

Rapport INRIA 1994 — Programme 6

Estimation de Paramètres et Applications  
Industrielles

PROJET IDENT

3 mai 1995



PROJET IDENT

---

# Estimation de Paramètres et Applications Industrielles

---

**Localisation :** *Rocquencourt*

**Mots-clés :**

## 1 Composition de l'équipe

### **Responsable scientifique**

Guy Chavent, Professeur, Université Paris 9

### **Responsable permanent**

Jérôme Jaffré, Directeur de Recherche, Inria

### **Secrétariat**

Emmanuelle Boutelet, jusqu'au 31/05/94

Muriel De Bianchi, à partir du 1/06/94

### **Personnel Inria**

Eliane Bécache, Chargé de Recherche

Jean-David Benamou, Chargé de Recherche

François Clément, Chargé de Recherche

Gary Cohen, Chargé de Recherche

Patrick Joly, Directeur de Recherche, détaché à Paris Dau-  
phine à partir du 1er Octobre

Michel Kern, Chargé de Recherche

Jean Roberts, Directeur de Recherche

**Ingénieur expert**

Francis Collino

**Collaboratrice extérieure**

Christine Poirier, Maître de Conférences à l'Université de  
Versailles

**Chercheurs doctorants**

Benoît Lavaud, boursier MESR, Université Paris 9, à partir  
du 1/10/1994

Jean Duterte, boursier MESR, Université Paris 6

Claude Lartoux, Université Paris 9

Nacer-Eddine Mezouari,

Nicolas Pichon, boursier Ifremer

Nathalie Tordjman, boursier Université Paris 9

Olivier Vacus, boursier Inria

Sophie Jégou, boursier MESR, Université Paris 9

Jianfeng Zhang, jusqu'au 31/03/94

**Stagiaires**

Clarisse Alboin, stagiaire de Maîtrise , Université Paris 9

Fath Allah Moutazaïm, stagiaire DEA, Université Paris 9

Katia Pinchedez, stagiaire DEA, Université de Rennes

Laïla Rahouti, stagiaire de Maîtrise, Université Paris 9

Alexandre Elmkies, stagiaire de Maîtrise, Université Paris 11

Samba Badji, stagiaire DEA, Université de Paris 6

## 2 Présentation du projet

L'activité du projet "Estimations de paramètres et applications industrielles" est centrée sur le calcul scientifique avec, comme objectif, la recherche et le développement de méthode numérique performante adaptée aux préoccupations des industriels pour résoudre les équations, et ensuite d'en déterminer les paramètres. La réalisation de cet objectif nécessite :

- des relations constantes et étroites avec le monde industriel (IFP, SNEA(P), CFP, EDF, GDF, Dassault-Aviation . . . ) qui est à l'origine des problèmes étudiés, et qui en retour peut bénéficier du résultat des recherches.

- un noyau de chercheurs de haut niveau aptes à intégrer et adapter, en vue de la résolution d'un problème donné, les outils et les méthodes les plus modernes existant sur le marché scientifique, et à en développer de nouveaux lorsque besoin est. Le travail effectué au sein du projet couvre la modélisation, l'étude mathématique des propriétés d'une équation, le choix et la conception d'une méthodologie de résolution numérique, et la réalisation de maquettes de programmes permettant le test et la comparaison des méthodes.
- des relations avec l'Université, tant au niveau national qu'international (G. Chavent à Paris 9, A. Bamberger à l'Institut Français du Pétrole et J.-C. Guillot à Paris 13, J. Douglas à Purdue University, W.W. Symes à Rice University, R. Ewing à Texas A & M, B. Enquist et S. Osher à UCLA, R. Kleinman et P. Monk à l'Université de Delaware, J.-P. Hennart et R. Weder à l'Université de Mexico et K. Kunisch à l'Université de Graz (Berlin), ...). Ces relations permettent d'assurer une information permanente sur l'état de l'art dans des domaines où l'évolution est très rapide.

### 3 Actions de recherche

#### 3.1 Méthodes numériques pour les équations hyperboliques non-linéaires

*Participants* : J.-D. Benamou, J. Jaffré

- Les temps d'arrivées de signaux optiques ou sismiques sont habituellement calculés en intégrant un indice de lenteur caractérisant le milieu le long de rayons tirés depuis un point source donné. Les rayons sont des chemins solutions d'un système Hamiltonien et constituent les caractéristiques d'une équation hyperbolique non-linéaire appelée équation Eikonale. Plusieurs temps d'arrivées peuvent coexister lorsque des rayons se croisent. L'équation Eikonale possède alors une solution multivaluée correspondant à ces temps d'arrivées multiples. Les temps d'arrivées le long des rayons doivent être interpolés pour obtenir une solution dans un domaine fixé. Cette technique peut être difficile et coûteuse surtout dans le cas de temps d'arrivées multiples. Ceci explique l'intérêt croissant porté à l'approximation de l'équation Eikonale par différences finies en particulier en vue de son utilisation comme solveur di-

rect dans les problèmes inverses en sismique. Les schémas aux différences finies classiques pour de tels problèmes ne calculent cependant qu'une solution univoque qui dans notre cas correspond au premier temps d'arrivée. Les temps d'arrivées ultérieurs correspondent généralement à des signaux réfléchis et contiennent plus d'information sur la nature du milieu. Jean-David Benamou cherche donc à calculer ces temps d'arrivées multiples en utilisant des solveurs rapides de type différences finies. Il propose une méthode basée sur un solveur performant de l'équation Eikonale combiné à des tirs de rayons définissant le domaine de résolution et les conditions aux limites et permettant de sélectionner les différents temps d'arrivées. Cette méthode numérique est actuellement à l'étude. Un travail important reste à faire du point de vue théorique pour donner un sens à ces solutions multivoques et à leur approximation.

- J. Jaffré a poursuivi l'étude des lois de conservation dont la fonction de flux est discontinue par rapport à la variable d'espace, comme celles qu'on peut trouver dans la simulation d'écoulements diphasiques dans un milieu poreux hétérogène. L'an passé divers flux numériques avaient été proposés et comparés. Cette année, avec Veerappa Gowda, J. Jaffré s'est attaqué à la démonstration de la convergence des schémas aux différences finies associés à ces flux.

### 3.2 Équations des ondes et de l'élastodynamique

*Participants* : E. Bécache, G. Cohen, F. Collino, A. Elmkies, P. Joly, M. Kern, L. Rhaouti, J.E. Roberts, N. Tordjman, O. Vacus

- Dans le cadre du consortium PSI, E. Bécache poursuit, en collaboration avec F. Collino et P. Joly, les travaux initiés par ces derniers sur de nouvelles stratégies pour aborder les problèmes de migration 3D en Géophysique à l'aide d'approximations paraxiales de l'équation des ondes 3D. Ces approximations peuvent être utilisées lorsque les ondes se propagent dans une direction privilégiée, en général la profondeur  $z$ , et transforment alors l'équation des ondes 3D en un problème d'évolution en  $z$  qui se résout itérativement. Les équations paraxiales classiques conduisent à inverser, à chaque itération, un système linéaire provenant d'un problème 2D en  $x$  et  $y$ .

Des études antérieures menées par M. Kern ont montré que ce système est coûteux à inverser car mal conditionné, complexe et non hermitien. Dans le rapport annuel PSI 93, F. Collino et P. Joly ont proposé de nouvelles équations paraxiales bien adaptées au splitting d'opérateurs. La résolution du problème 2D s'effectue alors en résolvant une succession de problèmes 1D, chaque problème étant associé à une direction donnée du plan  $(x, y)$ . Cette méthode a été introduite pour commencer dans le cas d'un milieu homogène et dans ce cas la discrétisation a pu être effectuée à l'aide de méthodes spectrales. Deux axes de recherche ont été développés. Le premier a consisté à proposer de nouvelles familles d'équations paraxiales permettant d'utiliser de nouvelles directions de splitting. Il est alors possible d'utiliser des données enregistrées sur un maillage rectangulaire et non plus carré, ce qui est le cas en pratique. L'intérêt est d'éviter d'avoir recours à des techniques d'interpolation de données sismiques 3D. Le deuxième axe concerne l'approximation de ces équations par des schémas numériques généralisables au cas hétérogène. Un schéma classique d'ordre 2 en espace (variables  $(x, y)$ ) et par rapport à la variable d'évolution  $z$  a été implémenté et une première étude des résultats numériques a été menée. Essentiellement deux types de phénomènes ont été observés : d'une part un phénomène de dispersion numérique du schéma utilisé et d'autre part la présence dans certains cas d'ondes parasites liée, non plus à l'approximation numérique, mais à la nature de l'opérateur paraxial lui-même et au comportement de sa solution fondamentale. L'analyse de ces équations et de leur approximation se poursuit actuellement.

- Parallèlement, M. Kern a poursuivi l'approche plus classique basée sur une attaque directe d'un problème bidimensionnel à chaque étape de profondeur. Il faut résoudre un système linéaire complexe à chaque étape. Les méthodes itératives de type gradient conjugué non-symétrique sont bien adaptées à ce problème, bien qu'il reste quelques difficultés à basse fréquence. Nous avons pour l'instant validé le code à fréquence fixée. Les performances sur C90 sont très satisfaisantes, puisqu'il tourne à 500 Mflops sur un processeur. La prochaine étape est de boucler sur les fréquences, pour obtenir une image. Il sera ensuite intéressant de comparer cette méthode avec celle décrite plus haut par Eliane Bécache, du point de vue du coût, de la précision et de l'isotropie.

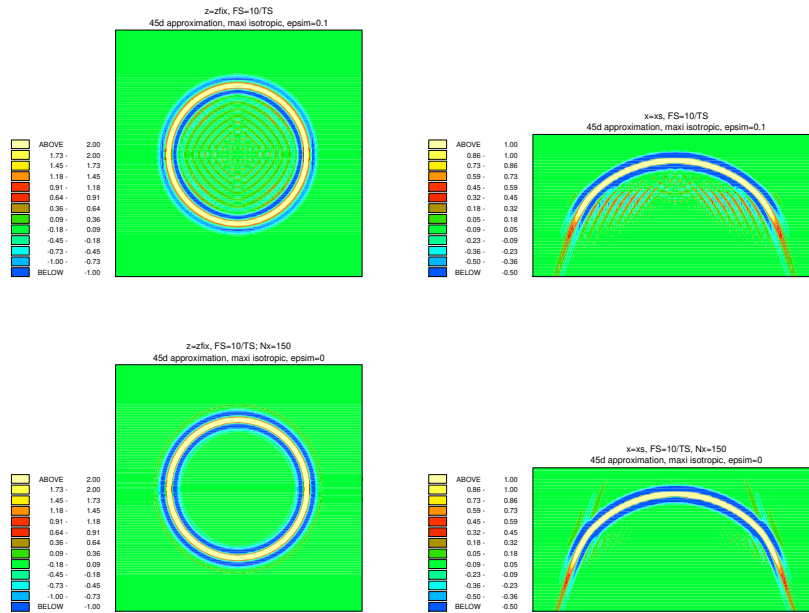


Figure 1 : Solution de l'équation paraxiale 3D. En haut : effets de la dispersion numérique. En bas : maillage raffiné

- Dans le cadre de sa thèse, N.E. Mezouari travaille sur la propagation des ondes en milieu à mémoire temporelle. L'intérêt d'une telle modélisation est double ; il s'agit de mieux rendre compte de la réalité physique et de rendre possibles des calculs par transformation de Fourier partielle pour des milieux stratifiés. N.E. Mezouari devrait soutenir sa thèse dans quelques mois.
- K. Pinchedez, dans le cadre d'un stage de magistère sous la direction de E. Bécache, F. Collino et P. Joly, a mené une étude mathématique des équations paraxiales 3D introduites par F. Collino et P. Joly. Elle s'est essentiellement consacrée aux approximations 15 degrés et 45 degrés. Pour chacune de ces approximations, elle a étudié l'hyperbolicité du symbole, le front d'onde, le support singulier de la solution élémentaire ainsi que son comportement asymptotique à l'infini.
- Dans le cadre de son stage de DEA encadré par G. Cohen, A. Elmkies a étudié une variante d'éléments finis triangulaires de Lagrange obtenue par adjonction d'un degré de liberté supplémentaire au centre de l'élément de type  $P_2$ . A l'aide de la formule



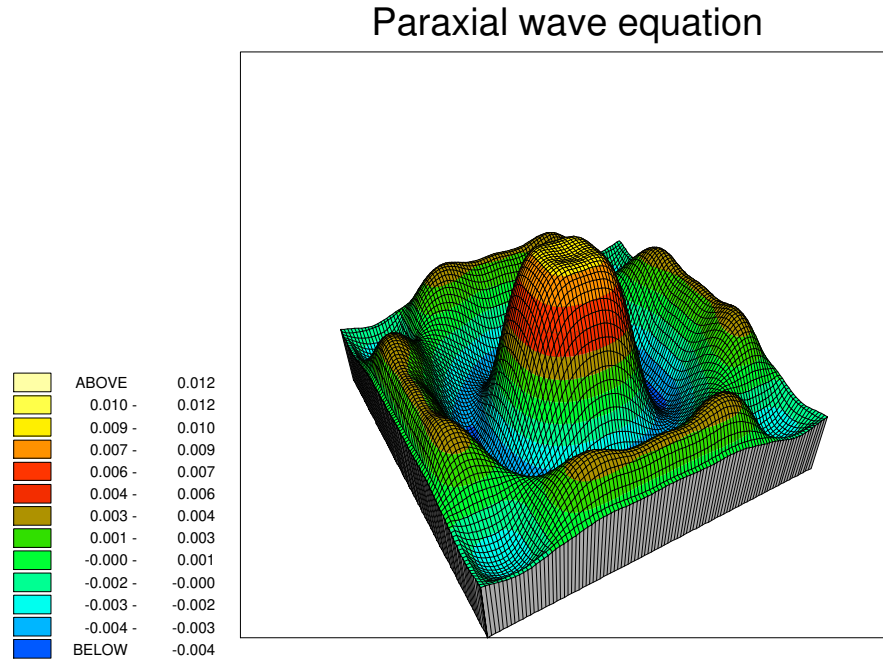


Figure 2 : Solution de l'équation paraxiale à basse fréquence

de Simpson, ce nouvel élément permet une approximation stable de l'équation des ondes avec condensation de la matrice de masse. Une analyse de la dispersion numérique montre que, comme pour  $Q_2$ , on obtient un résultat de superconvergence sur la vitesse sur maillage régulier.

P. Joly, N. Tordjman et G. Cohen ont exhibé un nouvel élément fini de Lagrange de type  $P_3$ , obtenu en modifiant les positions des nœuds de l'élément fini classique et en y remplaçant le nœud intérieur par trois nœuds disposés de façon symétrique. Les coordonnées des nœuds ont celles des points d'une nouvelle formule d'intégration numérique permettant la condensation de masse tout en assurant la même précision que celle obtenue par une méthode d'éléments finis de type  $Q_3$ .

Ces nouveaux éléments finis  $P_2$  et  $P_3$  constituent une variante

triangulaire des éléments finis spectraux assurant la stabilité des schémas. L'analyse de ces nouveaux schémas a été menée suivant plusieurs points de vue. Des estimations d'erreur ont été obtenues dans le cas d'un maillage quelconque à l'aide d'une technique faisant appel à la transformation de Laplace en temps. Les résultats améliorent légèrement ceux obtenus antérieurement par Backer-Douglas. Par ailleurs, une étude de dispersion en maillage régulier a pu être menée avec l'aide du logiciel de calcul formel MAPLE. Cette étude permet de mettre en évidence des résultats de super convergence analogues à ceux obtenus dans le cas monodimensionnel. Enfin, une étude assez systématique de divers schémas de discrétisation en temps a été menée. On s'est intéressé notamment à l'influence de l'ordre de ce schéma sur la condition de stabilité, la dispersion numérique et le coût de la méthode ce qui permet de conclure à l'intérêt de l'utilisation de schémas d'ordre élevé.

Dans le cadre de son stage de maîtrise, L. Rhaouti a étudié, sous la direction de G. Cohen, l'approximation par éléments finis de Lagrange de type  $Q_3$  avec condensation de masse de l'équation des ondes en dimension 3. Avec N. Tordjman et F. Collino, elle s'est intéressée, en particulier, à différentes stratégies pour l'implémentation de conditions aux limites absorbantes d'ordre 2 et 3. Cette étude a montré que la compatibilité de ces conditions aux limites avec un schéma d'ordre 4 en temps obtenu par une technique d'équation modifiée est un problème difficile non encore résolu pour l'instant.

Toujours dans le cadre de ce stage, L. Rhaouti a aussi étudié la dispersion numérique d'une méthode d'éléments finis de type  $Q_1$  pour un maillage formé de trapèzes isocèles. Cette étude a montré qu'une isotropie optimale était obtenue pour des trapèzes dont la petite base était deux fois plus petite que la grande base.

- Jukka Tuomela de l'Université de Helsinki, a développé une approche algébrique originale visant à déterminer de nouvelles conditions limites absorbantes pour l'équation des ondes dans le cas 1D. Invité au mois de juin, il a travaillé en collaboration avec Olivier Vacus et mis en pratique ses premiers résultats théoriques. Ensemble, ils poursuivent actuellement les tests numériques et travaillent également à présent à l'extension de cette approche au cas 2D.

### 3.3 Guides d'ondes élastiques

*Participants* : J. Duterte, P. Joly

J. Duterte et P. Joly ont poursuivi leurs travaux concernant l'étude d'ondes guidées par la perturbation géométrique locale d'un demi-espace élastique homogène, avec condition de surface libre. La rédaction de l'article décrivant la réalisation numérique du calcul des modes guidés a été achevée.

Sur le plan scientifique, l'étude théorique visant à montrer l'existence de modes guidés (en particulier à haute fréquence), a été approfondie. Elle a été suivie d'une étude à basse fréquence: elle nous a permis d'établir un premier résultat de non-existence. On montre plus précisément que, à basse fréquence, le nombre de modes guidés ne peut excéder 3. De cette étude, a été déduit un algorithme pour calculer les seuils des modes. Un code calculant ces fréquences de coupure a été écrit: des tests pour effectuer sa validation définitive sont en cours.

Ces travaux ont été présentés au groupe de travail de l'université de Marseille, et a fait l'objet d'un exposé inclus dans le cours INRIA de l'École des Ondes. Enfin, Jean Duterte termine actuellement la rédaction de sa thèse qui regroupera l'ensemble des résultats obtenus. La soutenance est prévue pour le mois de Janvier 1995.

### 3.4 Équations de Maxwell

*Participants* : G. Cohen, F. Collino, P. Joly, C. Poirier, J.E. Roberts, O. Vacus

- G. Cohen et P. Monk de l'Université de Delaware ont poursuivi leur étude d'éléments finis mixtes d'ordre élevé sur maillages réguliers pour les équations de Maxwell en dimension 2. Une étude de dispersion ainsi que des expériences numériques ont montré que les éléments finis quadratiques donnaient un algorithme deux fois plus rapide que celui obtenu par les éléments finis linéaires et les éléments finis cubiques, un algorithme 3,5 fois plus rapide. L'extension de cette méthode à des maillages irréguliers et à la dimension 3 est en cours d'étude et fait l'objet de la thèse d'A. Elmkies (boursier MESR de l'Université de Paris 11 depuis novembre 1994). D'autre part, G. Cohen et P. Monk ont montré que les éléments

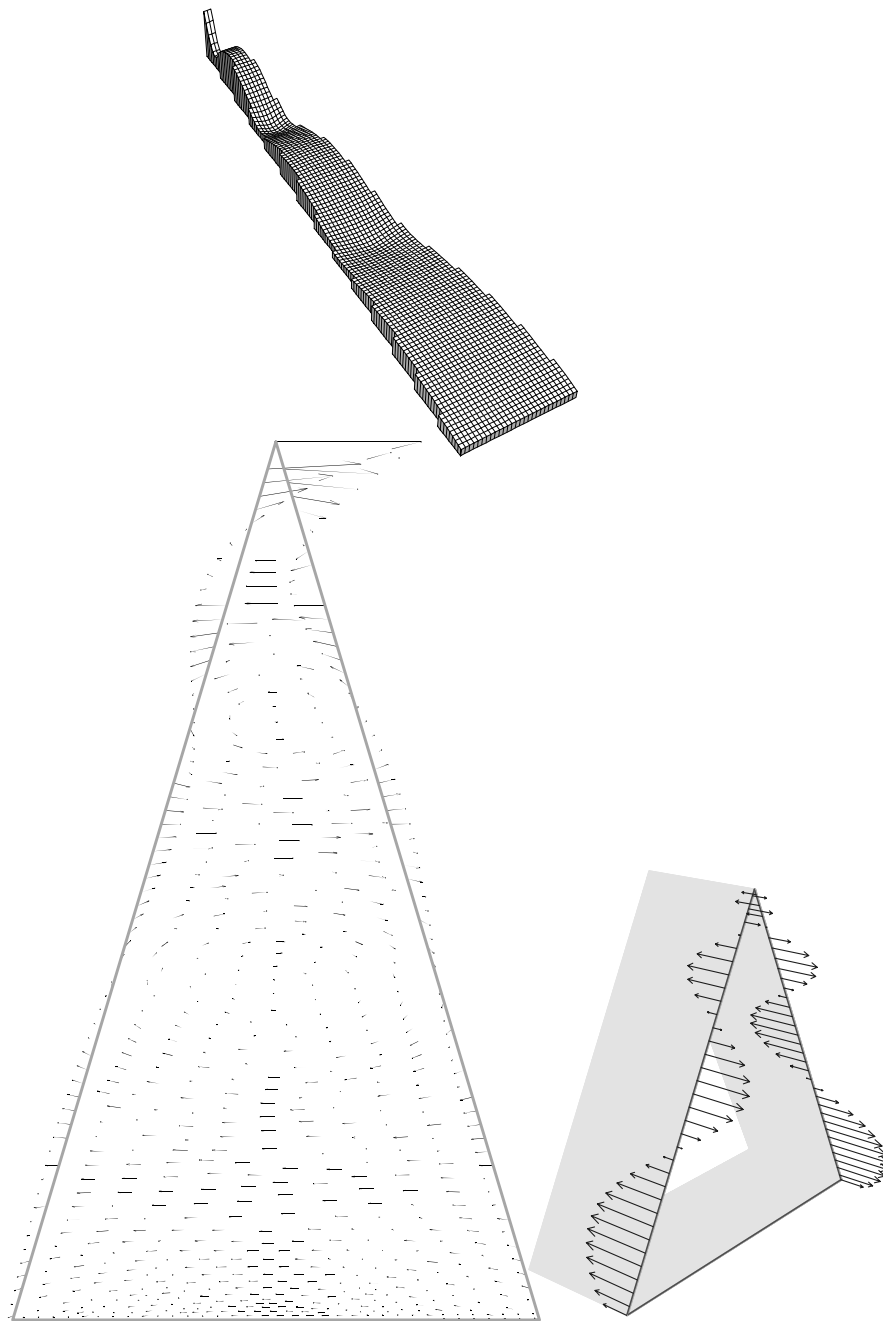


Figure 3 : Norme d'une onde guidée élastique par un triangle infini et ses composantes transversales et longitudinale / nombre d'onde  $\beta = 6$  / pulsation  $\omega = 1.746$

finis mixtes avec condensation de masse avaient, pour les équations de Maxwell semi-discrétisées en espace en dimensions 2 et 3, la même relation de dispersion que l'équation des ondes semi-discrétisée en espace par une méthode d'éléments finis spectraux. Ce théorème facilite grandement l'étude de la dispersion numérique des équations de Maxwell, plus difficile que celle de l'équation des ondes.

Dans le cadre de son stage de DESS, S. Badji, sous la direction de G. Cohen, a programmé une méthode de résolution des équations de Maxwell en milieu hétérogène par éléments finis mixtes de plus bas degré avec condensation de masse sur des maillages rectangulaires.

- Olivier Vacus poursuit sa thèse sur la propagation d'ondes dans un milieu ferromagnétique, régi par une loi de comportement magnétique non linéaire. Cette thèse se déroulant dans le cadre d'un contrat avec DASSAULT AVIATION, un rapport pour la première année de contrat a été rédigé en avril.

D'un point de vue numérique, l'étude complète et l'implémentation effective dans le cas 1D a été menée à son terme, et a fait l'objet d'une communication au congrès EUROEM à Bordeaux début juin. Pour cette occasion, une vidéo de quelques expériences numériques a été réalisée. On s'intéresse à présent au cas 2D, dont la principale difficulté réside dans le calcul d'un champ magnétique interne, le champ démagnétisant, qui est solution d'un problème non local en espace.

D'un point de vue théorique, un résultat d'existence de solutions, dû à Visintin, semble être généralisable au problème étudié. Une autre approche, par semi-groupes de contraction, continue néanmoins d'être menée. De même, une étude asymptotique des couches minces ferromagnétiques est envisagée.

- F. Collino et P. Joly se sont intéressés, en collaboration avec F. Millot du CERFACS, à l'utilisation de la méthode des domaines fictifs pour le calcul de diffraction d'une onde instationnaire sur un objet conducteur. Cette approche consiste à prolonger la solution du problème à l'intérieur de l'objet en introduisant une inconnue supplémentaire qui s'interprète comme un courant surfacique. Le champ prolongé est alors défini sur un domaine très régulier (rectangle ou cube) ce qui permet l'utilisation de techniques efficaces

pour son calcul (maillage structuré, condensation de masse...). Quant au courant, il est obtenu en inversant un “petit” système linéaire bien conditionné à chaque pas de temps. L'intérêt principal de cette technique est de permettre un découplage complet pour les maillages, surfacique pour l'objet et volumique pour le milieu environnant. En particulier, il permet d'éviter le calcul trop coûteux qu'exigerait une méthode d'éléments finis non structurés et les diffractions numériques observées lorsque l'on utilise des maillages structurés et une discrétisation de type “marche d'escalier” pour l'objet.

- Dans le cadre d'une convention de recherche avec le Centre d'Études de Gramat, F. Collino a poursuivi ses travaux sur les Conditions aux Limites Absorbantes (CLA) d'ordre élevé pour l'électromagnétisme. Ces conditions, nécessaires aux calculs d'ondes dans les milieux non bornés, sont particulièrement bien adaptées pour la simulation de la propagation dans des boîtes de calcul petites en regard de la longueur d'onde. Deux axes de travail ont été suivis. Pour le premier, il s'agissait d'étendre au cas stratifié les CLA construites pour les milieux homogènes ainsi que de proposer une discrétisation. L'autre axe, de nature applicative, a consisté à développer des modules de calcul qui ont été validés sur une maquette puis greffés sur le code de calcul du Centre de Gramat (code GORF). GORF est un code de Calcul qui permet d'intégrer les équations de Maxwell à l'aide d'un schéma aux différences finies d'ordre deux explicite en temps. Les nouveaux modules permettent de réaliser l'absorption des ondes sur les faces, les arêtes et les coins du cube de calcul pour des milieux environnants stratifiés et pour des maillages à pas constants.
- F. Collino et P. Joly ont développé et analysé de nouvelles conditions absorbantes qui possèdent la propriété remarquable d'être de nature variationnelle. Ces conditions, distinctes de celles décrites précédemment, sont particulièrement bien adaptées au calcul des ondes par une méthode éléments finis (éléments de type H(rot)). Ces conditions peuvent s'appliquer aussi bien au cas mono-fréquentiel qu'au cas instationnaire. Ce travail a donné lieu à une communication au Congrès CEFC 94 à Aix les Bains sur les méthodes numériques pour les équations de Maxwell et une publication dans IEEE Transactions on Magnetics. Ces conditions ont

été testées dans le cas fréquentiel par F.Lafont de l'équipe de P. Trouvé du L.C.R. de Thomson-CSF (ces résultats seront présentés l'an prochain à la conférence de Mandelieu) et sont actuellement en cours d'implémentation par M. Fares, chercheur senior dans l'équipe électromagnétisme du CERFACS.

- P. Joly encadre la thèse de D. Pedreira (Université de St Jacques de Compostelle) sur le calcul numérique d'ondes guidées en optique intégrée. Les études théoriques sont à un stade avancé et les développements numériques ont débuté.
- Dans le cadre de son stage de DEA, C. Lartoux a travaillé sur la simulation numérique des équations de Maxwell en régime statique et en milieu stratifié, sous la direction de P. Joly.

### 3.5 Estimations de paramètres et problèmes inverses

*Participants:* J.-D. Benamou, G. Chavent, F. Clément, F. Collino, S. Gómez, J. Jaffré, S. Jégou, F.-A. Moutazaïm, N. Pichon, J.E. Roberts, V. Cheverda, C. Alboin

- L'inversion sismique, qui est un de nos problèmes de recherche dans le cadre du consortium PSI avec l'IFP, a fortement progressé cette année. Sur le plan théorique tout d'abord, G. Chavent a mis en évidence, dans un article écrit pour le colloque "Sven Fest" en l'honneur de Sven Treitel, l'importance de la dualité de Fenchel - Rockaffellar pour la reformulation du problème d'estimation de l'image donnant la réflectivité du sous sol, pour une vitesse de propagation des ondes donnée. Cette reformulation produit une fonction objective qui est bien plus régulière par rapport à la vitesse (pas de minima locaux), ce qui permet d'utiliser des méthodes de gradient pour la recherche de la vitesse de propagation donnant la meilleure image (les méthodes utilisées précédemment étaient basées sur le recuit simulé, ou bien utilisaient une boucle interne d'optimisation des reflectivités, et étaient d'un usage limité). Sur le plan numérique, la méthode MBTT (Migration Based Travel Time) développée les années précédentes - et qui est apparue cette année comme une des méthodes de dualité mentionnées ci-dessus - a permis de réaliser une première inversion : F. Clément, aidé par S. Gomez pour la partie optimisation, ont réussi à inverser les données synthétiques de Synclay en partant d'une vitesse

de propagation initiale (constante) extrêmement loin de la solution exacte. F. Clément et J. D. Benamou vont s'attaquer maintenant à des données synthétiques complexes, celles dites de "Marmousi".

- V. Cheverda a travaillé, au cours de sa visite de 3 mois, sur l'étude des migrations quantitatives : il s'agit de choisir un scaling des inconnues  $r$  décrivant la réflectivité du sous-sol de façon à ce que l'opérateur de migration correspondant (cad  $B^T$  où  $B$  est l'application réflectivité  $r \rightarrow$  sismogramme synthétique  $c$ ) reproduise au mieux la réflectivité ayant généré les données que l'on migre. Ce travail a été poursuivi par C. Alboin.
- Guy Chavent encadre la thèse de R. E. Plessix à l'Ifremer (Brest) sur le problème de l'inversion de données sismiques très haute résolution. L'approche utilisée est la formulation MBTT, mais mise en oeuvre sur une modélisation simplifiée utilisant les raies (des ondes linéaires avec approximation asymptotique haute fréquence). Les méthodes de migration quantitative nécessaires sont maintenant au point, et les premiers résultats d'optimisation par rapport à la vitesse viennent d'être obtenus.
- S. Jégou prépare une thèse, dirigée par G. Chavent et J. Jaffré, dont le sujet est l'estimation des perméabilités relatives dans des déplacements triphasiques en milieu poreux. Dans la pratique les ingénieurs construisent des perméabilités triphasiques à partir de perméabilités diphasiques par diverses méthodes mais ces techniques ne sont pas réellement satisfaisantes. C'est pourquoi, en collaboration avec l'IFP, il a été décidé d'essayer d'estimer les perméabilités triphasiques directement à partir de mesures effectuées lors d'expériences de déplacements réalisées en laboratoire.

Durant cette première année de thèse, les modèles physiques, mathématiques et numériques ont été choisis. De plus, S. Jégou a adapté le logiciel de génération automatique de programmes GRADJ —écrit en Maple— au cas considéré. Ce logiciel produit les programmes fortran permettant la simulation des expériences et le calcul de la fonction coût et de son gradient. Le calcul de ce dernier a été vérifié par comparaison avec un gradient calculé par différences finies.



Enfin, une réflexion sur la paramétrisation a permis d'en choisir une qui permette d'intégrer facilement les contraintes physiques que doivent satisfaire les perméabilités relatives.

- Dans le cadre de la collaboration avec l'Aérospatiale, F. Collino a participé à un travail mené chez le partenaire industriel par S. Alestra et R. Duceau. Ce travail porte sur l'identification des constantes électromagnétiques d'un empilement de plaques à partir d'une donnée réelle enregistrée au laboratoire. L'identification du milieu est réalisée à l'aide d'un logiciel s'appuyant sur une méthode de moindres carrés. Le calcul du gradient est obtenu à l'aide de techniques classiques en contrôle optimal (calcul d'état adjoint) et l'inversion se fait itérativement à l'aide du logiciel M2QN1 (développé à l'INRIA par C. Lemaréchal). Les premiers résultats sont très encourageants: les permittivités électriques sont très bien retrouvées pour une configuration bicouche et le comportement qualitatif fréquentiel de chaque plaque est bien reconstitué. Actuellement, le travail porte sur la détermination des marges d'erreurs via une étude de sensibilité.
- Pour son stage de DEA sous la direction de G. Chavent et J.E. Roberts, Fath Allah Moutazaïm a effectué des expériences numériques sur une méthode de résolution du problème inverse basée sur la technique de dualité de Fenchel. Par rapport à la méthode standard de moindres carrés, cette méthode a pour avantage de ne pas exiger un calcul compliqué du gradient par l'intermédiaire de l'état adjoint. L'équation d'état est considérée comme une contrainte qui est traitée par pénalisation en ajoutant un terme approprié à la fonction coût. Ce terme contient, outre la fonctionnelle d'énergie associée à l'équation d'état, la fonctionnelle d'énergie duale, de sorte que le nouveau problème d'optimisation est bien équivalent à celui de départ. Les premiers résultats obtenus sont encourageants et méritent d'être prolongés par d'autres expériences numériques.

### 3.6 Contrôle optimal

*Participants* : J.-D. Benamou, N. Pichon

- J.-D. Benamou poursuit l'étude de la méthode de décomposition de domaine qu'il a proposé pour le contrôle optimal. Cette méthode s'applique en particulier au contrôle de systèmes gouvernés par

l'équation de Helmholtz et, grâce à une implémentation numérique massivement parallèle sur CM200, un problème 2-D de contrôle frontière du champ diffracté par un résonateur a pu être résolu de façon peu coûteuse pour des grands nombres d'ondes. L'amélioration de l'implémentation numérique de cette méthode fera l'objet du séjour que doit effectuer J.-D. Benamou à l'EPCC (Edinburgh parallel computing centre, centre spécialisé possédant une CM200 et un CRAY T3D) en décembre et devrait déboucher sur la résolution numérique d'un problème 3-D. L'algorithme actuel ne réalise que des communications locales entre sous-domaines. Il se prête parfaitement à une implémentation parallèle.

Des contacts ont été pris par le CERFACS et le GDR "Optimisation de Formes" dirigé par M. Masmoudi pour la coorganisation d'un prochain workshop sur l'optimisation de Surfaces Equivalentes Radar. Patrick Joly et Jean-David Benamou prendront en charge cette manifestation côté INRIA.

- Dans le cadre d'une collaboration avec l'Ifremer, N. Pichon effectue actuellement une thèse, sous la direction de G. Chavent, visant la mise au point de méthodes déterminant les commandes de passerelle optimales pour le remorquage par câble d'un engin sous-marin non motorisé.

Une approche très classique du problème de commande est basée sur son interprétation comme un problème d'optimisation: on minimise l'erreur quadratique entre l'état final de l'engin et un état final prescrit. Dans un premier temps, on a pu montrer que des modèles relativement complexes pour le câble étaient utilisables dans le problème d'optimisation, en résolvant les équations d'état à l'aide de méthodes implicites qui ont permis d'intégrer celles-ci avec un petit nombre de pas de temps. Dans un deuxième temps, on a envisagé, sur un modèle de câble plus simple, de décrire les commandes de passerelle, vitesse du navire et vitesse de treuil, à l'aide d'un petit nombre de paramètres. Cette réduction de la dimension du contrôle dans le problème d'optimisation a permis d'accélérer sa convergence, et d'obtenir ainsi un ensemble de consignes de vitesses satisfaisantes, pour un temps de calcul raisonnable.

## 4 Actions industrielles

### 4.1 Estimation des perméabilités relatives dans des déplacements triphasiques en milieu poreux

*Participants* : G. Chavent, J. Jaffré, S. Jégou

La thèse de S. Jégou, dirigée par G. Chavent et J. Jaffré, fait l'objet d'une convention de recherche avec l'IFP. La collaboration s'effectue avec M. Kalaydjian, ingénieur d'IFP, qui apporte sa connaissance de la physique du problème et effectue les expériences fournissant les mesures nécessaires à la résolution du problème inverse.

### 4.2 Prospection pétrolière par méthodes sismiques

*Participants* : E. Bécache, G. Chavent, F. Clément, F. Collino, S. Gómez, P. Joly

Le Consortium "Prestack Structural Interpretation (PSI)", formé par l'IFP en collaboration avec l'INRIA se poursuit. Son objectif est de développer et d'améliorer les méthodes d'interprétation de données (sismiques entre autres) pour l'investigation du sous-sol. Ce consortium est financé par de nombreux sponsors (compagnies pétrolières françaises et étrangères, constructeurs informatiques, ...). E. Bécache, F. Collino et P. Joly ont travaillé sur des méthodes d'approximations paraxiales pour l'équation des ondes 3D (cf. paragraphe 3.2).

### 4.3 Électromagnétisme

*Participants* : J.-D. Benamou, G. Cohen, F. Collino, P. Joly, S. Badji, O. Vacus

- La convention de Recherche entre l'Inria et Dassault-Aviation, financée par le STPA, ayant pour objet l'étude des sujets schémas aux éléments finis et condensation de masse pour les équations de Maxwell (G. Cohen, P. Monk) d'une part, et la modélisation, l'analyse mathématique et numérique de matériaux ferromagnétiques non linéaires (P. Joly, O. Vacus) d'autre part, a été renouvelée.
- F. Collino et P. Joly ont poursuivi des travaux portant sur l'électromagnétisme dans le cadre de la convention de recherche avec

le centre de Gramat (CEG). Les thèmes de recherche sont les suivants.

- Introduction des nouvelles conditions absorbantes d'ordre élevé dans le code du CEG.
  - Étude mathématique des problèmes liés à la propagation sur des temps longs.
  - Analyse de la méthode de Mei (Measured Equation of Invariance).
  - Construction de Condition d'Impédance Adapté pour simuler l'effet d'un sol conducteur plan.
- Le Groupement Scientifique Maxwell a retenu le principe du financement d'un travail de recherche commun à l'INRIA et à l'Aérospatiale portant sur l'identification et l'optimisation des paramètres électromagnétiques des revêtements dispersifs.

#### 4.4 Exploration sous-marine

*Participants* : G. Chavent, N. Pichon

La thèse de N. Pichon sur le contrôle optimal d'un engin remorqué par un navire fait l'objet d'une convention avec Ifremer. Une autre convention avec Ifremer consacrée à l'imagerie haute résolution des fonds marins a pour objet l'encadrement de R.E. Plessix, thésard Ifremer.

## 5 Actions nationales et internationales

### 5.1 Visiteurs

Le projet a reçu la visite des chercheurs suivants :

- Vladimir Tcheverda, Centre de Calcul de la Section Sibérienne de l'Académie des Sciences, Russie (3 mois)
- Jean-Pierre Hennart, IIMAS-UNAM, Mexico, Mexique
- Karl Kunisch, Technische Universität Graz, Autriche
- Peter Monk, University of Delaware, Newark, Delaware, Etats-Unis
- William W. Symes, Rice University, Houston, Texas, Etats-Unis

- Li Ta-Tsien, Université de Fudan, Shanghai, Chine
- Alfredo Bermudez, Université de Santiago de Compostella, Espagne
- Susana Gómez, IIMAS-UNAM, Mexico, Mexique (3 mois)
- Claes Johnson, Chalmers University, Goteborg, Suède
- Jim Douglas Jr, Professeur à Purdue University, Indiana, Etats-Unis (1 mois)
- Jukka Tuomela, TKK, Helsinki, Finlande (1 mois)
- Kurt Marfurt, Amoco, Tulsa, Oklahoma
- John Norbury et Rob Douglas, Bracknell Meteorological Office, Grande-Bretagne.
- Stanislav Antonsev, Institut Laurentiev, Novossibirsk, Russie.
- Kaitai Li, Jiaotong University, Xi'an, R. P. Chine.
- Veerappa Gowda, Tata Institute, Bangalore, Inde.

## 5.2 Organisation de manifestations

*Participants* : E. Bécache, G. Chavent, G. Cohen, P. Joly, M. Kern, J. Roberts

G. Cohen et P. Joly ont organisé une “École des Ondes” dont le second volet s’est déroulé du 24 au 28 Janvier 1994 à l’INRIA-Rocquencourt. Le titre en était : “Méthodes numériques d’ordre élevé pour l’équation des ondes en milieu transitoire”. Devant une assistance d’une cinquantaine de personnes, M. Barbiéra, E. Bécache, G. Cohen, F. Collino, T. Devèze (Dassault-Electronique), P. Joly, Y. Maday (U. de Paris 6), P. Monk (U. of Delaware), E. Tadmor (U. de Tel-Aviv) et N. Tordjman ont exposé les derniers développements sur le sujet.

La troisième conférence Internationale sur les Aspects Mathématiques et Numériques des Phénomènes de Propagation d’Ondes aura lieu à Mandelieu La Napoule du 24 au 28 avril 1995 et est organisée par le projet IDENT. Plusieurs personnes de l’équipe prennent part à cette organisation : E. Bécache, G. Cohen, J. Roberts en tant que membres du comité d’organisation, G. Chavent et P. Joly en tant que membres du comité de programme. Plus d’une centaine de contributions ont été reçues ce qui constitue un gage quant au succès de cette manifestation.

Ch. Eisenbeis (Projet Chloé) et M. Kern ont organisé le 4<sup>e</sup> NEC INRIA Workshop à Rocquencourt, le 22 septembre. Cet atelier a réuni des chercheurs de l'INRIA et de NEC sur le thème du calcul parallèle. Une quarantaine de personnes, dont plus de la moitié d'extérieurs ont assisté à cette journée.

### 5.3 Invitations

*Participants* : J. Jaffré, J.E. Roberts

Dans le cadre d'un accord de coopération entre l'Inria et l'Université Fudan à Shanghai, J. Jaffré et Jean Roberts ont effectué un séjour de 3 semaines en Chine au cours duquel ils ont visité les universités Fudan à Shanghai, Jiaotong à Xi'an et Peking à Pékin.

### 5.4 Divers

*Participants* : J. Jaffré

J. Jaffré a été nommé membre du Conseil Scientifique de l'Andra, l'Agence Nationale pour la Gestion des Dechets Radioactifs.

## 6 Diffusion des résultats

### 6.1 Conférences

- C. Alboin, G. Chavent, F. Clément, V. Tcheverda, *Quantitative migration via calibration*, 4th Annual Meeting of the PSI Consortium, Pau, juillet 1994.
- E. Bécache, F. Collino, P. Joly, *Some new developments about paraxial approximations for the 3D wave equation*, 4th Annual Meeting of the PSI Consortium, Pau, juillet 1994.
- J.-D. Benamou, G. Chavent, F. Clément, S. Gómez, *Towards MBTT inversion of 2D complex structures: the Marmousi model*, 4th Annual Meeting of the PSI Consortium, Pau, juillet 1994.
- G. Chavent, F. Clément, S. Gómez, *The MBTT approach: a time formulation for the determination of 2D slowness backgrounds*, 19th General Assembly of the European Geophysical Society, Grenoble, 25–29 avril 1994.

- G. Chavent, F. Clément, S. Gómez, *MBTT inversion of 2D simple structures: the Synclay model*, 4th Annual Meeting of the PSI Consortium, Pau, juillet 1994.
- G. Chavent, F. Clément, S. Gómez, *Automatic determination of velocities via migration-based travelttime waveform inversion: a synthetic data example*, 64th Annual Meeting of the Society of Exploration Geophysicists, Los Angeles, États-Unis, 23–28 octobre 1994.
- G. Cohen, *Higher order methods for the wave equations*, Deuxième Colloque Franco-Latino-Américain sur les Méthodes Numériques dans l'Industrie Pétrolière, Cuenca, Equateur (19-21 Décembre 1994), conférence invitée.
- G. Cohen, *Fourth order finite difference schemes for the linear elastodynamics system*, 5th International Conference on Hyperbolic Problems, Theory, Numerics, Applications, Stony Brook, New York, Etats-Unis, (13-17 Juin 1994).
- G. Cohen, *Gauss point mass lumping schemes in electromagnetism*, Workshop on Finite Element Method for Maxwell Equations, Siena, Italie, (24-26 Mai 1994).
- F. Collino, P. Joly, *Splitting d'opérateurs, directions alternées et approximations paraxiales de l'équation des ondes 3D*, Congrès National d'Analyse Numérique, Les Karellis, (Mai 1994).
- F. Collino, P. Joly, *New absorbing boundary conditions for the finite element solution of 3D Maxwell's equations*, CEFC'94, Aix les Bains, (5-7 Juillet) Conférence invitée.
- Jean Duterte, P. Joly - *Ondes guidées par la perturbation géométrique locale du demi-espace élastique homogène*. - Cours INRIA: Ecoles des Ondes - Ondes Guidées et Résonances, Novembre 1993.
- J. Jaffré, *Mixed-hybrid finite elements and cell-centered finite volume methods for two-phase flow in porous media*, Workshop on Free Boundary Problems in Porous Media Flows, organisé dans le cadre du programme européen Mathematical Treatment of Free Boundary Problems, Delft, Les Pays-Bas, (20-22 Janvier 1994), conférence invitée.
- J. Jaffré, *Flux calculation for multiphase flow in porous media*, 5th International Conference on Hyperbolic Problems, Theory, Nume-

rics, Applications, Stony Brook, New York, Etats-Unis, (13-17 Juin 1994), conférence invitée.

- J. Jaffré, *A cell-centered finite volume method based on finite elements for two-phase flow in porous media*, Deuxième Colloque Franco-Latino-Américain sur les Méthodes Numériques dans l'Industrie Pétrolière, Cuenca, Equateur (19-21 Décembre 1994), conférence invitée.
- P. Joly, *Splitting of operators, alternate directions and paraxial approximations of the 3D wave equation*, Deuxième Colloque Franco-Latino-Américain sur les Méthodes Numériques dans l'Industrie Pétrolière, Cuenca, Equateur (19-21 Décembre 1994), conférence invitée.
- P. Joly, *On higher order triangular finite elements for 2D acoustic and elastic waves computations*, International Workshop on Computational Wave Propagation, IMA, Minneapolis (USA), (Septembre 1994).
- P. Joly, O. Vacus, *Numerical simulation of electromagnetic wave propagation in ferromagnetic materials - EUROEM*, Bordeaux, Juin 1994.
- M. Kern, *Calcul parallèle pour l'inversion sismique*, minisymposium "Calcul Parallèle", 26ème Congrès National d'Analyse Numérique, Les Karellis, France, Mai 1994.
- C. Poirier, *Analyse mathématique et numérique des guides d'ondes ouverts*, 26ième Congrès National d'Analyse Numérique, Les Karellis, France, Mai 1994.
- R. Versteeg, M. Gockenbach, M. Kern, W. W. Symes, *Task level parallelisation of a seismic inversion code using PVM*, 64th Annual Meeting of the Society of Exploration Geophysicists, Los Angeles, États-Unis, 23-28 octobre 1994.
- N. Tordjman, *Eléments finis triangulaires d'ordre élevé avec condensation de masse pour l'équation des ondes*, 26ème Congrès National d'Analyse Numérique, Les Karellis, France, Mai 1994.

## 6.2 Séminaires

- G. Chavent, Colloquium du Ceremade, Université Paris 9.
- G. Cohen, Séminaire Calcul Scientifique à l'INRIA-Rocquencourt.



- Jean Duterte, Groupe de travail, Université de Marseille - Mai 1994.
- J. Jaffré, séminaires dans les départements de mathématiques des universités Fudan à Shanghai, Jiatong à Xi'an et Peking à Pékin, Chine, Avril 1994.
- J. Jaffré, séminaire du département de mathématiques de l'Université de Clermont-Ferrand, Décembre 1994.
- P. Joly, séminaire à l'Université de Rennes et à l'INRIA.
- M. Kern, Groupe de travail "Méthodes Numériques" du Projet Menusin.
- C. Poirier, séminaires dans les laboratoires de mathématiques des Universités de Nantes, Avril 1994, de Versailles-St Quentin, Octobre 1994, de l'Université technologique de Compiègne, Mai 1994.
- J.E. Roberts, séminaires dans les départements de mathématiques des universités Fudan à Shanghai, Jiatong à Xi'an et Peking à Pékin, Chine, Avril 1994.

### 6.3 Actions d'enseignements

- E. Bécache assure un enseignement de Travaux Dirigés en deuxième année d'Ensta sur les équations hyperboliques non linéaires et sur la méthode des éléments finis.
- S. Jégou, dans le cadre de son poste de moniteur, assure un enseignement de Travaux Dirigés en Mathématiques, en licence de Mécanique à l'Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines.
- P. Joly est Maître de Conférence à l'Ecole Polytechnique au sein du Département de Mathématiques Appliquées.
- P. Joly, en collaboration avec A. S. Bonnet, donne un cours sur l'analyse mathématique et numérique de modèles de guides d'ondes aux élèves de troisième année de l'Ensta. Ce cours est commun aux DEA de Mécanique théorique et d'Analyse Numérique de l'Université Paris 6. J. Duterte en a assuré les travaux dirigés.
- P. Joly a donné un cours sur la propagation d'ondes en milieu stratifié au DEA d'Analyse Numérique de l'Université Paris VI.

- P. Joly a été conférencier à l'École d'Eté CEA-EDF-INRIA organisée par P. A. Raviart sur les équations de Maxwell.
- P. Joly a été conférencier à l'École d'Automne "Ondes et Matière" organisée par le CESTA (A. Bourgeade).
- P. Joly a donné un cours d'optimisation en première année d'IUP Mathématiques et Informatique à l'Université Paris IX Dauphine.
- P. Joly assure avec P. Trounev (Thomson/LCR) le cours "Méthodes mathématiques et numériques en propagation d'ondes" dans le DEA "Mathématiques Appliquées et Ingénierie Mathématique" de l'Université Paris 9 Dauphine.
- M. Kern est chargé de cours à l'école des Mines de Paris, pour les cours de Mathématiques 1<sup>ère</sup> année.
- C. Poirier, dans le cadre de son poste d'A.T.E.R., a assuré un enseignement de Travaux Dirigés en mathématiques, en D.E.U.G. première année à l'Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines. Elle est actuellement Maître de Conférences à l'Université de Versailles-Saint-Quentin.
- J.E. Roberts a donné un cours sur l'électromagnétisme au Collège de Polytechnique en Février 1994.

## 7 Bibliographie

### Thèses

- [1] C. POIRIER, *Guides d' Ondes Electromagnétiques: Analyse Mathématique et Numérique*, thèse de doctorat, Université de Nantes, 1994.
- [2] J. ZHANG, *Sensibilité et stabilité dans l'estimation des perméabilités relatives et de la pression capillaire à partir de mesures de laboratoire*, thèse de doctorat, Université Paris IX Dauphine, 1994.

### Articles et chapitres de livre

- [3] E. BÉCACHE, T. H. DUONG, «A Space-Time Variational Formulation for the Boundary Integral Equation in a 2D Elastic Crack Problem», *M2AN*, to appear.
- [4] J. BENAMOU, «A Domain decomposition method for the Polar Factorization of vector valued mappings», *SIAM J. on Numerical Analysis*, à paraître.

- [5] J. BENAMOU, «Domain Decomposition Methods with Coupled Transmission Conditions for the Optimal Control of Systems Governed by Elliptic partial Differential Equations», *SIAM J. on Numerical Analysis*, soumis.
- [6] J. BENAMOU, Y. BRENIER, «A Domain Decomposition Methods for the polar factorization of vector fields», *Contemporary Mathematics 157*, 1994, p. 231–236.
- [7] G. CHAVENT, «Generalized sentinels defined via least squares gradient of a data misfit function», *Journal of Applied Mathematics and Optimization*, to appear.
- [8] G. CHAVENT, F. CLÉMENT, «Quantitative migrations and resimulation techniques for waveform inversion via a Migration-Based Travel Time formulation», Soumis à publication.
- [9] G. CHAVENT, F. CLÉMENT, «Separating propagation and reflection parameters in the acoustic wave equation», Soumis à publication.
- [10] G. CHAVENT, K. KUNISCH, «On weakly nonlinear inverse problems», Soumis à SIAM Journal on Applied Mathematics, preprint rapport Ceremade 9422, Avril 94.
- [11] G. CHAVENT, K. KUNISCH, «Convergence of Tikhonov regularization for constrained ill-posed inverse problems», *Inverse Problems 10*, 1994, p. 63–76.
- [12] G. COHEN, P. JOLY, N. TORDJMAN, «Higher order finite elements with mass-lumping for the 1D equation», *Finite Elements in Analysis and Design*, 16, 1994, p. 329–336.
- [13] G. COHEN, P. MONK, «Gauss point mass lumping schemes in electromagnetism», *Compel*, 13a, 1994, p. 293–298.
- [14] F. COLLINO, P. JOLY, «New absorbing boundary conditions for the finite element solution of 3D Maxwell's equations», *IEEE Transaction on Magnetism*, à paraître.
- [15] F. COLLINO, P. JOLY, «Splitting of operators, alternate directions and paraxial approximations of the 3D wave equation», *SIAM Journal on Scientific Computing*, à paraître.
- [16] K. DGAYGUI, P. JOLY, «Absorbing boundary conditions for linear gravity waves», *SIAM J. on Numerical Analysis*, 1993, à paraître.
- [17] T. HA DUONG, P. JOLY, «A generalized image principle for absorbing boundary conditions», *Numerical Methods For PDE's 10*, 1994, p. 411–434.
- [18] T. HA DUONG, P. JOLY, «On the stability analysis of boundary conditions for the wave equation by energy methods - Part I : the homogeneous case», *Mathematics of Computation 26 N° 206*, 1994, p. 539–563.

- [19] J. JAFFRÉ, «Flux calculation at the interface between two rock types for two-phase flow in porous media», soumis à publication.
- [20] J. JAFFRÉ, C. JOHNSON, A. SZEPESSY, «Convergence of the discontinuous Galerkin finite element method for hyperbolic conservation laws», *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 1994.
- [21] P. JOLY, F. COLLINO, R. VEZINET, «Nouvelles conditions absorbantes d'ordre élevé pour les équations de Maxwell», *Revue Scientifique et technique de la Défense Bicentenaire ETCA*, 1994, p. 145–155.
- [22] P. JOLY, C. POIRIER, «Electromagnetic open wave guides : Mathematical Analysis», soumis à M2AN.
- [23] P. JOLY, C. POIRIER, J. E. ROBERTS, P. TROUVÉ, «A new non conforming finite element method for the computation of electromagnetic guided waves (I) Mathematical Analysis», *SIAM Journal on Numerical Analysis*, à paraître.
- [24] M. KERN, W. W. SYMES, «Inversion of Reflection Seismograms by differential Semblance Analysis: Algorithm Structure and Synthetic Examples», *Geophysical Prospecting* 42, 6, August 1994, p. 565–614.

### Communications à des congrès, colloques, etc.

- [25] J. BENAMOU, «A domain decomposition method for the optimal control of system governed by the Helmholtz equation», *in : Third international conference on mathematical and numerical wave propagation phenomena (Juan-les-Pins, France, april 95)*, SIAM (éd.), 95.
- [26] J. BENAMOU, «A massively parallel algorithm for the optimal control of systems governed by elliptic P.D.E.'s», *in : seventh SIAM conference on parallel processing for scientific computing (San Francisco, february 95)*, SIAM (éd.), 95.
- [27] G. CHAVENT, F. CLÉMENT, S. GÓMEZ, «Automatic determination of velocities via migration-based travelttime waveform inversion: a synthetic data example», *in : Expanded abstracts of the 64th Annual Meeting of the Society of Exploration Geophysicists*, SEG, 1994.
- [28] G. CHAVENT, F. CLÉMENT, S. GÓMEZ, «The MBTT approach: a time formulation for the determination of 2D slowness backgrounds», *in : Abstracts of the 19th General Assembly of the European Geophysical Society*, EGS, 1994.
- [29] G. CHAVENT, «Duality methods for waveform inversion», *in : Proc. of the Sven Fest Symposium Golden, Colorado, USA, March 1994*, March 1994. Submitted to *Geophysical Journal International*.

- [30] G. CHAVENT, «Strategies for the regularization of nonlinear least squares problems», *in: Proceedings of the SIAM-GAMM conf. on Inverse Problems in Diffusion Processes, St Wolfgang, Autriche*, July 1994.
- [31] J. JAFFRÉ, «Numerical calculation of the flux across an interface between two rock types of a porous medium for a two-phase flow», *in: Fifth International Conference on Hyperbolic Problems (HYP94), Stony Brook, New York (June 1994)*, J. Glimm (éd.), 1995.
- [32] J. ZHANG, G. CHAVENT, C. CHARDAIRE, «Estimation of mobilities and capillary pressure from centrifuge experiments», *in: Proceedings of ISIP 94, Paris*, p. 2-4, Novembre 1994.

### Rapports de recherche et publications internes

- [33] J.-D. BENAMOU, «Méthodes de Décomposition de Domaine avec Condition de Transmissions couplées pour le Contrôle Optimal de Systèmes Gouvernés par des Equations aux dérivées partielles Elliptiques», *rapport de recherche n° 2246*, INRIA, 1994.
- [34] G. CHAVENT, F. CLÉMENT, S. GÓMEZ, «*En route* to Waveform Inversion by MBTT Formulation: Optimization for One Shot and Gradient for Multiple Shots», *rapport de recherche n° 2150*, INRIA, janvier 1994.
- [35] L. CHORFI, «Calcul des modes guidés dans un milieu élastique à symétrie de révolution», *rapport de recherche n° 2152*, INRIA, Janvier 1994.
- [36] J. DUTERTE, P. JOLY, «Ondes guidées par la perturbation géométrique locale du demi-espace élastique homogène.», *rapport de recherche n° 2324*, INRIA, 1994.
- [37] P. J. E. N. T. G. COHEN, «Eléments finis d'ordre élevé avec condensation de masse pour l'équation des ondes en dimension 1», *rapport de recherche n° 2323*, INRIA, Août 1994.
- [38] P. JOLY, C. POIRIER, «Electromagnetic open waveguides: Mathematical analysis», *rapport de recherche n° 2300*, INRIA, 1994.
- [39] P. JOLY, O. VACUS, «Stabilité des conditions aux limites pour l'équation des ondes par des méthodes énergétiques : le cas des bords courbes», *rapport de recherche*, INRIA, 1994, à paraître.
- [40] P. JOLY, O. VACUS, «Stabilité des conditions limites absorbantes pour l'équation de Helmholtz», *rapport de recherche*, INRIA, 1994, à paraître.
- [41] M. KERN, R. VERSTEEG, W. W. SYMES, «Task Level Parallelization for Seismic Modeling and Inversion», *rapport de recherche n° 2366*, INRIA, Octobre 1994.

- [42] O. VACUS, «Singularités sur la frontière du domaine de calcul et conditions limites absorbantes : le problème du coin», *rapport de recherche*, INRIA, 1994, à paraître.

## Divers

- [43] C. ALBOIN, G. CHAVENT, F. CLÉMENT, V. TCHEVERDA, «Quantitative migration via calibration», Annual Report, PSI Consortium, IFP, Pau, France, 1994.
- [44] E. BÉCACHÉ, F. COLLINO, P. JOLY, «Some new developments about paraxial approximations for the 3D wave equation», Annual Report, PSI Consortium, IFP, Pau, France, 1994.
- [45] J.-D. BENAMOU, G. CHAVENT, F. CLÉMENT, S. GÓMEZ, «Towards MBTT inversion of 2D complex structures: the Marmousi model», Annual Report, PSI Consortium, IFP, Pau, France, 1994.
- [46] G. CHAVENT, F. CLÉMENT, S. GÓMEZ, «MBTT inversion of 2D simple structures: the Synclay model», Annual Report, PSI Consortium, IFP, Pau, France, 1994.

## 8 Abstract

Ident stands for “Parameter Estimation and Industrial Applications”. Our main activity has traditionally been centered on the quest for efficient numerical methods for the simulation of partial differential equations modeling industrial or physical processes, and then the determination of their parameters from measurements.

Our highly skilled research team is able to use, and adapt the most modern tools and techniques, and to develop new ones, when need be. Our work covers modeling, studying mathematical properties of an equation, choosing and designing a numerical method, and finally building a model software to test those ideas.

We benefit from ties with industry, which provides problems and benefits from our solutions, and with other research centers and universities, both nationally and internationally.

This year’s highlights include:

- Nonlinear hyperbolic equations: in addition to their use for flows in porous media, they have been employed for computing travel times for seismic waves, by solving the Eikonal equation.

- Acoustic and elastic waves: our efforts have borne essentially on the development of high order explicit methods for the wave equation based on *finite elements*, on developing accurate methods for seismic migration based operator splitting, and on modeling topographic wave guides using boundary integral equations.
- Maxwell's equations: we have continued working on absorbing boundary conditions, electromagnetic wave guides, analyzing dispersion properties of mixed finite elements for electromagnetic wave propagation, and have initiated new research directions in wave propagation in ferromagnetic materials, and the use of fictitious domain methods.
- Inverse problems: seismic inversion continues to be a strong research direction, both on the theoretical and on the numerical side (duality theory seems to offer opportunities for significant implementation simplifications, as well as new theoretical research directions). New directions regard the identification of relative permeabilities in triphasic media, and of electromagnetic properties of a layered material. Somewhat related is the use of domain decomposition methods for the optimal control of elliptic partial differential equations.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Composition de l'équipe</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Présentation du projet</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Actions de recherche</b>	<b>3</b>
3.1	Méthodes numériques pour les équations hyperboliques non-linéaires . . . . .	3
3.2	Équations des ondes et de l'élastodynamique . . . . .	4
3.3	Guides d'ondes élastiques . . . . .	9
3.4	Équations de Maxwell . . . . .	9
3.5	Estimations de paramètres et problèmes inverses . . . . .	13
3.6	Contrôle optimal . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Actions industrielles</b>	<b>17</b>
4.1	Estimation des perméabilités relatives dans des déplacements triphasiques en milieu poreux . . . . .	17
4.2	Prospection pétrolière par méthodes sismiques . . . . .	17
4.3	Électromagnétisme . . . . .	17
4.4	Exploration sous-marine . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Actions nationales et internationales</b>	<b>18</b>
5.1	Visiteurs . . . . .	18
5.2	Organisation de manifestations . . . . .	19
5.3	Invitations . . . . .	20
5.4	Divers . . . . .	20
<b>6</b>	<b>Diffusion des résultats</b>	<b>20</b>
6.1	Conférences . . . . .	20
6.2	Séminaires . . . . .	22
6.3	Actions d'enseignements . . . . .	23



Programme 6

PROJET IDENT

<b>7 Bibliographie</b>	<b>24</b>
<b>8 Abstract</b>	<b>28</b>