

## Filière Innovantes pour un Nucléaire Durable

O. Méplan, S. David\*, A. Bidaud, R. Chambon†, N. Capellan, M. Fallot, P. Guillemain, B. Guillon, E. Ivanov†, F. Michel-Sendis, A. Nuttin, F. Perdu, L. Perrot, J. Wilson

\* responsable de l'ACI FIND

† CDD financé par FIND

# Objectif de FIND

- Etudes de divers systèmes et scénarios pour le nucléaire du futur
  - Différents types de réacteurs (standards, évolutifs, innovants, incinérateurs de déchets)
  - Différents combustibles cycle : U/Pu ou Th/<sup>233</sup>U
- ⇒ Développement d'un code de simulation des réacteurs (évolution du combustible, sûreté, ...) : MURE
- Basé sur un code de neutronique Monte-Carlo (MCNP)
  - Convivialité & portabilité
  - Test de validité : Benchmark avec codes déterministes
- ⇒ Développement d'un code de scénarios : OSCAR

# MCNP Utility for Reactor Evolution

## MURE

- modélisation de réacteurs ou d'expériences neutroniques
- évolution de combustibles
- étude de sûreté/transitoires

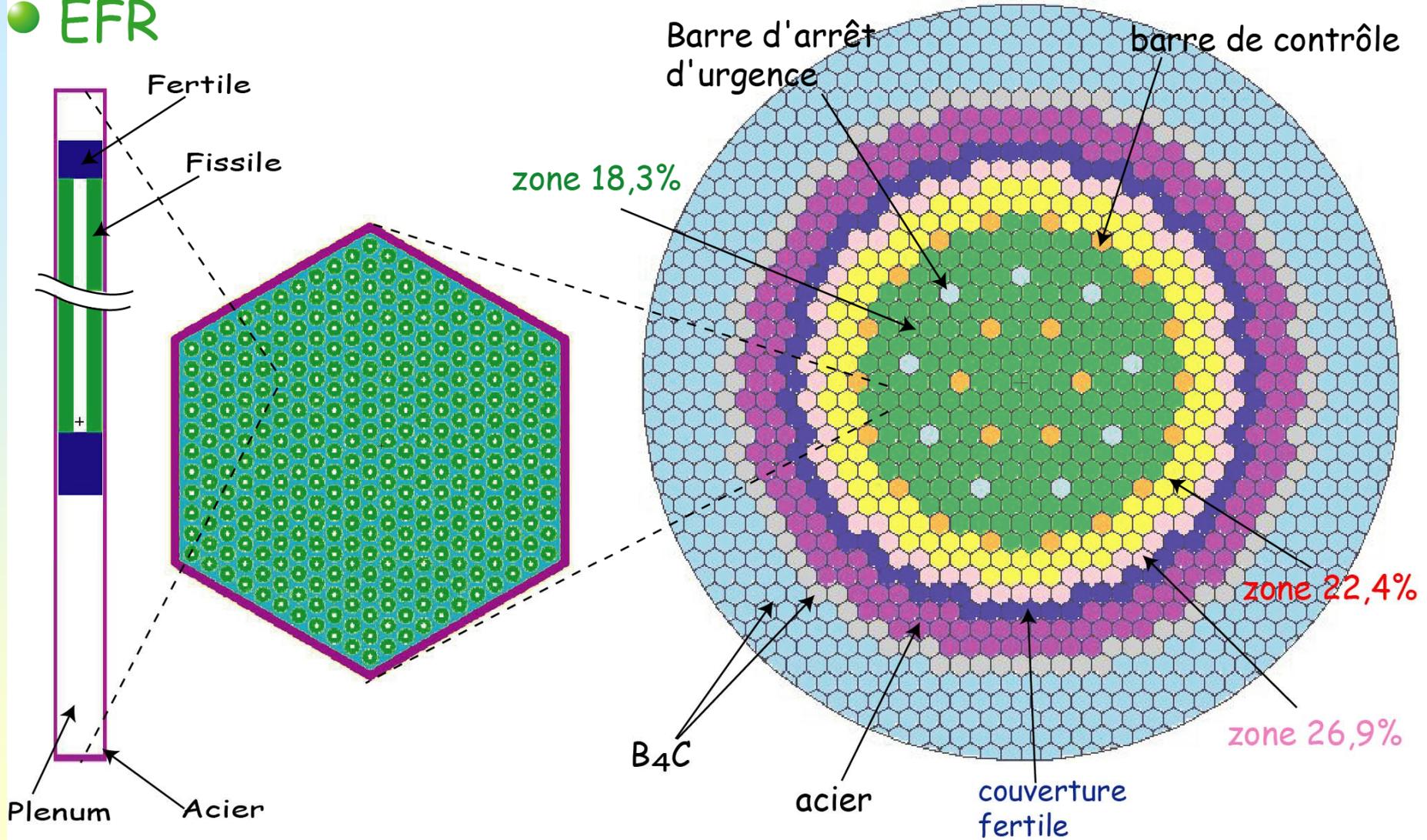


© Canal historique

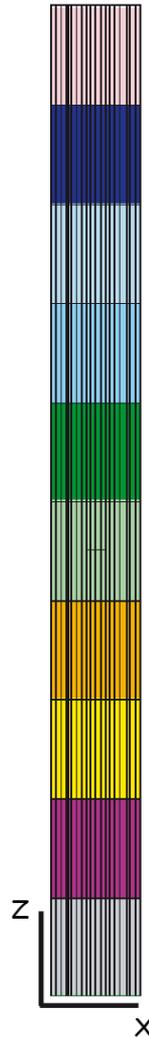
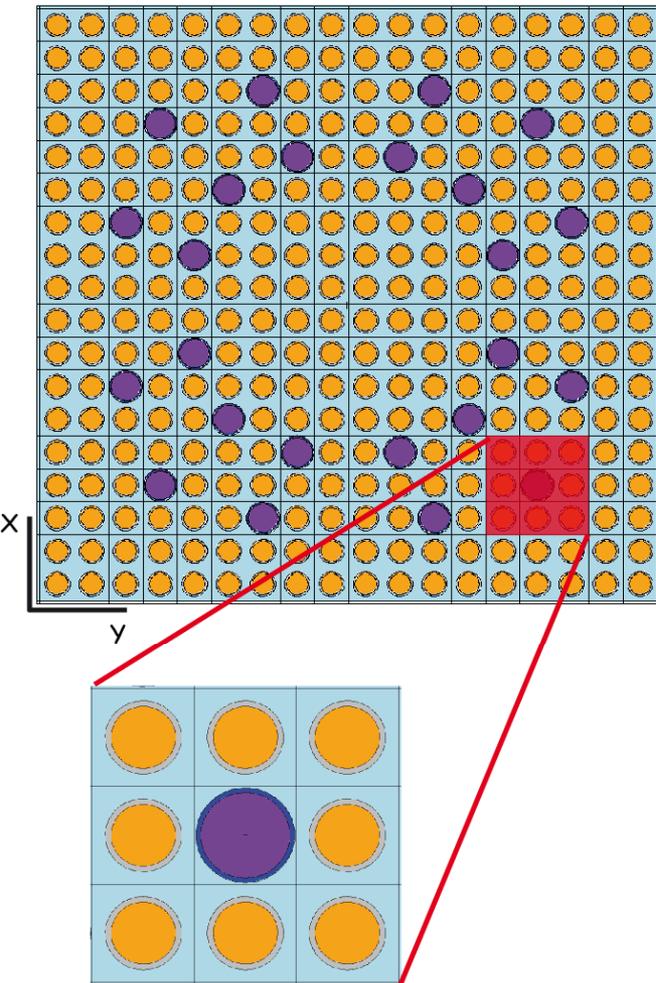
- Définition précise de la **géométrie à l'aide d'objets** (formes, matériaux, ...)
- Module de **construction des données nucléaires** aux températures nécessaires
- **Evolution du combustible**
  - **Couplage** du transport neutronique (**MCNP**) statique avec **l'évolution des matériaux**
  - **Radiotoxicité et chaleur** des déchets
  - Inventaire pour les scénarios (**OSCAR**)
- **Sûreté**
  - **Couplage** de **MURE** (neutronique) avec la **thermohydraulique**
- **Non-prolifération** : contrôle non intrusif des réacteurs par les **anti-neutrinos**

Outils écrits en C++

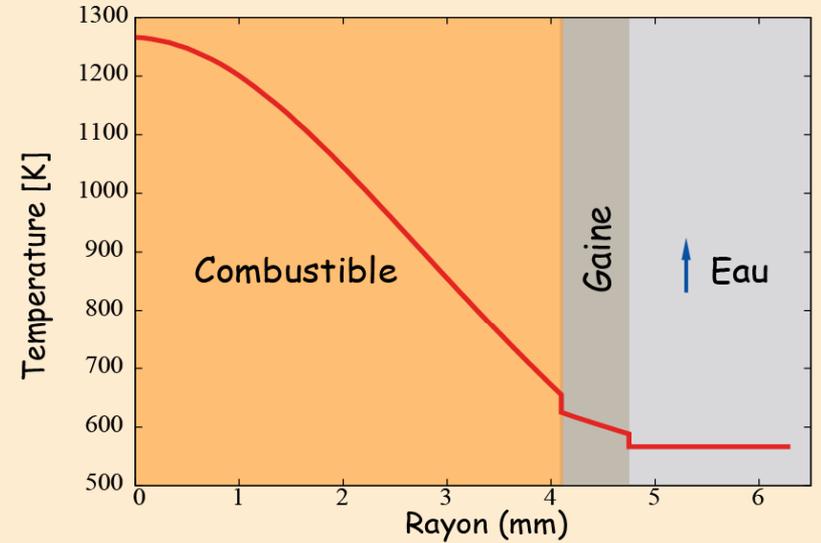
## ● EFR



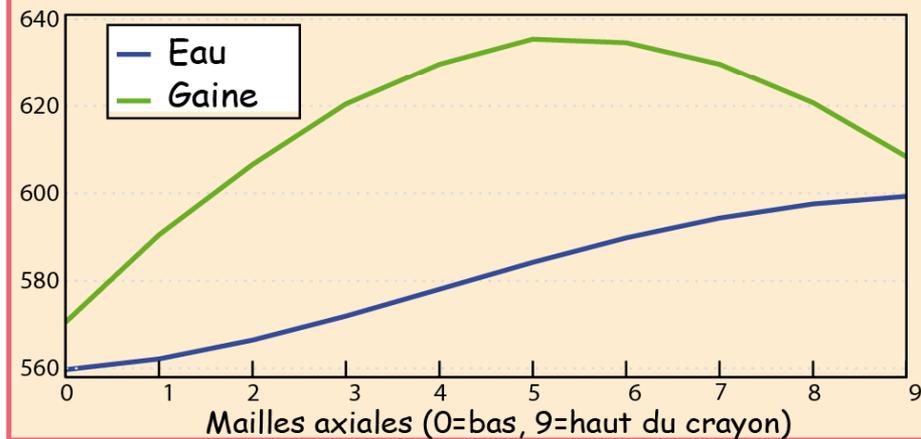
## Modélisation automatique de la géométrie



## Profil radial de température



## Profil axial de température



Plusieurs scénarios mais comment les comparer ?

→ Réflexion sur les critères de comparaison

- Réserve en minerai
- Consommation du minerai naturel
- Production de déchets
- Inventaires en réacteur
- Flux de matière au retraitement
- Aspects technologiques : simplicité, disponibilité, ...
- Souplesse : options condamnées ou laissées ouvertes
- Aspects économiques
- ...

## 2 familles Scénarios

### ➤ Scénario A : tension sur les ressources en Uranium d'ici 2100

Demande  $\sim 4\text{Gtep}$ , Ressource  $U_{\text{nat}} \sim 20$  millions de tonnes

#### ▪ Tension forte : Nécessité de régénération (Gen IV)

• Réacteur à Neutron Rapide (RNR) : U/Pu et Th/U-233

• Réacteur à Sels Fondus (RSF) : Th/U-233

→ Déchets et Inventaires

### ➤ Scénario B : pas de tension sur les ressources en Uranium avant longtemps

Faible augmentation de la demande et/ou Ressource  $U_{\text{nat}} > 20$  millions de tonnes

#### ▪ Pas besoin de régénération

• Limiter la production de déchets (les combustibles usés deviennent des déchets)

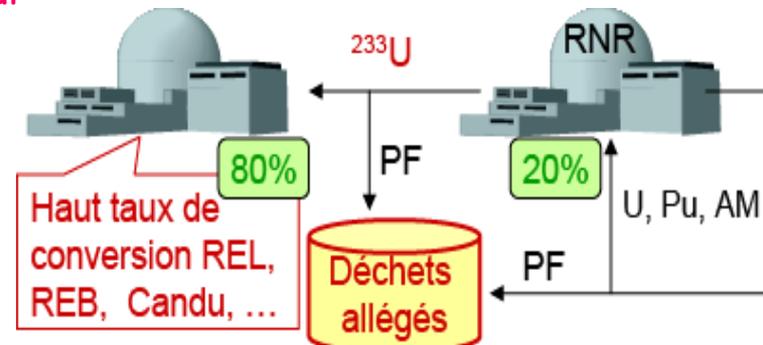
→ Incinération du Pu en REP et des Actinides Mineur en ADS (réacteur hybride)

→ Incinération de Pu+AM en RNR incinérateur

### ➤ Transition de Scénario B → Scénario A

#### ▪ Parc symbiotique

RNR / Réacteur Haut taux de conversion



# Optimized Scenario Code for Advanced Reactors

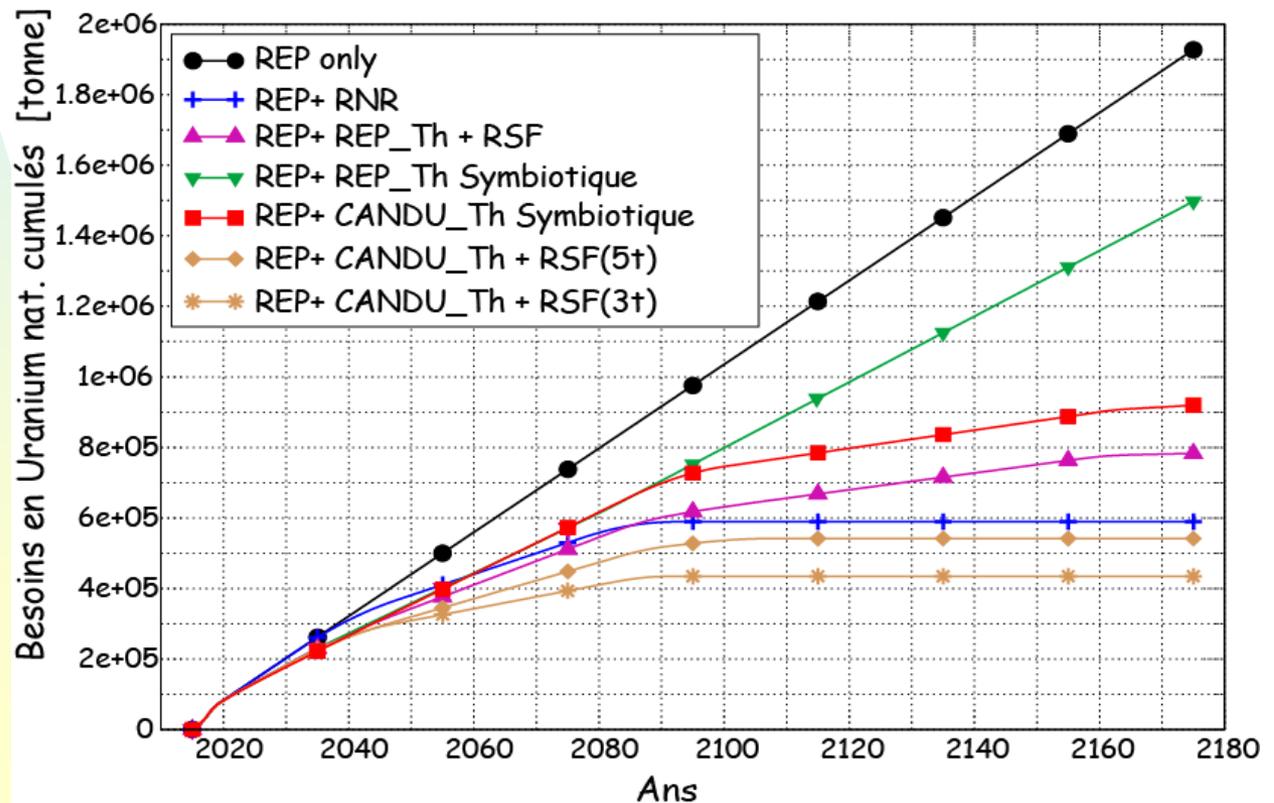


**But :** simulation simplifiée des scénarios de transitions possible de Gen II à Gen IV, de l'échelle nationale à l'échelle mondiale

**Principe :**

- description des réacteurs & stocks de combustible
- Profile de la demande

→ Construction (automatique) de réacteurs & usines d'enrichissement/retraitement en fonction de priorité



# Conclusion & perspectives

## MURE

- Outils puissant, complet & validé (~30 000 lignes de code) basé sur une méthode Monte-Carlo
- Convivial & portable (actuellement utilisé au CNRS, CEA, EDF R&D et à l'étranger : République Tchèque, Hongrie, Inde, USA, Canada, ...)

## Apport de l'ACI FIND

- Ferme parallèle de 20 PC bi-processeurs
- 2 Postdocs

## Tout n'est pas fini

- Couplage neutronique/thermohydraulique avec une code 3D
  - Simulation d'accident
- Optimisation des réacteurs à eau utilisant le thorium
  - gestion de la réactivité,
  - hétérogénéité, ...
- Réévaluation des RNR soit en thorium, soit comme incinérateur
- Etudes approfondies de scénarios (symbiotique à eau ou eau/RNR)
  - Potentiel d'incinération des ADS
  - Couplage avec des codes de scénarios raffinés (COSI)