

---

# Avant-Projet ESTIME

## Estimation de paramètres et modélisation en milieu hétérogène

---

**Localisation :** *Rocquencourt*

**Mots-clés :** problème inverse, sismique, écoulement en milieu poreux, hydrogéologie, neutronique, décomposition de domaines, éléments finis, volumes finis.

### 1 Composition de l'équipe

#### Responsable scientifique

Jérôme Jaffré, Directeur de Recherche

#### Secrétaire

Muriel De Bianchi, , en commun avec Air, Ondes et Oscar

#### Personnels INRIA

François Clément, Chargé de Recherche

Michel Kern, Chargé de Recherche

#### Conseiller Scientifique

Guy Chavent, Professeur, Université Paris 9

#### Chercheur invité

Jean-Pierre Hennart, professeur à IIMAS-UNAM, Mexico, Mexique

#### Chercheurs doctorants

Clarisse Alboin, boursière Inria, Université Paris 9

Benoît Lavaud, boursier MESR, Université Paris 9

Sophie Jégou, boursier MESR, Université Paris 9

Katia Pinchedez, boursière Inria, Université Paris 11

René Edouard Plessix, boursier Ifremer, Université Paris 9

Xuewen Wang, boursier Inria, Université Paris 11, depuis le 1er Octobre

#### Stagiaires

Olivier Anthore, stagiaire DESS Université Paris 6

Eric Daveau, stagiaire DESS Université Paris 6

Guillaume Vigo, stagiaire DEA, Université Paris 9

Xuewen Wang, stagiaire DEA, Université Paris 11

## 2 Présentation du projet

La modélisation numérique des milieux hétérogènes nécessite la mise en oeuvre d'un certain nombre de méthodes spécifiques.

Le premier exemple d'un tel milieu est le sous-sol. D'une part, on cherche à réaliser des images de sa structure par des méthodes sismiques ou électromagnétiques ; ces problèmes sont par essence des problèmes d'estimation de paramètres. D'autre part, on modélise numériquement divers types d'écoulements en milieu poreux : transport de contaminants pour les problèmes d'environnement, ou déplacements d'hydrocarbures pour l'ingénierie pétrolière.

Le coeur d'un réacteur nucléaire est un autre exemple de milieu hétérogène. Dans ce cas, on étudie son comportement neutronique.

Le but de l'avant-projet Estime est de contribuer à la mise au point de méthodes numériques efficaces permettant de résoudre les problèmes d'estimation de paramètres et de modélisation mentionnés ci-dessus.

Les travaux de l'équipe sont centrés sur 3 domaines d'applications:

- la modélisation numérique des écoulements de fluides en milieu poreux,
- l'inversion sismique,
- la modélisation numérique en neutronique.

La plupart de ces applications nécessitent de grandes ressources de calcul, et fournissent des exemples naturels pour utiliser le calcul parallèle. Le projet s'intéresse donc aux aspects algorithmiques (décomposition de domaines), ainsi qu'à la mise en oeuvre effective de ces méthodes sur divers calculateurs parallèles.

## 3 Actions de recherche

### 3.1 Modélisation d'écoulements en milieu poreux

*Participants* : Clarisse Alboin, Jérôme Jaffré, Jean-Elizabeth Roberts, Xuewen Wang

Dans le cadre d'une convention sur la modélisation du transport des radionucléides autour d'un site de stockage profond, le cadre numérique du problème a été défini : discrétisation de la structure géologique du sous-sol en cubes grossiers déformés, raffinement régulier de ces cubes, et découpages en tétraèdres des petits cubes obtenus, approximation utilisant des méthodes de volumes finis centrés sur les mailles basées sur les éléments finis mixtes, décomposition de domaines avec ou sans éléments joints. Pour la partie mailleur on utilisera un programme développé par le consortium PICS dont les objectifs sont la réhabilitation des sols et des eaux souterraines et dont le coordinateur est le Professeur R.E. Ewing de Texas A&M University. L'implémentation numérique tridimensionnelle a commencé par la résolution de l'équation régissant l'écoulement des eaux.

Par ailleurs le problème de la modélisation numérique des écoulements diphasiques en présence de types de roche différents a été abordé aussi sous l'angle de la décomposition de domaines.

Ces travaux font l'objet des thèses de C. Alboin et de X. Wang, et se font avec l'aide de J. Roberts du projet Ondes.

### 3.2 Estimation des perméabilités relatives dans les écoulements en milieu poreux

*Participants* : Guy Chavent, Eric Daveau, Jérôme Jaffré, Sophie Jégou

### 3.2.1 Ecoulements triphasiques avec mesures locales de saturation

Dans le cadre de sa troisième année de thèse, outre la rédaction de son manuscrit, S. Jégou a poursuivi l'étude du problème de l'estimation des perméabilités relatives dans des expériences de déplacements triphasiques en milieu poreux. Quatre thèmes ont été abordés :

- Grâce à l'optimisation des codes issus du générateur automatique, GRADJ, la durée de l'inversion de données synthétiques a pu être considérablement diminuée.
- Dans l'objectif d'inverser des données réelles fournies par l'IFP, plusieurs expériences (et donc plusieurs jeux de mesures) doivent être prises en considération. Le code est en cours de développement.
- Des tests numériques de calcul d'indicateurs de raffinements ont été menés.
- En collaboration avec J.C. Gilbert du projet Promath, une méthode de points intérieurs adaptée à ce problème inverse a été étudiée et devrait faire l'objet de tests numériques.

### 3.2.2 Ecoulements diphasiques avec mesures locales de pression

Dans le cadre de son stage de DESS et d'un contrat avec l'Institut Français du Pétrole, E. Daveau a étudié la possibilité de prendre en compte comme observation des mesures de pression le long des échantillons de milieu poreux sur lesquels les expériences de déplacement sont effectuées. Ceci a entraîné des modifications dans le programme Fisole que l'INRIA et l'IFP avaient développé ensemble. Les expériences numériques réalisées montrent qu'il est beaucoup plus difficile d'estimer les perméabilités relatives à partir de ces mesures de pression qu'à partir de mesures de saturation.

## 3.3 Inversion sismique

*Participants* : Guy Chavent, François Clément, Benoît Lavaud, René Edouard Plessix, Vladimir Tcheverda

L'inversion sismique est l'un des sujets de recherche abordés dans le cadre du Consortium SIGMA avec l'Ifremer, cf. 4.4.1. G. Chavent et F. Clément ont développé à l'Inria une méthode de reformulation en temps de parcours par migration (MBTT) du problème de l'estimation de l'image représentant la réflectivité du sous-sol. En rendant la fonction objectif bien plus régulière par rapport à l'inconnue de propagation (pas de minima locaux), cette méthode autorise l'utilisation de méthodes de gradient pour la recherche de la vitesse optimale qui permet d'expliquer les données sismiques, et donc d'estimer l'image de réflectivité.

- R.-E. Plessix a soutenu le 3/10/96 une thèse cofinancée par l'Inria et Ifremer (Brest) sur l'application de la méthode MBTT à l'inversion des données très haute résolution utilisées en géotechnique. Ce travail a montré que l'approche MBTT permettait une détermination directe de divers paramètres cinématiques (mouvement des sources et des capteurs, distribution de vitesse dans le sous-sol) par minimisation de la fonction coût des moindres carrés.

Des données réelles ont ainsi pu être traitées d'une façon pratiquement automatique. Le logiciel correspondant sera mis à la disposition des sponsors du consortium Sigma 4.4.1 à la fin de 1996.

- F. Clément a repris l'écriture de son code d'inversion sismique reposant sur la méthode MBTT mais pour une modélisation acoustique simplifiée où la densité est supposée connue et régulière, et où la vitesse de propagation reste donc le seul paramètre à identifier. La simplification de la mise en œuvre a rendu possible l'emploi de conditions aux limites absorbantes jusqu'au calcul du gradient de la fonctionnelle des moindres carrés à minimiser, ce qui a réduit notablement les temps de calcul ; elle a également permis d'améliorer l'implémentation de l'étape de migration quantitative, en particulier par un calcul du pas optimal dans la direction de descente

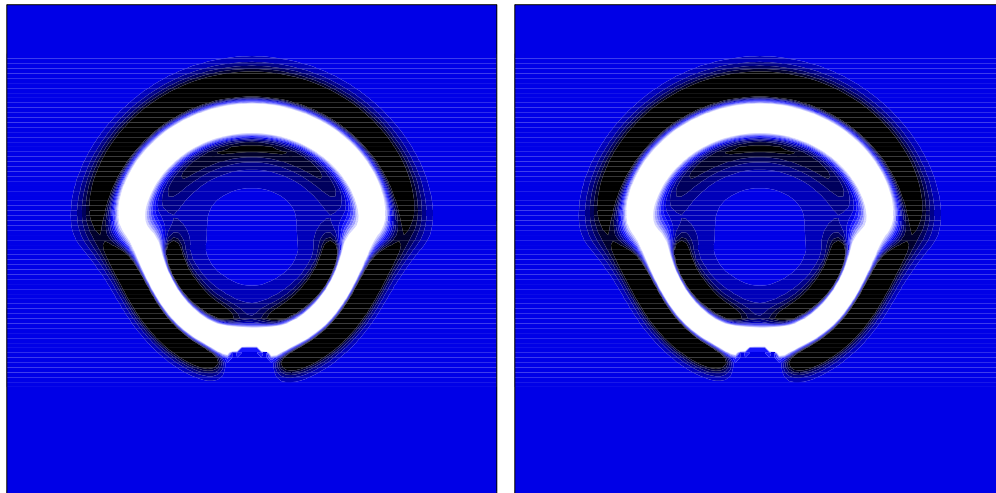
correspondante. Mais aussi d'un point de vue didactique, cette simplification devrait faciliter la compréhension des mécanismes des différentes étapes de la méthode.

Cette version du code sera utilisée pour évaluer le potentiel de la méthode quant à l'élimination des réflexions multiples dues à l'eau en acquisition sous-marine, d'abord sur des données synthétiques puis sur des données réelles.

- B. Lavaud a poursuivi sa thèse sur la prise en compte des difficultés liées à la complexité des structures géologiques sous la direction de G. Chavent et F. Clément. La nécessité de pouvoir traiter de nombreux tirs sismiques a orienté les travaux vers le choix d'une modélisation par approximation paraxiale de l'équation des ondes acoustiques. Cette partie a été réalisée en collaboration avec F. Collino (projet ONDES). Le schéma numérique, défini en fréquence, intègre l'emploi de couches absorbantes sur les bords latéraux ainsi que l'utilisation de coefficients de Padé complexes pour l'élimination des modes évanescents. Une attention toute particulière a été portée à la restitution des temps d'arrivées mais aussi des amplitudes du signal enregistré en surface. Ainsi, des expériences numériques ont permis de quantifier l'erreur due, d'une part à la linéarisation de l'équation des ondes (par approximation de Born), et d'autre part à l'approximation paraxiale. Ces travaux ont donné lieu à une publication, *cf.* [419], et le code de simulation 2D correspondant sera donné aux sponsors du Consortium Sigma.
- La collaboration avec l'équipe de V. Tcheverda (Novossibirsk, Russie) sur le problème inverse sismique dans le cadre de l'Institut Lyapounov s'est poursuivie. Les travaux ont porté cette année sur une comparaison numérique de la décomposition propagateur/réflexivité reposant sur une analyse multiéchelle de la vitesse de propagation développée à l'Inria et la décomposition en valeurs singulières de la dérivée de Fréchet de l'opérateur de modélisation dans le cas de l'équation des ondes acoustiques. Ces deux approches (l'une empirique, l'autre plus théorique) se sont avérées concordantes dans le cas d'un milieu synthétique [423].

### 3.4 Imagerie du proche sous-sol par radar géologique

*Participants* : Michel Kern, Guillaume Vigo



(a)  $T=6\text{ns}$ , le champ atteint le tuyau

(b)  $T=9\text{ns}$ , Diffractions par le tuyau et la surface

Figure 1: Instantanés du champ électrique dans un milieu contenant un tuyau

Il s'agit là d'une application nouvelle pour l'équipe, en collaboration avec le centre de Recherche de Gaz de France. Il s'agit de retrouver la structure du proche sous-sol (quelques mètres de profondeur) à partir de mesures fournies par un radar, appelé radar géologique. Mathématiquement, il s'agit donc d'un problème inverse pour les équations de Maxwell. Lors de son stage de DEA sous la direction de M. Kern, G. Vigo a abordé l'aspect modélisation. Il a réalisé un code de simulation pour le système TM (donc en 2D), en milieu conducteur. Ce code prend en compte une géométrie stratifiée contenant des hétérogénéités (les tuyaux). Il intègre également des conditions aux limites absorbantes d'ordre élevé, qui ont été fournies par F. Collino (projet Ondes). Nous présentons sur la figure 1 un résultat de simulation obtenu dans un domaine composé du sous-sol homogène contenant un tuyau et recouvert d'air.

Dans une seconde partie de son travail, G. Vigo s'est intéressé au calcul du gradient de la fonctionnelle des moindres carrés. Ceci fournit une image du sous-sol, et sera, de toutes façons, nécessaire pour aborder le problème inverse. Aux difficultés inhérentes à ce genre de calcul (calculs pénibles, vérifications difficiles) s'ajoute ici le caractère non réversible en temps, dû à la prise en compte de la conductivité. Il s'agit de trouver un compromis entre place mémoire et temps de calcul. Un algorithme optimal a été proposé par Griewank et implémenté dans le code de G. Vigo. Cet algorithme conduit à une réduction notable du temps nécessaire au calcul du gradient.

### 3.5 Méthodes numériques pour la neutronique

*Participants* : Jean-Pierre Hennart, Jérôme Jaffré, Michel Kern, Katia Pinchedez, Jean-Elizabeth Roberts

#### 3.5.1 Méthodes numériques parallèles

Dans un réacteur en régime critique, l'évolution de la population neutronique est décrite par un problème elliptique aux valeurs propres non symétrique.

Actuellement, un code MINOS, développé au CEA/SERMA, traite des approximations de la diffusion et Pn-simplifiées du transport. Il s'appuie sur une méthode d'itérations internes de Gauss-Seidel par blocs selon les trois directions de l'espace. Le passage d'une direction à l'autre impose une permutation de matrices.

La parallélisation de MINOS, effectuée par K. Pinchedez dans le cadre de sa thèse, est achevée. Les expérimentations numériques ont eu lieu sur le Cray T3D du CEA, une machine MPP à mémoire physiquement distribuée avec 128 processeurs. Deux bibliothèques de communications, PVM et MPI, ont successivement été employées.

#### 3.5.2 Méthodes nodales

Concernant les équations du transport de neutrons en géométrie X-Y et en ordonnées discrètes, J.-P. Hennart et son collègue de l'IIMAS, E. del Valle, ont introduit deux nouvelles classes de méthodes nodales, faiblement et fortement discontinues. Ces méthodes sont ensuite utilisées pour l'approximation de la solution d'un problème de référence bien connu de la littérature d'ingénierie nucléaire et les résultats obtenus ont été comparés à ceux obtenus par des méthodes nodales classiques récentes.

J.-P. Hennart et E. del Valle ont aussi étudié les relations entre méthodes de différences finies et méthodes nodales. Après avoir montré que le schéma en différences finies centré classique à cinq points peut être obtenu à partir d'un élément fini nodal de bas ordre en utilisant des formules de quadrature numériques non standard, ils ont développé des schémas à cinq blocs d'ordre plus élevé avec des quadratures numériques non standard, combinées avec la procédure d'intégration transversale. Des expériences numériques avec des mailles uniformes ou pas et différents types de conditions à la frontière, confirment les prédictions théoriques en normes continues et discrètes.

Enfin J.-P. Hennart, J. Jaffré et J.E. Roberts, du projet Ondes, ont construit, pour le problème de la diffusion neutronique en géométrie hexagonale, un élément fini nodal basé sur un élément fini mixte.

### 3.6 Méthodes numériques parallèles pour la propagation d'ondes

*Participants* : Olivier Anthore, Michel Kern

A la suite des travaux de G. Cohen et P. Joly (projet Ondes), nous nous sommes intéressés aux méthodes d'éléments finis d'ordre élevés pour la simulation des phénomènes d'ondes, dans le contexte de la décomposition de domaine. Dans la mesure où ces éléments finis ont été conçus pour conduire à des schémas explicites, il s'agit là d'une idée naturelle et assez simple à mettre en œuvre. Nous avons mené trois actions sur ce sujet:

**élastodynamique** : Pour son stage de DESS, Olivier Anthore a repris le code écrit par C. Tsogka qui traite la propagation d'ondes élastiques dans un milieu invariant par translation selon une direction et l'a réimplémenté en parallèle avec MPI.

**acoustique** : M. Kern a poursuivi le travail débuté par S. Mbouayouéou sur les ondes acoustiques. Il s'agit d'un code 2D, utilisant MPI pour les communications. Le code a été essentiellement réécrit, et plusieurs cas tests montrent son bon comportement, et des performances correctes sur un nombre limité de processeurs. Le code a tourné sur le CRAY T3D du CEA/CENG (Grenoble), sur l'IBM SP/2 du CNUSC (Montpellier) et sur le SGI Power Challenge Array du Centre Charles Hermite (Nancy).

**éléments finis en 3D** : Le parallélisme ne prend réellement son sens que pour les modèles 3D. La recherche de nouveaux éléments sur un tétraèdre a fait l'objet du stage de F. Hannoyer. Ces travaux sont décrits dans le rapport d'activité du projet Ondes.

## 4 Actions industrielles

### 4.1 Modélisation du transport des radionucléides autour d'un site de stockage profond

*Participants* : Clarisse Alboin, Jérôme Jaffré, Jean-Elizabeth Roberts, Xuewen Wang

Une convention de recherche entre l'IPSN (Institut de Protection et de Sureté Nucléaire) soutient les activités dans ce domaine, et en particulier la thèse de C. Alboin. Ces travaux sont décrits au paragraphe 3.1.

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

*Participants* : Guy Chavent, Jérôme Jaffré, Sophie Jégou

La convention de recherche entre l'INRIA et l'IFP portant sur l'estimation des perméabilités relatives dans des déplacements triphasiques en milieu poreux a été renouvelée et s'achève à la fin de cette année (cf. paragraphe 3.2.1)..

### 4.3 Estimation des perméabilités relatives dans des déplacements diphasiques en milieu poreux à partir de mesures locales de pression

*Participants* : Jérôme Jaffré, Eric Daveau

Une convention de recherche entre l'INRIA et l'IFP a soutenu cette activité (cf. paragraphe 3.2.2).

## 4.4 Prospection pétrolière par méthodes sismiques

*Participants* : Guy Chavent, François Clément, Benoît Lavaud

### 4.4.1 Le consortium Sigma

L'Inria (Estime et Ondes) et l'Ifremer (Brest) ont lancé un nouveau consortium appelé "Seismic Inversion, Geophysical Modeling and Applications" (SIGMA). Son double objectif est, d'une part, le développement d'algorithmes d'inversion automatique de données sismiques reposant sur les techniques de modélisation disponibles aujourd'hui, et d'autre part, le développement de modélisations plus précises et/ou plus efficaces. Deux sponsors ont déjà donné leur accord de principe : Amoco et Shell. Un effort important est fourni pour élargir le consortium à d'autres sponsors.

### 4.4.2 Bourse postdoctorale chez Amoco

La société pétrolière Amoco (Tulsa, Oklahoma, Etats-Unis) collabore avec notre projet sur les problèmes d'inversion sismique. Bertrand Duquet y effectue son stage postdoctoral.

## 4.5 Exploration sous-marine

*Participants* : Guy Chavent, René Edouard Plessix

Une convention de recherche entre l'INRIA et IFREMER a soutenu les activités de sismique sous-marine et a permis de mener à bien la thèse de R.-E. Plessix qu'il a soutenue en Octobre.

## 4.6 Imagerie du proche sous-sol par méthodes électromagnétiques

*Participants* : Michel Kern, Guillaume Vigo

G. Vigo a effectué son stage de DEA au centre de Recherche de Gaz de France, en détachement dans notre projet. Le code OSIRIS qu'il a écrit sera utilisé par Gaz de France pour la détection de tuyaux enterrés. Une convention portant sur une première approche du problème inverse devrait suivre ces travaux.

## 4.7 Calcul parallèle pour les équations de diffusion et de transport homogènes en neutronique

*Participants* : Jérôme Jaffré, Michel Kern, Katia Pinchedez

La thèse de K. Pinchedez fait l'objet d'une convention avec le CEA. J.J. Lautard assure l'encadrement au CEA et apporte l'expérience de l'équipe CRONOS sur le code MINOS et les problèmes de neutronique.

# 5 Actions nationales et internationales

## 5.1 visiteurs

Les chercheurs suivants ont séjourné au sein du projet Estime :

- Professeur F. Dickstein, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brésil
- Professeur J. Douglas, Purdue university, Indiana, Etats-Unis
- Professeur J. Glimm, University at Stony Brook, New York, Etats-Unis
- Professeur R.E. Ewing, Texas A&M University, Texas, Etats-Unis
- Professeur V. Isakov, Wichita State university, Kansas, Etats-Unis

- Professeur K. Kunisch, Technische Universitat, Berlin, Allemagne
- Professeur E. Mund, Université Libre de Bruxelles, Belgique
- Professeur T. Russell, University of Colorado at Denver, Etats-Unis
- S. Treitel, Consultant, Oklahoma, Etats-Unis

## 5.2 Invitations, coopérations

- G. Chavent a été invité à la Technische Universitat, Berlin (Allemagne), par le Professeur K. Kunisch (13-21 Janvier 96).
- M. Kern a participé au «Workshop on Object-Oriented Numerics and Reproducible Research in Computational Geophysics» organisé par J. Claerbout et W. Symes à l'Université de Stanford.
- J. Jaffré a été invité par le Professeur T.F. Russell à University of Colorado at Denver (USA), par le Professeur J. Douglas, Jr. à Purdue University (West Lafayette, IN, USA) et par le Professeur R. Sharpley à University of South Carolina (Columbia, SC, USA), pendant le mois d'Août 1996.
- J. Jaffré est responsable d'un accord CMCU entre l'INRIA et l'Ecole Polytechnique de Tunisie sur le Calcul Scientifique.
- Estime participe au PRH "Les modèles hydrologiques spatialisés : identification de paramètres par approche inverse", animé par P. Ackerer et R. Mosé de l'Institut de Mécanique des Fluides (Université Louis Pasteur et URA CNRS 854 à Strasbourg).
- Estime participe au projet IFARE (Institut Franco-Allemand de Recherche en Environnement) "Pollution de captages d'eau potable dans la nappe – Modélisation et prévention active".

## 6 Diffusion des résultats

### 6.1 Actions d'enseignement

- G. Chavent a donné un cours sur les Problèmes Inverses dans le cycle Post-Gradué du Pôle Universitaire Léonard de Vinci. M. Kern était son assistant.
- J. Jaffré a donné un cours intitulé "Méthodes de sous-espaces pour la résolution de grands systèmes d'équations" dans le cadre du DESS de Mathématiques de la Décision de l'Université Paris-Dauphine.
- S. Jégou était monitrice à l'Université de Versailles Saint-Quentin pour l'année universitaire 1995/96.
- M. Kern est chargé de cours à l'École des Mines de Paris, pour les cours de Mathématiques 1<sup>re</sup> année.
- M. Kern a donné une partie du cours "Modèles de propagation d'ondes" du cycle Post-Gradué du Pôle Universitaire Léonard de Vinci (avec P. Joly et Pascal Trouvé).

### 6.2 Participations à des conférences et colloques

- G. Chavent, *Identification de paramètres par approche inverse*, Atelier PRH Hydrologie Modélisation de la Dynamique de l'Eau en Hydrologie, Strasbourg (23-24 Mai).
- G. Chavent, *About the implementation and parametrization of inverse problems for flow through porous media*, Workshop on Inverse Problems in Reservoir Evaluation, Trondheim, Norvège, (28-30 Mai).



- G. Chavent, *Determination of kinematic parameters of VHR marine seismic data via migration-based travelttime least-squares inversion*, Workshop on Seismic Inversion, Rijswijk, Les Pays-Bas, (10-11 juin).
- G. Chavent, AMS-IMS-SIAM Conference on Optimization Methods in PDE's, South-Hadley, Etats-Unis (16-20 Juin), conférence invitée.
- G. Chavent, *Estimation of two and three-phase relative permeabilities from laboratory experiments: a least squares implementation with parametrization refinement indicators*, 9th Conference of the European Consortium for Mathematics in Industry, ECMI'96, Copenhagen, Danemark (25-29 Juin), selected speaker.
- G. Chavent, *Using convex duality to invert reflection seismic data*, Groupe "Problèmes Inverses" de l'Observatoire Français des Techniques Avancées, Paris (19 Septembre).
- G. Chavent, *Les méthodologies clefs en calcul scientifique*, Séminaire Bilatéral Franco-Autrichien, Luiz, Autriche (7 Octobre).
- F. Clément, *Separation of propagator and reflectivity unknowns in the acoustic wave equation*, Workshop on Seismic Inversion, Rijswijk, Les Pays-Bas (10-11 juin).
- Y.-H. De Roeck, R.-E. Plessix and G. Chavent, *Extended use of the migration based travel time approach for inversion of very high resolution seismics*, 66th SEG International Exposition and Annual Meeting, Denver, Etats-Unis (12 Novembre).
- S. Jégou, *A Symbolic Code Generator*, Workshop on Computational Differentiation, Santa-Fe, New-Mexico, États-Unis (12-15 février).
- S. Jégou, *Estimation des perméabilités relatives dans des expériences de déplacements triphasiques en milieu poreux*, Congrès National d'Analyse Numérique, La Londe-Les Maures, France (28-31 mai).
- S. Jégou, *Parameter estimation in multiphase flow*, IFARE Workshop, Strasbourg (26-27 Juin).
- S. Jégou, *Using Maple for Symbolic Differentiation to Solve Inverse Problems*, Workshop on Modern Software Tools for Scientific Computing, Oslo, Norvège (16-18 septembre).
- M. Kern, *Parallel finite element solution of the wave equation*, MPI Developpers and Users Group Conference, Notre-Dame University, États-Unis, (1-2 juillet).
- M. Kern, *Parallel finite element solution of the wave equation*, ECCOMAS, Paris, (9-13 septembre).
- J. Jaffré, *Generalized finite volume methods for two-phase flow in porous media*, Oberwolfach Conference on Porous Media, Oberwolach, Allemagne (25 février-2 mars).
- J. Jaffré, *Generalized cell-centered finite volume methods*, CESA'96 IMACS Multiconference, Symposium on Modelling, Analysis and Simulation, Minisymposium Mixed, Hybrid and Nodal Methods for Transport Problems, Lille (9-12 Juillet).
- R.-E. Plessix, Y.-H. De Roeck et G. Chavent, *A way to estimate immersion in marine seismic*, Conference ECCOMAS, Paris (9-12 Septembre).

### 6.3 Organisation de colloques et de cours

- G. Chavent était co-Président de la Conférence sur les Problèmes de Diffraction d'Ondes, Aix-les-Bains, 23-27 Septembre.

- J. Jaffré a été membre du comité d'organisation de la conférence ICAOS'96, Images, Wavelets and PDEs, Paris, 26-28 Juin 1996.
- J. Jaffré a été membre du comité d'organisation de la 9ième Conference of the European Consortium for Mathematics in Industry conférence ECMI'96, Copenhagen, 25-29 Juin pour les sessions "Mathematics for the Oil Industry".

## 7 Publications

### Livres et monographies

- [405] M.-O. BERGER, R. DERICHE, I. HERLIN, J. JAFFRÉ, J.-M. MOREL (réd.), *ICAOS'96 : Images, Wavelets and PDEs, Lecture Notes in Control and Information Sciences*. INRIA et CEREMADE, Springer, 1996.
- [406] G. CHAVENT, G. PAPANICOLAOU, P. SACKS, W. SYMES (réd.), *Inverse Problems in Wave Propagation, IMA Volumes in Mathematics and its Applications*. IMA, Springer-Verlag, 1996.

### Thèses

- [407] R. E. PLESSIX, *Détermination de la vitesse pour l'interprétation de données sismiques très haute résolution à l'échelle géotechnique*, thèse de doctorat, Université Paris 9, 1996.

### Articles et chapitres de livre

- [408] G. CHAVENT, K. KUNISCH, «State space regularization: geometric theory», *Applied Mathematics and Optimization*, 1996, à paraître.

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

- [409] G. CHAVENT, J. JAFFRÉ, S. JÉGOU, J. LIU, «A Symbolic Code Generator», in : *Proceedings of the Second International Workshop on Computational Differentiation*, Février 1996.
- [410] J. JAFFRÉ, «Numerical calculation of the flux across an interface between two rock types of a porous medium for a two-phase flow», in : *Hyperbolic Problems: Theory, Numerics, Applications*, J. Glimm, M. Graham, J. Grove, B. Plohr (réd.), World Scientific, Singapore, p. 165–177, 1996.
- [411] M. KERN, «Parallel Solution of the Wave Equation using Higher Order Finite Elements», in : *Proceedings of the Second MPI Developer's Conference*, IEEE, Juillet 1996.
- [412] R.-E. PLESSIX, Y.-H. D. ROECK, G. CHAVENT, «A way to estimate immersion in marine seismic», in : *Numerical Methods in Engineering*, J.-A. Désidéri, P. L. Tallec, E. Onate, J. Périaux, E. Stein (réd.), John Wiley, p. 677–682, 1996.
- [413] Y. D. ROECK, R. PLESSIX, G. CHAVENT, «Extended use of migration based travel time approach for inversion of very high resolution seismics», in : *Proceedings of the Fall Meeting of the society of Exploration Geophysic*, Denver, (Colorado), November 1996.

### Rapports de recherche et publications internes

- [414] G. CHAVENT, F. CLÉMENT, S. GÓMEZ, «Mise en œuvre de la méthode MBTT pour un modèle acoustique par différences finies», *Rapport de recherche n°2860*, Inria, 1996.
- [415] G. CHAVENT, J. JAFFRÉ, J. ZHANG, «Linear and nonlinear stability analysis in estimating parameters for two-phase flow in porous media», *rapport de recherche*, Inria, 1996.

- [416] G. CHAVENT, K. KUNISCH, J. ROBERTS, «Primal-dual formulations for Parameter Estimation Problems», *Rapport de recherche n°2891*, Inria, 1996, Soumis à publication.
- [417] G. CHAVENT, R.-E. PLESSIX, «A time-domain derivation of optimal and suboptimal Kirchoff quantitative migrations via a least-squares approach», *Rapport de recherche n°2967*, Inria, 1996, Soumis à publication.
- [418] G. CHAVENT, «Duality Methods for Waveform Inversion», *Rapport de recherche n°2975*, Inria, 1996, Soumis à publication.
- [419] F. COLLINO, B. LAVAUD, «Peut-on obtenir des amplitudes correctes avec les équations paraxiales ?», *rapport de recherche n°3004*, Inria, Octobre 1996.
- [420] J.-P. HENNART, E. DEL VALLE, «Mesh-Centered Finite Differences from Nodal Finite Elements», *rapport de recherche n°2979*, Inria, Août 1996.
- [421] J.-P. HENNART, E. DEL VALLE, «On Nodal Transport Methods», *rapport de recherche n°2947*, Inria, Juillet 1996.
- [422] S. JÉGOU, «Using Maple for Symbolic Differentiation to solve inverse problems», *rapport de recherche*, 1996.
- [423] V. KHAJDUKOV, V. KOSTIN, V. TCHEVERDA, F. CLÉMENT, G. CHAVENT, «Numerical comparison of SVD and Propagator/Reflectivity Decomposition for the acoustic wave equation», *Rapport de recherche n°2888*, Inria, May 1996.

## 8 Abstract

Modeling heterogeneous media requires specific methods.

As a first example of such a medium, consider the underground. On one hand, one tries to construct images of its structure through seismic or electromagnetic methods. These are inverse problems. On the other hand, flow in the underground is modelled for various applications concerning the environment or petroleum engineering: management of water resources, contaminant transport or reservoir simulation. Another example of an heterogeneous medium is the core of a nuclear plant. In this case the problem is to study its neutronic behaviour.

The Estime group contributes to the formulation of efficient numerical methods for the solution of parameter estimation and modeling problems as those just mentionned. He is mainly interested in three areas of application: flow in porous media, seismic inversion, neutronics.

All these applications require large computer resources and provide interesting examples for parallel computation. Therefore Estime is interested in algorithm aspects (for instance domain decomposition) as well as in efficient implementation on various parallel computers.

