Méthodes FETI

François-Xavier Roux
Unité Calcul à Haute Performance

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

retour sur innovation

Plan

- Conditions de raccord de type Fourier
- Méthode FETI-2LM
- Application à des problèmes fortement hétérogènes et harmoniques
- Localisation des interfaces non conformes avec FETI-2LM
- Extension de l'approche au cas de problèmes couplés
- Conclusion

Conditions de raccord de Fourier

- Problèmes locaux avec des conditions aux limites de Fourier

$$\begin{cases} div\,\sigma_1 + f_1 = 0 \ \text{ dans } \Omega_1 \\ \sigma_1 = A(\varepsilon_1) \quad \text{dans } \Omega_1 \\ + \text{c.l. sur } \partial\Omega_1 \cap \partial\Omega \\ \ \sigma_1 n_1 + \kappa_1 u_1 = \lambda_1 \text{ sur } \Gamma_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} div\,\sigma_2 + f_2 = 0 \ \text{ dans } \Omega_2 \\ \sigma_2 = A(\varepsilon_2) \quad \text{dans } \Omega_2 \\ + \text{c.l. sur } \partial\Omega_2 \cap \partial\Omega \\ \ \sigma_2 n_2 + \kappa_2 u_2 = \lambda_2 \text{ sur } \Gamma_3 \end{cases}$$

- Conditions de raccord sur Γ_3

$$\begin{cases} u_1 - u_2 = 0 \\ \sigma_1 n_1 + \sigma_2 n_2 = 0 \end{cases} \Leftrightarrow$$

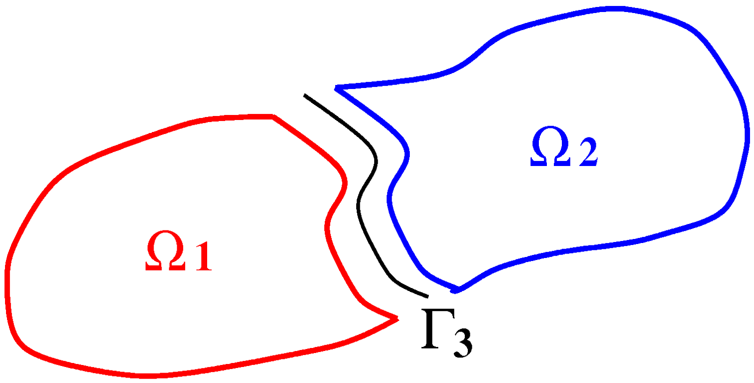
$$\begin{cases} u_1 - u_2 = 0 \\ \lambda_1 - \kappa_1 u_1 + \lambda_2 - \kappa_2 u_2 = 0 \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\begin{cases} \lambda_1 - \kappa_1 u_1 + \lambda_2 - \kappa_2 u_1 = 0 \\ \lambda_1 - \kappa_1 u_2 + \lambda_2 - \kappa_2 u_2 = 0 \end{cases}$$

Discrétisation par éléments finis : méthode FETI-2LM

- Système linéaire global

$$\begin{pmatrix} K_{11} & 0 & K_{13} \\ 0 & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}$$



- Systèmes linéaires locaux

$$\begin{pmatrix} K_{11} & K_{13} \\ K_{31} & K_{33}^{(1)} + k_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_3^{(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_3^{(1)} + \lambda_1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} K_{22} & K_{23} \\ K_{32} & K_{33}^{(2)} + k_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ x_3^{(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_2 \\ b_3^{(2)} + \lambda_2 \end{pmatrix}$$

- Equations de raccord aux interfaces

$$\begin{cases} x_3^{(1)} = x_3^{(2)} \\ k_1 x_3^{(1)} + k_2 x_3^{(2)} = \lambda_1 + \lambda_2 \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\begin{cases} \lambda_1 + \lambda_2 - (k_1 + k_2) x_3^{(2)} = 0 \\ \lambda_1 + \lambda_2 - (k_2 + k_1) x_3^{(1)} = 0 \end{cases}$$

Problème interface condensé

- Equations locales condensées à l'interface

$$(k_1 + K_{33}^{(1)} - K_{31} K_{11}^{-1} K_{13}) x_3^{(1)} = \lambda_1 + b_3^{(1)} - K_{31} K_{11}^{-1} b_1$$

$$(k_2 + K_{33}^{(2)} - K_{32} K_{22}^{-1} K_{23}) x_3^{(2)} = \lambda_2 + b_3^{(2)} - K_{32} K_{22}^{-1} b_2$$

- Matrice des équations de raccord aux interfaces

$$\begin{pmatrix} I & I - (k_1 + k_2)(k_2 + K_{33}^{(2)} - K_{32} K_{22}^{-1} K_{23})^{-1} \\ I - (k_2 + k_1)(k_1 + K_{33}^{(1)} - K_{31} K_{11}^{-1} K_{13})^{-1} & I \end{pmatrix}$$

Conditions de raccord optimales

- Conditions de Fourier optimales

$$
\begin{aligned}
\mathrm{k}_1 &= K_{33}^{(2)} - K_{32}\, K_{22}^{-1}\, K_{23} \\
\mathrm{k}_2 &= K_{33}^{(1)} - K_{31}\, K_{11}^{-1}\, K_{13}
\end{aligned}
$$

- Conditions optimales = rigidité condensée du domaine opposé sur l'interface
- Interprétation par condensation locale dans les équations globales

$$
\begin{pmatrix} K_{11} & K_{13} \\ K_{31} & K_{33}^{(1)} + K_{33}^{(2)} - K_{32} K_{22}^{-1} K_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_3^{(1)} + b_3^{(2)} - K_{32} K_{22}^{-1}\, b_2 \end{pmatrix}
$$

Caractéristiques de la méthode

- Problèmes locaux bien posés, même avec des découpages complexes

- Convergence en *p -1* itérations en cas de découpage en *p* tranches

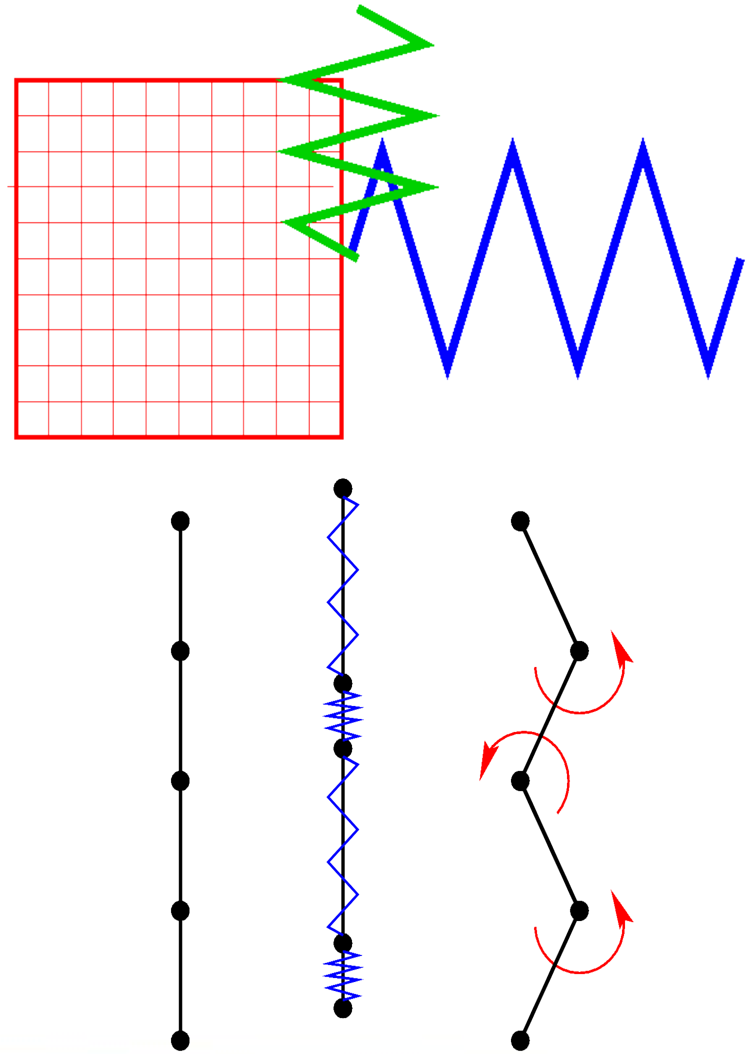
optimal cv

- Problème : impossible en pratique de calculer exactement l'opérateur optimal (complément de Schur)

- Détermination d'un opérateur approché

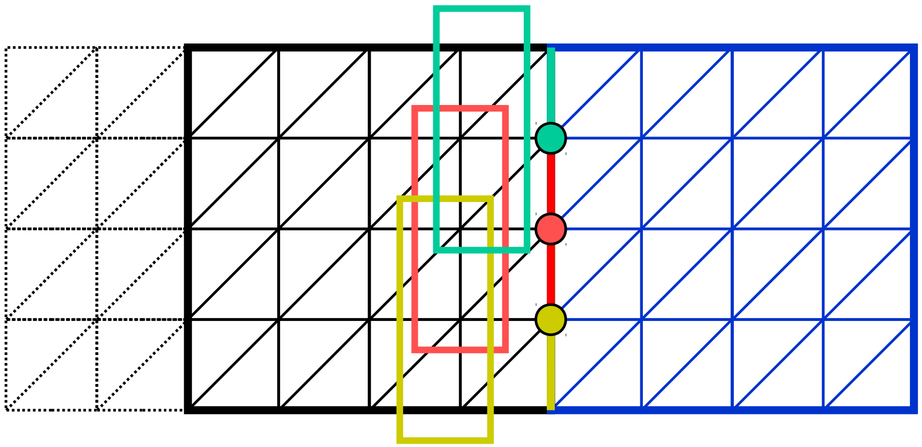
Approche « mécanique » pour la condition de raccord

- Identification des paramètres d'un modèle de comportement asymptotique (ressort, poutre, coque)
- Résolution d'un petit nombre de problèmes à déplacements imposés sur chaque interface
- Comportement global ou local de l'interface
- Plus difficile à mettre en œuvre dans le cas général



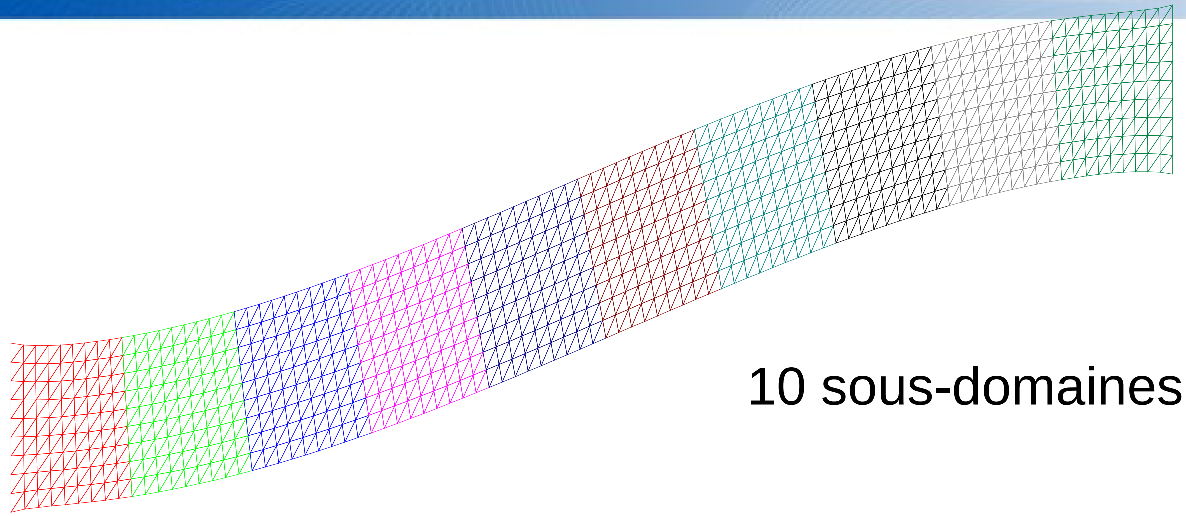
Approximation creuse du complément de Schur

- Condensation locale sur des petites zones
- Assemblage pondéré



- Approche purement algébrique
- Mise en œuvre en « boîte » noire
- Utilisable pour tout type d'éléments
- Convergence très rapide pour des domaines très contrastés

Test pour la poutre console

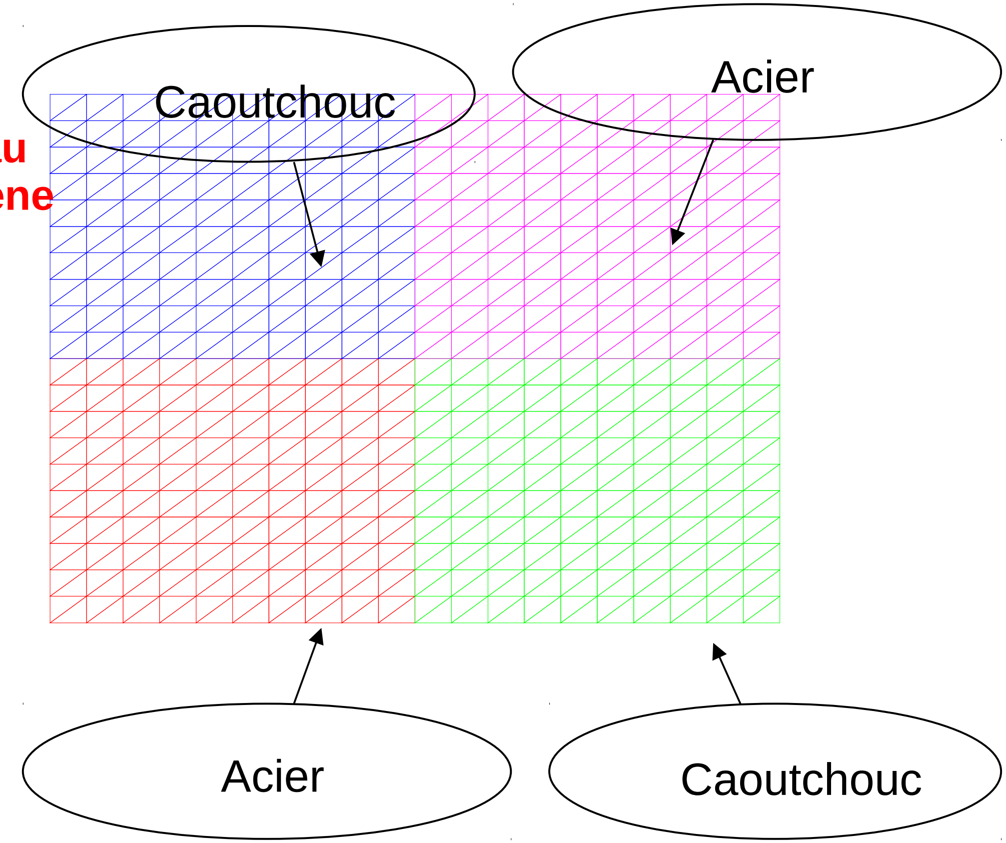


10 sous-domaines

Maillage	Largeur du patch	Patch	Schur du voisin	Trace rigidité
1/10	1	53	39	69
1/20	2	58	39	94
1/40	4	62	39	130
1/80	8	65	39	181

Problèmes fortement hétérogènes

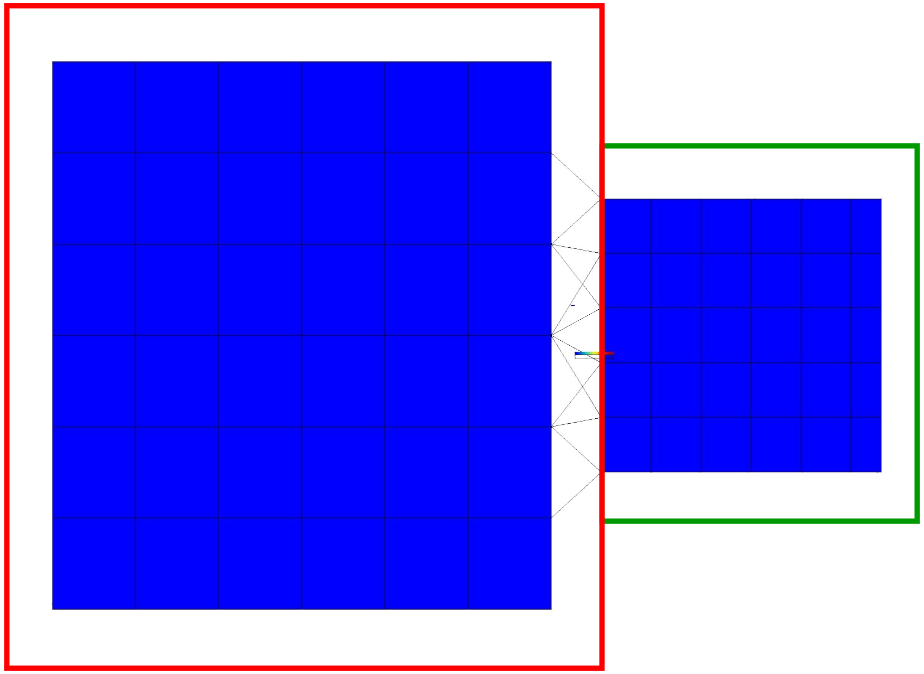
Maillage local	Matériau homogène	Matériau hétérogène
1/10	28	8
1/20	37	8
1/40	49	8
1/80	66	8



16 novembre 2011

Cas de problèmes avec contact

- Formulation quasi-Lagrangienne augmentée(Alart & Curnier)
- Eléments de contacts de type mixte dans un des sous-domaines
- Comportements fortement hétérogènes

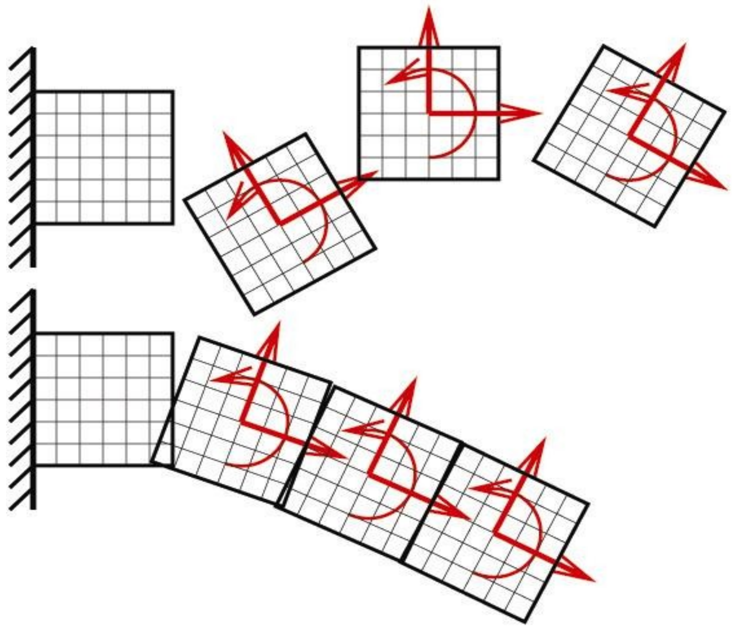


Préconditionneur « grille grossière » global

- Projection du résidu dans un espace formé des traces des mouvements de corps rigide

- Mécanisme global de transfert d'efforts

- Vitesse de convergence asymptotiquement indépendante du nombre de sous-domaines



rgb cv

Elasticité linéaire harmonique en temps

- Problème continu

$$\begin{cases} div\,\sigma + f = -\rho\,\omega^2 u \quad \text{dans } \Omega \\ + \text{conditions aux limites sur } \partial\Omega \end{cases}$$

- Conditions aux limites absorbantes approchées au premier ordre pour l'élasticité

$$\sigma\, n + i\omega\,\rho \begin{pmatrix} C_L & 0 & 0 \\ 0 & C_T & 0 \\ 0 & 0 & C_T \end{pmatrix} u = 0$$

Méthode à 2 variables d'interface pour l'élasticité linéaire harmonique en temps

- Système d'équations global

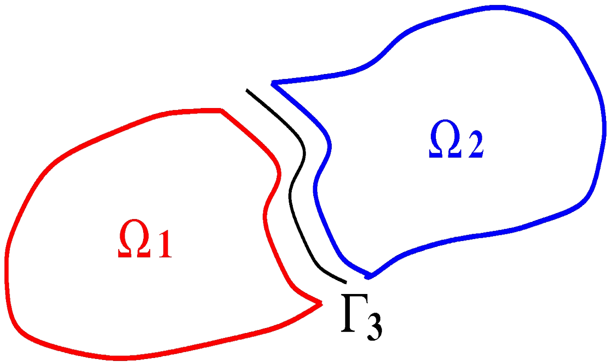
$$(K-\omega^2 M)\,u = f$$

- Système d'équations local

$$(K_s-\omega^2 M + R_s^t c_s R_s)\,u_s = f_s + R_s^t \lambda_s \quad \text{dans } \Omega_s$$

- Condition de raccord aux interfaces optimisée par analyse de Fourier pour le problème discret

$$\begin{cases} \lambda_1+\lambda_2-(c_1+c_2)R_2\,u_2 = 0 & \text{sur } \Gamma_3 \\ \lambda_2+\lambda_1-(c_2+c_1)R_1\,u_1 = 0 & \text{sur } \Gamma_3 \end{cases}$$

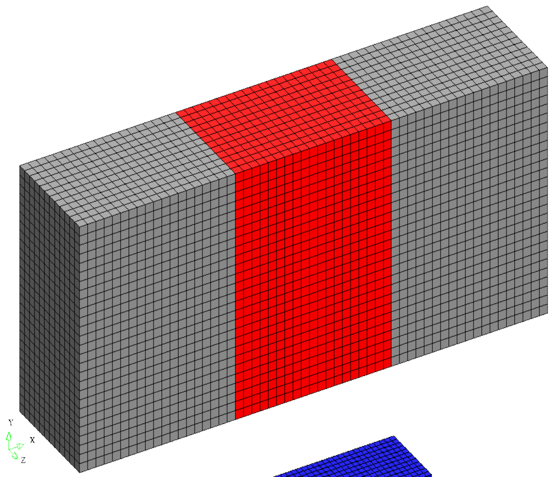


$$\int_{\Gamma_3}(i+\alpha)\,\omega\,\rho\begin{pmatrix} C_L & 0 & 0 \\ 0 & C_T & 0 \\ 0 & 0 & C_T \end{pmatrix} u_{\Gamma_3}.v_{\Gamma_3} = \left(c_s u_3^{(s)}, v_3^{(s)}\right)$$

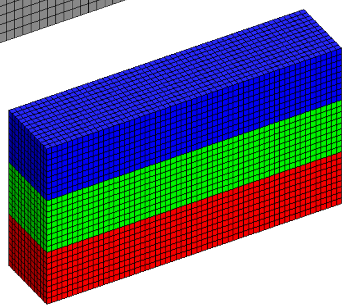
Préconditionneur « grille grossière » global en dynamique

- Définition de l'espace grossier local
- Ensemble d'ondes planes de direction variable
- Espace grossier plus grand qu'en statique
- Construction automatique difficile avec des matériaux et des éléments hétérogènes

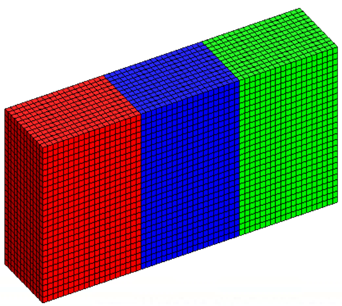
Test pour un problème modèle hétérogène tridimensionnel



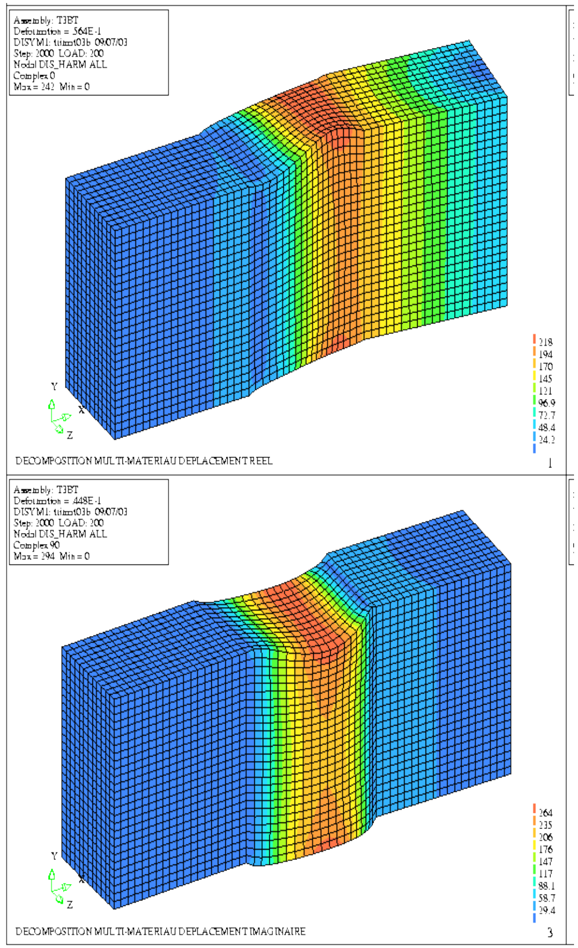
- Acier
- Elastomère



- matériau hétérogène dans chaque sous-domaine

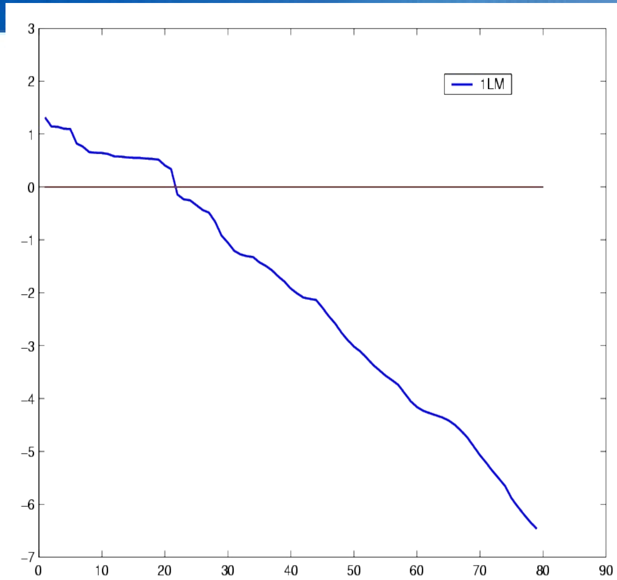


- matériau homogène dans chaque sous-domaine

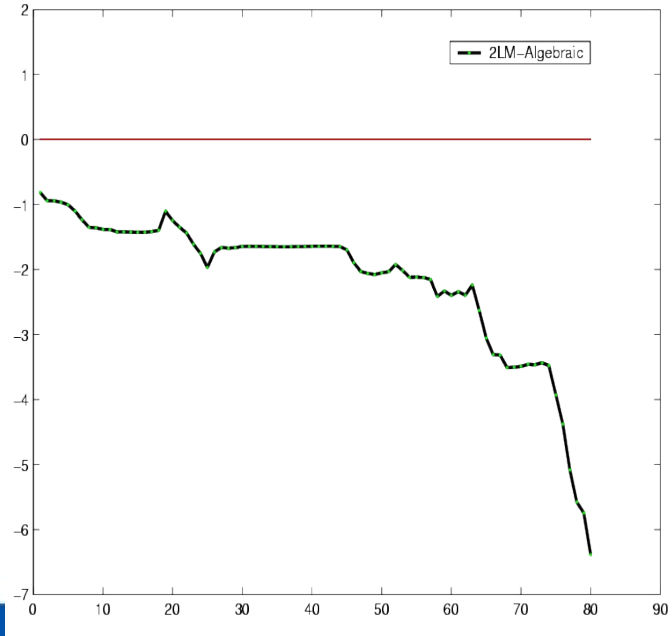


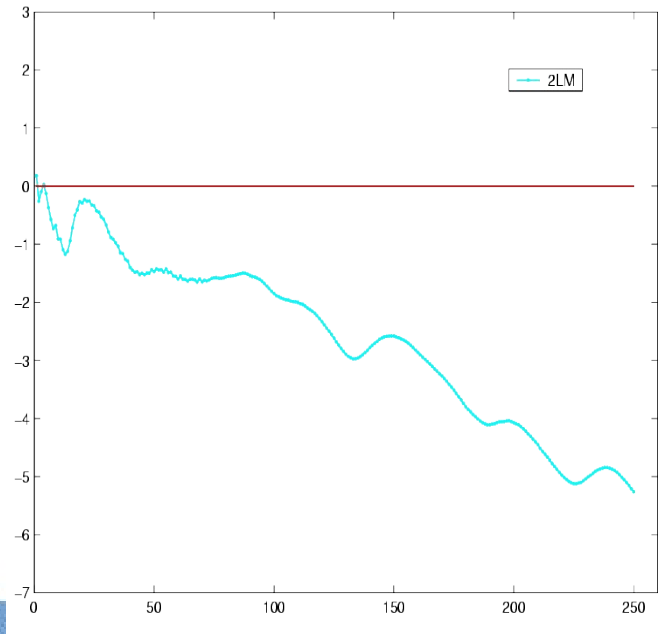
Solution

Convergence



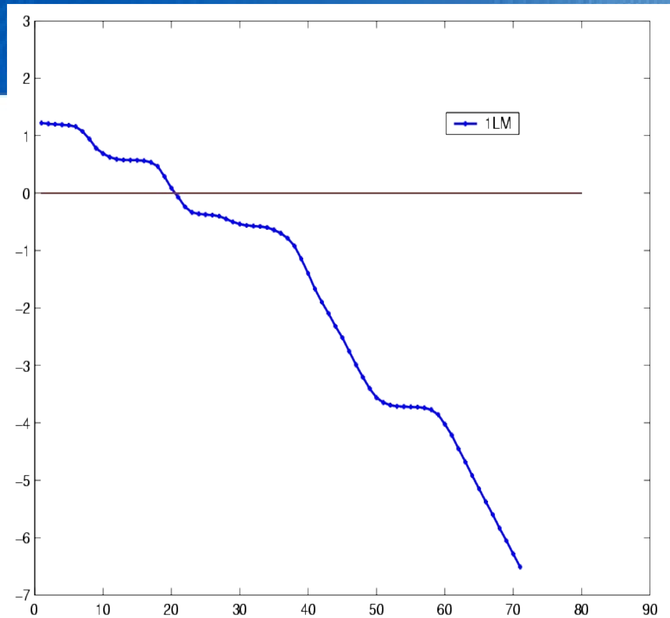
- sous-domaine hétérogène
- même matériau des deux côtés de l'interface

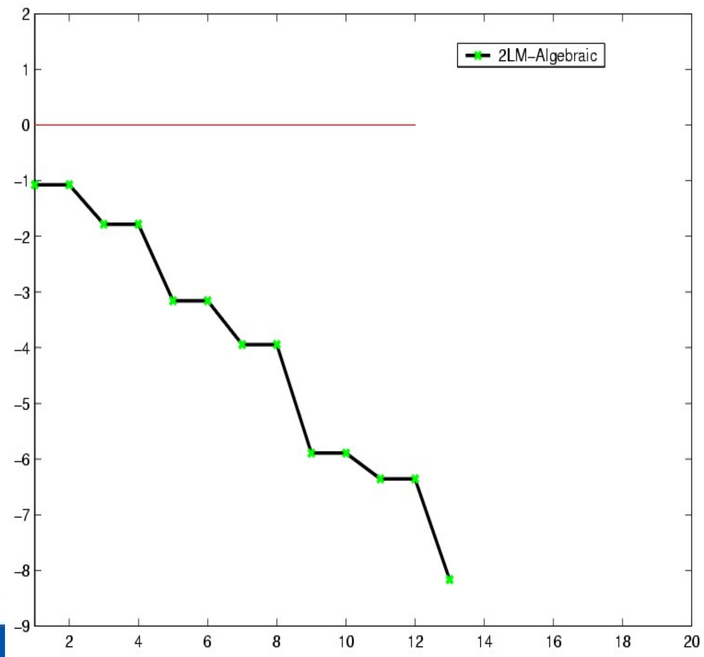


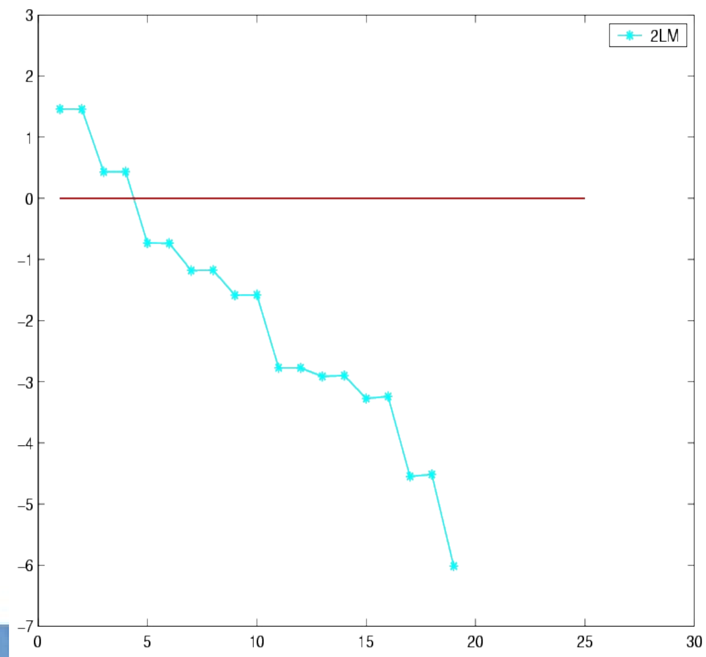


Convergence

- sous-domaine homogène
- matériaux différents des deux côtés de l'interface
- impédance de surface du sous-domaine en vis à vis



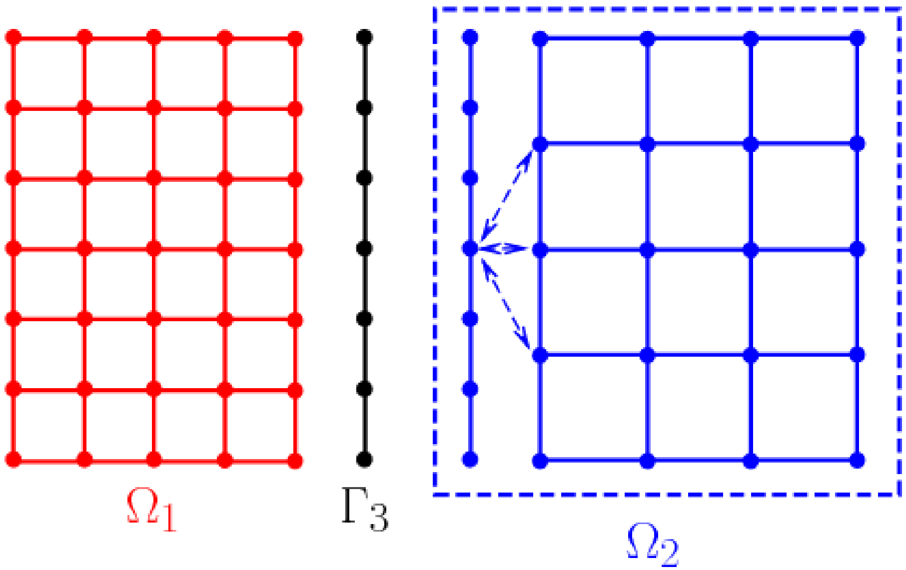




Localisation des interfaces non conformes avec FETI-2LM

- Annexion des points situés de part et d’autre de l’interface dans un seul domaine
- L’interface redevient conforme

K_1



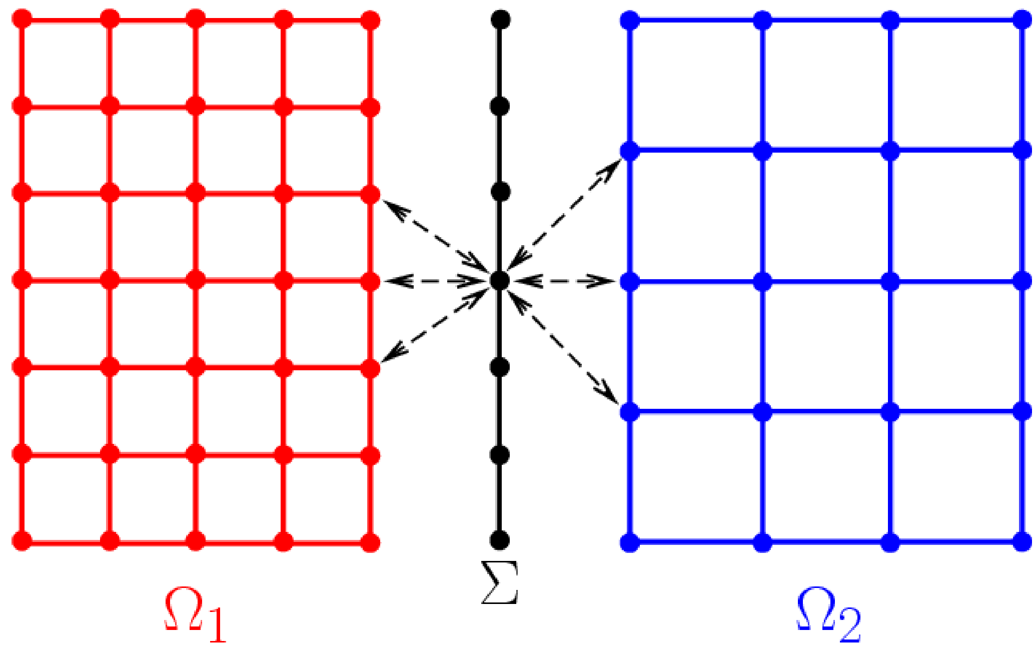
$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & R_1 B_1^t \\ 0 & K_2 & -B_2^t \\ B_1 R_1^t & -B_2 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} k_2 & 0 & R_1 B_1^t \\ 0 & K_2 & -B_2^t \\ B_1 R_1^t & -B_2 & 0 \end{pmatrix}$$

- Problème local singulier dans le sous-domaine traitant l’interface non conforme
- Avec la méthode FETI-2LM, la singularité locale disparaît du fait de l’ajout de la rigidité d’interface calculée dans le sous-domaine voisin

Mise en œuvre des maillages non conformes avec les méthodes FETI

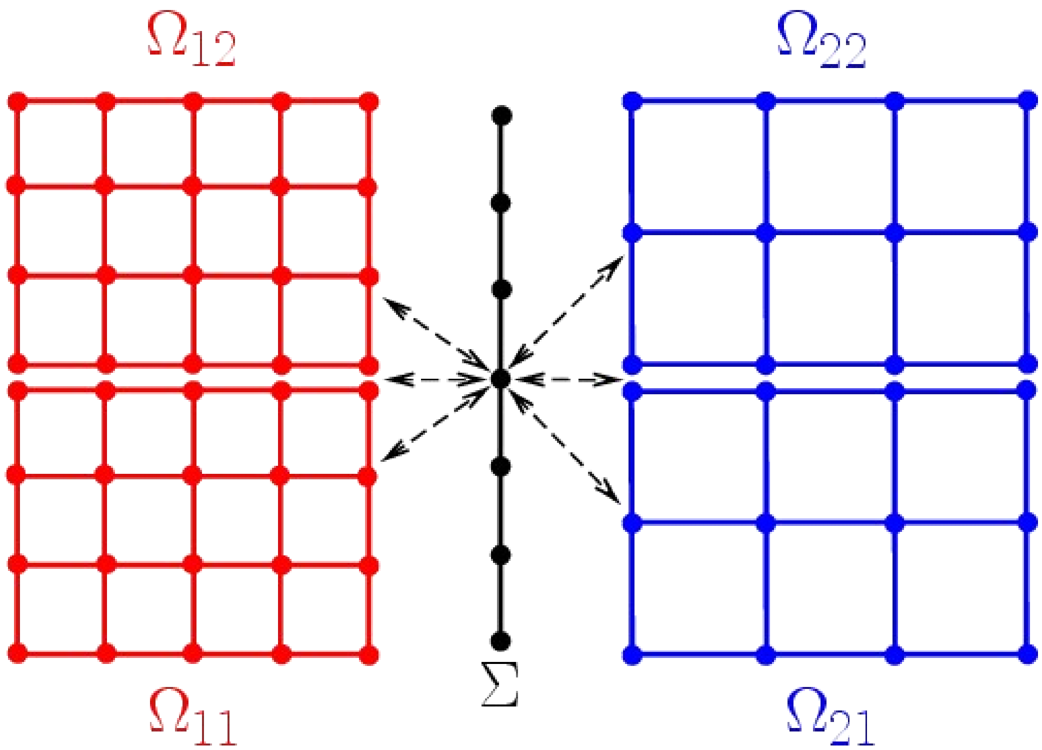
- En général, une seule interface non conforme : modélisation
- Deux sous-domaines
- Pas d'équilibrage des charges



ONERA

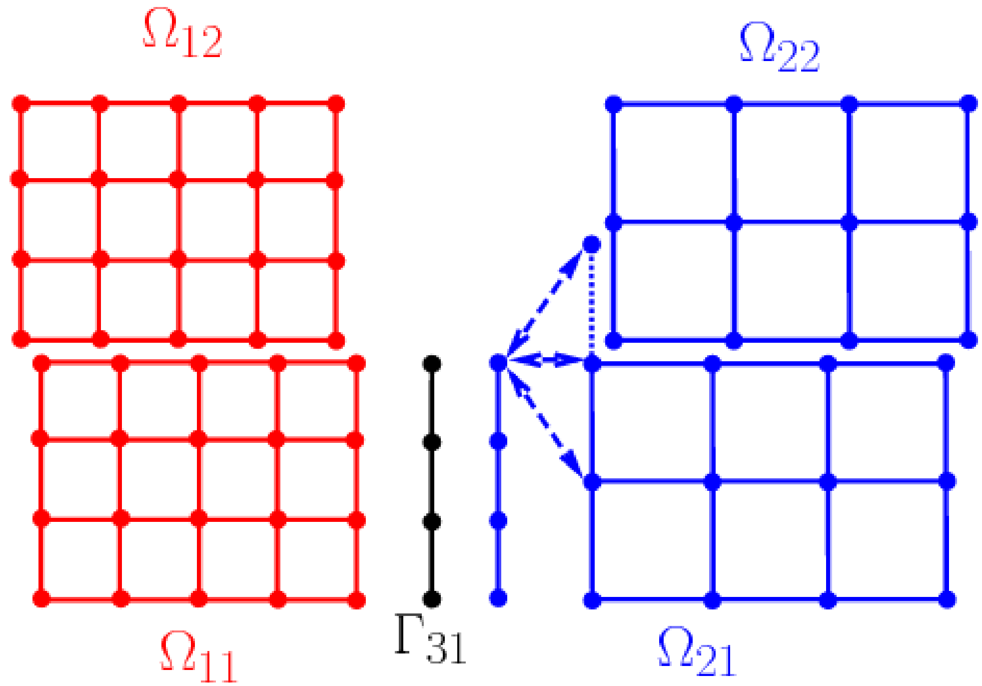
Redécoupage d’interfaces non conformes

- Nécessité de redécouper les domaines
- Conditions de raccord non conformes non localisées sur une interface entre deux sous-domaines



Relocalisation des conditions de raccord non conformes

- Annexion des nœuds situés du même côté de l'interface par un des sous-domaines



- Construction automatique à partir d'une description sous forme de contraintes multi-points
- Pas de rigidité pour les nœuds annexés, mais la méthode FETI-2LM régularise les matrices locales

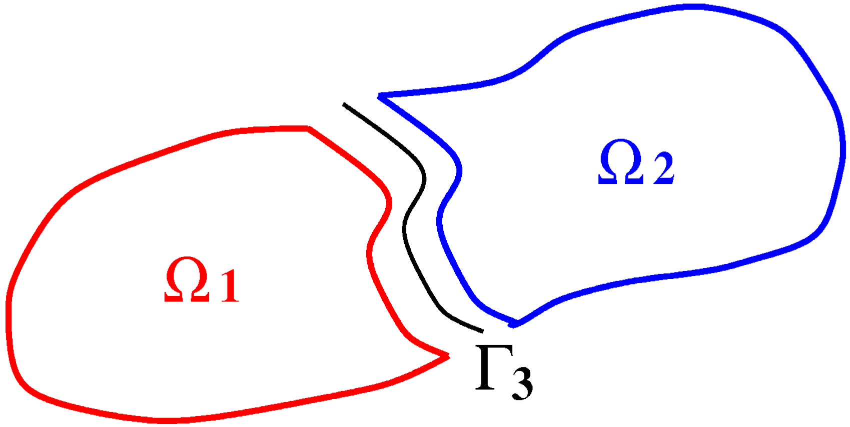
Utilisation de l’approche Fourier Fourier pour le couplage

- Équations différentes dans les différents domaines
- Forte hétérogénéité des comportements
- Problèmes non linéaires
- Pas forcément de méthodes de descente de type gradient ou Newton pour le problème global

Méthodes de décomposition de domaine : modèle continu pour l'équation de la chaleur

- Problème global

$$\begin{cases} k\Delta u + f = 0 \ \text{ dans } \Omega \\ + \text{conditions aux limites sur } \partial\Omega \end{cases}$$



- Problèmes locaux

$$\begin{cases} k_1\Delta u_1 + f_1 = 0 \ \text{ dans } \Omega_1 \\ + \text{conditions aux limites sur } \partial\Omega_1 \cap \partial\Omega \end{cases}$$

$$\begin{cases} k_2\Delta u_2 + f_2 = 0 \ \text{ dans } \Omega_2 \\ + \text{conditions aux limites sur } \partial\Omega_2 \cap \partial\Omega \end{cases}$$

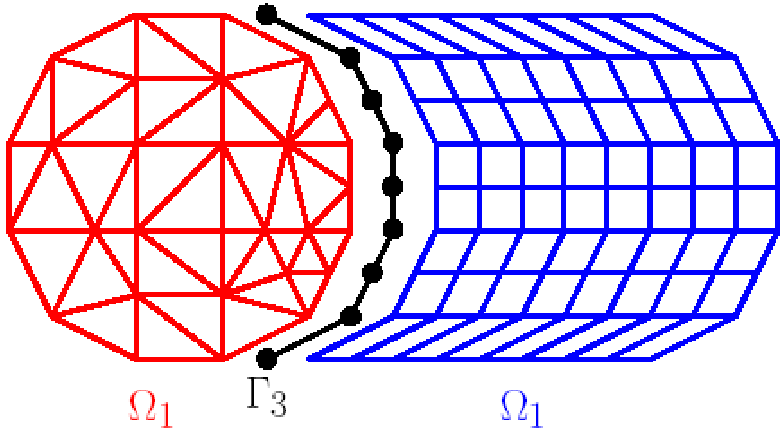
- Conditions de raccord à l'interface

$$\begin{cases} u_1 = u_2 \ \text{ sur } \Gamma_3 \\ k_1 \dfrac{\partial u_1}{\partial n_1} + k_2 \dfrac{\partial u_2}{\partial n_2} = 0 \ \text{ sur } \Gamma_3 \end{cases}$$

Discrétisation

- Système d'équations global

$$\begin{pmatrix} K_{11} & 0 & K_{13} \\ 0 & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}$$



- Système d'équations local avec des conditions aux limites Dirichlet ou Neumann

$$\begin{cases} x_3^{(1)} = x_3 \\ K_{11}x_1 + K_{13}x_3^{(1)} = b_1 \end{cases} \qquad \begin{pmatrix} K_{22} & K_{23} \\ K_{32} & K_{33}^{(2)} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x_2 \\ x_3^{(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_2 \\ b_3^{(2)} + g_3^{(2)} \end{pmatrix}$$

Méthode Dirichlet Neumann, contexte continu

- Condition Dirichlet sur l'interface de Ω_1 imposée d'après la trace de la solution dans Ω_2 à l'itération précédente

$$\begin{cases} u_1^{p+1} = u_2^p \quad \text{sur } \Gamma_3 \\ k_1 \Delta u_1^{p+1} + f_1 = 0 \quad \text{dans } \Omega_1 \end{cases}$$

- Condition Neumann sur l'interface de Ω_2 imposée d'après le flux de la solution dans Ω_1 à l'itération précédente

$$\begin{cases} k_2 \dfrac{\partial u_2^{p+1}}{\partial n_2} = -k_1 \dfrac{\partial u_1^{p+1}}{\partial n_1} \quad \text{sur } \Gamma_3 \\ k_2 \Delta u_2^{p+1} + f_2 = 0 \quad \text{dans } \Omega_2 \end{cases}$$

- Si la méthode converge, elle converge vers la solution du problème couplé

$$\begin{cases} u_1 = u_2 \ \text{sur } \Gamma_3 \\ k_1 \dfrac{\partial u_1}{\partial n_1} + k_2 \dfrac{\partial u_2}{\partial n_2} = 0 \quad \text{dans } \Gamma_3 \end{cases}$$

Méthode Dirichlet Neumann, contexte discret

- Dirichlet

$$\begin{cases} x_3^{(1)} = x_3^p \\ K_{11}x_1 + K_{13}x_3^{(1)} = b_1 \end{cases} \qquad \begin{pmatrix} K_{11} & K_{13} \\ K_{31} & K_{33}^{(1)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_3^{(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_3^{(1)} + g_3^{(1)} \end{pmatrix}$$

$$\left(K_{33}^{(1)} - K_{31}\, K_{11}^{-1} K_{13}\right) \mathrm{x}_3^{(1)} = \mathrm{b}_3^{(1)} - K_{31}\, K_{11}^{-1}\, \mathrm{b}_1 + \mathrm{g}_3^{(1)}$$

$$\mathrm{g}_3^{(1)} = S_3^{(1)}\, \mathrm{x}_3^p - \mathrm{c}_3^{(1)}$$

- Neumann

$$g_3^{(2)} = -g_3^{(1)} \qquad \begin{pmatrix} K_{22} & K_{23} \\ K_{32} & K_{33}^{(2)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ x_3^{(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_2 \\ b_3^{(2)} + g_3^{(2)} \end{pmatrix} \qquad x_3^{p+1} = x_3^{(2)}$$

$$\left(K_{33}^{(2)} - K_{32}\, K_{22}^{-1} K_{23}\right) \mathrm{x}_3^{(2)} = \mathrm{b}_3^{(2)} - K_{32}\, K_{22}^{-1}\, \mathrm{b}_2 + \mathrm{g}_3^{(2)}$$

$$S^{(2)}\, \mathrm{x}_3^{p+1} = \mathrm{c}_3^{(2)} + \mathrm{c}_3^{(1)} - S^{(1)}\, \mathrm{x}_3^p$$

Convergence de la méthode Dirichlet Neumann

- Problème global condensé

$$\left(S^{(1)} + S^{(2)}\right) \mathrm{x}_3 = \mathrm{c}_3$$

- Itération Dirichlet Neumann

$$S^{(2)}\ \mathrm{x}_3^{p+1} = \mathrm{c}_3 - S^{(1)}\ \mathrm{x}_3^{p}$$

$$S^{(2)}\left(\mathrm{x}_3^{p+1} - \mathrm{x}_3\right) = -S^{(1)}\left(\mathrm{x}_3^{p} - \mathrm{x}_3\right)$$

$$\left(\mathrm{x}_3^{p+1} - \mathrm{x}_3\right) = -S^{(2)^{-1}} S^{(1)}\left(\mathrm{x}_3^{p} - \mathrm{x}_3\right)$$

- Méthode Dirichlet Neumann convergente si Neumann du côté le plus rigide

$$\left\| S^{(2)^{-1}} S^{(1)} \right\| < 1$$

Méthode Dirichlet Fourier, contexte continu

- Condition Dirichlet sur l'interface de Ω_1 imposée d'après la trace de la solution dans Ω_2 à l'itération précédente

$$\begin{cases} u_1^{p+1} = u_2^p \quad \text{sur } \Gamma_3 \\ k_1 \, \Delta \, u_1^{p+1} + f_1 = 0 \quad \text{dans } \Omega_1 \end{cases}$$

- Condition Fourier sur l'interface de Ω_2 imposée d'après le flux de la solution dans Ω_1 à l'itération précédente

$$\begin{cases} k_2 \dfrac{\partial u_2^{p+1}}{\partial n_2} + \alpha_2 \, u_2^{p+1} = -k_1 \dfrac{\partial u_1^{p+1}}{\partial n_1} + \alpha_2 \, u_1^{p+1} \quad \text{sur } \Gamma_3 \\ k_2 \Delta \, u_2^{p+1} + f_2 = 0 \quad \text{dans } \Omega_2 \end{cases}$$

- Formulation variationnelle du problème avec conditions aux limites Fourier

$$\begin{cases} k_2 \dfrac{\partial u_2}{\partial n_2} + \alpha_2 \, u_2 = \tilde{g}_3 \quad \text{sur } \Gamma_3 \\ \int_{\Omega_2} k_2 \nabla u_2 \, \nabla v_2 + \int_{\Gamma_3} \alpha_2 \, u_2 \, v_2 = \int_{\Omega_2} f_2 \, v_2 + \int_{\Gamma_3} \tilde{g}_3 \, v_2 \quad \forall v_2 \in H^1(\Omega_2) \end{cases}$$

Méthode Dirichlet Fourier, contexte discret

- Dirichlet

$$\begin{cases} x_3^{(1)} = x_3^p \\ K_{11}x_1 + K_{13}x_3^{(1)} = b_1 \end{cases} \qquad \begin{pmatrix} K_{11} & K_{13} \\ K_{31} & K_{33}^{(1)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_3^{(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_3^{(1)} + g_3^{(1)} \end{pmatrix}$$

$$\left(K_{33}^{(1)} - K_{31}\, K_{11}^{-1} K_{13}\right) \mathrm{x}_3^{(1)} = \mathrm{b}_3^{(1)} - K_{31}\, K_{11}^{-1}\, \mathrm{b}_1 + \mathrm{g}_3^{(1)}$$

$$\mathrm{g}_3^{(1)} = S_3^{(1)}\, \mathrm{x}_3^p - \mathrm{c}_3^{(1)}$$

- Fourier

$$\tilde{g}_3^{(2)} = -g_3^{(1)} + A_{33}^{(2)} x_3^{(1)} \qquad \begin{pmatrix} K_{22} & K_{23} \\ K_{32} & K_{33}^{(2)} + A_{33}^{(2)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ x_3^{(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_2 \\ b_3^{(2)} + \tilde{g}_3^{(2)} \end{pmatrix} \qquad x_3^{p+1} = x_3^{(2)}$$

$$\left(K_{33}^{(2)} - K_{32}\, K_{22}^{-1} K_{23} + A_{33}^{(2)}\right) \mathrm{x}_3^{(2)} = \mathrm{b}_3^{(2)} - K_{32}\, K_{22}^{-1}\, \mathrm{b}_2 + \tilde{\mathrm{g}}_3^{(2)}$$

$$\left(S^{(2)} + A_{33}^{(2)}\right) \mathrm{x}_3^{p+1} = \mathrm{c}_3^{(2)} + \mathrm{c}_3^{(1)} - \left(S^{(1)} - A_{33}^{(2)}\right) \mathrm{x}_3^p$$

Convergence de la méthode Dirichlet Fourier

- Problème global condensé

$$\left(S^{(1)} - A_{33}^{(2)} + S^{(2)} + A_{33}^{(2)}\right) \mathrm{x}_3 = \mathrm{c}_3$$

- Itération Dirichlet Fourier

$$\left(S^{(2)} + A_{33}^{(2)}\right) \mathrm{x}_3^{p+1} = \mathrm{c}_3 - \left(S^{(1)} - A_{33}^{(2)}\right) \mathrm{x}_3^{p}$$

$$\left(S^{(2)} + A_{33}^{(2)}\right)\left(\mathrm{x}_3^{p+1} - \mathrm{x}_3\right) = -\left(S^{(1)} - A_{33}^{(2)}\right)\left(\mathrm{x}_3^{p} - \mathrm{x}_3\right)$$

$$\left(\mathrm{x}_3^{p+1} - \mathrm{x}_3\right) = -\left(S^{(2)} + A_{33}^{(2)}\right)^{-1}\left(S^{(1)} - A_{33}^{(2)}\right)\left(\mathrm{x}_3^{p} - \mathrm{x}_3\right)$$

- Condition de convergence

$$\left\| \left(S^{(2)} + A_{33}^{(2)}\right)^{-1}\left(S^{(1)} - A_{33}^{(2)}\right) \right\| < 1$$

Méthode Fourier Fourier

- Conditions de Fourier des deux côtés
- Traitement symétrique, pas besoin de choisir un côté

- Itération Fourier Fourier

$$\left(\xi_3^{p+1} - \xi_3\right) = \left(S^{(2)} + A_{33}^{(2)}\right)^{-1}\left(S^{(1)} - A_{33}^{(2)}\right)\left(S^{(1)} + A_{33}^{(1)}\right)^{-1}\left(S^{(2)} - A_{33}^{(1)}\right)\left(\xi_3^{p} - \xi_3\right)$$

- Condition de convergence

$$\left\| \left(S^{(2)} + A_{33}^{(2)}\right)^{-1}\left(S^{(1)} - A_{33}^{(2)}\right)\left(S^{(1)} + A_{33}^{(1)}\right)^{-1}\left(S^{(2)} - A_{33}^{(1)}\right) \right\| < 1$$

Conditions d'interface Fourier optimales

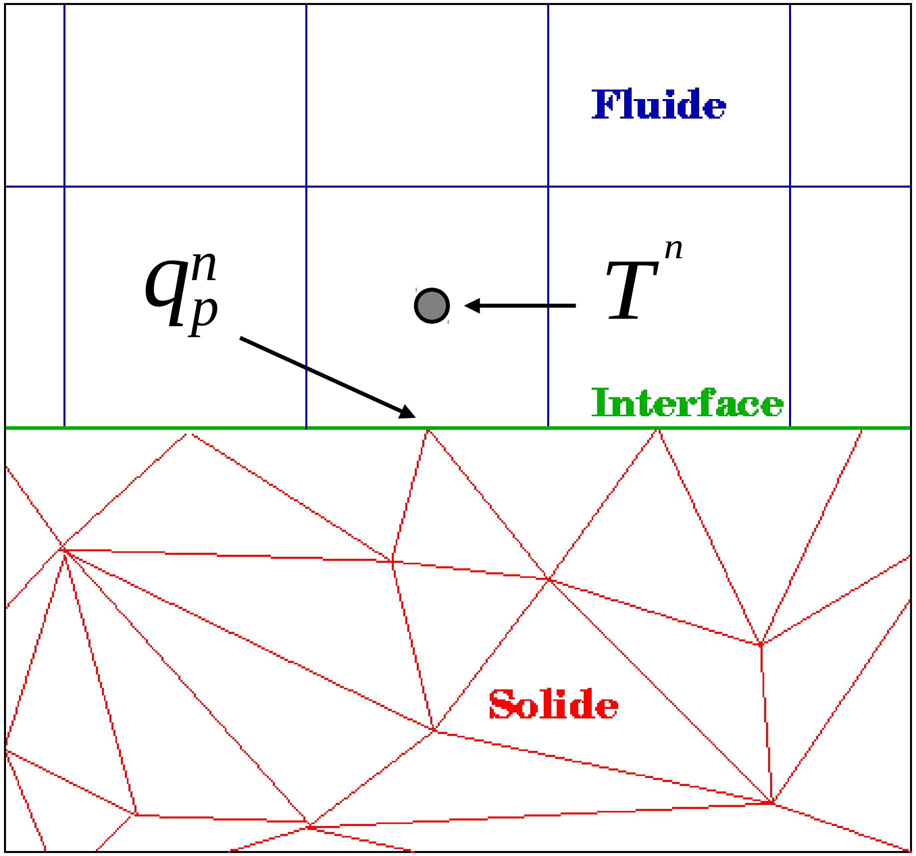
- Conditions d'interface optimales

$$A_{33}^{(2)} = S^{(1)} = K_{33}^{(1)} - K_{31}\, K_{11}^{-1} K_{13}$$

$$A_{33}^{(1)} = S^{(2)} = K_{33}^{(2)} - K_{32}\, K_{22}^{-1} K_{23}$$

Approche mécanique

- Méthodes de volumes finis dans le fluide
- Schéma pseudo-instationnaire en temps
- Coefficients pour le fluide déterminer à l'aide d'un premier calcul non couplé

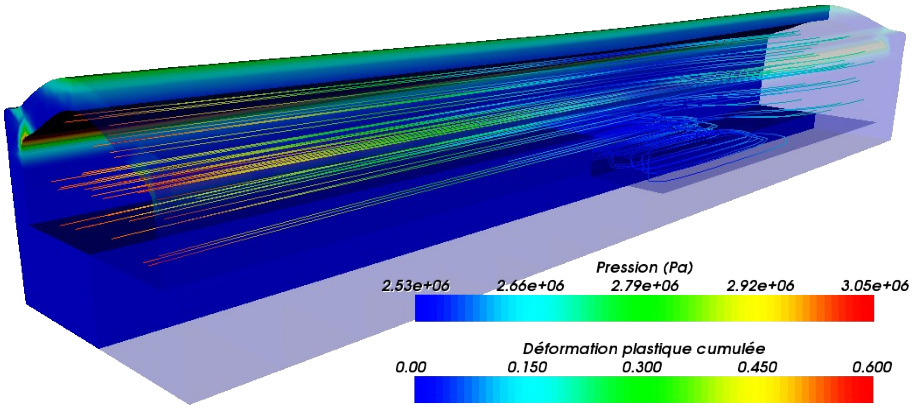


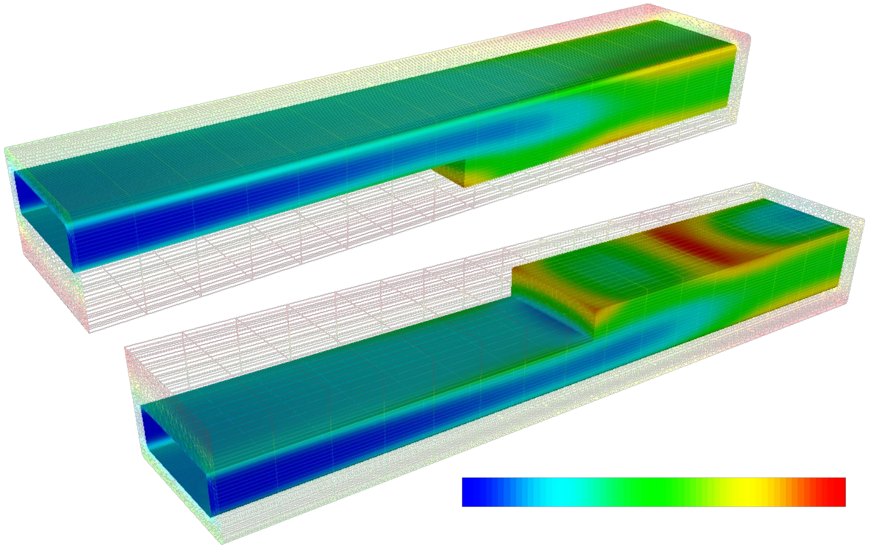
$$q_p^n = \alpha^n (T_p^{n-1} - T^n)$$

$$\alpha^n = \left| \frac{q_p^n}{T_p^{n-1} - T^n} \right|$$

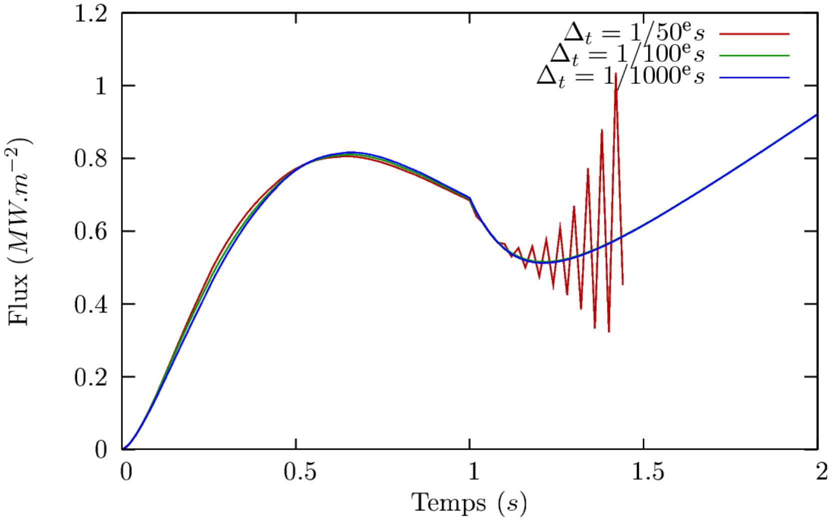
Meilleure stabilité aussi pour les calculs instationnaires

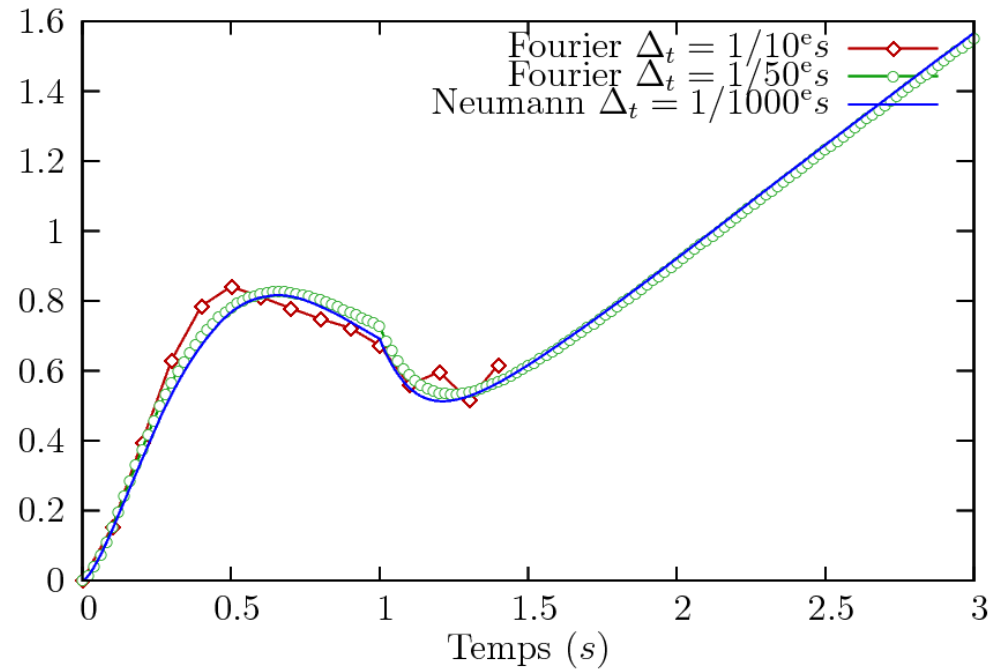
- Schéma prédicteur-correcteur
- Prédiction meilleure avec les bonnes conditions Fourier…





Meilleure stabilité des schémas temporels





Conclusion

- Méthode FETI-2LM plus efficace pour des problèmes fortement hétérogènes
- Permet de régulariser les problèmes singuliers aux interfaces
- Fonctionne pour des problèmes non cœrcitifs
- Construction algébrique des conditions de raccord possible
- Généralisation aux problèmes multi-physiques fortement couplés (interaction fluide-structure)