



**Méthode de décomposition de domaine  
pour les équations du transport simplifié  
en neutronique**

**Bruno LATHUILLIÈRE**

9 février 2010

# Encadrement

**Sujet :** Méthode de décomposition de domaine pour les équations du transport simplifié en neutronique

**Encadrement de thèse :**

Maxime BARRAULT  
EDF R&D  
Sinetics



Pierre RAMET et Jean ROMAN  
Equipes projet Bacchus et HiePACS  
INRIA Bordeaux - Sud-Ouest  
PRES Bordeaux  
CNRS  
Labri UMR5800 - IMB UMR 5251



# Plan

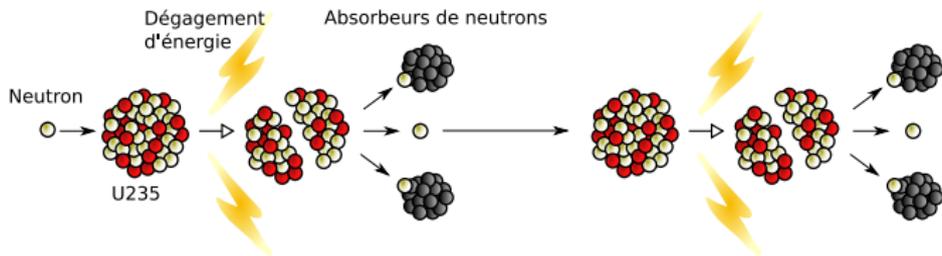
1. Contexte et objectifs
2. Présentation de l'algorithme séquentiel
3. Présentation de la méthode de décomposition de domaine
4. Approche multigroupe
5. Approche unidimensionnelle
6. Bilan et perspectives

# Contexte neutronique

EDF utilise des simulations numériques du cœur des réacteurs pour répondre à des besoins industriels :

- ▶ prévision de la durée d'une campagne ;
- ▶ inventaire en fin de campagne ;
- ▶ optimisation des plans de rechargement ;
- ▶ vérification des critères de sûreté ;
- ▶ ...

Nécessité de modéliser la réaction en chaîne :



# Problème critique

On cherche à déterminer le flux neutronique  $\psi(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, t)$  régi par l'équation de Boltzmann  $\left(\frac{\partial}{\partial t} + H\right)\psi = F\psi$  avec :

- ▶  $H$  l'opérateur de transport ;
- ▶  $F$  l'opérateur de fission.

## Problème en régime stationnaire

Trouver la plus grande valeur propre  $k_{eff}$  tel que  $(\psi, k_{eff})$  vérifie :

$$H\psi(\vec{r}, E, \vec{\Omega}) = \frac{1}{k_{eff}} F\psi(\vec{r}, E, \vec{\Omega}).$$

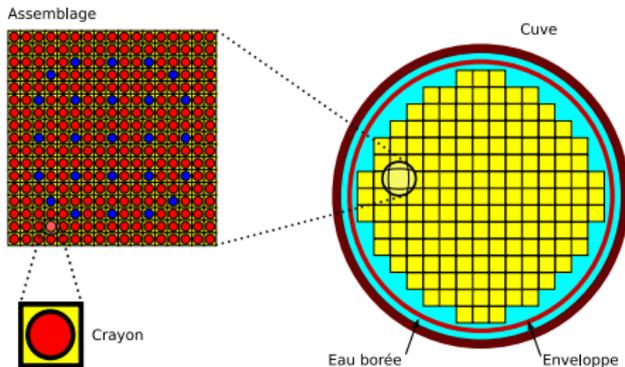
- ▶  $k_{eff}$  est le coefficient effectif de multiplication.

# Discrétisation et algorithme

variable	traitement	algorithme de résolution
temps $t$	problème aux valeurs propres stationnaire	Puissance inverse
énergie $E$	approximation multigroupe	Gauss-Seidel
angle $\vec{\Omega}$	équations SPn	Gauss-Seidel
espace $\vec{r}$	éléments finis RTk	Directions alternées

# Objectifs

Traiter des cas 3D crayon par crayon



Calcul industriel typique :

- ▶ plus de 3 millions de mailles ;
- ▶ 2 groupes d'énergie.

SPn/RTk	# ddl	mémoire
SP1/RT0	25 millions	1.5Go
SP3/RT0	50 millions	3Go
SP1/RT1	203 millions	13.4Go
SP3/RT1	406 millions	23.1Go

**Obtenir un algorithme parallèle en mémoire distribuée**

- ▶ pour traiter des cas coûteux en consommation mémoire ;
- ▶ pour réduire le temps de calcul.

# Présentation de l'algorithme séquentiel

1. Contexte et objectifs

2. Présentation de l'algorithme séquentiel

Problème SP1

Système matriciel

Algorithme de résolution

3. Présentation de la méthode de décomposition de domaine

4. Approche multigroupe

5. Approche unidimensionnelle

6. Bilan et perspectives

# Problème SP1

Inconnues :

- ▶ flux  $\phi$  (fonction scalaire) ;
- ▶ courant  $\vec{J}$  (fonction vectorielle).

Données :

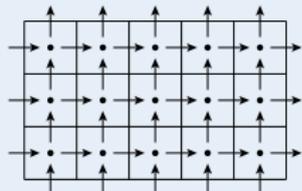
- ▶  $\Sigma_0$  et  $\Sigma_1$  : sections efficaces ;
- ▶  $f$  : terme source.

## Formulation continue

$$\begin{cases} \vec{\nabla} \cdot \vec{J} + \Sigma_0 \phi = f & \text{dans } \Omega; \\ \vec{\nabla} \phi + \Sigma_1 \vec{J} = \vec{0} & \text{dans } \Omega; \\ \phi = 0 & \text{sur } \partial\Omega. \end{cases}$$

## Discrétisation

- ▶ formulation mixte duale ;
- ▶ éléments finis de Raviart-Thomas (RTk) ;
- ▶ maillage structuré cartésien.



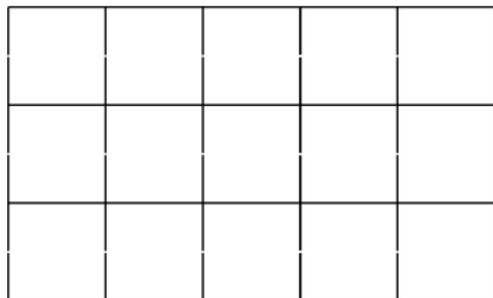
## Système matriciel 3D

$$\begin{pmatrix} -A_x & & & B_x \\ & -A_y & & B_y \\ & & -A_z & B_z \\ {}^t B_x & {}^t B_y & {}^t B_z & T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} J_x \\ J_y \\ J_z \\ \phi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ S \end{pmatrix}$$

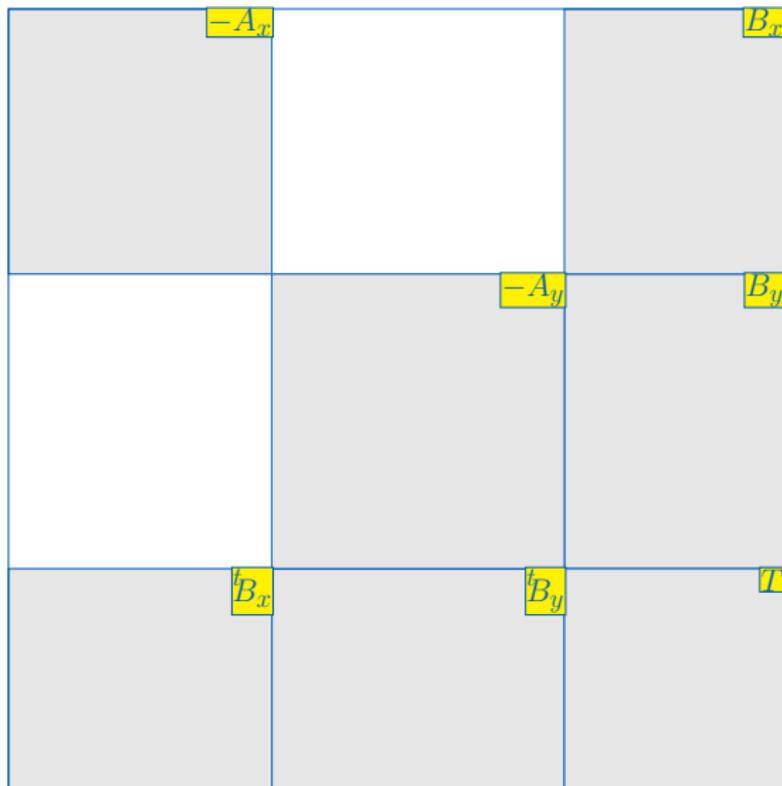
- ◆  $T$  est diagonale et définie positive ;
- ◆  $A_d$  est bande (largeur  $2k + 3$ ) symétrique définie positive ;
- ◆  $B_d$  est rectangulaire et creuse.

# Structure de la matrice 2D

Maillage :



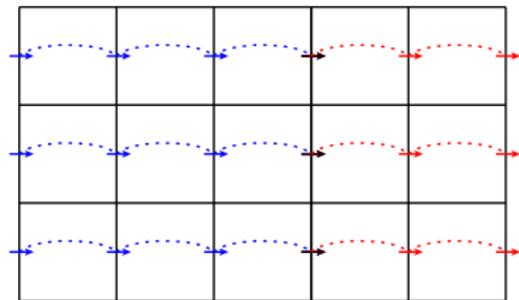
Profil de la matrice :



# Structure de la matrice 2D

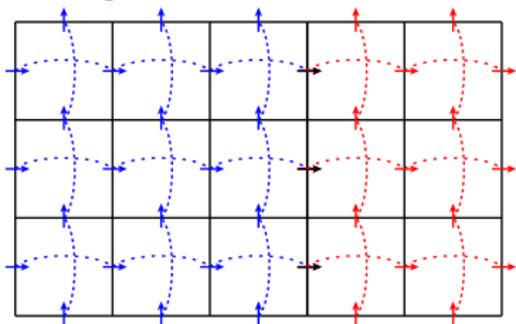
Profil de la matrice :

Maillage :

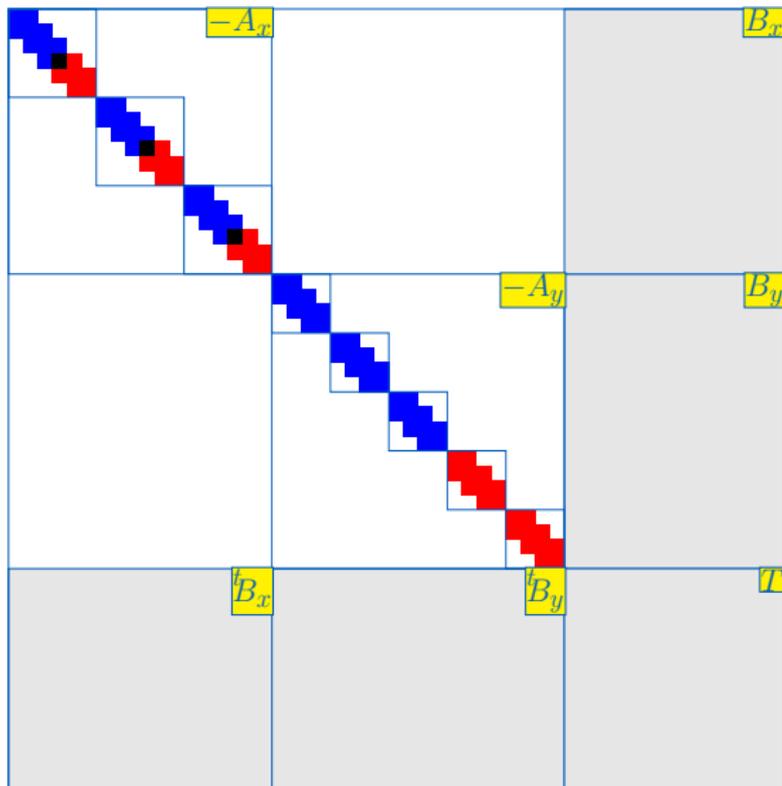


# Structure de la matrice 2D

Maillage :

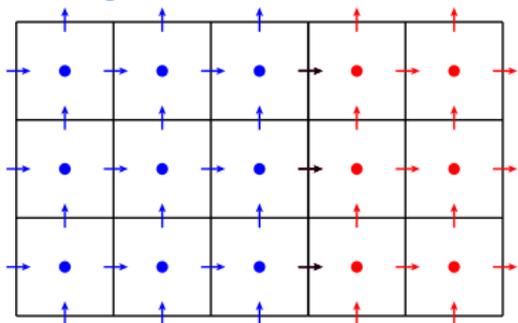


Profil de la matrice :

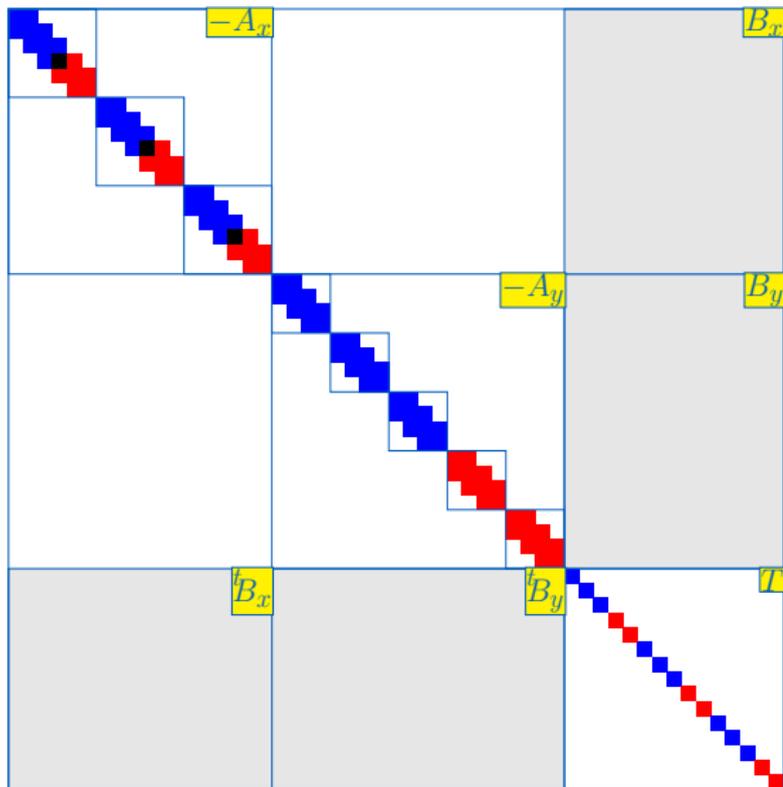


# Structure de la matrice 2D

Maillage :

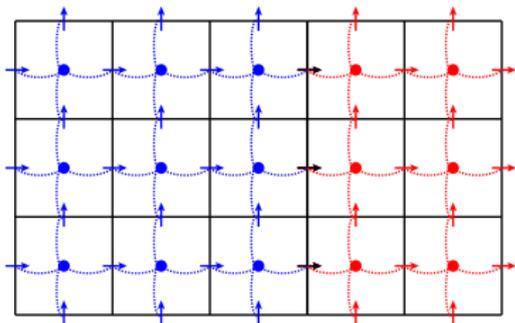


Profil de la matrice :

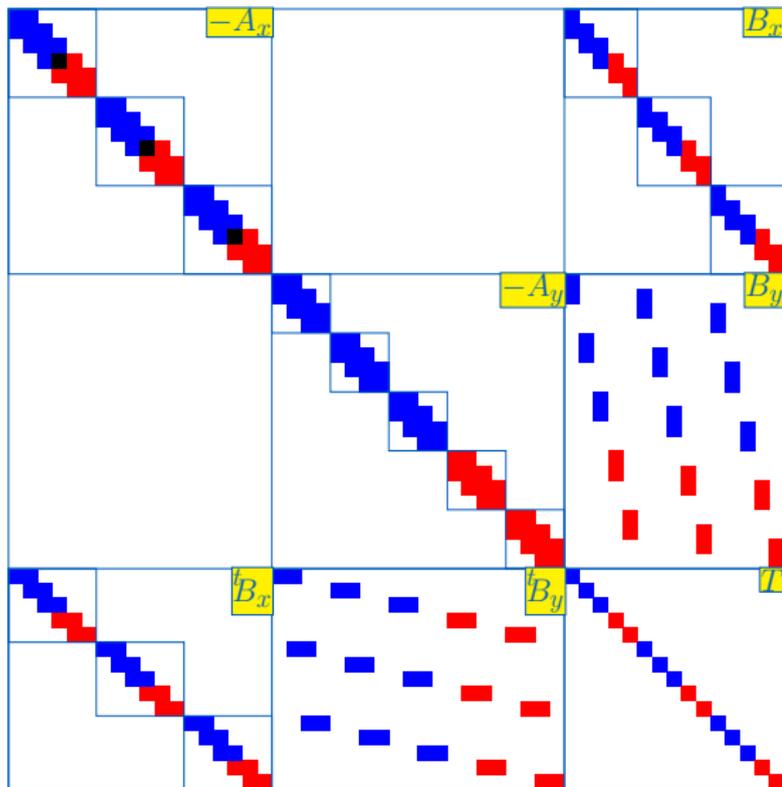


# Structure de la matrice 2D

Maillage :



Profil de la matrice :



# Élimination des flux

**Objectif** : obtenir un système symétrique défini positif.

On élimine les flux :  $\phi = T^{-1} \left( S - {}^t B_x J_x - {}^t B_y J_y - {}^t B_z J_z \right)$ ,

$$\begin{pmatrix} W_x & B_x T^{-1t} B_y & B_x T^{-1t} B_z \\ B_y T^{-1t} B_x & W_y & B_y T^{-1t} B_z \\ B_z T^{-1t} B_x & B_z T^{-1t} B_y & W_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} J_x \\ J_y \\ J_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_x T^{-1} S \\ B_y T^{-1} S \\ B_z T^{-1} S \end{pmatrix}$$

avec  $W_d = A_d + B_d T^{-1t} B_d$ .

Méthode des directions alternées :

- ▶ **Algorithme** : Gauss-Seidel par bloc ;
- ▶ **Résolution**  $W_d^{-1}$  : exacte *via* une factorisation de Cholesky.

# Algorithmes itératifs emboîtés

## Algorithmes :

- 1 Puissance inverse ;
- 2 Gauss-Seidel par bloc : pour le système multigroupe ;
- 3 Gauss-Seidel par bloc : pour le système multiharmonique ;
- 4 Directions alternées (basées sur Gauss-Seidel) : pour le système SP1 ;
- 5 Solveur direct (descente-remontée).

- ▶ Les algorithmes de Gauss-Seidel sont bloqués à une itération ;
- ▶ L'algorithme externe contrôle la convergence.

# Méthode de décomposition de domaine

1. Contexte et objectifs

2. Présentation de l'algorithme séquentiel

3. Présentation de la méthode de décomposition de domaine

Principales tentatives de parallélisation

Partitionnement

Formulations continues

Formulation variationnelle

Formulation matricielle

4. Approche multigroupe

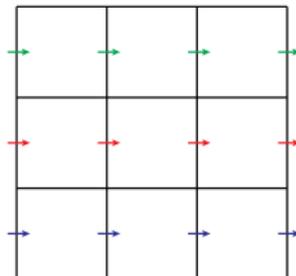
5. Approche unidimensionnelle

6. Bilan et perspectives

# Principales tentatives de parallélisation

K. Pinchedez : Calcul parallèle pour les équations de diffusion et de transport homogènes en neutronique.

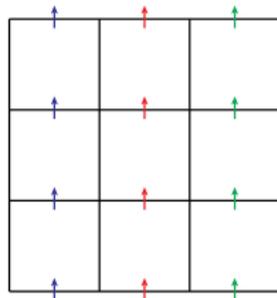
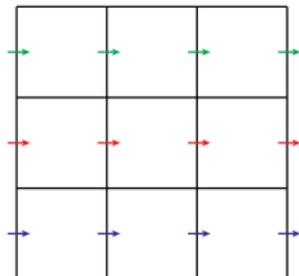
- ▶ Parallélisation selon les lignes de courant ;
- ▶ Algorithmiquement équivalent au séquentiel ;
- ▶ Peu efficace en mémoire distribuée.



# Principales tentatives de parallélisation

K. Pinchedez : Calcul parallèle pour les équations de diffusion et de transport homogènes en neutronique.

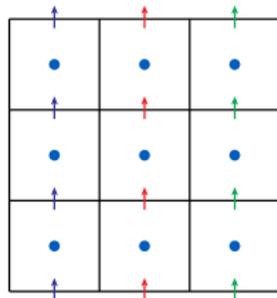
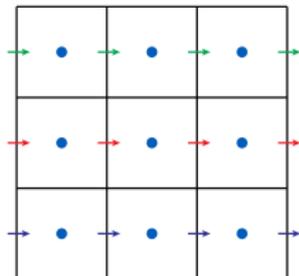
- ▶ Parallélisation selon les lignes de courant ;
- ▶ Algorithmiquement équivalent au séquentiel ;
- ▶ Peu efficace en mémoire distribuée.



# Principales tentatives de parallélisation

K. Pinchedez : Calcul parallèle pour les équations de diffusion et de transport homogènes en neutronique.

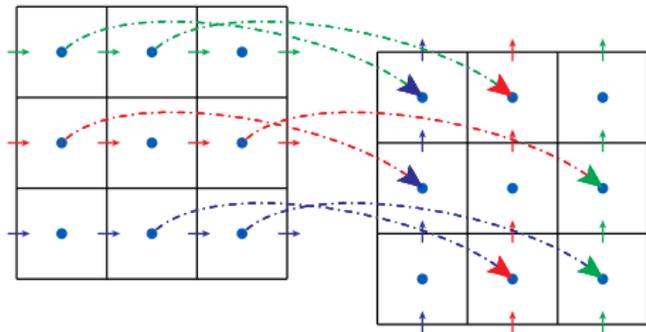
- ▶ Parallélisation selon les lignes de courant ;
- ▶ Algorithmiquement équivalent au séquentiel ;
- ▶ Peu efficace en mémoire distribuée.



# Principales tentatives de parallélisation

K. Pinchedez : Calcul parallèle pour les équations de diffusion et de transport homogènes en neutronique.

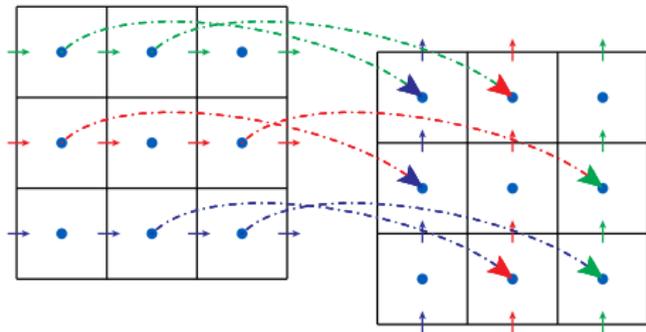
- ▶ Parallélisation selon les lignes de courant ;
- ▶ Algorithmiquement équivalent au séquentiel ;
- ▶ Peu efficace en mémoire distribuée.



# Principales tentatives de parallélisation

K. Pinchedez : Calcul parallèle pour les équations de diffusion et de transport homogènes en neutronique.

- ▶ Parallélisation selon les lignes de courant ;
- ▶ Algorithmiquement équivalent au séquentiel ;
- ▶ Peu efficace en mémoire distribuée.

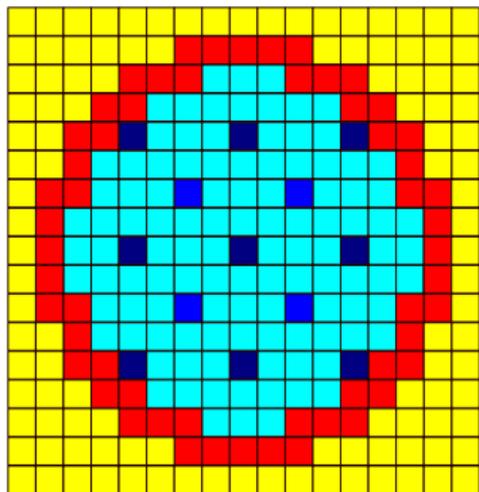


P. Guérin : Méthodes de décomposition de domaine pour la formulation mixte duale du problème critique de la diffusion des neutrons.

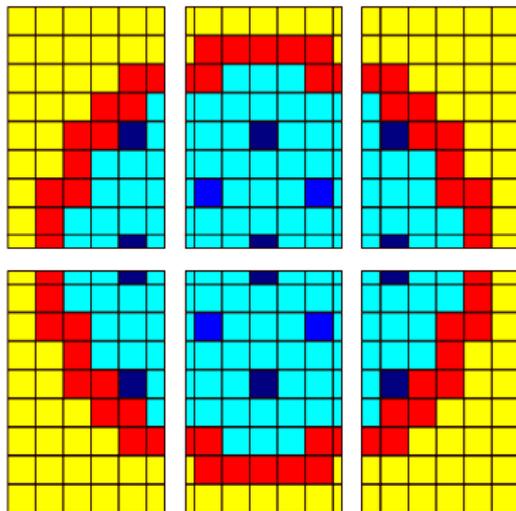
- ▶ Méthode de décomposition de domaine *sans recouvrement* ;
- ▶ Algorithme itératif de Schwarz avec conditions de Robin ;
- ▶ Efficace en mémoire distribuée ;
- ▶ Problème : choix des paramètres de Robin  $\alpha$  ;
- ▶ Non équivalent à l'algorithme séquentiel.

# Partitionnement

► Décomposition sans recouvrement.



Partitionnement  
⇒



 Combustible       Réflecteur  
 Combustible + barre       Combustible2

# Formulations continues

- ◆ Problème mono-domaine :

$$\begin{cases} \vec{\nabla} \cdot \vec{J} + \Sigma_0 \phi & = f & \text{dans } \Omega; \\ \vec{\nabla} \phi + \Sigma_1 \vec{J} & = \vec{0} & \text{dans } \Omega; \\ \phi & = 0 & \text{sur } \partial\Omega. \end{cases}$$

- ◆ Problème multi-domaine (à 2 sous-domaines) :

$$\forall 1 \leq i \leq 2 \begin{cases} \vec{\nabla} \cdot \vec{J}_i + \Sigma_0^i \phi_i & = f_i & \text{dans } \Omega_i; \\ \vec{\nabla} \phi_i + \Sigma_1^i \vec{J}_i & = \vec{0} & \text{dans } \Omega_i; \\ \phi_i & = 0 & \text{sur } \partial\Omega_i \cap \partial\Omega; \\ \phi_i & = \phi_\Gamma & \text{sur } \Gamma = \partial\Omega_1 \cap \partial\Omega_2. \end{cases}$$
$$\vec{J}_1 \cdot \vec{n} = \vec{J}_2 \cdot \vec{n}$$

# Formulation variationnelle multi-domaines

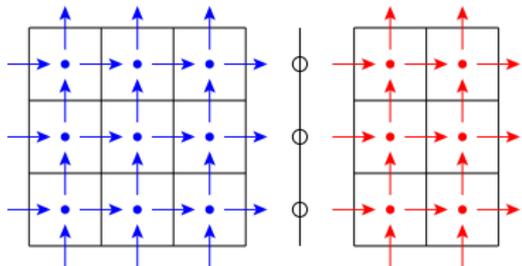
- Méthode de décomposition de domaine utilisant des multiplicateurs de Lagrange

$$\forall v_i \in L^2(\Omega_i), \forall \vec{q}_i \in H(\text{div}, \Omega_i), \forall \mu \in H^{1/2}(\Gamma),$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_{\Omega} \vec{\nabla} \cdot \vec{J}_i v_i \, d\vec{r} + \int_{\Omega} \Sigma_0^i \phi_i v_i \, d\vec{r} = \int_{\Omega} f_i v_i \, d\vec{r}; \\ - \int_{\Omega} \phi_i \vec{\nabla} \cdot \vec{q}_i \, d\vec{r} + \int_{\Omega} \Sigma_1^i \vec{J}_i \cdot \vec{q}_i \, d\vec{r} - \int_{\Gamma} \Lambda \vec{q}_i \cdot \vec{n}_i \, d\Gamma = \vec{0}; \\ \int_{\Gamma} (\vec{J}_1 - \vec{J}_2) \cdot \vec{n}_{\mu} \, d\Gamma = 0. \end{array} \right.$$

# Formulation matricielle multi-domaine

Maillage :



Problème de point-selle :

$$\begin{pmatrix} K_1 & & C_1 \\ & K_2 & C_2 \\ {}^t C_1 & {}^t C_2 & \Lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \Lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Système d'interface :

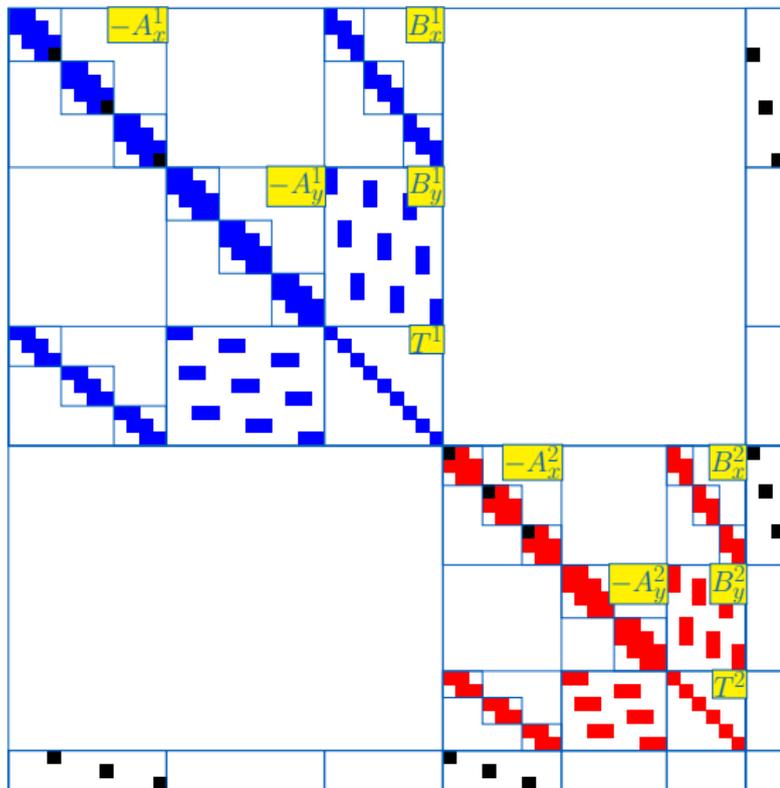
$$S\Lambda = F,$$

avec :

$$S = {}^t C_1 K_1^{-1} C_1 + {}^t C_2 K_2^{-1} C_2$$

$$F = {}^t C_1 K_1^{-1} L_1 + {}^t C_2 K_2^{-1} L_2$$

Profil de la matrice :



# Où placer la décomposition de domaine ?

## Algorithmes :

- 1 Puissance inverse ;  
Approche multigroupe
- 2 Gauss-Seidel par bloc : pour le système multigroupe ;  
Approche multiharmonique
- 3 Gauss-Seidel par bloc : pour le système multiharmonique ;  
Approche spatiale
- 4 Directions alternées (basées sur Gauss-Seidel) : pour le système SP1 ;  
Approche unidimensionnelle
- 5 Solveur direct (descente-remontée).

# Plan

1. Contexte et objectifs
2. Présentation de l'algorithme séquentiel
3. Présentation de la méthode de décomposition de domaine
4. Approche multigroupe
5. Approche unidimensionnelle
6. Bilan et perspectives

# Approche multigroupe

- 1 Puissance inverse ;
- 2 Uzawa-MR : pour le système de point-selle multi-domaine ;
- 3 Gauss-Seidel par bloc : pour le système multigroupe ;
- 4 Gauss-Seidel par bloc : pour le système multiharmonique ;
- 5 Directions alternées (basées sur Gauss-Seidel) : pour le système SP1 ;
- 6 Solveur direct (descente-remontée).

## Avantages :

- ▶ Facilité d'implémentation ;
- ▶ Granularité élevée ;
- ▶ Capacité d'évolution.

## Inconvénients :

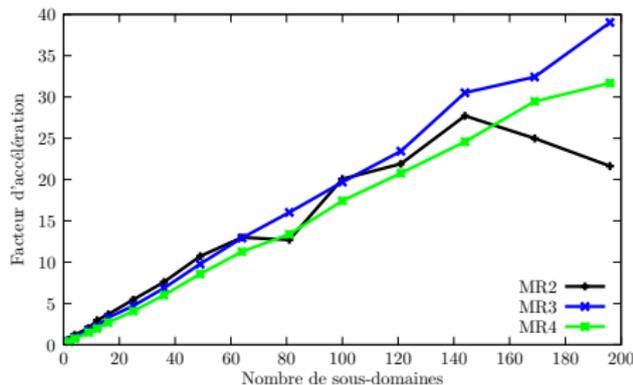
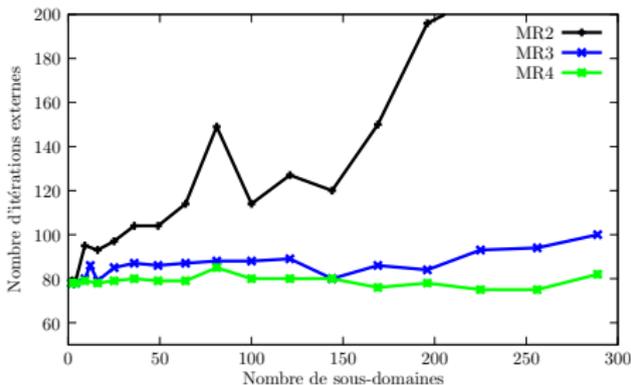
- ▶ Aucune garantie sur les propriétés de convergence ;
- ▶ Système d'interface non symétrique ;
- ▶ Augmentation du nombre de produits par les termes extra-diagonaux.

# Résultats sur BenchMarkAIEA

- ▶ Equations SP1 avec deux groupes d'énergie ;
- ▶ Maillage :  $289 \times 289 \times 38$  ;
- ▶ Élément fini : RT0.

## Efficacité attendue pour MR3

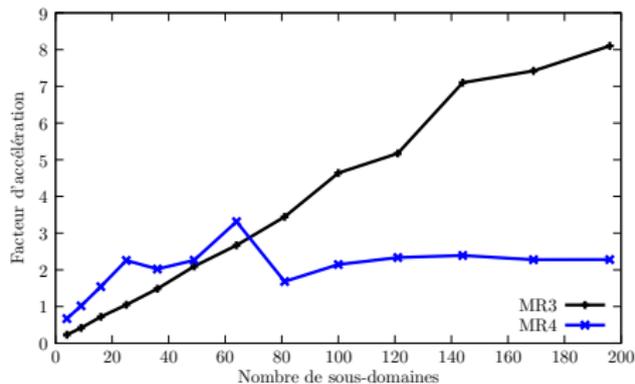
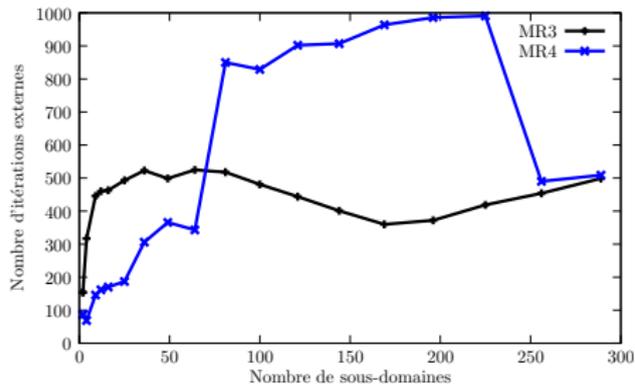
- ▶ 3 itérations de MR (Minimal Residual) ;
- ▶ 4 appels aux solveurs locaux ;
- ▶ efficacité parallèle attendue : 25%.



Efficacité constante supérieure à 20%.

# Résultats sur un cas industriel (REP 900MW)

- ◆ Equations SP1 avec deux groupes d'énergie ;
- ◆ Maillage :  $289 \times 289 \times 40$  cellules ;
- ◆ Élément fini : RT0.



Facteur d'accélération limité.

# Plan

1. Contexte et objectifs
2. Présentation de l'algorithme séquentiel
3. Présentation de la méthode de décomposition de domaine
4. Approche multigroupe
5. Approche unidimensionnelle
  - Placement
  - Algorithme
  - Résultats numériques
6. Bilan et perspectives

# Approche unidimensionnelle

- 1 Puissance inverse ;
- 2 Gauss-Seidel par bloc : pour le système multigroupe ;
- 3 Gauss-Seidel par bloc : pour le système multi-harmonique ;
- 4 Directions alternées (basées sur Gauss-Seidel) : pour le système SP1 ;
- 5 Gradient Conjugué préconditionné : pour le système d'interface ;
- 6 Solveur direct (Descente-remontée).

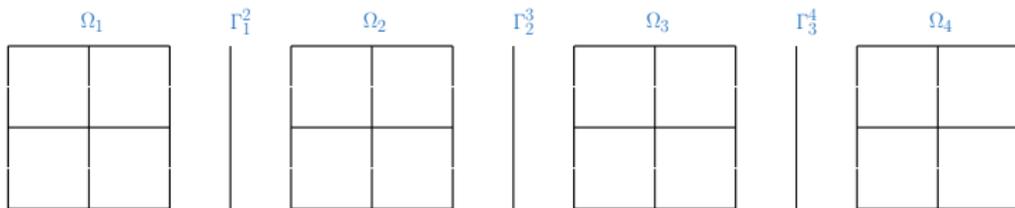
## Avantages :

- ▶ Possibilité d'éviter les problèmes de convergence ;
- ▶ Système d'interface symétrique ;
- ▶ Optimisations possibles.

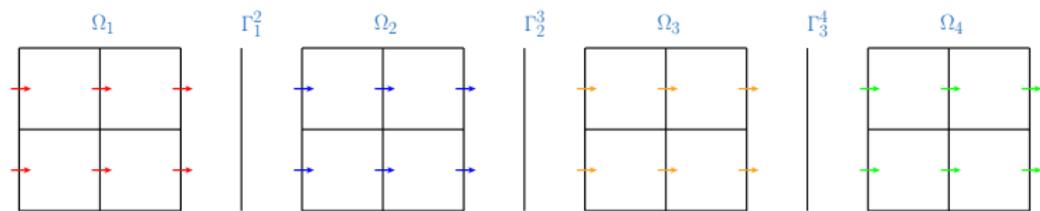
## Inconvénients :

- ▶ Difficulté d'implémentation ;
- ▶ Granularité faible.

# Données et étapes

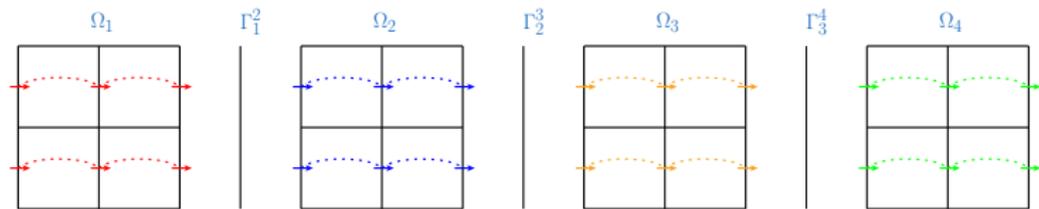


# Données et étapes



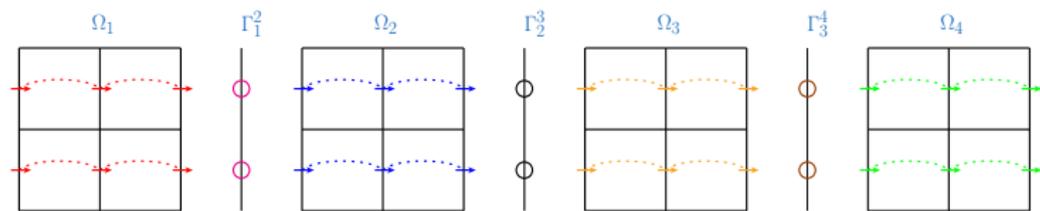
$$\hat{J} = \begin{pmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \\ J_4 \end{pmatrix}, \hat{F} = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{pmatrix},$$

# Données et étapes



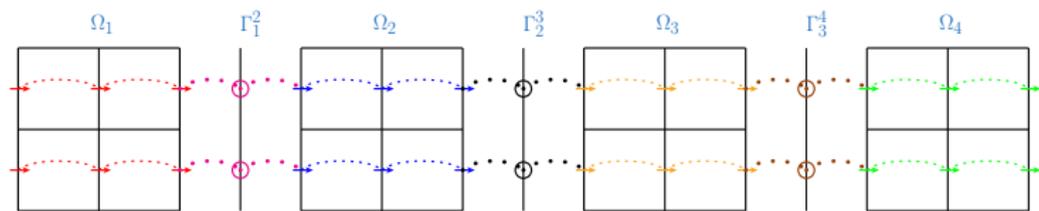
$$\hat{J} = \begin{pmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \\ J_4 \end{pmatrix}, \hat{F} = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{pmatrix}, \hat{W} = \begin{pmatrix} W^1 & & & \\ & W^2 & & \\ & & W^3 & \\ & & & W^4 \end{pmatrix},$$

# Données et étapes



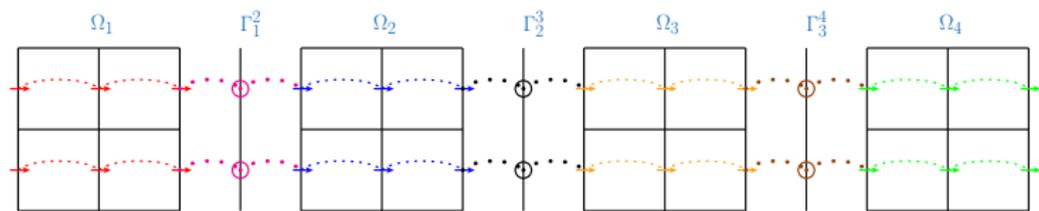
$$\hat{J} = \begin{pmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \\ J_4 \end{pmatrix}, \hat{F} = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{pmatrix}, \hat{W} = \begin{pmatrix} W^1 & & & \\ & W^2 & & \\ & & W^3 & \\ & & & W^4 \end{pmatrix}, \Lambda = \begin{pmatrix} \Lambda_{1,2} \\ \Lambda_{2,3} \\ \Lambda_{3,4} \end{pmatrix},$$

# Données et étapes



$$\hat{J} = \begin{pmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \\ J_4 \end{pmatrix}, \hat{F} = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{pmatrix}, \hat{W} = \begin{pmatrix} W^1 & & & \\ & W^2 & & \\ & & W^3 & \\ & & & W^4 \end{pmatrix}, \Lambda = \begin{pmatrix} \Lambda_{1,2} \\ \Lambda_{2,3} \\ \Lambda_{3,4} \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} C_{\Lambda_1^2 \rightarrow 1} & & & \\ C_{\Lambda_1^2 \rightarrow 2} & C_{\Lambda_2^3 \rightarrow 2} & & \\ & C_{\Lambda_2^3 \rightarrow 3} & C_{\Lambda_3^4 \rightarrow 3} & \\ & & & C_{\Lambda_3^4 \rightarrow 4} \end{pmatrix}$$

# Données et étapes



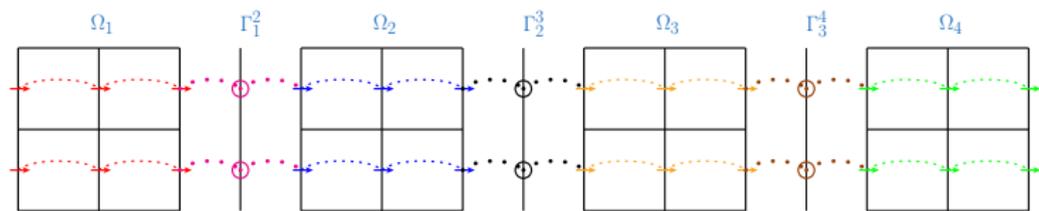
$$\hat{J} = \begin{pmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \\ J_4 \end{pmatrix}, \hat{F} = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{pmatrix}, \hat{W} = \begin{pmatrix} W^1 & & & \\ & W^2 & & \\ & & W^3 & \\ & & & W^4 \end{pmatrix}, \Lambda = \begin{pmatrix} \Lambda_{1,2} \\ \Lambda_{2,3} \\ \Lambda_{3,4} \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} C_{\Lambda_1^2 \rightarrow 1} & & & \\ C_{\Lambda_1^2 \rightarrow 2} & C_{\Lambda_2^3 \rightarrow 2} & & \\ & C_{\Lambda_2^3 \rightarrow 3} & C_{\Lambda_3^4 \rightarrow 3} & \\ & & & C_{\Lambda_3^4 \rightarrow 4} \end{pmatrix}$$

Problème de point-selle :

$$\begin{pmatrix} \hat{W} & C \\ {}^t C & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{J} \\ \Lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{F} \\ 0 \end{pmatrix}$$

- ▶ Résolution de  ${}^t C \hat{W}^{-1} C \Lambda = {}^t C \hat{W}^{-1} \hat{F}$  via un Gradient Conjugué Préconditionné ( $P$ ) :
  - ▶ Le calcul du gradient :  $g = {}^t C \hat{W}^{-1} (\hat{F} - C \Lambda_0)$  ;
  - ▶ Des produits par  ${}^t C \hat{W}^{-1} C$  et par  $P$ .
- ▶ Calcul de la solution :  $\hat{J} = \hat{W}^{-1} (\hat{F} - C \Lambda)$ .

# Données et étapes



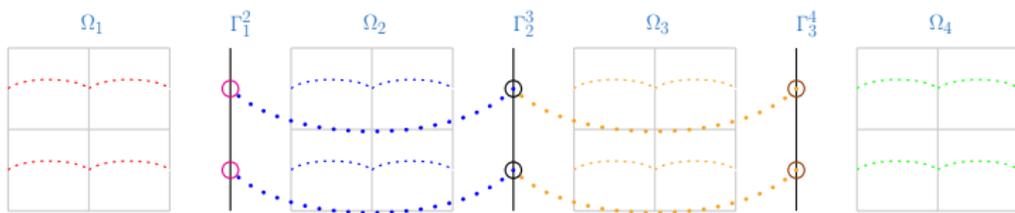
$$\hat{J} = \begin{pmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \\ J_4 \end{pmatrix}, \hat{F} = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{pmatrix}, \hat{W} = \begin{pmatrix} W^1 & & & \\ & W^2 & & \\ & & W^3 & \\ & & & W^4 \end{pmatrix}, \Lambda = \begin{pmatrix} \Lambda_{1,2} \\ \Lambda_{2,3} \\ \Lambda_{3,4} \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} C_{\Lambda_1^2 \rightarrow 1} & & & \\ C_{\Lambda_1^2 \rightarrow 2} & C_{\Lambda_2^3 \rightarrow 2} & & \\ & C_{\Lambda_2^3 \rightarrow 3} & C_{\Lambda_3^4 \rightarrow 3} & \\ & & & C_{\Lambda_3^4 \rightarrow 4} \end{pmatrix}$$

Problème de point-selle :

$$\begin{pmatrix} \hat{W} & C \\ {}^t C & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{J} \\ \Lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{F} \\ 0 \end{pmatrix}$$

- ▶ Résolution de  ${}^t C \hat{W}^{-1} C \Lambda = {}^t C \hat{W}^{-1} \hat{F}$  via un Gradient Conjugué Préconditionné ( $P$ ) :
  - ▶ Le calcul du gradient :  $g = {}^t C \hat{W}^{-1} (\hat{F} - C \Lambda_0)$  ;
  - ▶ Des produits par  ${}^t C \hat{W}^{-1} C$  et par  $P$ .
- ▶ Calcul de la solution :  $\hat{J} = \hat{W}^{-1} (\hat{F} - C \Lambda)$ .

# Produit par le complément de Schur



$$S = {}^t C \hat{W}^{-1} C = \begin{pmatrix} (S_{2 \rightarrow 1}^2 + S_{1 \rightarrow 2}^1) & & & \\ & S_{1 \rightarrow 2}^3 & & \\ & & (S_{3 \rightarrow 2}^3 + S_{2 \rightarrow 3}^2) & \\ & & & S_{2 \rightarrow 3}^4 \\ & & & & (S_{4 \rightarrow 3}^4 + S_{3 \rightarrow 4}^3) \end{pmatrix},$$

avec  $S_{i \rightarrow j}^k = {}^t C_{\mathcal{N}_k^i \rightarrow j} (W^j)^{-1} C_{\mathcal{N}_k^i \rightarrow j}$ .

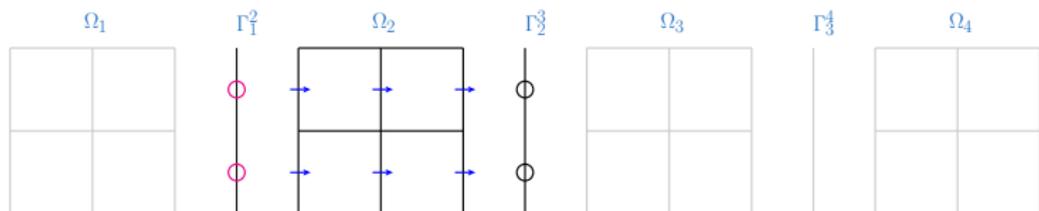
Comme les matrices  $S_{i \rightarrow j}^k$  sont diagonales :

- ▶ Elles sont stockées : le produit par  $S$  est peu coûteux ;
- ▶ Le préconditionneur bloc diagonal est peu coûteux.

# Re-calcul de la solution locale

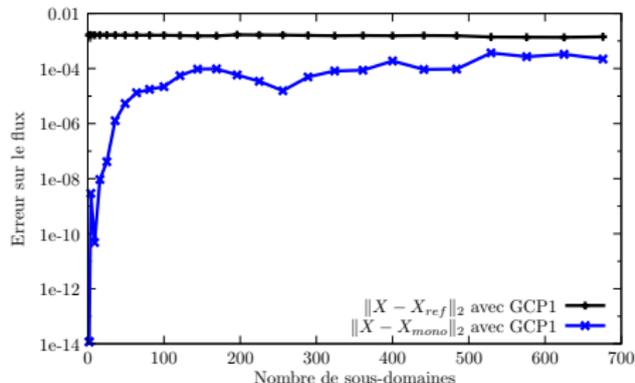
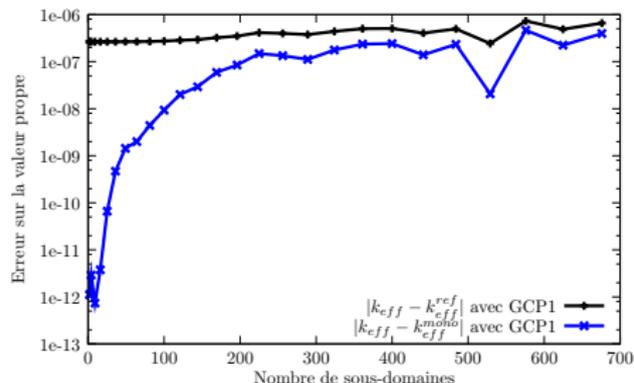
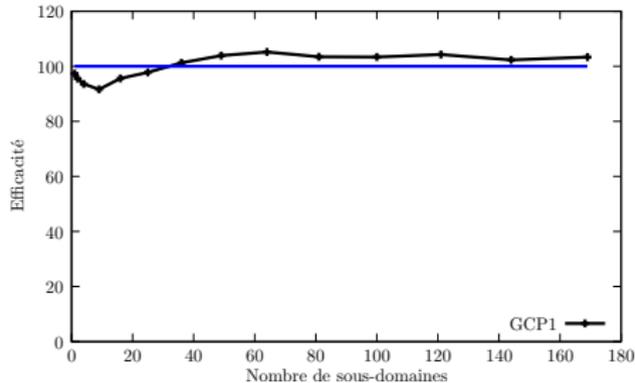
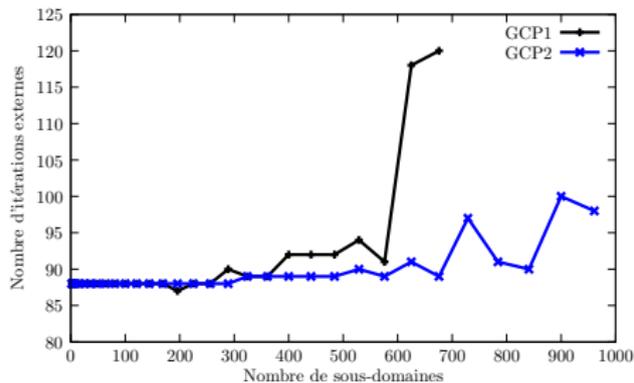
$$\begin{aligned}\hat{J} &= \hat{W}^{-1}(\hat{F} - C\Lambda) \\ &= \hat{W}^{-1}(\hat{F} - C\Lambda_0) + \hat{W}^{-1}C\Delta, \quad \text{avec } \Delta = \Lambda_0 - \Lambda.\end{aligned}$$

- ▶  $\hat{W}^{-1}(\hat{F} - C\Lambda_0)$  a déjà été calculé lors du calcul du gradient ;
- ▶  $\hat{W}^{-1}C$  peut être stockée (2 vecteurs par sous-domaine) ;



- ▶  $\hat{J}$  se calcule dans chaque sous-domaine par une combinaison linéaire de 3 vecteurs.

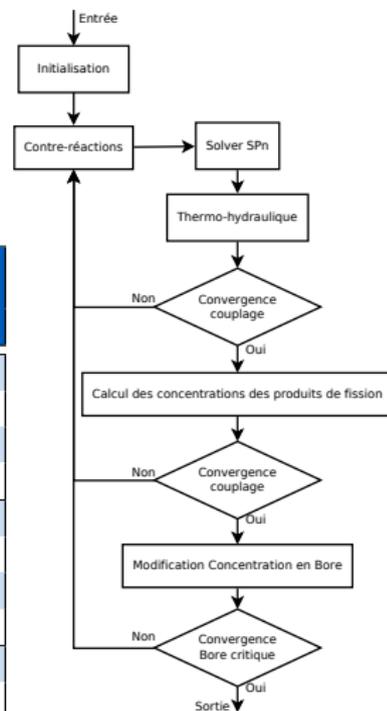
# Résultats sur un cas industriel (REP 900MW)



# Vers une intégration dans la plate-forme Cocagne

- ▶ Test sur une boucle de Bore critique ;
- ▶ Intégration limitée du solveur SPn parallèle dans la plate-forme ;
- ▶ Résolution des problèmes mémoire.

RTk	#proc	Bore	temps (s)		efficacité	
			total	SPn	totale	SPn
RT0	1	1457.3	1488	241	100%	100%
RT0	4	1457.3	1394	162	27%	37%
RT0	36	1457.3	1344	102	3%	7%
RT0	100	1457.3	1334	99	1%	2%
RT1	1	1458.7	(16974)	(14123)	X	X
RT1	4	1458.7	1755	532	100%	100%
RT1	36	1458.7	1405	163	14%	36%
RT1	100	1458.7	1369	119	5%	18%
RT2	1	X	X	X	X	X
RT2	4	1459.1	2837	1597	100%	100%
RT2	36	1459.1	1804	571	17%	31%
RT2	100	1459.1	1554	315	7%	20%

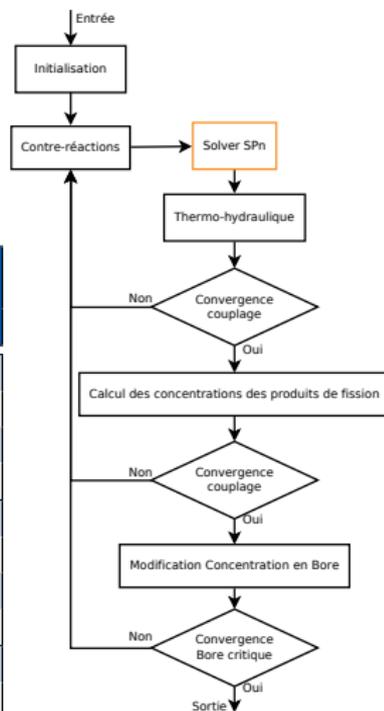


Procédure de Bore critique.

# Vers une intégration dans la plate-forme Cocagne

- ▶ Test sur une boucle de Bore critique ;
- ▶ Intégration limitée du solveur SPn parallèle dans la plate-forme ;
- ▶ Résolution des problèmes mémoire.

RTk	#proc	Bore	temps (s)		efficacité	
			total	SPn	totale	SPn
RT0	1	1457.3	1488	241	100%	100%
RT0	4	1457.3	1394	162	27%	37%
RT0	36	1457.3	1344	102	3%	7%
RT0	100	1457.3	1334	99	1%	2%
RT1	1	1458.7	(16974)	(14123)	X	X
RT1	4	1458.7	1755	532	100%	100%
RT1	36	1458.7	1405	163	14%	36%
RT1	100	1458.7	1369	119	5%	18%
RT2	1	X	X	X	X	X
RT2	4	1459.1	2837	1597	100%	100%
RT2	36	1459.1	1804	571	17%	31%
RT2	100	1459.1	1554	315	7%	20%

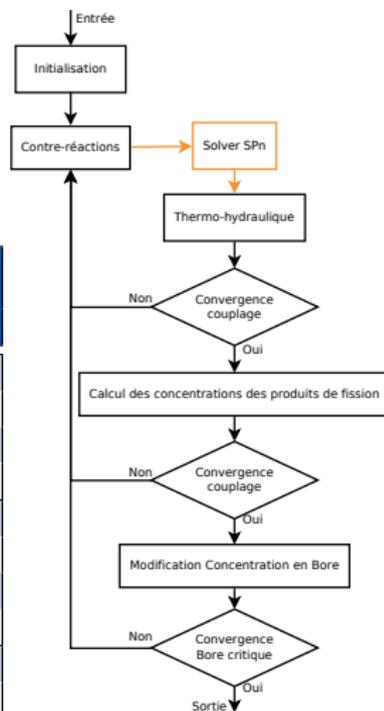


Procédure de Bore critique.

# Vers une intégration dans la plate-forme Cocagne

- ▶ Test sur une boucle de Bore critique ;
- ▶ Intégration limitée du solveur SPn parallèle dans la plate-forme ;
- ▶ Résolution des problèmes mémoire.

RTk	#proc	Bore	temps (s)		efficacité	
			total	SPn	totale	SPn
RT0	1	1457.3	1488	241	100%	100%
RT0	4	1457.3	1394	162	27%	37%
RT0	36	1457.3	1344	102	3%	7%
RT0	100	1457.3	1334	99	1%	2%
RT1	1	1458.7	(16974)	(14123)	X	X
RT1	4	1458.7	1755	532	100%	100%
RT1	36	1458.7	1405	163	14%	36%
RT1	100	1458.7	1369	119	5%	18%
RT2	1	X	X	X	X	X
RT2	4	1459.1	2837	1597	100%	100%
RT2	36	1459.1	1804	571	17%	31%
RT2	100	1459.1	1554	315	7%	20%



Procédure de Bore critique.

# Conclusion

## Contributions :

- ◆ Choix du placement de la décomposition de domaine : **approche unidimensionnelle** ;
- ◆ Choix du solveur d'interface : **Gradient Conjugué** préconditionné par la diagonale ;
- ◆ Proposition d'un schéma de communication ;
- ◆ Proposition d'optimisations algorithmiques ;
- ◆ Démonstration de faisabilité dans un contexte **industriel**.

Résultat : un algorithme **robuste, sans nouveau paramètre et efficace** ;

## Perspectives numériques

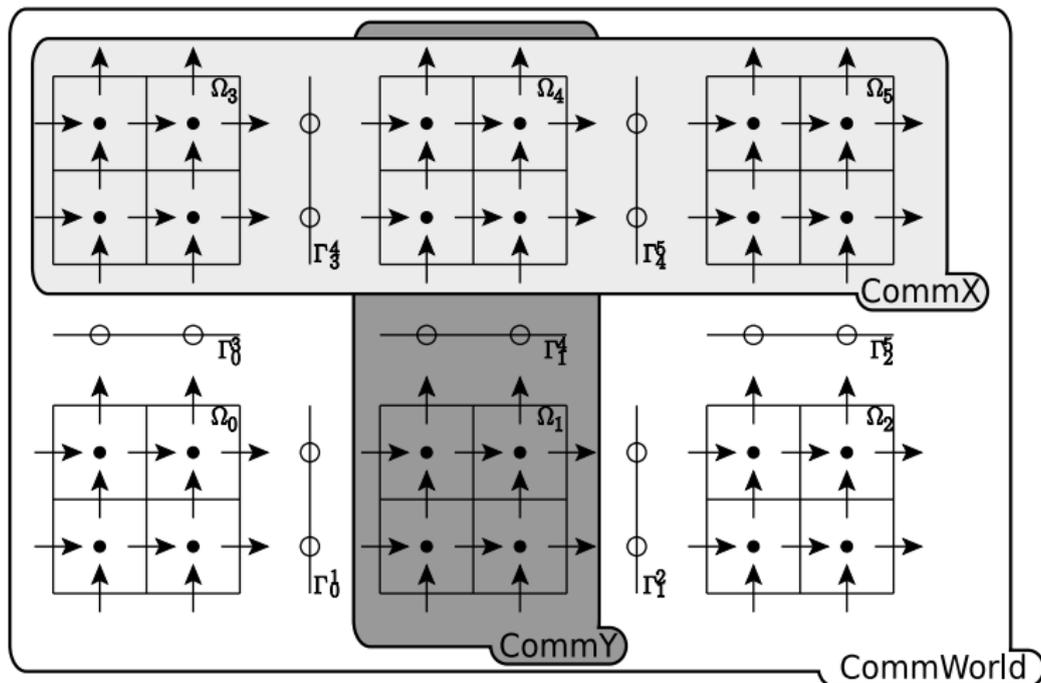
- ▶ calcul avec un plus grand nombre de groupes d'énergie ;
- ▶ gérer les équations cinétiques ;
- ▶ gestion des maillages non-coïncidents.

## Perspectives informatiques

- ▶ intégration dans la plate-forme industrielle Cocagne (vers un modèle de données parallèles ?) ;
- ▶ gestion de plusieurs sous-domaines par processus ;
- ▶ gestion de géométries non rectangulaires ;
- ▶ comparaison en mémoire partagée avec d'autres algorithmes ;
- ▶ couplage avec un parallélisme de grain fin : thread, GP-GPU (quel algorithme ? à quel niveau ?).

Merci pour votre attention !

# Communicateurs



# Algorithme du Gradient Conjugué préconditionné

$$\hat{J} = \hat{W}^{-1} (\hat{F} - \hat{C}\Lambda) ;$$

$$g = (\hat{C}^t \hat{C} \hat{J}) ;$$

$$z = Pg ;$$

$$w = z ; \quad \text{dotGZ} = \langle g, z \rangle ;$$

**while** ! Convergence **do**

$$S_w = (\hat{C}^t \hat{W}^{-1} \hat{C}) w ;$$

$$\rho = - \frac{\text{dotGZ}}{\langle w, S_w \rangle} ;$$

$$\Lambda = \Lambda + \rho w ;$$

$$g = g + \rho S_w ;$$

$$z = Pg ;$$

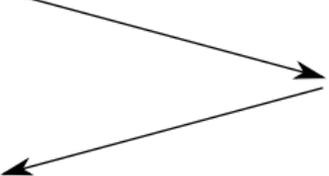
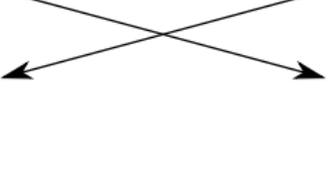
$$\text{dotGZold} = \text{dotGZ} ; \quad \text{dotGZ} = \langle g, z \rangle ;$$

$$w = z + \frac{\text{dotGZ}}{\text{dotGZold}} w ;$$

**end**

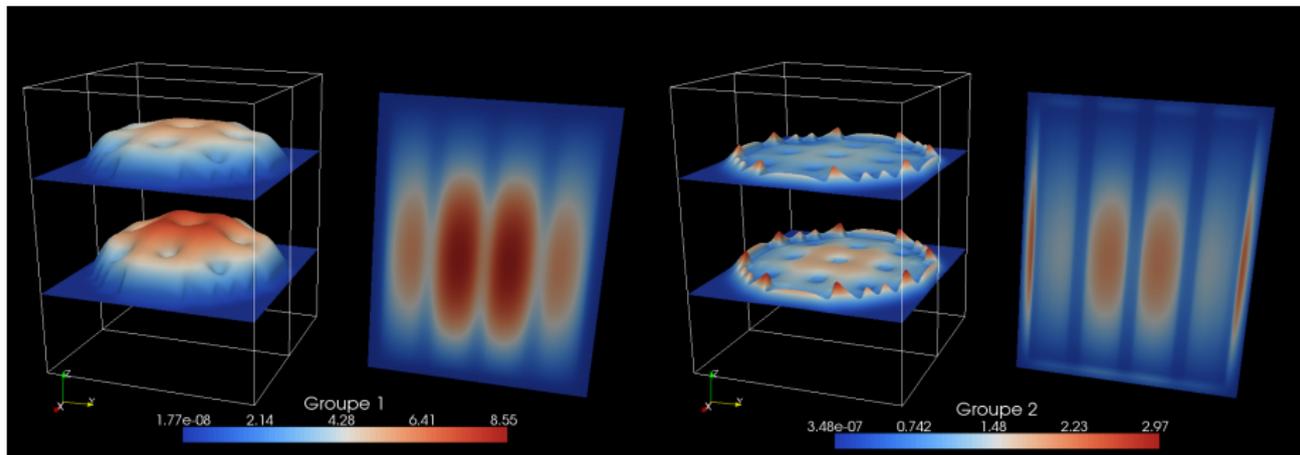
$$\hat{J} = \hat{W}^{-1} (\hat{F} - \hat{C}\Lambda)$$

# Schéma de communication

Ligne l'Algorithme 1	de	(sans duplication)	(avec duplication)
		$\Omega_1$ : maître esclave : $\Omega_2$	$\Omega_1$ $\Omega_2$
$\hat{J} = \hat{W}^{-1} (\hat{F} - C\Lambda)$			
$g = ({}^t C \hat{J})$			
$S_w = ({}^t C \hat{W}^{-1} C) w$			
$\hat{J} = \hat{W}^{-1} (\hat{F} - C\Lambda)$			

Nombre de communications avec et sans duplication des vecteurs d'interface

# BenchMarkAIEA



# REP 900MW

