ANR (Agence Nationale de la Recherche)	Programme BLANC	Réservé à l'organisme gestionnaire du programme N° de dossier : ANR-08-XXXX-00 Date de révision :
	Document scientifique associé	**Edition 2008**

Acronyme	**Epsilon**
Titre du projet	Décomposition de domaines et calculs multi-échelles de singularités dans les structures mécaniques
Proposal title	Domain decomposition and multi-scale computations of singularities in mechanical structures

TABLE DES MATIERES

1 Programme scientifique

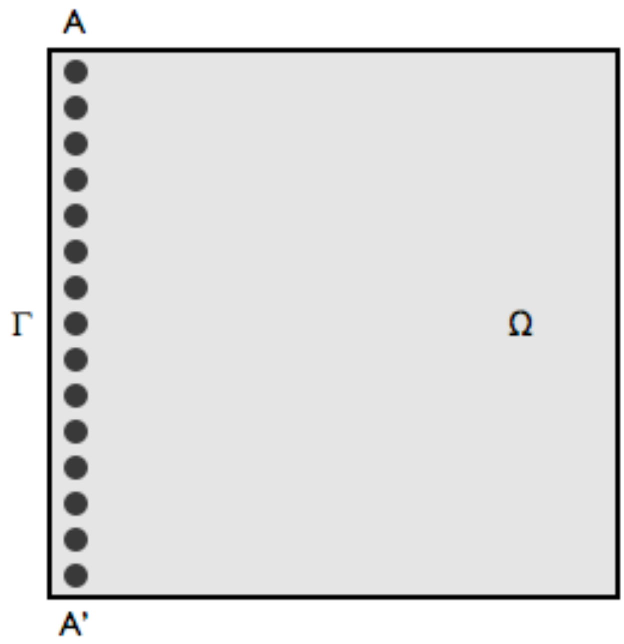
1.1 Problème posé

On se propose de développer et de comparer la méthode de décomposition de domaines avec les méthodes asymptotiques sur deux types de structures :

1. Les structures élastiques « assemblées »;
2. Les structures développant des défauts au voisinage de points singuliers.

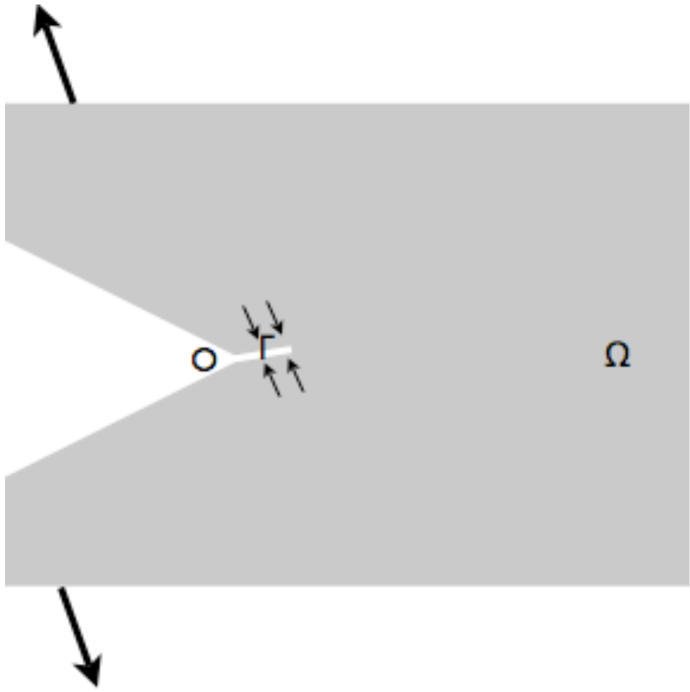
1.1.1 Un assemblage boulonné et ses 3 échelles

Considérons l'assemblage boulonné représenté de façon schématique sur la figure 1. Il contient des hétérogénéités (les boulons) de petite taille et de forte raideur réparties périodiquement près d'un bord.



Même si l'on se restreint au cadre de l'élasticité linéaire, le calcul précis des champs de déplacement et de contraintes dans *toute* la structure est délicat du fait de la présence de petits paramètres géométriques et matériels. Manifestement, un calcul par éléments finis à partir de codes industriels ne permettra pas d'obtenir des résultats fiables dans toutes les zones. Il faut « découper » le domaine en 3 parties, chacune contenant sa propre échelle. Une première zone est celle de la structure Ω, loin des boulons. Une deuxième est celle proche du bord boulonné Γ, mais « loin » des angles A et A'. La troisième est celle proche des coins A et A'. D'un point de vue théorique, on peut accéder à des valeurs précises des champs mécaniques dans chaque zone via des méthodes asymptotiques. La méthode des développements asymptotiques raccordés est particulièrement adaptée à cette situation. Toutefois elle présente deux faiblesses : (i) elle reste heuristique faute de résultats mathématiques de convergence bien établis ; (ii) sa mise en œuvre numérique nécessite de faire des calculs sur des domaines non bornés avec des conditions aux limites à l'infini. En particulier, dans l'assemblage boulonné ci-dessus, le calcul de ce qui se passe au voisinage des coins A et A' est très délicat.

1.1.2 Développement d'une fissure cohésive au voisinage d'un point singulier



Considérons maintenant la structure ci-dessous comportant un angle. En la supposant élastique, cet angle induit une singularité, les contraintes tendant vers l'infini au voisinage de O. En conséquence, en supposant que la structure est en fait élastique-fragile et en adoptant des lois de fissuration du type Dugdale-Barenblatt, il va apparaître une fissure cohésive dans cette zone dès la mise en charge. Cette fissure cohésive va croître progressivement avec le chargement jusqu'à devenir au voisinage du point O une fissure non cohésive. Il peut s'ensuivre alors une phase de propagation instable ou non suivant les paramètres géométrico-matériels du problème. Si les dimensions de la structure sont grandes devant la longueur caractéristique du modèle cohésif adopté, durant cette phase d'initiation de la fissuration, la longueur de la zone cohésive est petite. Pour bien évaluer la charge et la longueur d'amorçage, il faut être capable d'évaluer précisément les grandeurs mécaniques au voisinage de O. L'usage des codes de calcul par éléments finis usuels ne le permettent pas. On peut utiliser, comme dans la structure boulonnée, la méthode des développements asymptotiques raccordés, avec les mêmes limitations quant à sa mise en œuvre.

On se propose de développer dans ce projet une méthode numérique basée sur la décomposition de domaines s'inspirant de la méthode des développements asymptotiques. On décomposera donc les structures ci-dessus en sous-domaines, chacun correspondant à une zone et donc à une échelle, avec sa taille d'éléments finis bien adaptée. Un des points clés de l'étude sera de tester quelles sont les conditions de raccordement entre les sous-domaines qui conduisent à des résultats optimaux en termes de précision et de coût de calculs. La qualité des résultats numériques sera doublement testée : (i) d'une part, en comparant les résultats obtenus par la méthode de décomposition de domaines avec ceux fournis par les développements asymptotiques ; (ii) d'autre part, en faisant une étude théorique de vitesse de convergence des algorithmes mis en œuvre.

1.2 Contexte et enjeux

Replaçons les problèmes précédents dans un contexte plus général. Si l'on essaie de calculer des assemblages de structures comportant de forts contrastes géométriques (couches minces) ou matériels (rigidités très différentes) en utilisant les codes de calculs par éléments finis « du commerce », on se heurte très vite à des problèmes de précision, car la présence de petits (ou de grands) paramètres dans des zones de tailles relatives faibles obligent à mailler très finement dans ces zones alors que les autres parties ne le nécessitent pas. En dessous de certaines valeurs des petits paramètres, on ne peut plus faire confiance au calcul et il faut construire des solutions approchées via d'autres méthodes. La situation est identique dans des structures comportant des singularités géométriques (des coins, par exemple) qui induisent des singularités dans les champs mécaniques. Ces zones à fort gradients nécessitent un traitement spécifique pour y avoir une bonne approximation de la solution. De plus, si l'on s'intéresse à l'amorçage de défauts (fissures ou zones endommagées) au voisinage de ces points singuliers, pour peu que le modèle utilisé contienne une longueur caractéristique petite devant les dimensions de la structure, il faudra faire des calculs très précis dans des zones de la taille de la longueur caractéristique et ici encore les codes de calculs du commerce sont inadaptés.

Les méthodes asymptotiques constituent une alternative intéressante sur le plan théorique. Elles sont bien maîtrisées dans des situations comme celle de l'assemblage boulonné, même si une justification mathématique rigoureuse reste à faire, mais leur mise en œuvre pratique se heurte à des difficultés. On peut être amené dans le problème limite à devoir traiter des problèmes en milieu infini avec conditions aux limites à l'infini ou encore à devoir développer des éléments finis d'interface spéciaux (dans le cas de l'assemblage boulonné présenté ci-dessus, le problème limite posé sur Ω comporte une condition à la limite équivalente sur Γ qui prend des formes différentes suivant le rapport des différents petits paramètres). Autrement dit, la mise en œuvre des méthodes asymptotiques ne peut pas se faire à l'intérieur des codes de calcul traditionnels. Il faut développer des outils spécifiques.

La méthode de décomposition de domaines proposée pourrait pallier tous ces défauts. D'une part, elle s'inspire de la méthode des développements asymptotiques raccordés en découpant le domaine étudié en zones d'échelles spécifiques, tout en travaillant sur des domaines bornés et sans changer de modélisation. Tous les calculs peuvent se faire avec des codes « classiques », la seule nouveauté résidant dans l'implémentation des conditions de raccord entre les sous-domaines. L'enjeu donc est de gagner en précision tout en restant dans le cadre des codes de calcul par éléments finis traditionnels.

1.3 Objectifs et caractère novateur

On se propose de développer et de comparer la méthode de décomposition de domaines avec les méthodes asymptotiques sur 2 types de structures

i. Les structures élastiques « assemblées » tel l'assemblage boulonné présenté ci-dessus
ii. Les structures développant des défauts (fissure ou zone endommagée) au voisinage de points singuliers

La réalisation de ce projet nécessite la concaténation de compétences multiples :

i. Modélisation des structures multi-échelles avec leurs singularités
ii. Utilisation des méthodes asymptotiques
iii. Développement de méthodes de décomposition de domaines pour des problèmes non linéaires
iv. Développements de méthodes numériques efficientes
v. Implémentation des outils numériques développés dans un code

Chaque partenaire possède plusieurs compétences mais aucun ne les possède toutes. Un des buts du projet est de mettre en commun toutes ces compétences dans la réalisation de deux thèses qui se veulent transversales au sens où elles développeront tous les aspects de la problématique : de la modélisation mécanique jusqu'à l'implémentation numérique.

Sur le plan scientifique, ce projet ambitionne de s'attaquer à plusieurs difficultés qui sont encore aujourd'hui des verrous scientifiques :

- Modélisation et simulation de la création de défauts dans des structures
- Justification des modèles et des méthodes asymptotiques par des arguments mathématiques rigoureux
- Développement et évaluation des méthodes de décomposition de domaines dans des problèmes de mécanique non-linéaires et multi-échelles

Sur le plan des applications, l'objectif majeur est de développer des outils numériques, à la fois utilisables par tout bureau de calcul et implémentables dans des codes d'éléments finis classiques, tout en étant capables de calculer avec précision tous les champs mécaniques dans toutes les zones et toutes les échelles.

1.4 Description des travaux

Une des spécificités des structures assemblées ou des structures fissurées est de faire intervenir plusieurs échelles, que l'on traduira à l'aide de petits paramètres. Les différents problèmes qui en résultent sont traités d'un point de vue théorique à l'aide de méthodes asymptotiques. D'un point de vue numérique, on développera des méthodes de décomposition de domaines que l'on comparera aux résultats issus de la mise en œuvre numérique des méthodes asymptotiques.

1.4.1 Modélisation mathématique et études théoriques

1.4.1.1 Cas des structures assemblées

Considérons l'assemblage boulonné ci-dessus. On peut concevoir les boulons comme étant répartis dans une fine bande dont la largeur est un premier petit paramètre ε. Les boulons y sont périodiquement répartis à une distance mutuelle petite, décrite par un second paramètre μ. Enfin la rigidité de chaque boulon est un troisième paramètre d'inverse ν très petit. Dans un premier temps, nous proposons de déterminer les modèles limites par une des techniques de convergence variationnelle (e. g. Gamma-convergence [1]) lorsque (ε,μ,ν) tend vers $(0,0,0)$ en suivant divers chemins de R^3. En prenant par exemple comme référence, le paramètre ε, à chaque chemin $(\varepsilon, \mu(\varepsilon), \nu(\varepsilon))$ tendant vers $(0,0,0)$ pour lequel l'énergie limite est mathématiquement explicitable, correspond un modèle limite à caler ou discriminer par les expérimentations numériques. Cette approche englobe celle consistant à effectuer des passages à la limite successifs. Elle pourra être considérée comme une justification mathématique des méthodes de développements asymptotiques. L'énergie élastique pourra être décrite en les deux arguments (couplés), champs de déplacements dans la bande et champs de déplacement hors de la bande, ce qui s'accorde bien avec la méthode numérique de décomposition de domaines. Dans le but d'obtenir la loi de comportement du matériau (fictif mais proche en terme variationnel du matériau d'origine), ainsi que les conditions de transmissions et/ou conditions aux limites, nous nous placerons dans le cadre de l'élasticité linéarisée. Dans la description précédente, nous avons supposé la distance mutuelle des boulons comparable à leur taille. Si l'on veut enrichir les modèles, il faut introduire un quatrième petit paramètre décrivant la taille des boulons et procéder selon la même stratégie. On pourra alors s'inspirer des techniques d'homogénéisation des milieux perforés étudiés par E. Sanchez Palencia, F. Murat, D. Cioranescu, A. Damlamian, … cf par exemple [1]. Une étude similaire a été faite par J.-J. Marigo [2] dans le cas de fissure matricielle pontée par des fibres dans un composite.

Des singularités sont présentes dans le problème d'origine ou dans le problème limite. Pour l'assemblage boulonné, les conditions aux limites qui apparaîtront dans le problème limite, aux points A et A', seront de nature différente de celles du problème d'origine : il faudra donc étudier le type de singularité que cela engendrera dans la solution. Pour cela on pourra utiliser et, si utile, améliorer certains résultats de K. Lemrabet et plus généralement de P. Grisvard, M. Dauge, …, cf [3] et [4]. Une approche semblable a été utilisée dans le cas de couche mince de faible rigidité par F. Krasucki [5]. Il est aussi connu que, dans le cadre des développements asymptotiques raccordés, les termes successifs du développement extérieur (problème loin des boulons) sont de plus en plus singuliers (phénomène de perte de régularité dans des problèmes de perturbations singulières). Ces singularités seront également étudiées.

1.4.1.2 Cas des structures se fissurant

Les structures fragiles où l'apparition et la propagation sont régies par des lois cohésives de type Dugdale-Barenblatt présentent également plusieurs échelles. Considérons, pour simplifier la présentation, le modèle de Dugdale [6] dans un cadre 2D et en n'envisageant que des fissures en mode I. Le modèle de Dugdale contient deux paramètres : une contrainte critique σ_c que le matériau ne peut pas dépasser et une longueur caractéristique δ_c qui induit des effets échelles et qui est à comparer à la taille de la structure. Les fissures qui se développent dans ce contexte comportent en général deux parties : une partie cohésive au voisinage de la ou des pointes où les lèvres de la fissure sont soumises à des forces cohésives (de traction) égales à σ_c, et, éventuellement, une zone non cohésive où les lèvres sont libres de forces. La limite entre les deux zones correspond à des points où le saut normal de déplacement est égal à δ_c. La taille de la partie cohésive est fixée par δ_c (cf le paragraphe suivant pour voir comment on la détermine) et donc petite devant les dimensions de la structure si δ_c est petite. D'où un problème à deux échelles. On peut le traiter à l'aide des développements asymptotiques raccordés, en construisant un problème « extérieur », loin de la pointe de la fissure, et un problème « intérieur », près de cette pointe, chaque problème ayant sa propre échelle. Les conditions de raccord les couplent.

Pour la structure présentée en 1.1.2, il y a une singularité au coin O avant fissuration. C'est elle qui provoque l'apparition d'une fissure (cohésive) dès la mise en charge. En retour le rôle de la partie cohésive de la fissure est de « tuer » toute singularité, les contraintes devant rester bornées dans la structure à tout instant. Mais si la forme de ces singularités (réelles ou à faire disparaître avant ou après fissuration) est connue théoriquement (au moins en élasticité linéaire 2D), la détermination du coefficient de ces singularités K (le facteur d'intensité des contraintes) est plus délicate puisque K est une quantité globale dépendant de la géométrie et du chargement. Or c'est lui qu'il faut annuler. Autrement dit, il faut calculer la longueur de la zone cohésive de façon à ce que K=0. Ce problème de détermination de la longueur cohésive est non linéaire et à réactualiser, cette longueur évoluant avec le chargement. En outre, à partir d'un certain niveau de chargement, le saut normal de déplacement au point O devient égal à δ_c et une zone non cohésive apparaît. Une étude de stabilité est alors à faire pour savoir si la fissure pourra se propager progressivement à partir de ce moment-là ou bien s'il faut envisager une propagation brutale (discontinue en temps). Tout ceci est non linéaire et exige que l'on détermine avec précision les champs au voisinage de O, i.e. que l'on résolve avec précision le problème intérieur. Ceci ne peut se faire que numériquement, la difficulté résidant dans le fait que le problème intérieur est un problème posé en milieu infini avec des conditions aux limites à l'infini.

Dans le cas de structures non symétriques, on peut être également amené à envisager la propagation de fissures courbes, voire des branchements de fissure. L'approche variationnelle développée en [7] en fournit le cadre théorique, mais beaucoup reste encore à faire pour comprendre et maîtriser ces problèmes de branchement. Une réflexion sera menée et le traitement numérique de ces questions sera envisagé.

- <u>Références</u>

[1] G. Dal Maso : *An introduction to Gamma-convergence*. Birkhäuser, Boston, 1993.

[2] R. Abdelmoula and J.-J. Marigo : The effective behavior of a fiber bridged crack. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 48(11):2419–2444, 2000

[3] P. Grisvard : *Elliptic problems in non smooth domains*. Number 24 in Monographs and Studies in Mathematics. Pitman, 1985

[4] M. Dauge : *Elliptic Boundary Value Problems in Corner Domains — Smoothness and Asymptotic of Solutions*. Lectures Notes in Mathematics. Springer Verlag, 1988.

[5] G. Geymonat, F. Krasucki and S. Lenci : Bonded joint with a soft thin adhesive, *Mathematics and Mechanics of Solids*, Vol 4, 201-225, 1999

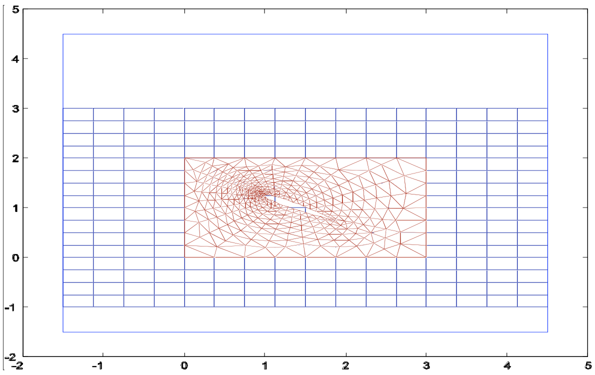
[6] D. S. Dugdale : Yielding of steel sheets containing slits. *J. Mech. Phys. Solids*, 8:100–108, 1960.

[7] B. Bourdin, G.A. Francfort and J.-J. Marigo : *The variational approach to fracture*. Springer, 2008.

1.4.2 Les méthodes numériques développées

1.4.2.1 Le savoir-faire actuel

Le LAGA et le IJLRA ont entamé une réflexion commune en 2004 sur le développement de méthodes de **décomposition de domaines (DD)** adaptées au calcul de couches minces ou de fissures. L'idée est de décomposer le domaine en une partie proche, sur laquelle on peut utiliser une méthode d'éléments finis très raffinée, ou éventuellement un développement asymptotique, et une partie lointaine, sur laquelle le problème est plus régulier, et où l'on peut utiliser une méthode numérique différente. Le raccord entre les domaines n'a pas besoin d'être conforme.



Cette stratégie permet d'atteindre des volumes de calcul important, et a une large gamme d'applications, comme en mécanique des structures, voir par exemple [1] ou encore [2] pour la méthode Arlequin et [3] en mécanique des fluides. Dans ces références, la décomposition de domaines est faite à l'aide de méthodes itératives de type Neumann-Neumann ou encore Schur (cf [4] sur les méthodes de décomposition de domaines). Dans notre collaboration, nous nous sommes orientés vers le développement de méthodes de type « Schwarz optimisées », développées d'abord en mécanique des fluides par F. Nataf et C. Japhet [5].

Il s'agit de définir un algorithme résolvant alternativement dans chaque sous-domaine, en assurant le couplage par des conditions de transmission de type Robin, $\frac{\partial u}{\partial n} + pu$, ou même Ventcel, $\frac{\partial u}{\partial n} + pu - q\Delta_S u$, où Δ_S désigne l'opérateur de Laplace-Beltrami sur l'interface entre les sous-domaines. D'un point de vue numérique, ces conditions sont variationnelles et donc très simples à utiliser. Les coefficients sont optimisés de façon à obtenir un taux de convergence minimal de l'algorithme. En présence de couches minces, les paramètres peuvent être adimensionnés, puis optimisés. Ces calculs ont été faits pour la première fois par Olivier Dubois dans sa thèse [6] pour des domaines semi-infinis et sont repris

actuellement en domaine borné par Ibrahima Cissé dans sa thèse au LAGA coencadrée par J.-J. Marigo (pour une revue sur ces méthodes, voir [7]).
Les partenaires 3 et 4 ont utilisé une méthode de décomposition de domaines dans un travail commun concernant une structure présentant une couche mince et très souple [9] et par la suite, dans sa thèse co-encadrée par F. Krasucki et G. Michaille, A. L. Bessoud a utilisé une méthode DD et a montré comment les conditions de type Ventcel peuvent être prise en compte. De plus, on a montré [10] dans le cas thermique que la méthode GMRES est convergente.

Les développements asymptotiques raccordés (DAR) peuvent également être vus comme de la décomposition de domaines, où chaque terme du développement est obtenu en résolvant des problèmes couplés. Dans les développements asymptotiques raccordés, les problèmes dits intérieur (i.e. proches des défauts) conduisent à résoudre des problèmes posés en domaines non bornés, ce qui pourrait être fait à l'aide des méthodes de troncature de domaines : introduction de couches absorbantes « fictives » qui représentent le comportement à l'infini.

1.4.2.2 Les développements à faire

Les deux approches DAR et DD sont en cours de développement pour résoudre l'équation de Laplace à coefficients présentant un fort contraste, dans des domaines de taille également très différentes, dans la thèse en cours. Elles seront comparées du point de vue de la précision, simplicité de mise en œuvre, et complexité et serviront de test de référence au moment du choix des méthodes retenues pour le projet.

De plus, dans le cadre des deux thèses du projet, on se propose d'étendre ces méthodes aux équations de l'élasticité dans des domaines complexes, en incluant une méthode d'homogénéisation pour les structures assemblées et en les couplant au problème d'évolution (non linéaire) de la fissuration pour les structures fragiles. En outre, chaque type de structure nécessitera les méthodes spécifiques suivantes :

- Méthodes spécifiques aux structures assemblées

Dans un premier temps on utilisera la DD pour résoudre le problème complet ; en effet l'avantage de cette méthode est son caractère parallèle qui permet de traiter plusieurs boulons. On obtiendra de cette façon des solutions de référence. Chaque solution sera par la suite comparée à la solution des problèmes limites obtenus avec un chemin (ε, $\mu(\varepsilon)$, $\nu(\varepsilon)$). Dans un deuxième temps on s'intéressera au cas où la couche de boulons est à l'intérieur du domaine. Une analyse asymptotique analogue a celle développée dans la thèse de A. L. Bessoud permettra d'éliminer cette couche et de la remplacer par une condition de transmission de type Ventcel correspondante à une énergie de type membrane. Pour appliquer de façon efficace la DD il faudra alors développer des variantes des préconditionneurs efficaces en élasticité

- Méthodes spécifiques aux structures fissurées

La détermination de la longueur de la zone cohésive passe par le calcul d'un facteur d'intensité de contrainte ou de façon équivalente d'un taux de restitution d'énergie, i.e. de la dérivée de l'énergie contenue de la structure par rapport à la longueur de la fissure cohésive. De même la détermination de la longueur de la zone cohésive peut se faire soit par le calcul du saut de déplacement à la limite entre les 2 zones, soit par un calcul de dérivée d'énergie similaire au précédent. Si sur le plan théorique, dans la mesure où les champs sont suffisamment réguliers, ces définitions sont équivalentes, sur un plan numérique, la méthode la plus précise est celle basée sur la formule de dérivation par rapport à un domaine, connue sous le nom de méthode G-θ, cf [8]. Elle sera implémentée dans le cadre de la décomposition de domaines, ce qui nécessitera des adaptations par rapport à son usage habituel (ne serait-ce qu'en raison de la présence de 2 pointes et donc de 2 taux de restitution d'énergie). L'analyse de la stabilité de la propagation ainsi que la détermination du trajet de la fissure (lorsqu'il n'est pas donné) nécessiteront en plus le calcul de dérivées secondes de l'énergie, ce qui exigera aussi d'étendre la méthode G-θ.

- Références

[1] P. Le Tallec and M. Vidrascu : Solving large-scale structural problems on parallel computers using domain decomposition techniques. In *Parallel Solution Methods in Computational Mechanics*, chapter~3, M.~Papadrakakis ed. John Wiley & Sons, 1997
[2] H. Ben Dhia : Multiscale mechanical problems : the Arlequin method, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Série IIb*, 326, pp. 899-904, 1998
[3] J.-B. Apoung Kamga and O. Pironneau : A Numerical Quadrature for the Schwarz Chimera Method, *Decomposition conf. 16. Proc.*, D. Keyes ed., 2005
[4] Toselli-Widlund : *Domain decomposition methods, algorithms and theory*. Springer, 2005
[5] C. Japhet, F. Nataf and F. Rogier : The Optimized Order 2 Method. Application to convection-diffusion problems. *Future Generation Computer Systems*, 18(1), pp. 17-30. Elsevier Science, 2001
[6] O. Dubois, http://www.math.mcgill.ca/~dubois/recherche_fr.html.
[7] M. Gander, L. Halpern and F. Nataf : Optimal Convergence for Overlapping and Non-Overlapping Schwarz Waveform Relaxation. *Proceedings of the 11th International Conference on Domain Decomposition*. Domain Decomposition Press, Norway, pp. 27-36, 1999
[8] P. Destuynder and M. Djaoua : Sur une interprétation mathématique de l'intégrale de Rice en théorie de la rupture fragile. *Math. Met. Appl. Sc*, 3, pp. 70–87, 1981
[9] G. Geymonat, F. Krasucki, D. Marini, M. Vidrascu : A domain decomposition method for a bonded structure, Mathematical Models and Methods in Applied Sciences, Vol 8, 1387-1402, 1998.
[10] A.L. Bessoud, F.~Krasucki : GMRES Algorithm for Multi-Materials with Strong Interface, C. R. Acad. Sc. Paris, s. I, vol 343, 279-282, 2006.

1.5 Organisation du projet

1.5.1 Répartition des tâches

Le projet comprendra deux grands types de travaux :

1. Des études relatives aux deux types de méthodes développées (méthodes asymptotiques et décomposition de domaines). Elles seront réalisées par les différents partenaires, les méthodes asymptotiques revenant aux partenaires 1 et 3, alors que les partenaires 2 et 4 se consacreront essentiellement à la décomposition de domaines. Toutefois, ces méthodes présentant de nombreuses similitudes (ne serait-ce que par la notion de conditions de raccord), les 4 partenaires seront amenés à collaborer en permanence. La mise au point de ces méthodes et les choix qu'elles impliquent devront être arrêtés à la fin de la deuxième année de façon à pouvoir les appliquer et les comparer durant la deuxième partie du projet.
2. Des utilisations de ces méthodes pour calculer les deux types de structures mécaniques étudiées (structures assemblées et structures se fissurant). Ces applications se feront dans le cadre de deux thèses, débutant 6 mois après le début du projet et s'achevant 6 mois avant la fin. Chacune des deux thèses sera co-encadrée par deux partenaires : la thèse « assemblage » par les partenaires 2 et 4, la thèse « rupture » par les partenaires 1 et 3. Le rôle des doctorants sera de tester et de comparer ces différentes méthodes sur des problèmes modèles. Même si chacun d'eux se consacrera à un seul type de structures, ils participeront à toutes les réunions et pourront ainsi s'imprégner de l'autre problématique.

Une première synthèse sera faite à l'issue des études sur les méthodes, i.e. en fin de la deuxième année. Y seront présentés les choix motivés des méthodes qui seront retenues dans le cadre des thèses. La quatrième année sera consacrée à des derniers tests de comparaison et à la rédaction du rapport final et de publications. On envisage en outre d'organiser un workshop sur ces thèmes-là durant la quatrième année, à l'issue des 2 thèses.

1.5.2 Calendriers

Tâche	Partenaires				Année 1		Année 2		Année 3		Année 4	
	1	2	3	4	6	12	18	24	30	36	42	48
1. Thèse Rupture J.-J. Marigo et L. Halpern												
2. Thèse Assemblage F. Krasucki et M. Vidrascu												
3. Méthodes Asymptotiques J.-J. Marigo et F. Krasucki												
4. Décomposition de domaines L. Halpern et M. Vidrascu												
5. Comparaison et synthèse J.-J. Marigo												
Réunions d'avancement semestriel												
Rapports de synthèse												

TABLEAU des LIVRABLES			
Tâche	Intitulé et nature des livrables et des jalons	Date de fourniture ***nombre de mois à compter de T0***	Partenaire responsable du livrable/jalon
1. Thèse Rupture			
	Rapport d'avancement 1	18	1
	Rapport d'avancement 2	30	1
	Manuscrit final	42	1
2. Thèse Assemblage			
	Rapport d'avancement 1	18	3
	Rapport d'avancement 2	30	3
	Manuscrit final	42	3
3. Méthodes Asymptotiques			
	Etat de l'art : exposé	6	1
	Choix des méthodes : rapport	12	3
	Exemple de calcul : rapport	24	1
4. Décomposition de domaines			
	Etat de l'art : exposé	6	2
	Choix des méthodes : rapport	12	2
	Exemple de calcul : rapport	24	4
5. Synthèse			
	Choix des méthodes : rapport	24	3
	Rapport de synthèse	48	1

1.6 *Organisation du partenariat*

1.6.1 Pertinence des partenaires

Partenaire 1. L'Institut Jean le Rond d'Alembert (IJLRA) est une unité mixte de recherche UPMC-CNRS, rattachée au département scientifique ST2I, comprenant environ 75 chercheurs ou enseignants-chercheurs regroupés en 5 équipes. Elle est l'œuvre d'une volonté de rassemblement de toute la recherche en Mécanique de l'UPMC au sein d'une seule entité. L'équipe « Mécanique et Ingénierie des Solides et des Structures » (MISES), constituée d'une quinzaine de permanents, a une reconnaissance internationale forte pour tous ses travaux sur les problèmes multi-échelles et la mécanique de la rupture (Sanchez-Palencia, Duvaut,Léné, Leblond, Leguillon, Marigo, …), certaines méthodes voire certaines théories ayant étant initiées au sein des laboratoires d'origine de l'IJLRA. Ce projet s'inscrit donc parfaitement dans la continuité des thèmes d'excellence de l'équipe, l'intérêt plus récent aux méthodes et calculs numériques venant enrichir la réflexion théorique traditionnelle.

Partenaire 2. Le LAGA est une unité mixte de recherche Paris Nord-CNRS, rattachée au département scientifique MPPU, regroupant des équipes de mathématiques pures et appliquées, et comprend environ soixante-dix chercheurs et enseignants-chercheurs. En son sein, l'équipe « multi-échelle multi-domaines » regroupe une dizaine d'enseignant-chercheurs et de doctorants en calcul scientifique. Cette équipe développe depuis plusieurs années , en collaboration avec M. J. Gander (Université de Genève) et F. Nataf (LJLL) de nouvelles méthodes de décomposition de domaines, dites méthodes de Schwarz optimisées. Ces méthodes utilisent des conditions de transmission nouvelles, calculées pour optimiser une méthode itérative adaptée au problème d'interface. Ceci permet de dissocier les discrétisations dans les sous-domaines, et ainsi d'utiliser des pas d'espace locaux. Les algorithmes ont été développés en particulier pour l'équation d'advection-diffusion, et pour les équations de Saint-Venant linéaires dans le cadre de l'océanographie opérationnelle. L'équipe s'intéresse maintenant aux problèmes non linéaires. Dans le cadre de l'océanographie d'abord, avec le programme ANR COMMA (http://ljk.imag.fr/COMMA/), des écoulements réactifs, avec le programme transfert radiatif du GDR MoMaS, et le programme ANR SHPCO2. Pour ce qui concerne les problèmes stationnaires, nous développons des méthodes de type joint pour des couplages non conformes entre sous-domaines (travaux de C. Japhet en collaboration avec Y. Maday, F. Nataf et M. Gander), liées à des dicrétisations par éléments finis ou volumes finis). L'application aux problèmes mentionnés dans ce projet date du début de la thèse de I. Cissé en 2005.

Partenaire 3. L'Institut de Mathématiques et de Modélisation de Montpellier (I3M) fédère les acteurs de la recherche en mathématiques de la Région. C'est une unité mixte de recherche Montpellier II-CNRS, rattachée au département MPPU, regroupant une centaine d'enseignants-chercheurs et chercheurs répartis dans trois équipes : une de mathématiques pures et deux équipes de mathématiques appliquées. L'équipe ACSIOM (Analyse, Calcul Scientifique Industriel et Optimisation de Montpellier) est constituée d'une vingtaine de permanents et de 14 doctorants. L'étude des équations aux dérivées partielles, les méthodes variationnelles, et specialement l'étude des convergences variationnelles dans les problèmes de perturbations singulières (H. Attouch, G. Michaille…), l'optimisation et la programmation mathématique appliquée à la Mécanique des Milieux Continus (B. Mohammadi, M. Cuer, C. Lacour…) sont parmi les sujets pour lesquels I3M a obtenu une reconnaissance internationale. Les travaux de Jean Jacques Moreau en Analyse Convexe ont eu une forte influence sur certains thèmes de recherches de cette équipe, et sont à l'origine des liens étroits qu'elle développe avec la Mécanique et qui se sont encore renforcés avec l'arrivée de F. Krasucki. Les problématiques abordés dans ce projet sont donc en parfaite cohérence avec ces liens.

Partenaire 4. « Modélisation, analyse et contrôle pour le calcul des structures » (MACS) est une équipe-projet du centre de recherche "INRIA Paris-Rocquencourt" participant au thème de recherche « Systèmes numériques ». Cette équipe-projet comprend six permanents qui, pour développer leurs thèmes de recherche propres, bénéficient d'un environnement scientifique riche à l'INRIA dans les domaines de l'analyse numérique, du calcul scientifique et de l'automatique. Les objectifs de MACS sont de s'attaquer à des défis scientifiques suscités par:
- la nécessité de développer des méthodes numériques robustes et bien adaptées aux applications industrielles;
- l'émergence de la mécanique active (en particulier contrôle et optimisation) qui permet la conception de structures plus minces et plus légères (et donc de moindre coût), et qui requiert une démarche innovante en termes de modélisation et de simulation numérique.

Dans ce contexte, trois thèmes sont plus particulièrement mis en avant pour leur pertinence scientifique et applicative:
- modélisation et estimation en biomécanique;
- formulation et analyse de méthodes numériques robustes pour les structures minces, et notamment les coques;
- dynamique des structures: stabilité et contrôle, interaction fluide-structure, simulation par décomposition de domaines.

L'équipe-projet entretient des relations internationales et industrielles fortes en participant à des actions ou des projets nationaux ou européens (CardioSense3D, SMART, …).

1.6.2 Complémentarité et synergie des partenaires

Ce projet est par nature pluri-disciplinaire :

• Il ambitionne d'améliorer sensiblement les méthodes de Calcul des Structures de l'Ingénierie Mécanique

• Il veut donner une justification des méthodes développées tant du point de vue de l'Analyse Mathématique que de l'Analyse Numérique

• Il veut que ces méthodes puissent s'implémenter dans des codes industriels

Il s'appuie pour cela sur 3 équipes relevant des 2 départements scientifiques du CNRS directement concernés (ST2I et MPPU) et une équipe relevant de l'INRIA. Ces différentes équipes (qui appartiennent à de grosses entités de recherche dont la qualité est incontestable) ont une culture scientifique suffisamment proche pour pouvoir dialoguer, mais aussi un savoir-faire spécifique suffisamment distinct pour qu'il y ait complémentarité. De façon plus précise

Le partenaire 1, coordinateur du projet, relève du département ST2I. Il a des compétences reconnues en méthodes asymptotiques et mécanique de la rupture et des connaissances mathématiques et numériques suffisantes pour discuter avec les partenaires spécialistes de ces questions. Il a de plus, depuis toujours, des contacts forts avec le monde du nucléaire et de l'aéronautique qui lui permettent de dégager les problèmes pertinents pour l'Ingénierie.

Le partenaire 2 est un grand spécialiste des méthodes de décomposition de domaine et de façon plus générale de tout ce qui relève de l'Analyse Numérique des EDP. Il dispose en outre d'une plate forme de logiciels Schwarz optimisé (OPTIMISM) qui témoigne de son savoir-faire pratique. Ses connaissances en matière de conditions aux limites absorbantes seront d'une grande utilité pour la mise en œuvre des méthodes asymptotiques.

Le partenaire 3 a une reconnaissance internationale en méthodes mathématiques relevant de l'optimisation et du calcul des variations, compétences qui seront indispensables pour la justification des modèles asymptotiques développés. De par sa composition, il excelle en modélisation mathématique des problèmes de la Mécanique et connaît bien aussi toute la problématique de l'Ingénierie.

Le partenaire 4 relève d'un organisme de recherche mondialement connu pour son savoir-faire en matière de codes de calcul. C'est de plus un grand spécialiste des méthodes de décomposition de domaines appliquées à la Mécanique.

1.6.3 Qualification du coordinateur du projet et des partenaires

Cf les documents en Annexe

1.7 Stratégie de valorisation et de protection des résultats

Pendant le déroulement du projet, chacun des partenaires ayant l’intention de divulguer au travers de publications, de conférences, de séminaires ou de démonstrations des résultats devra en avertir les autres partenaires avant toute émission de documents relatifs à ces résultats et devra mentionner dans ces documents la participation de l’ensemble des partenaires et le soutien de l’ANR.

Outre les deux documents de thèse et les publications qui concrétiseront ce programme de recherche, les partenaires envisagent d’organiser conjointement un workshop à la fin du projet. Une demande de financement spécifique sera faite pour l’organisation de ce workshop.

Récapitulatif des données financières

	EQUIPEMENTS (€)	Personnels						Prestations de service externe (€)	Missions (€)	Autres dépenses (€)	Dépenses justifiées sur facturation interne (€)	Totaux (€)
		permanents		non permanents à financer par l'ANR		Autres non permanents						
		personne. mois	Coût (€)	*personne. mois*	Coût (€)	*personne. mois*	Coût (€)					
Partenaire1	10 000	19	74 349	36	79 308	-	-	-	10 000	6 000	-	179 657
Partenaire2	10 000	12	56 450	12	44 200	12	26 436	-	10 000	6 000	-	153 086
Partenaire3	10 000	26	91 905	36	79 308	-	-	-	10 000	6 000	-	197 213
Partenaire4	10 000	11	69 392	12	46 980	-	-	-	10 000	6 000	-	142 372
	40 000	**67,90**	**292 096**	***96,00***	**249 796**	**12,00**	**26 436**	**-**	**40 000**	**24 000**	**-**	**672 328**
											Frais de gestion / frais de structure demandés (€)-->	14 152
											Frais d'environnement (€)	454 662
											Coût complet (€)	**1 141 142**
											Coût éligible pour le calcul de l'aide : Assiette (€)	**353 796**
											Aide demandée (€)	***353 796***

2 Justification scientifique des moyens demandés

Remarques générales :

- La réalisation du projet nécessite de faire des calculs itératifs à grand nombre de degrés de liberté avec décomposition de domaines. Ces calculs se feront dans le cadre de 2 thèses, chacune étant co-encadrée par deux des partenaires. La mise au point des différentes méthodes exige que chaque partenaire dispose d'un outil de calcul puissant. On demande donc l'achat d'une station de travail multiprocesseur pour chacun.
- Le bon déroulement du projet nécessite des réunions régulières entre les 4 partenaires. Ces réunions se feront alternativement chez l'un des partenaires. On prévoit donc des frais de mission identiques pour chacun.

2.1 Partenaire 1

2.1.1 Equipement.

Achat d'une station de travail multiprocesseur	*10000€*

2.1.2 Personnel

Doctorant à financer totalement par l'ANR (aucune demande d'allocation n'est en cours)
Profil : Le doctorant devra avoir une formation solide en mécanique des milieux continus et du calcul de structures. Des connaissances en méthodes asymptotiques et en mécanique de la rupture seront appréciées.

2.1.3 Missions

Réunion trimestrielle entre partenaires	*1000€/an*
Participation à des colloques ou congrès	*6000€*

2.1.4 Autres dépenses de fonctionnement

Achats de logiciels, de documentations, ...	*4000€*
Achat d'un ordinateur portable	*2000€*

2.2 Partenaire 2

2.2.1 Equipement.

Achat d'une station de travail multiprocesseur	*10000€*

2.2.2 Missions

Réunion trimestrielle entre partenaires	*1000€/an*
Participation à des colloques ou congrès	*6000€*

2.2.3 Autres dépenses de fonctionnement

Achats de logiciels, de documentations, ...	*4000€*
Achat d'un ordinateur portable	*2000€*

2.3 Partenaire 3

2.3.1 Equipement.

Achat d'une station de travail multiprocesseur	*10000€*

2.3.2 Personnel

Doctorant à financer totalement par l'ANR (aucune demande d'allocation n'est en cours)
Profil : Le doctorant devra avoir une formation solide en mathématiques appliquées à la mécanique. Des connaissances en méthodes asymptotiques et en réduction d'échelle seront appréciées.

2.3.3 Missions

Réunion trimestrielle entre partenaires	*1000€/an*
Participation à des colloques ou congrès	*6000€*

2.3.4 Autres dépenses de fonctionnement

Achats de logiciels, de documentations, ...	*4000€*
Achat d'un ordinateur portable	*2000€*

2.4 Partenaire 4

2.4.1 Equipement.

Achat d'une station de travail multiprocesseur	*10000€*

2.4.2 Missions

Réunion trimestrielle entre partenaires	*1000€/an*
Participation à des colloques ou congrès	*6000€*

2.4.3 Autres dépenses de fonctionnement

Achats de logiciels, de documentations, ...	*4000€*
Achat d'un ordinateur portable	*2000€*

3 Annexes

3.1 Description des partenaires

3.1.1 Partenaire 1

L'Institut Jean le Rond d'Alembert (IJLRA) est une unité mixte de recherche UPMC-CNRS, rattachée au département scientifique ST2I, comprenant environ 75 chercheurs ou enseignants-chercheurs regroupés en 5 équipes. Elle est l'œuvre d'une volonté de rassemblement de toute la recherche en Mécanique de l'UPMC au sein d'une seule entité. L'équipe « Mécanique et Ingénierie des Solides et des Structures » (MISES), constituée d'une quinzaine de permanents, a une reconnaissance internationale forte pour tous ses travaux sur les problèmes multi-échelles et la mécanique de la rupture (Sanchez-Palencia, Duvaut, Léné, Leblond, Leguillon, Marigo, …), certaines méthodes voire certaines théories ayant étant initiées au sein des laboratoires d'origine de l'IJLRA. Ce projet s'inscrit donc parfaitement dans la continuité des thèmes d'excellence de l'équipe, l'intérêt plus récent aux méthodes et calculs numériques venant enrichir la réflexion théorique traditionnelle.

3.1.2 Partenaire 2

Le LAGA est une unité mixte de recherche Paris Nord-CNRS, rattachée au département scientifique MPPU, regroupant des équipes de mathématiques pures et appliquées. Elle compte environ soixante-dix chercheurs et enseignants-chercheurs. En son sein, l'équipe « multi-échelle multi-domaines » regroupe une dizaine d'enseignant-chercheurs et de doctorants en calcul scientifique. Cette équipe développe depuis plusieurs années , en collaboration avec M. J. Gander (Université de Genève) et F. Nataf (LJLL) de nouvelles méthodes de décomposition de domaines, dites méthodes de Schwarz optimisées. Ces méthodes utilisent des conditions de transmission nouvelles, calculées pour optimiser une méthode itérative adaptée au problème d'interface. Ceci permet de dissocier les discrétisations dans les sous-domaines, et ainsi d'utiliser des pas d'espace locaux. Les algorithmes ont été développés en particulier pour l'équation d'advection-diffusion, et pour les équations de Saint-Venant linéaires dans le cadre de l'océanographie opérationnelle. L'équipe s'intéresse maintenant aux problèmes non linéaires. Dans le cadre de l'océanographie d'abord, avec le programme ANR COMMA (http://ljk.imag.fr/COMMA/), des écoulements réactifs, avec le programme transfert radiatif du GDR MoMaS, et le programme ANR SHPCO2. Pour ce qui concerne les problèmes stationnaires, nous développons des méthodes de type joint pour des couplages non conformes entre sous-domaines (travaux de C. Japhet en collaboration avec Y. Maday, F. Nataf et M. Gander), liées à des dicrétisations par éléments finis ou volumes finis). L'application aux problèmes mentionnés dans ce projet date du début de la thèse de I. Cissé en 2005.

3.1.3 Partenaire 3.

L'Institut de Mathématiques et de Modélisation de Montpellier (I3M) fédère les acteurs de la recherche en mathématiques de la Région. C'est une unité mixte de recherche Montpellier II-CNRS, rattachée au département MPPU, regroupant une centaine d'enseignants-chercheurs et chercheurs répartis dans trois équipes : une de mathématiques pures et deux équipes de mathématiques appliquées. L'équipe ACSIOM (Analyse, Calcul Scientifique Industriel et Optimisation de Montpellier) est constituée d'une vingtaine de permanents et de 14 doctorants. L'étude des équations aux dérivées partielles, les méthodes variationnelles, et specialement l'étude des convergences variationnelles dans les problèmes de perturbations singulières (H. Attouch, G. Michaille…), l'optimisation et la programmation mathématique appliquée à la Mécanique des Milieux Continus (B. Mohammadi, M. Cuer, C. Lacour…) sont parmi les sujets pour lesquels I3M a obtenu une reconnaissance internationale. Les travaux de Jean Jacques Moreau en Analyse Convexe ont eu une forte influence sur certains thèmes de recherches de cette équipe, et sont à l’origine des liens étroits qu’elle développe avec la Mécanique et qui se sont encore renforcés avec l’arrivée de F. Krasucki.

3.1.4 *Partenaire 4.*

« Modélisation, analyse et contrôle pour le calcul des structures » (MACS) est une équipe-projet du centre de recherche "INRIA Paris-Rocquencourt" participant au thème de recherche « Systèmes numériques ». Cette équipe-projet comprend six permanents qui, pour développer leurs thèmes de recherche propres, bénéficient d'un environnement scientifique riche à l'INRIA dans les domaines de l'analyse numérique, du calcul scientifique et de l'automatique. Les objectifs de MACS sont de s'attaquer à des défis scientifiques suscités par:
- la nécessité de développer des méthodes numériques robustes et bien adaptées aux applications industrielles;
- l'émergence de la mécanique active (en particulier contrôle et optimisation) qui permet la conception de structures plus minces et plus légères (et donc de moindre coût), et qui requiert une démarche innovante en termes de modélisation et de simulation numérique.

Dans ce contexte, trois thèmes sont plus particulièrement mis en avant pour leur pertinence scientifique et applicative:
- modélisation et estimation en biomécanique;
- formulation et analyse de méthodes numériques robustes pour les structures minces, et notamment les coques;
- dynamique des structures: stabilité et contrôle, interaction fluide-structure, simulation par décomposition de domaines.

L’équipe-projet entretient des relations internationales et industrielles fortes en participant à des actions ou des projets nationaux ou européens (CardioSense3D, SMART, …).

3.2 Biographies

Jean-Jacques MARIGO,
né le 6 Septembre 1953 à Lacasse (31)
Nationalité: Française, Situation: marié, 2 enfants
Adresse personnelle: 4 avenue Ernest Renan 92160 ANTONY

- ### Coordonnées professionnelles :

Institut Jean le Rond d'Alembert
Université Pierre et Marie Curie
4, Place Jussieu
75005 Paris
Tél : 01 44 27 71 41 Fax : 01 44 27 52 59 e-mail : marigo@lmm.jussieu.fr

- ### Cursus:

• 1976 : Ingénieur Civil de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.
• 1977 : DEA de Mécanique Théorique de l'Université Paris 6
• 1980: Doctorat $3^{\text{ème}}$ cycle en Mécanique de l'Université Paris 6
• 1989 : Habilitation à Diriger des Recherches

- ### Activités Professionnelles:

• Septembre 1980-Septembre 1990 : Ingénieur-Chercheur à la Direction des Études et Recherches d'EDF, Département Mécanique et Modèles Numériques
• Octobre 1990- Janvier 2005 : Professeur à l'Université Paris 13 (Institut Galilée, Département de Mathématiques, Laboratoire des Propriétés Mécaniques et Thermodynamiques des Matériaux (LPMTM, UPR-CNRS 9001, SPI))
• Depuis février 2005 : Professeur à l'Université Paris 6

- ### Prix

2002— avec Francfort G. —Prix Paul Doistau-Emile Blutet
Prix thématique de l'Académie des Sciences [Sciences Mécaniques].

- ### Publications:

[1] B. Bourdin, G. A. Francfort, and J.-J. Marigo. The variational approach to fracture. *Springer*, 2008.
[2] Y. Capdeville and J.-J. Marigo. Homogenization of the wave equation for non-periodic layered media. *Geophysical Journal International*, 170:823–838, 2007.
[3] M. Charlotte, J. Laverne, and J.-J. Marigo. Initiation of cracks with cohesive force models: a variational approach. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 25(4):649–669, 2006.
[4] H. Ferdjani, R. Abdelmoula, and J.-J. Marigo. Insensitivity to small defects of the rupture of materials governed by the Dugdale model. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 19:191–210, 2007.
[5] J.-J. Marigo and N. Meunier. Hierarchy of one-dimensional models in nonlinear elasticity. *J. Elasticity*, 83(1):1–28, 2006

- ### Expériences d'encadrement:

Responsable de l'Opération de Recherche « Endommagement et Rupture » du LPMTM de 1992 à 2005
Responsables de contrats de recherche avec EDF, ONERA et SNECMA de 1990 à 2008
Directeur-Adjoint et Directeur du LPMTM de 1994 à 1997
Direction de 16 thèses et 3 post-docs

Laurence Halpern, (Coordonnateur LAGA)
Professeur de mathématiques, LAGA (Laboratoire Analyse, Géométrie et Applications), UMR 7539 du CNRS, Institut Galilée, Université Paris XIII, 93430 Villetaneuse.
halpern@math.univ-paris13.fr

- Situation administrative

née le 19 juillet 1955 à Paris. 2 enfants.

- Diplômes

Doctorat d'état es Sciences Mathématiques, Université Pierre et Marie Curie, 1986.
Agrégation de Mathématiques, 1977.
École Normale Supérieure de Fontenay aux Roses, 1974-1978.

- Emplois occupés

Professeur à l'Université Paris XIII, LAGA UMR du CNRS, depuis 1988.
Maître de conférences à l'Ecole Polytechnique,1988-2001.
Chargée de recherches 1ère classe au CNRS (CMAP Ecole Polytechnique), 1984-1988.
Attachée de recherches au CNRS (CMAP Ecole Polytechnique), 1981-1984.

- Responsabilités actuelles

Directeur adjoint du LAGA,
Présidente de la commission de spécialistes 26ème section.

- Thèmes de recherche

Equations aux dérivées partielles en domaines non bornés, conditions aux limites absorbantes, méthodes de décomposition de domaines espace-temps.

- Contrats de recherche

Participation au GDR MOMAS, projet transport radiatif depuis 2006, 10%.
Responsable LAGA dans l'ANR COMMA -programme blanc- depuis 2007 (méthodes de couplage en océanographie, 50%).
Responsable LAGA dans l'ANR SHPCO2- programme CIS- depuis 2008 (stockage du CO2, 20%).

- Publications récentes :

[1] M.J. Gander and L. Halpern, Optimized Schwarz Waveform Relaxation for Advection Reaction Diffusion Problems. SIAM Journal on Numerical Analysis Vol.45, n° 2, pp 666--697, 2007.
[2] M.J. Gander, L. Halpern, and F. Magoulès, An Optimized Schwarz Method with Two-Sided Robin Transmission Conditions for the Helmholtz Equation. Int. J. for Num. Meth. in Fluids, Vol. 55, No. 2, pp. 163--175, 2007.
[3] L. Halpern et O. Lafitte, Dirichlet to Neumann map for domains with corners and approximate boundary conditions. Journal of Computational and Applied Mathematics. Volume 204, Issue 2, 15 July 2007, Pages 505-514.
[4] L. Halpern, Absorbing boundary conditions and optimized Schwarz waveform relaxation. BIT, vol 26, supplement 5, november 2006, pp 21-34.
[5] L. Halpern, Local space-time refinement for the one dimensional wave equation. Journal of Computational Acoustics, vol.13, no.3, pp 153-176, september 2005.

KRASUCKI Francoise 50 ans, née le 4 Avril 1957 à Paris XI (FRANCE) 3 enfants	
Depuis 2002	Professeur à l'Université Montpellier II, Laboratoire de Mécanique et Génie Civil, puis depuis Octobre 2007, à l'Institut de Mathématique et Modélisation de Montpellier. Domaine de recherche : Modélisation mathématique en mécanique, problèmes couplés multi échelles. Collaborations internationales : Université de Pavie (Italie), Université d'Ancone (Italie), Université de Hong Kong (Chine). Thèses en cours d'encadrement : deux thèses en cours. Responsable du Master Sciences Mécaniques depuis 2004.. Responsable du Département enseignement Mécanique entre 2001 et 2007.
Sept. 2000 Sept . 2002	Maitre de Conférences à l'Université Montpellier II, Laboratoire de Mécanique et Génie Civil.
Dec1989-Sept. 2000	Maitre de Conférences à l'Université Pierre et Marie Curie, Laboratoire de Modélisation Mécanique..
Fev 1984-Dec 1989	Ingénieur Chercheur au Service Informatique et Mathématiques Appliquées de la Direction des Etudes et Recherches de l'E.D. F.
Janvier. 1999	Habilitation à Diriger les Recherches (HDR), Université Paris 6
Janvier 1984	Doctorat de 3ème cycle de Mathématiques Appliquées , Université Pierre et Marie Curie, Laboratoire de Mécanique Théorique. Titre : Homogénéisation et glissement dans un milieu cristallin Directeur de thèse : G. Duvaut
1980 - 1981	DEA de Mécanique théorique, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6),
Publications récentes	F. Krasucki, A. Munch, Y. Ousset, Mathematical analysis of nonlinear bonded joint models, Mathematical Models and Methods in Applied Sciences, vol. 14, 4, 535-556, 2004 A.L. Bessoud, F. Krasucki, GMRES Algorithm for Multi-Materials with Strong Interface, C. R. Acad. Sc. Paris, s. I, vol 343, n°4, 279-282, 2006. Philippe G. Ciarlet, Patrick Ciarlet Jr., G. Geymonat et F.Krasucki,Characterization of the kernel of the operator CURL CURL, C. R. Acad. Sc. Paris, s. I, vol 344, n°5, 305-308, 2007 . G. Geymonat, F. Krasucki et M. Serpilli, The Kinematics of Plate Models : a Geometrical Deduction, J. Elasticity, 88, 299-309,2007. A. L. Bessoud, F. Krasucki et G. Michaille, Multi-materials with strong interface: variational modelings , accepté dans Asymptotic Analysis.. 21 articles ,18 communications dans des congrès avec actes Responsable d'un contrat européen T. M. R. Marie Curie (1998-2000)

3.3 Implication des personnes dans d'autres contrats

Partenaire	Nom de la personne participant au projet	Personne. Mois	Intitulé de l'appel à projets Source de financement Montant attribué	Titre du projet	Nom* du coordinateur	Date début -Date fin
N°1	Jean-Jacques Marigo	**7,2**	Programme blanc 06 **102k€**	MUSE	Yann Capdeville	01.07/31.09
N°2	Laurence Halpern	**18**	Programme blanc 06 **106k€**	COMMA	Georges Henri Cottet	01.07/31.09
N°2	Laurence Halpern	**7,2**	Programme CIS **105k€**	SHPCO2	Anthony Michel	01.08/31.10