

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

## ***JOURNÉE UTILISATEURS SALOME***

***21/11/2013***

### **MISE EN ŒUVRE D'UN EXERCICE DE COUPLAGE APOLLO3-FLICA4 DANS L'OUTIL MULTI PHYSIQUE CORPUS DÉDIÉ À L'ANALYSE DES RÉACTEURS REP EN SITUATIONS DE FONCTIONNEMENT NORMAL ET ACCIDENTEL**

**Didier Schneider (SERMA/LLPR)**

**Jean-Charles Le Pallec (SERMA/LPEC)**

**Alexandre Targa (doctorant LMS – Polytechnique)**

**CEA-Saclay DEN/DANS/DM2S/SERMA**



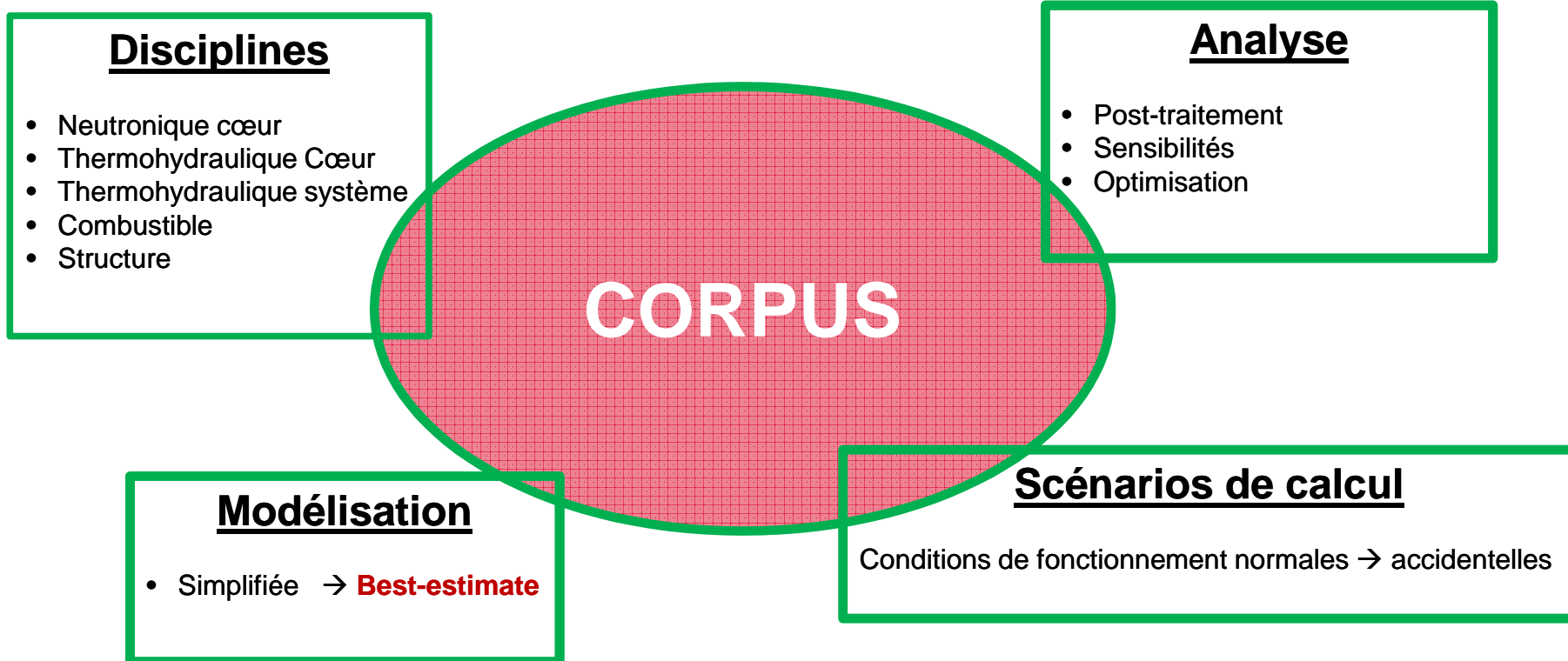
- **Contexte**
- **Le composant APOLLO3-SALOME**
- **Couplage APOLLO3/FLICA4: application**
- **Conclusions/Perspectives**



- **CORPUS: présentation/ambition**
- **modélisation best-estimate en physique des réacteurs**



## Plateforme de développement d'applications SALOME multidisciplinaires pour la physique des Réacteurs à Eau Légère (REL)





## Enjeux

**Sûreté nucléaire**: contexte actuel de développement des approches **BEPU** (**Best-Estimate** Methods and Uncertainty Evaluations \*)

**BE** → réduction des conservatismes dans les méthodes de calcul → Améliorer la description du comportement d'un réacteur en conditions de fonctionnement normal, incidentel et accidentel:

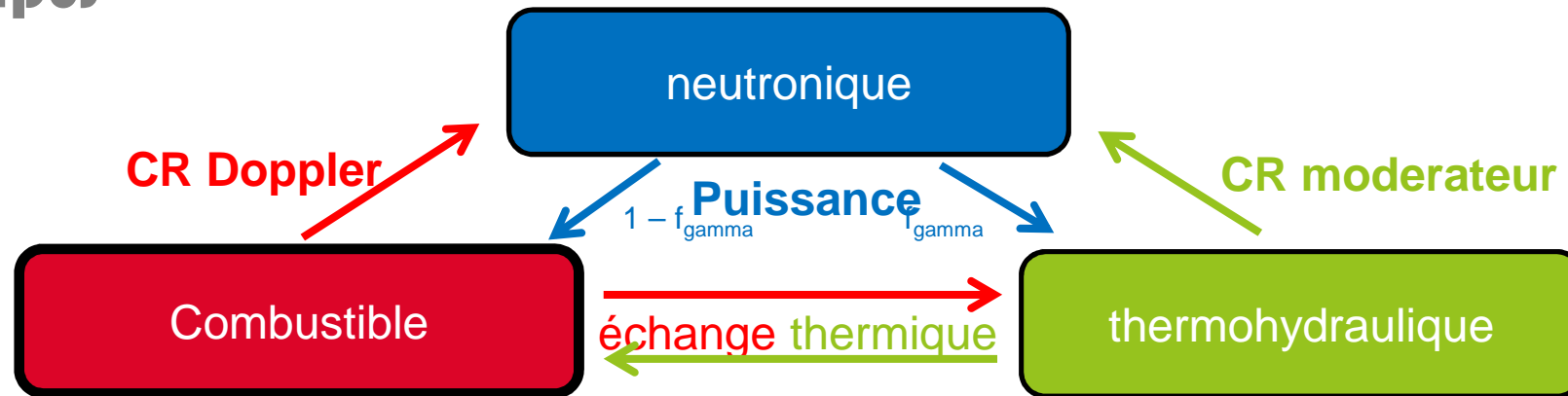
- Modélisation **BE** des phénomènes physiques associés à chaque discipline de la physique des réacteurs
  - **approche multi-physique**
- Modélisation **BE** des interactions entre discipline
  - **approche couplée**
- Accès aux grandeurs locales reliées aux critères de sûreté
  - **description 3D locale**

Local<sub>composant cœur</sub> = crayon + sous-canal thermohydraulique

(\*) OECD, Task Group on Safety Margins Action Plan (SMAP) Safety Margins Action Plan, Final Report, NEA/CSNI/R(2007)9 (2007)



## Problématique combustible



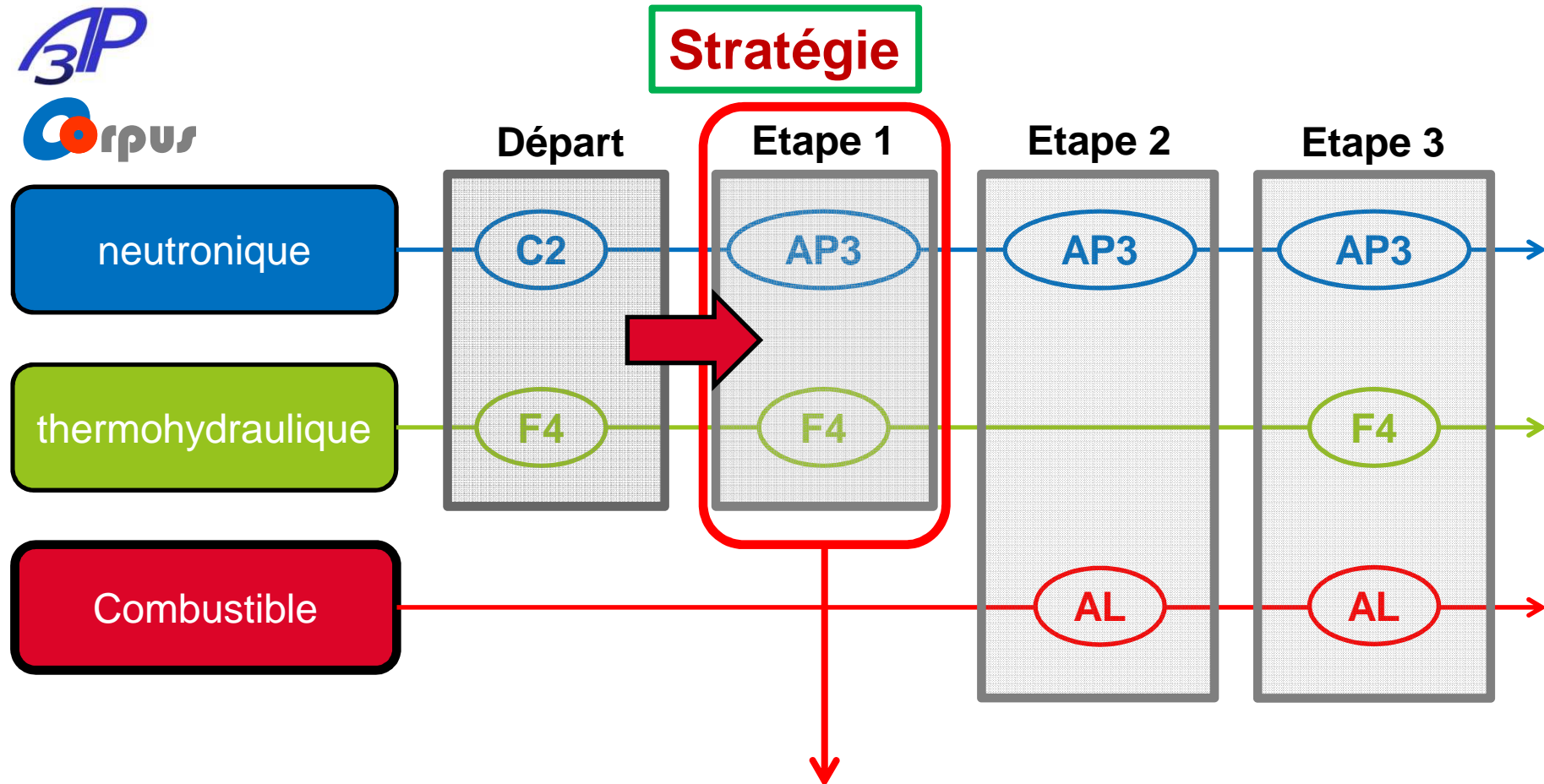
- **Modélisation actuelle:** Traitement du combustible porté par **CRONOS2 (C2)** et **FLICA4 (F4)** via des modèles internes

Limitations = modélisation purement thermique (équation de la chaleur)

- dynamique « gap » NON
- État d'irradiation du crayon (effet « rim »): NON

- **Modélisation cible:** lever ces limitations

→ utilisation d'un code dédié = **ALCYONE (DEC)**



- Passage à **APOLLO3** pour le traitement neutronique du cœur dans CORPUS
- Développement du composant **APOLLO3** sous SALOME



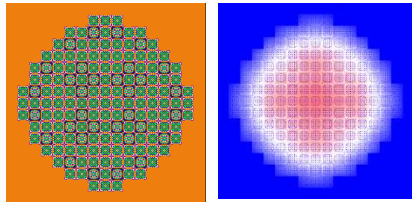
- **Le code APOLLO3®**
- **Schéma de calcul dans APOLLO3® : « Grain » fonctionnel nécessaire.**
- **Problématique du composant APOLLO3® dans SALOME**



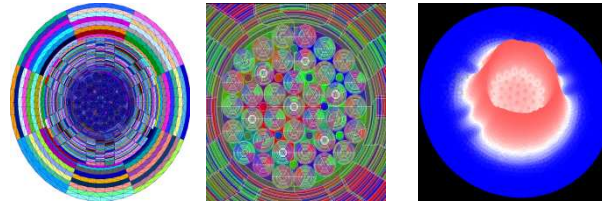


Code développé en partenariat avec AREVA et EDF  
descendant des codes APOLLO2, CRONOS2, ERANOS2

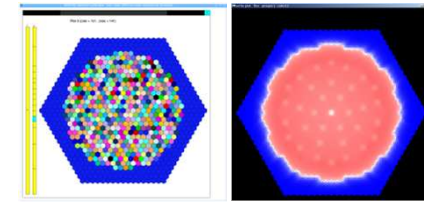
Code de neutronique déterministe multifilière de 3<sup>ème</sup> génération



REP



RJH



RNR

Objectif : disposer d'une plateforme d'outils numériques permettant de construire des schémas de calcul neutronique (à l'échelle du crayon et du cœur) pour :

- répondre aux besoins industriels
- mener des travaux de R&D



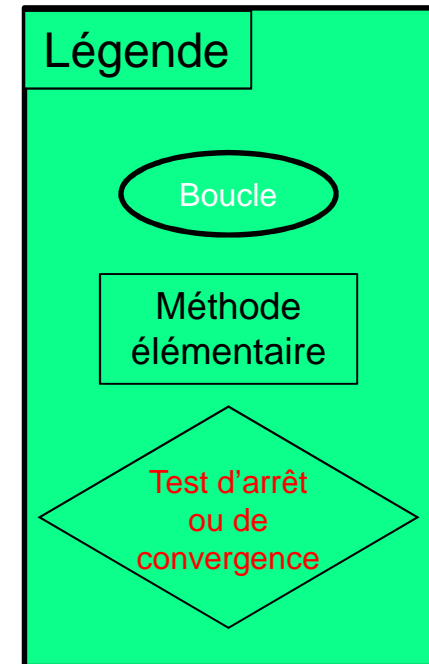
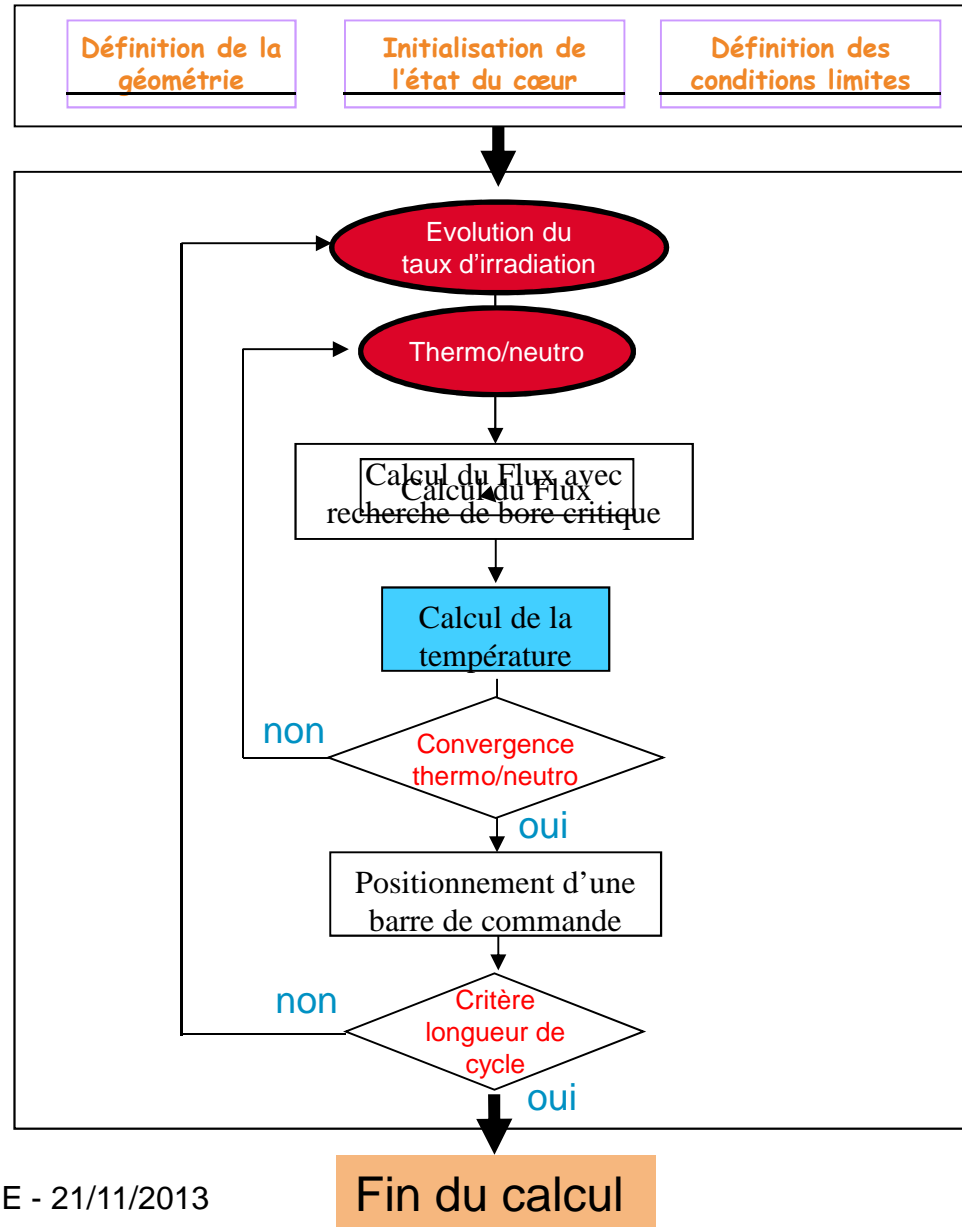
Mettre en œuvre un schéma de calcul nécessite de pouvoir accéder à un « grain » fonctionnel suffisamment fin pour pouvoir, au travers de **boucle de calcul** :

- faire appel à des **opérations/fonctionnalités physiques** « **élémentaires** » (**calculer le flux**, calculer la concentration en bore critique, **calculer la température du combustible et/ou du modérateur**, calculer un pas d'évolution isotopique, modifier la géométrie par rechargement d'assemblages, ...)

- utiliser des **critères d'arrêt/convergence** à la fois « **numériques** » (options des solveurs, précision dans le calcul d'une nappe de puissance, ...) et « **physiques** » (recherche de bore critique, **calcul de longueur de cycle**, calcul de côte de barre de commande critique,...)



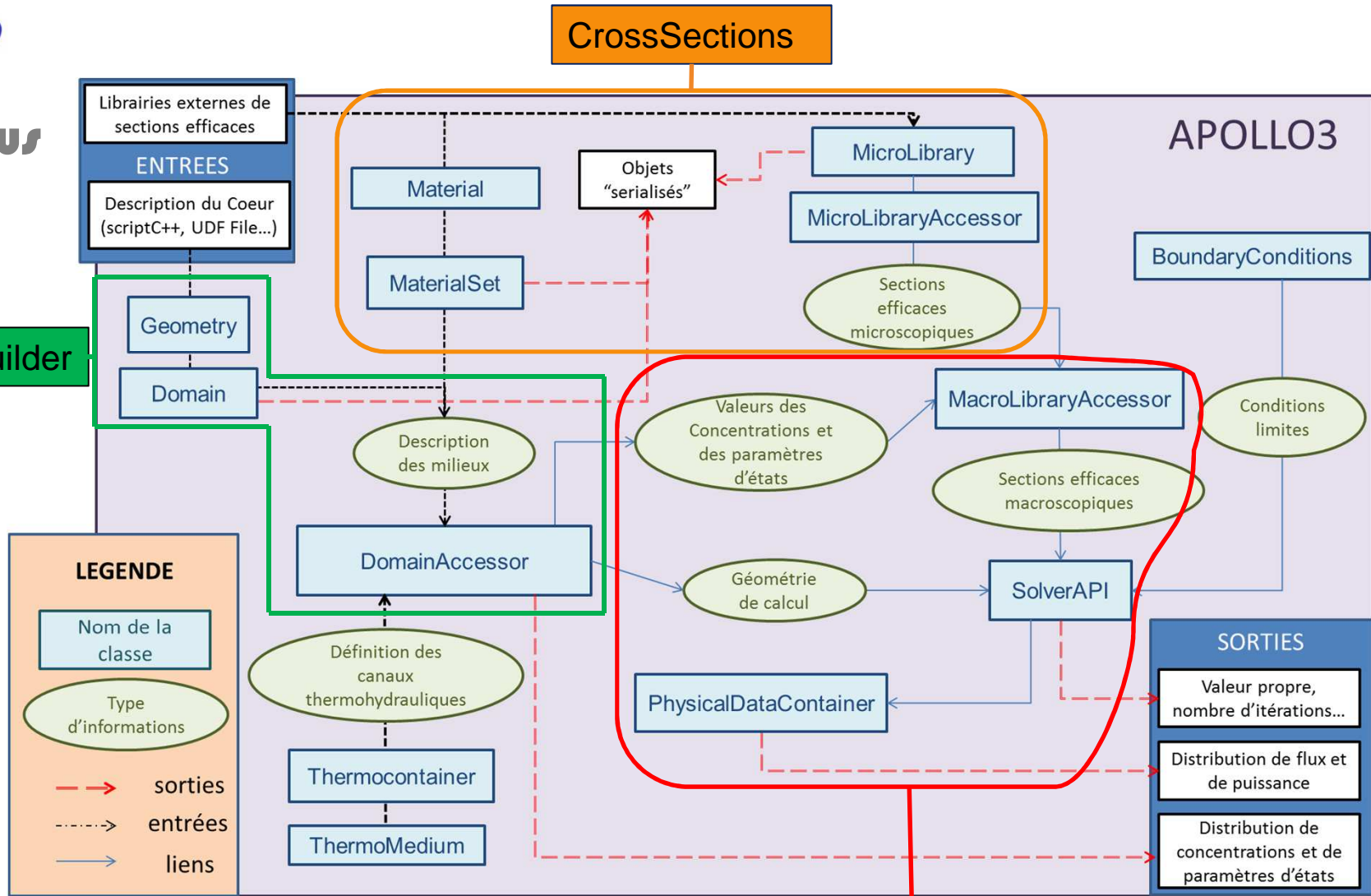
Schéma de calcul

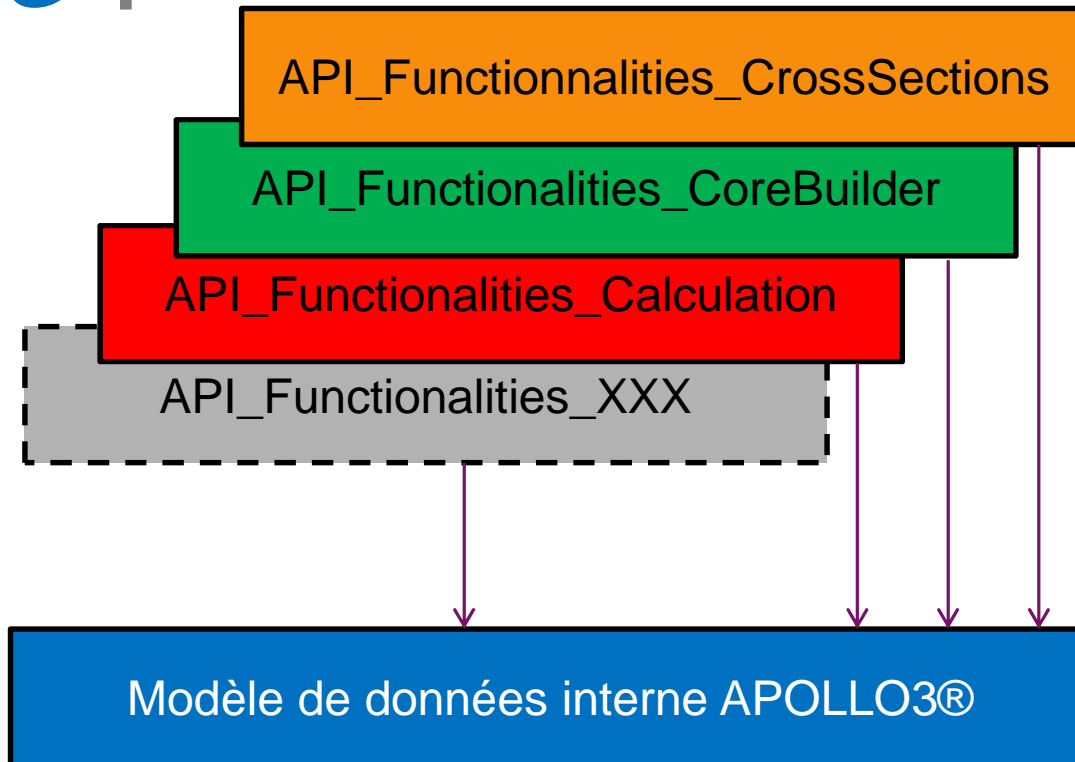


# PRINCIPALES CLASSES DISPONIBLES DANS APOLLO3®



CoreBuilder





Ensemble de classes C++ disponibles pour le modélisateur mettant en œuvre des schémas de calcul  
Notion de « grain fonctionnel » disponible

Ensemble des classes C++ du code APOLLO3®



## □ Objectif

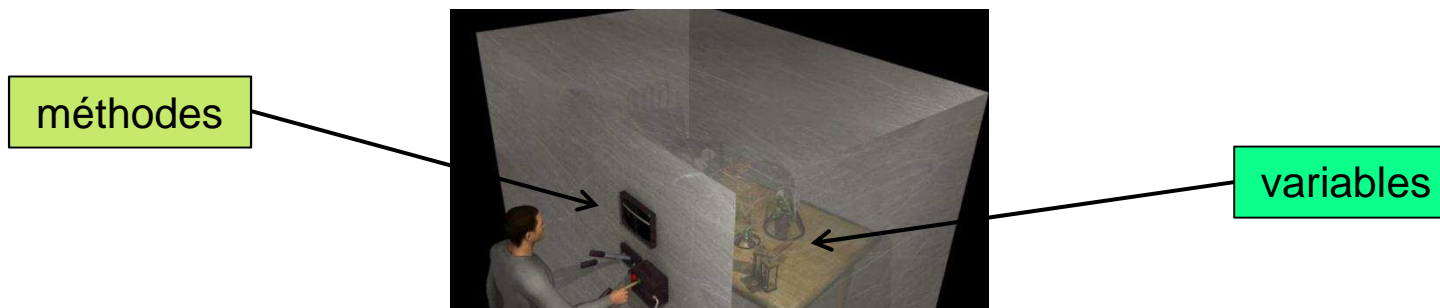
- Définir dans le composant un grain fonctionnel permettant de mettre en œuvre des schémas de calcul neutronique
- Permettre de communiquer avec la structure d'échange MED pour le couplage avec d'autres codes de calcul
- Gérer en configuration la création du composant APOLLO3®

## □ Outil utilisé : SAT

- Simplification pour la construction du composant CORBA (YACSGEN)
- Géré en configuration (outil pérenne)

## □ Principe adopté

Utilisation d'une classe unique [API\\_SalomeComponent.hxx](#) qui centralise les fonctions (méthodes) permettant de réaliser un calcul de cœur



## REMONTAGE D'UN GRAIN FONCTIONNEL PERTINENT



API\_SalomeComponent

Classe **d'interface** fournie à YACSGEN pour la création du composant APOLLO3® dans SALOME

API\_CalculationScheme

Classe contenant un ensemble d'**objets** et de **méthodes** APOLLO3® nécessaires pour la mise en œuvre d'un schéma de calcul

API\_Functionalities\_CrossSections

API\_Functionalities\_CoreBuilder

API\_Functionalities\_Calculation

API\_Functionalities\_XXX

Ensemble de classes C++ disponibles pour le modélisateur mettant en œuvre des schémas de calcul  
Notion de « **grain fonctionnel** » disponible

Modèle de données interne APOLLO3®

Ensemble des classes C++ du code APOLLO3®



### Objectif

- Sortir des grandeurs d'intérêt calculées par APOLLO3® dans un but de les communiquer vers un autre code
- Charger dans APOLLO3® des grandeurs d'intérêt calculées par un autre code

### Outil

La librairie MEDCOUPLING

### Stratégie adoptée

- La librairie MEDCOUPLING est embarquée comme prérequis à la compilation d'APOLLO3®
- Développement d'un support géométrique permettant un maximum de souplesse pour le couplage
- Codage d'une fonction permettant d'obtenir la puissance neutronique calculée par APOLLO3® sur un support MED défini au plus proche de la problématique de la neutronique.
- Codage d'une fonction permettant de charger des valeurs de températures combustible et modérateur dans l'objet Domain d'APOLLO3®

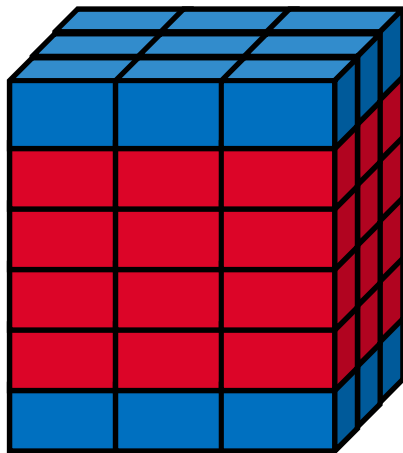




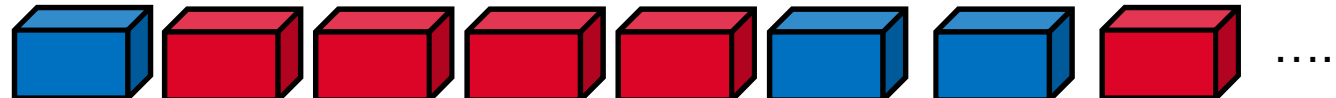
Développement de la classe `MED_Convertor.hxx`



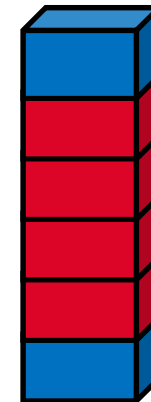
- Création du support MED géométrique (maillage)
- Construction du champ MED de puissance
- Mise à jour des objets APOLLO3® à partir d'un champ MED de température combustible et/ou modérateur



1. Construction de l'ensemble des « mini » champs MED contenant une information de localisation par rapport à la géométrie hiérarchique d'APOLLO3®



2. Création du champ MED de puissance sur un support physique (l'assemblage) choisi par le modélisateur par concaténation des « mini » champs MED (fonction `MergeUMeshes`)





- Scénario d'étude
- Schéma de calcul de point fixe
- Premiers résultats



## Scénario = RIA

Caractéristiques du cœur + gestion

REP1300 – gestion GEMMES

(193 assemblages UOx dont 24 avec Gd)

	H	G	F	E	D	C
1	UO2	UO2	UO2	UO2		
2	UO2	UO2	UO2 GdO3	UO2 GdO3	UO2	UO2 GdO3
3	UO2	UO2 GdO3	UO2	UO2	UO2	UO2
4	UO2	UO2 GdO3	UO2	UO2 GdO3	UO2	
5	UO2	UO2 GdO3	UO2	UO2		
6	UO2	UO2 GdO3	UO2 GdO3			
7	UO2 GdO3	UO2				
8	UO2 GdO3					

	H	G	F	E	D	C
1	0	0	0	0		
2	1	2	2	0	0	2
3	2	0	2	1	2	0
4	1	2	1	1	1	
5	2	0	2	1		
6	1	2	1			
7	1	1				
8	3					

UO2 = Oxyde d'uranium  
 UO2 GdO3 = Oxyde d'uranium + oxyde de gadolinium

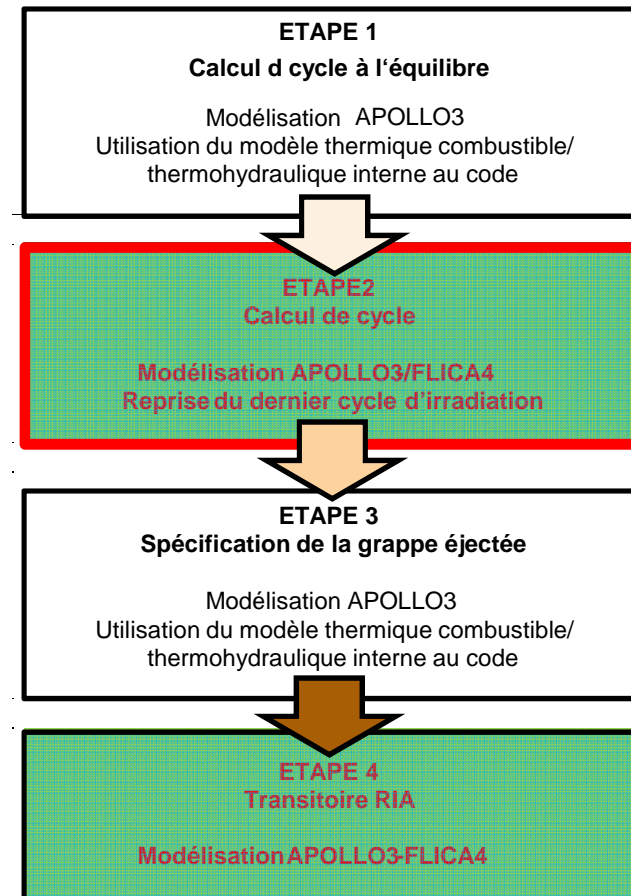
0 = Assemblage neuf  
 1 = Assemblage 1er cycle  
 2 = Assemblage 2eme cycle  
 3 = Assemblage 3eme cycle

### Accident RIA

→ Ejection de la grappe située en H2

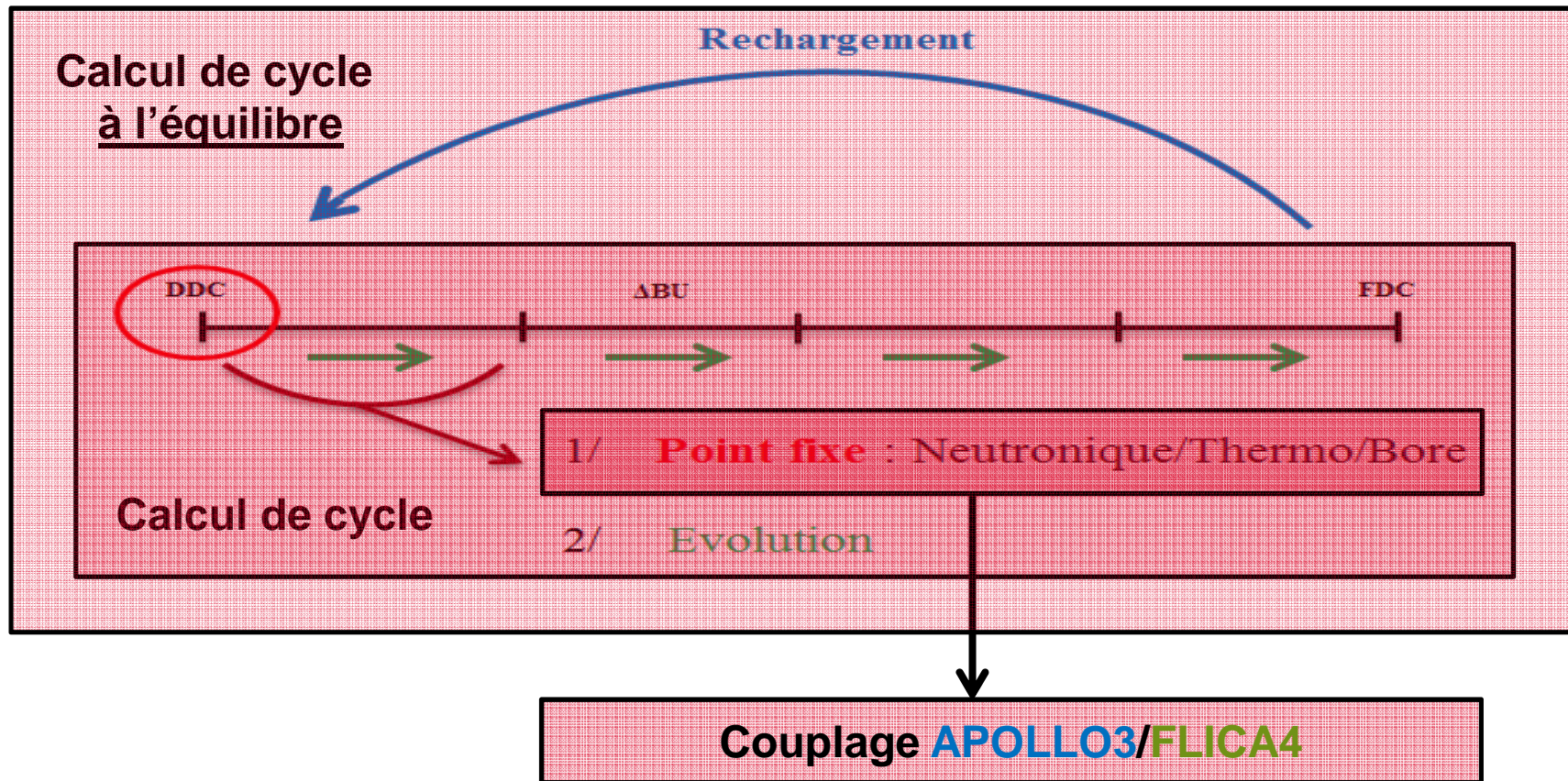
→ Assemblage chaud situé en H1

### Etapes de modélisation (couplage APOLLO3/FLICA4)



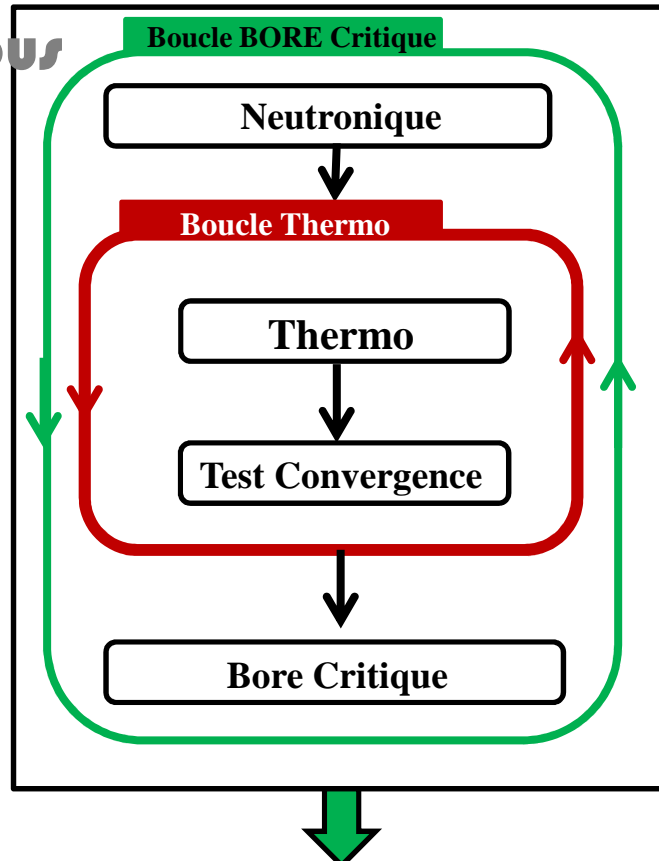


## ETAPE 2 du scénario: calcul de cycle





## Point fixe: schéma de référence



**Cœur critique ( $K_{eff} = 1$ )**

**Nappe de puissance stabilisée (Facteurs de forme convergés)**

### Constats

- Enchaînement des disciplines pas adapté à un pilotage SALOME (parasitage boucle en bore)
- Nombre d'appels thermo important
  - Incidence faible cas thermo interne
  - Incidence significative cas thermo externe (ALCYONE)

**Optimisation du schéma  
en vue d'un couplage thermo externe**



**ETAPE 1: optimisation enchainement des disciplines**

→ **Solution**: déplacer **boucle bore** dans la résolution **neutro**

**ETAPE 2: optimisation du schéma de convergence**

→ **Solution**: Action sur les leviers de convergence

Point fixe	Schéma REFERENCE	Schéma optimisé « couplage »
$C_{bore}$ [ppm]		1598
$F_{xy}$		1,41
Nb appel solveur neutro	26	22 (-4)
Nb itération bore	3	13 (+10)
Nb itération thermo	23	8 (-15)
Temps de calcul [s]	32	29 (-3)

Résultats obtenus avec le modèle thermique interne APOLLO3

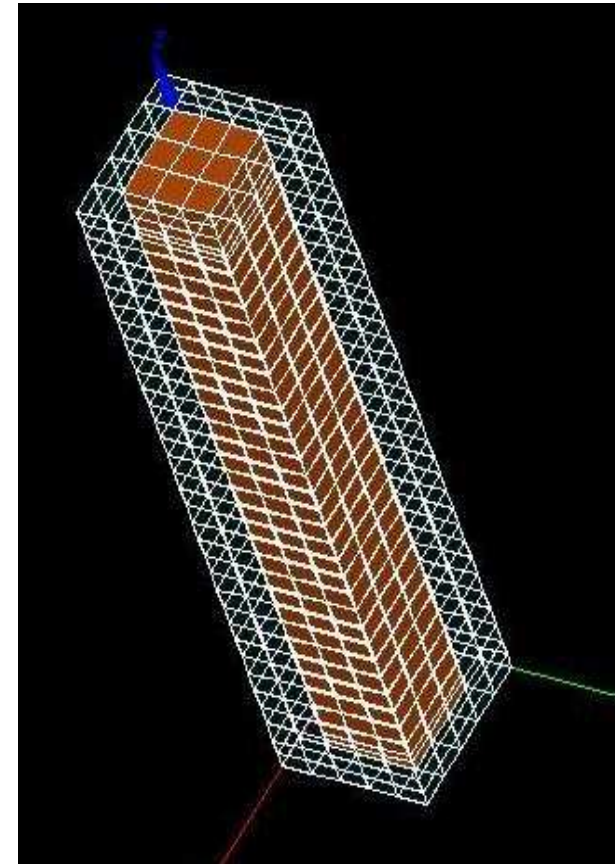
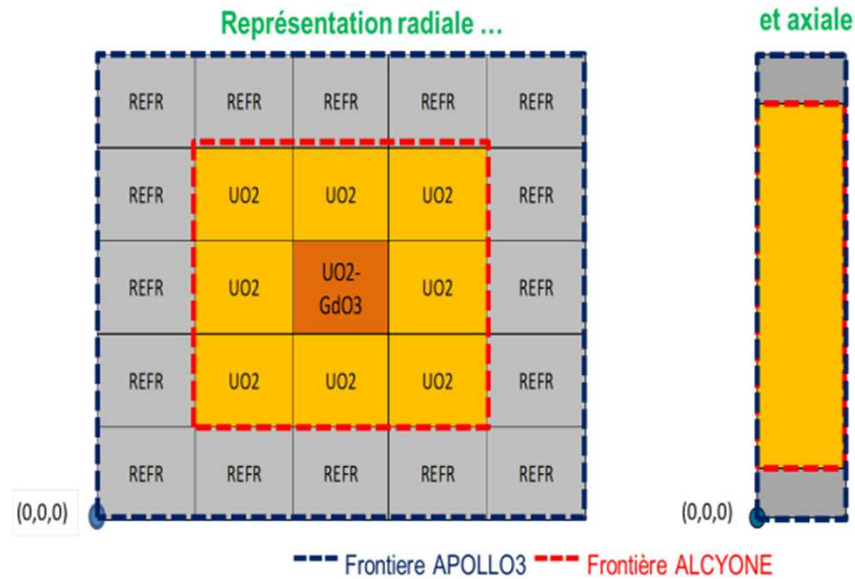
**pilotage d'un point fixe dans SALOME**

→ opportunité de repenser le schéma de couplage bore/neutro/thermo

→ **amélioration performance point fixe (même en dehors de SALOME!)**



calcul point fixe APOLLO3/FLICA4 sur un motif mini-coeur

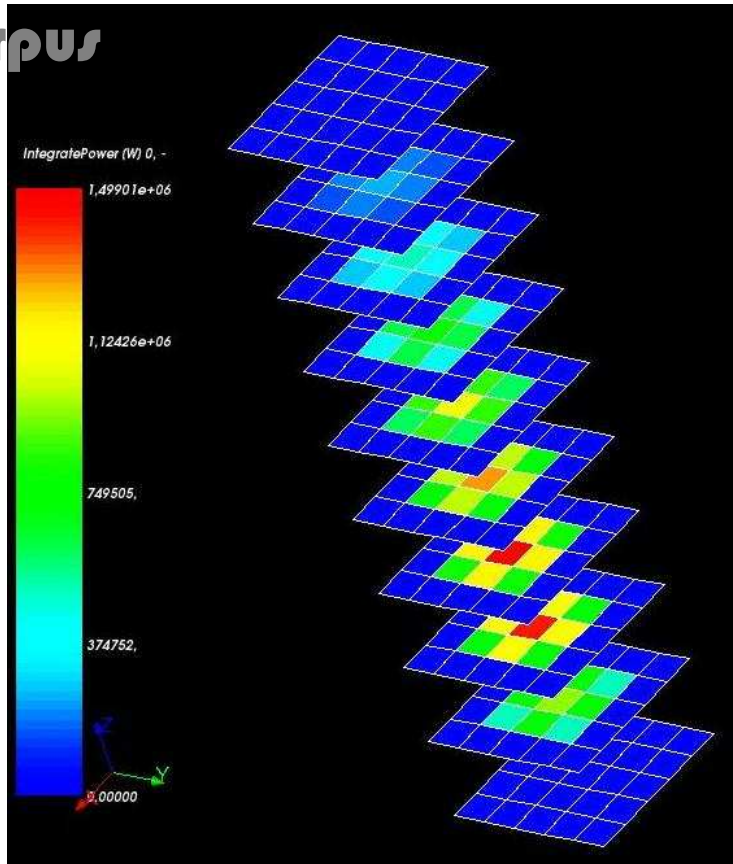


### Interpolation APOLLO3/FLICA4

utilisation du composant **INTERP2\_5D** de CORPUS  
(interpolation sur la base de maillages 2D extrudés)

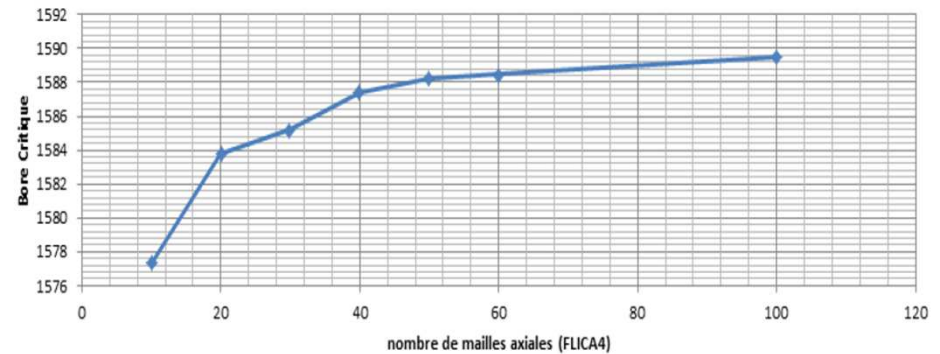


## Réponse neutronique



APOLLO3: répartition 3D de puissance

Grandeurs d'intérêt	Calcul APOLLO3	Calcul SALOME AP3-F4
Bore (ppm)	1571	1586 (+15 ppm)
Keff	1	
Fxy	1.42	1,42
Fz	1.72	1.69 (<2%)
Fxyz	2.47	2.43 (<2%)



Evolution  $C_{\text{bore critique}}$ /maillage axial F4







## ■ Conclusions

- Développement et mise à disposition d'un composant APOLLO3® dans le contexte CORPUS
- Premiers tests physiques concluants dans le cadre d'une modélisation APOLLO3®/FLICA4

## ■ Perspectives

- Poursuite du scénario RIA 
- Poursuite de l'action d'amélioration de la modélisation combustible dans CORPUS + analyses physiques associées 
- Enrichissement du composant APOLLO3® de fonctionnalités permettant de mettre en œuvre des calculs de cinétique
- Gérer en configuration la création du composant APOLLO3®

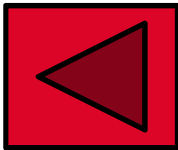


MERCI POUR VOTRE ATTENTION

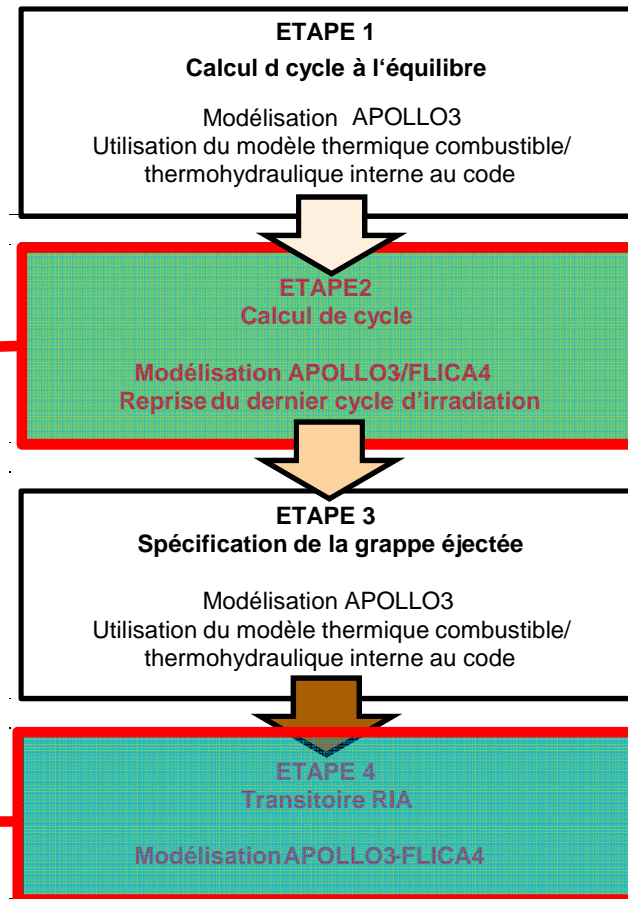


## Etapes de modélisation (couplage APOLLO3/FLICA4)

En voie de finalisation ←

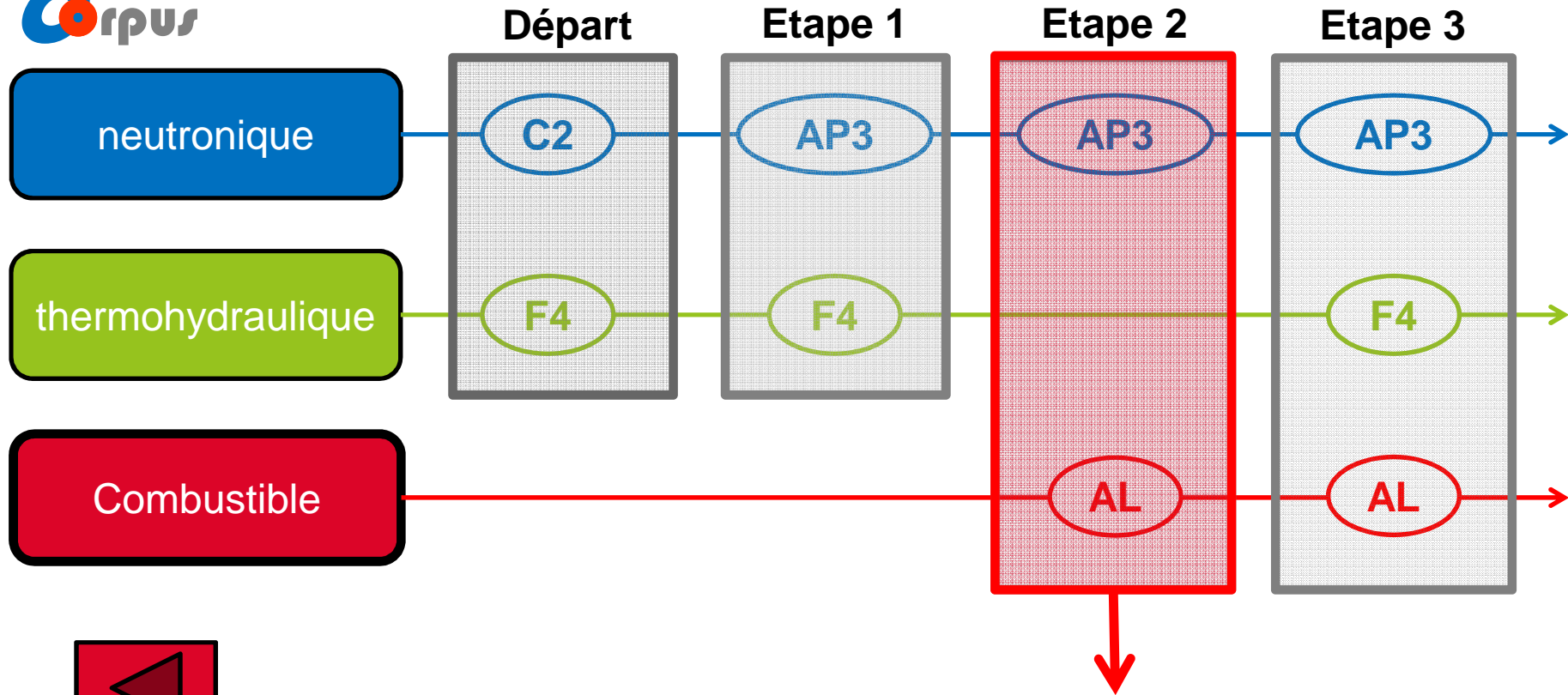


Travaux en cours ←





## Stratégie



**Action en cours: collaboration DM2S/DEC**