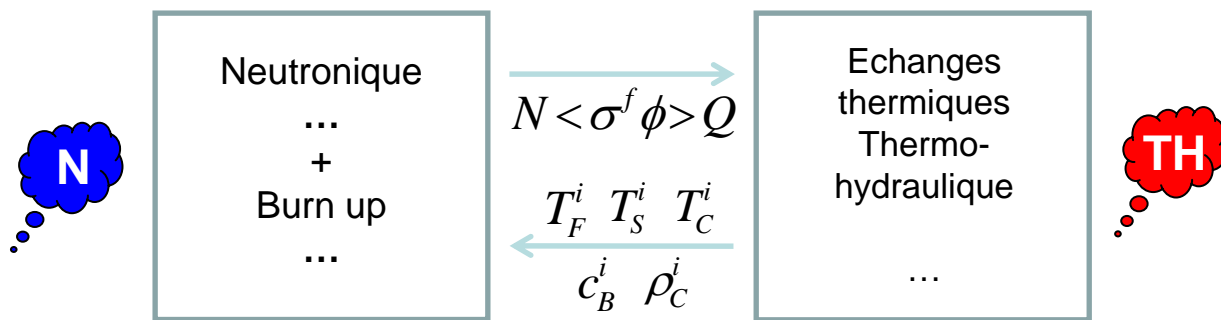
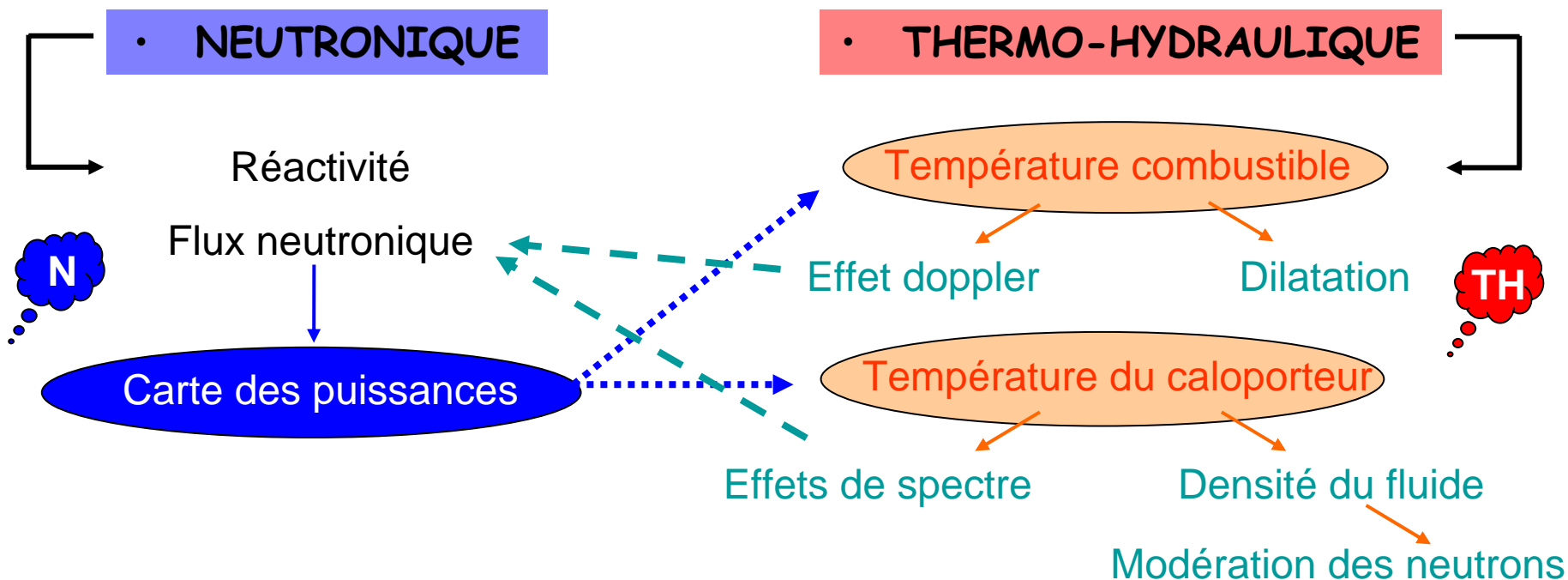
**Le couplage neutronique/thermo-hydraulique dans les réacteurs à eau
Parallèles avec les réacteurs à combustible liquide**



Nécessité du couplage N-TH

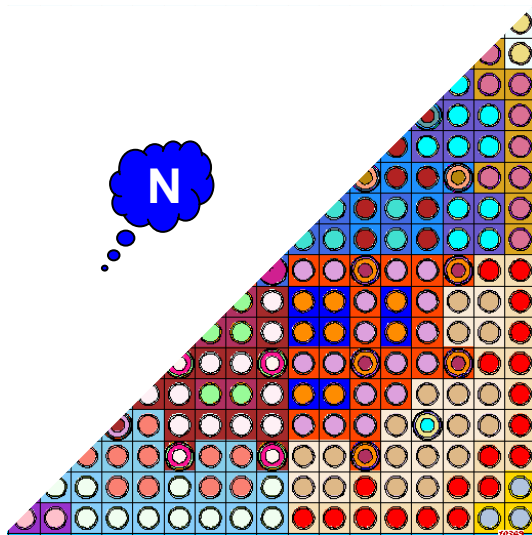
Contrôle de la réactivité

Contrôle des températures

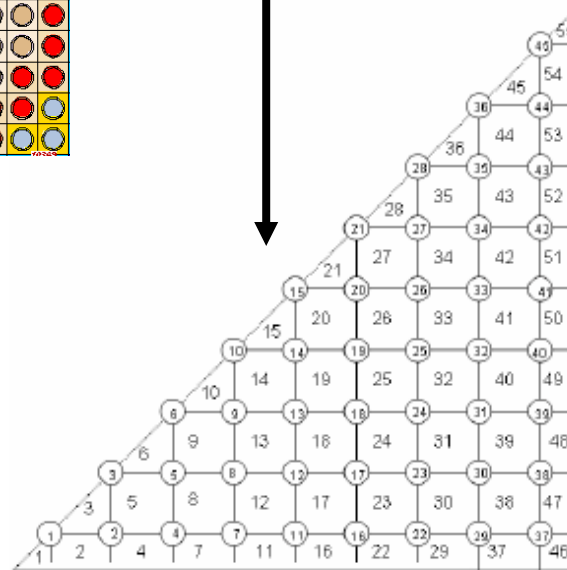


Couplage N-TH : réacteurs à combustible solide

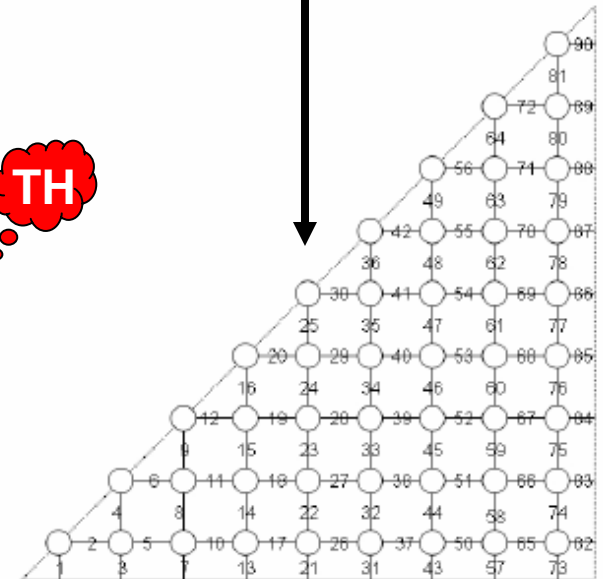
- Recouvrement des maillages



Cas d'un code sous canal



Identification des crayons
et sous-canaux

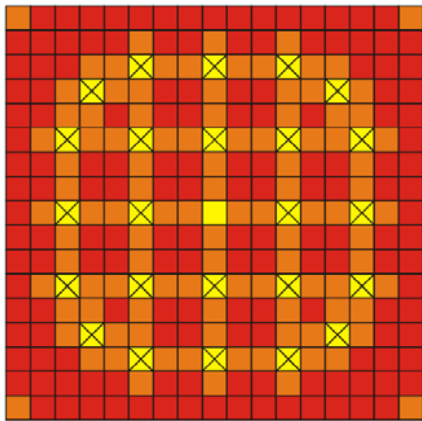


Identification des
connexions

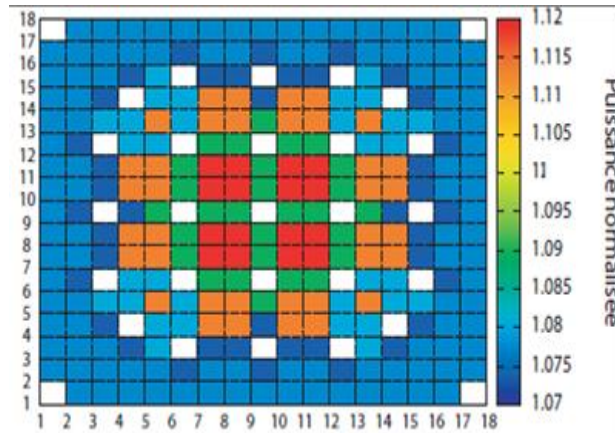
Couplage N-TH : réacteurs à combustible solide

Application du couplage 3D Monte Carlo / thermo-hydraulique :
optimisation des plans de chargement et position des poisons consommables

Assemblage simulé

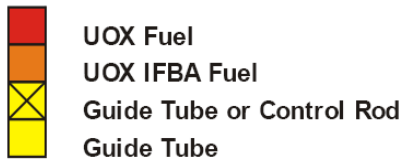
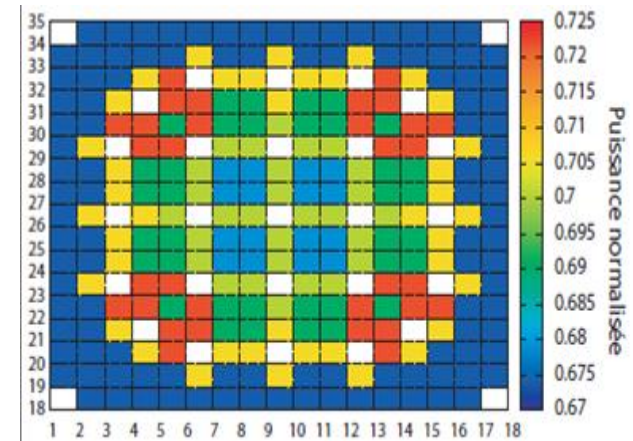


Assemblage neuf



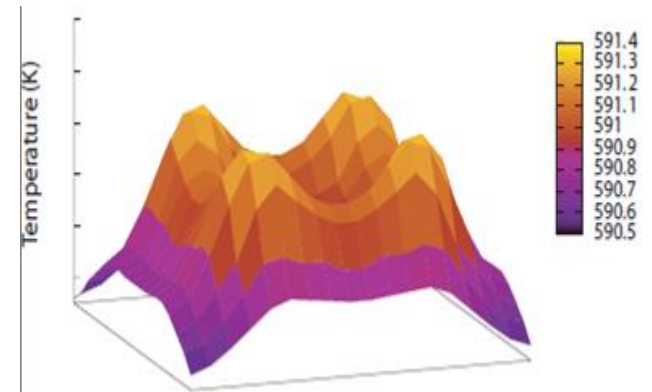
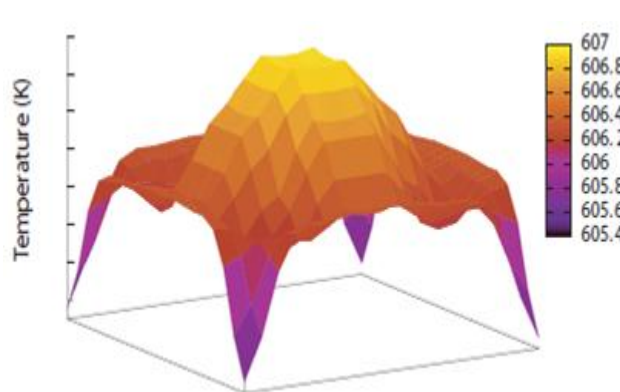
Assemblage irradié (2 ans)

Densité de puissance



| | 1 | 2 |
|---|--------------------------|----------------|
| A | U 4.2% (CR-D) 35.0 | U 4.2% 0.15 |
| B | U 4.2% 0.15 | U 4.2% 17.5 |

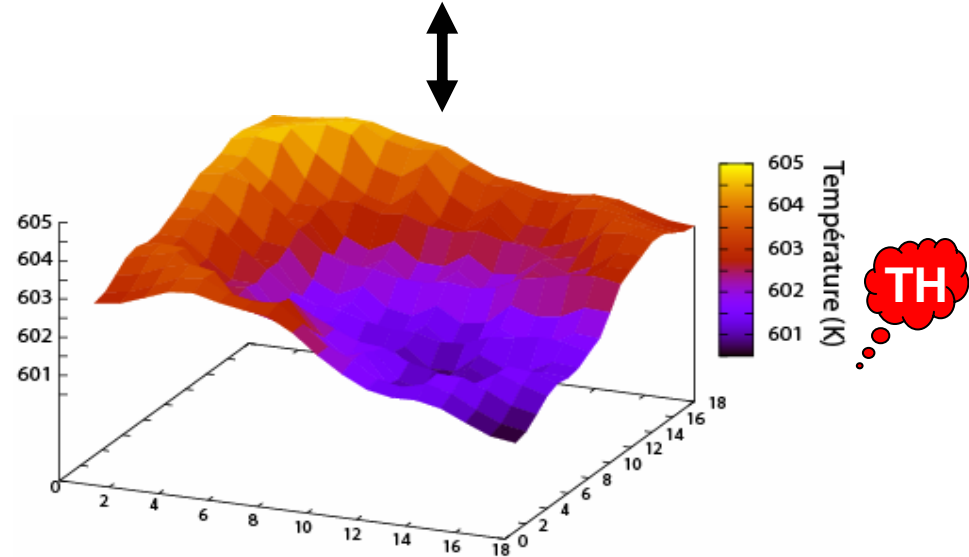
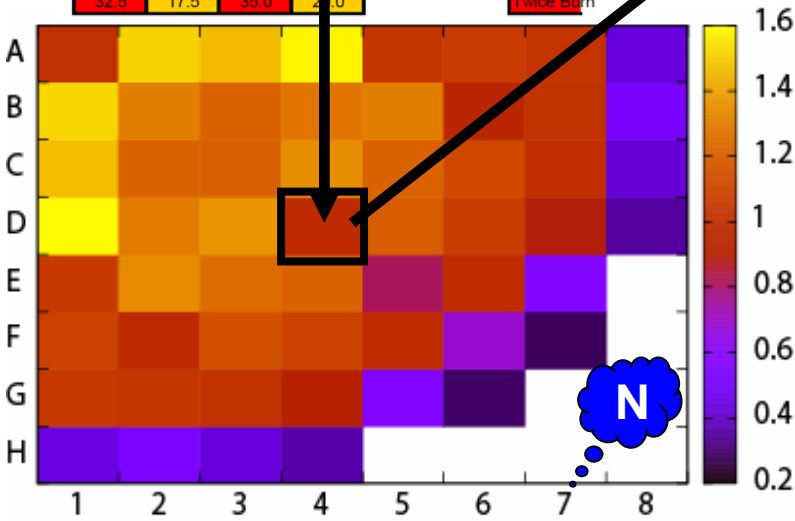
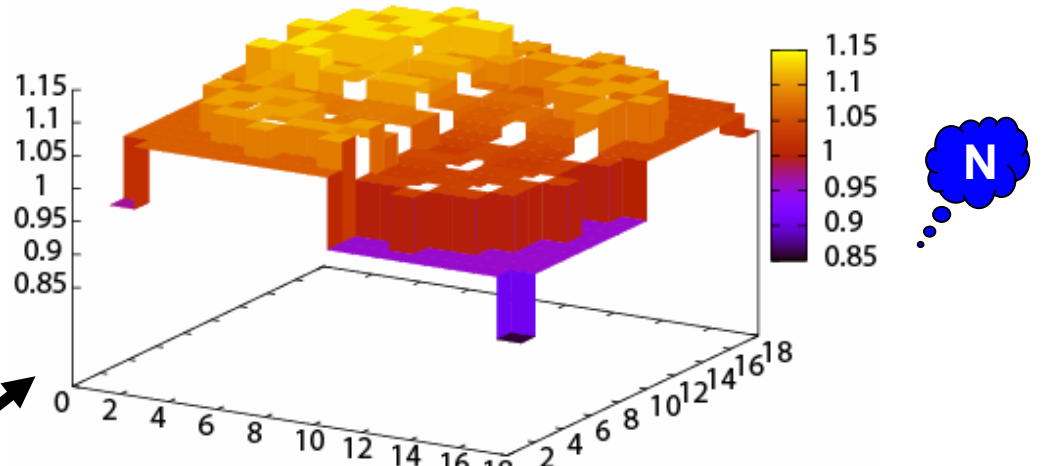
Température de sortie du caloporteur



Couplage N-TH : réacteurs à combustible solide

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--|----------------|
| A | U 4.2% (CR-D) 35.0 | U 4.2% 0.15 | U 4.2% (CR-A) 22.5 | U 4.5% 0.15 | U 4.5% (CR-SD) 37.5 | M 4.3% 17.5 | U 4.5% (CR-C) 0.15 | U 4.2% 32.5 |
| B | U 4.2% 0.15 | U 4.2% 17.5 | U 4.5% 32.5 | M 4.0% 22.5 | U 4.2% 0.15 | U 4.2% (CR-SB) 32.5 | M 4.0% 0.15 | U 4.5% 17.5 |
| C | U 4.2% (CR-A) 22.5 | U 4.5% 32.5 | U 4.2% (CR-C) 22.5 | U 4.2% 0.15 | U 4.2% 22.5 | M 4.3% 17.5 | U 4.5% (CR-B) 0.15 | M 4.3% 35.0 |
| D | U 4.5% 0.15 | M 4.0% 22.5 | U 4.2% 0.15 | M 4.0% 37.5 | U 4.2% 0.15 | U 4.5% (CR-SC) 20.0 | M 4.3% 0.15 | U 4.5% 20.0 |
| E | U 4.5% (CR-SD) 37.5 | U 4.2% 0.15 | U 4.2% 22.5 | U 4.2% 0.15 | U 4.2% (CR-D) 37.5 | U 4.5% 0.15 | U 4.2% (CR-SA) 17.5 | |
| F | M 4.3% 17.5 | U 4.2% (CR-SB) 32.5 | M 4.3% 17.5 | U 4.5% (CR-SC) 20.0 | U 4.5% 0.15 | M 4.3% 0.15 | U 4.5% 32.5 | |
| G | U 4.5% (CR-C) 0.15 | M 4.0% 0.15 | U 4.5% (CR-B) 0.15 | M 4.3% 0.15 | U 4.2% (CR-SA) 17.5 | U 4.5% 32.5 | Assembly Type CR Position Burnup [GWd/t] | |
| H | U 4.2% 32.5 | U 4.5% 17.5 | M 4.3% 35.0 | U 4.5% 20.0 | | | Fresh Once Burn Twice Burn | |

• Calcul $\frac{1}{4}$ cœur



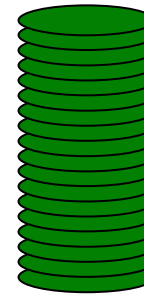
Les puissances sont normalisées

Couplage N-TH : réacteurs à combustible liquide

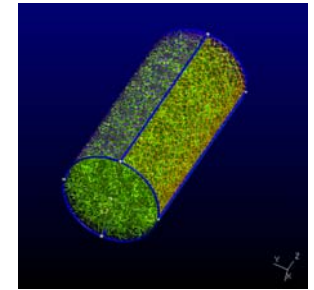
Discrétisation / recouvrement des maillages



Élément de volume du cœur

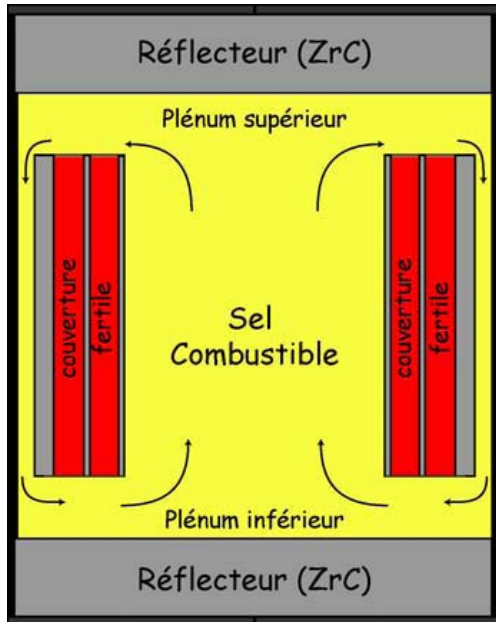


Modélisation neutronique

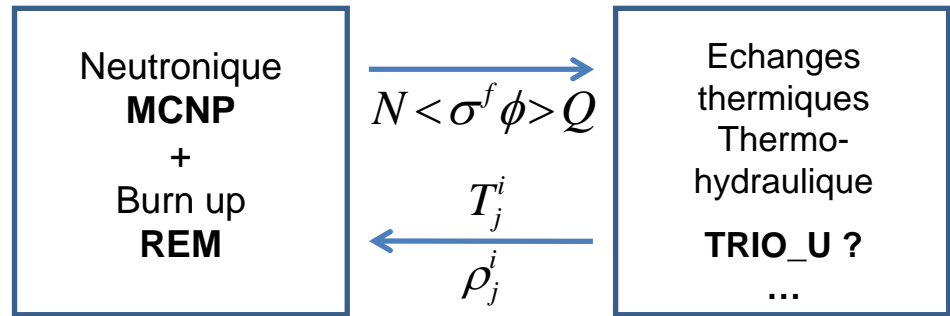


Modélisation thermo-hydraulique

MSFR



Communications



Section efficace dépendante de la température

NJOY

Méthode des pseudo-matériaux :

$$\Sigma(T) = \omega_1 \Sigma(T_1) + \omega_2 \Sigma(T_2)$$

$$\omega_2 = \frac{\sqrt{T} - \sqrt{T_1}}{\sqrt{T_2} - \sqrt{T_1}} \quad \text{et} \quad \omega_1 = 1 - \omega_2$$

Couplage N-TH : réacteurs à combustible liquide

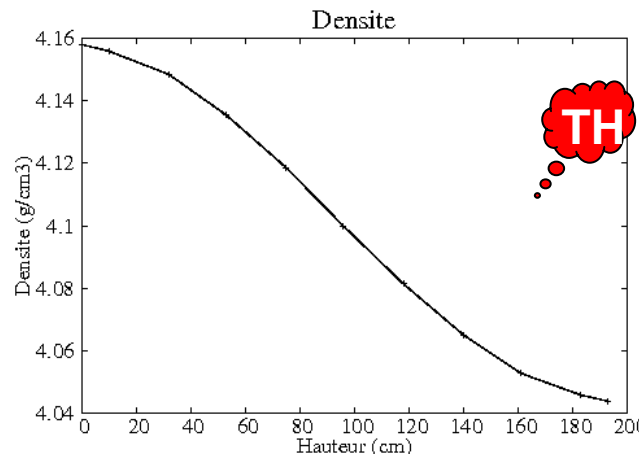
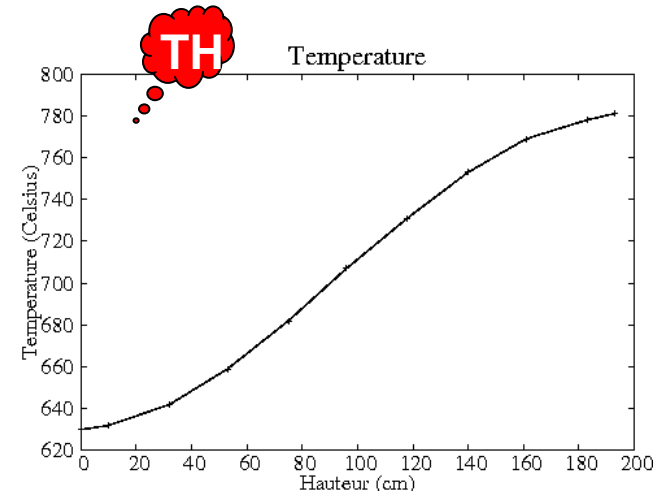
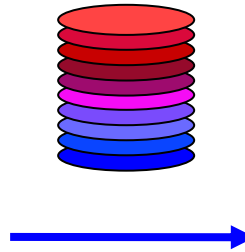
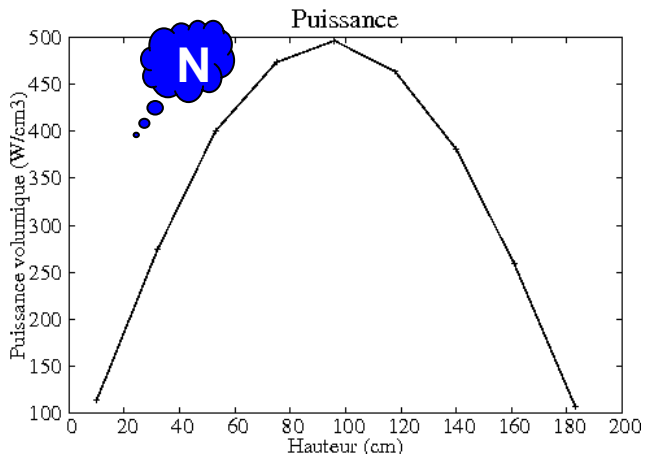
Test préliminaire : étude couplée neutronique / thermo-hydraulique sur un élément de volume

[1] Présentation MSFR – calculs INOPRO

[2] Contributions aux études de sûreté pour des filières innovantes de réacteurs nucléaires. F. Perdu. 2003

[3] Le concept AMSTER, aspects physiques et sûreté. D. Lecarpentier. 2001

[1],[2],[3] Canal moyen : R=13cm, H=194cm
 Volume ~ 1% du cœur $V=1\text{m}^3/\text{s}$
 P_{canal} Débit masse



Hypothèses neutroniques

Colonne cylindrique
 (réflexion radiale et fuites axiales)

Combustible : ${}^7\text{LiF}-\text{ThF}_4-{}^{233}\text{UF}_3$ [4]

[4] Minimizing the fissile inventory of the molten salt fast reactor. E. Merle-Lucotte et al. Advances in Nuclear Fuel Management IV. 2009

Hypothèses thermiques

Colonne adiabatique

Echauffement du fluide : $\Delta T = \frac{q}{\dot{m}C_p}$
 ρ, C_p, μ [4],[5]

[5] Filière nucléaire à sels fondus, prédimensionnement des échangeurs intermédiaires. Note EDF HF-22-75-36. 1975

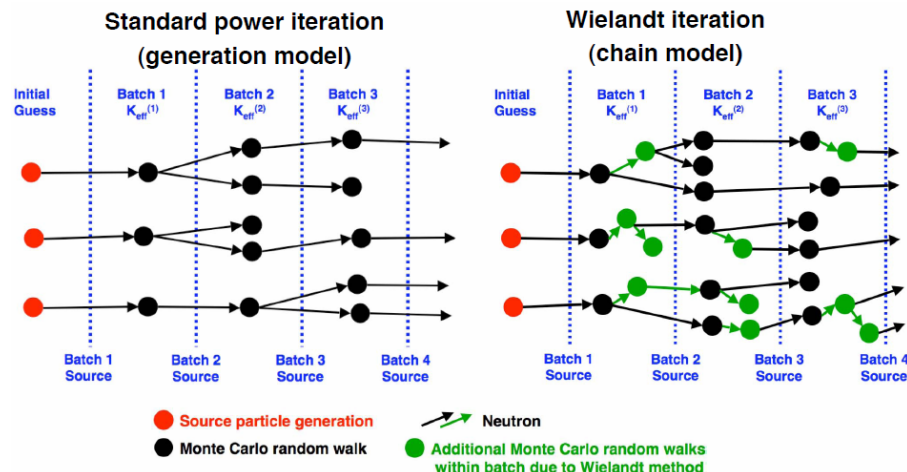
Couplage N-TH : points durs

Difficultés / pistes de solution

CV des sources de fission [1]

Combustible liquide : problématique des neutrons retardés [2],[3]

Cinétique : technique de résolution et problématique de la propagation des erreurs/incertitudes [4]



Erreurs sur les données brutes :

- rapport alpha ^{233}U (expériences CENBG)
- erreur/absence de données sur certaines probabilités d'émission de neutrons retardés (campagnes mesures à l'ILL : Ludovic Mathieu)

[1] Reliable method for fission source convergence of Monte Carlo critically calculation with Wielandt's method. Yamamoto et al. 2004

[2] Contributions aux études de sûreté pour des filières innovantes de réacteurs nucléaires. F. Perdu. 2003

[3] Le concept AMSTER, aspects physiques et sûreté. D. Lecarpentier. 2001

[4] Couplage Neutronique – thermo-hydraulique. Application au RNR-He. F. Vaiana. 2009

Source de puissance ...

Approximation : l'énergie de fission est déposée localement et de manière instantanée