

CURRICULUM VITAE DETAILLÉ (décembre 2010)

Prénom, NOM : Jocelyne ERHEL

Date et lieu de naissance : 08/12/1956 à Pleurtuit (35)

Mariée ; 2 enfants nés en 1988 et 1990

N° de téléphone : 0299847339

Adresse électronique : jocelyne dot erhel at inria.fr

Page Web personnelle : <http://www.irisa.fr/sage/jocelyne/>

Diplômes

- Habilitation à diriger des recherches : Juin 1992 - section informatique - à l'Université de Rennes 1.
Titre : Vitesse et précision en calcul scientifique.
Rapporteurs avant soutenance : I. Duff, R. Glowinski, Y. Robert;
Jury : J. Lenfant (président), I. Duff, A. Sameh (rapporteurs de soutenance), F. André, M. Crouzeix, B. Philippe, C. Saguez.
- Doctorat(s): Mars 1982. Doctorat de 3ème cycle - option Analyse Numérique - à l'Université de Paris VI.
Titre : Parallélisation d'algorithmes numériques. Directeurs de thèse : R. Glowinski et A. Lichniewsky.
- 1980 : D.E.A. d'Analyse Numérique à l'Université de Paris VI ; mention très bien.
Stage à la SNCF : création d'un élément fini axisymétrique dans la bibliothèque MODULEF et application à l'étude thermo-élastique du frein à disque du TGV.
- 1979 : Agrégation de Mathématiques (62^e rang).
- 1978 : Maîtrise de Mathématiques à l'Université de Paris VI ; mention très bien.

Parcours Professionnel

- Situation professionnelle actuelle : Directrice de Recherche INRIA, 2^{ème} classe, depuis mai 1996.

Centre de recherche INRIA : Rennes-Bretagne-Atlantique.

Equipe-projet INRIA : SAGE.

ÉTABLISSEMENTS Français ou étrangers	FONCTIONS ET STATUTS (salarié, boursier, etc.)	DATES		OBSERVATIONS
		d'entrée en fonction	de cessation de fonction	
ENS Fontenay-aux-Roses	Elève professeur	Septembre 1976	Août 1980	Etudes à Paris VI
INRIA-Rocquencourt	Doctorante ; allocataire du ministère	Octobre 1980	Décembre 1981	Congés pour études
INRIA-Rocquencourt puis INRIA-Rennes	Chercheur puis CR1	Décembre 1981	Mai 1996	Détachement de l'éducation nationale puis rattachement à l'INRIA
INRIA-Rennes	DR2	Mai 1996		

Prix et distinctions

- 3^e prix versé à l'équipe SAGE (C. de Dieuleveult et J. Erhel) par le groupement MOMAS pour la participation au benchmark « géochimie » : http://www.gdrmomas.org/Ex_qualif/Geochemie/Documents/results.pdf

Encadrement d'activités de recherche

- Encadrement de 39 stages, de niveau DEA pour la plupart.
- Encadrement ou co-encadrement de 18 thèses de doctorat, dont 11 soutenues. Les co-encadrements sont dus au caractère pluridisciplinaire du sujet de thèse ou à une co-direction à l'étranger. J'accorde beaucoup d'importance au suivi de carrière des docteurs que j'ai formés. Je suis en contact avec presque tous et je maintiens une page web sur les docteurs issus des équipes ALADIN et SAGE : <http://www.irisa.fr/sage/docteur.html> . Sur les 11 docteurs, 3 sont ingénieurs de recherche et développement dans le privé, 6 sont chercheurs dans le secteur académique, 2 sont dans une autre situation.
- Participation à l'encadrement de 2 thèses de doctorat, soutenues. L'un est enseignant du secondaire, l'autre est chercheur au CNRS.
- Suivi de 3 post-doctorants. Les trois sont chercheur ou enseignant-chercheur (USA et France).
- Encadrement de 4 ingénieurs.

Encadrement d'étudiants de DEA et d'élèves ingénieurs

1. 1983 : Claire Pistre - DEA d'Analyse Numérique d'Orsay.
2. 1984 : Christine Eisenbeis - DEA d'Analyse Numérique de Paris VI.
3. 1985 : Philippe Cornelus, Philippe Laurent, Catherine Verleye - coencadrement - diplôme d'ingénieur I.I.E. (CNAM).
4. 1989 : Djouadi - coencadrement - DEA d'informatique de Rennes.
5. 1991 : Jean-François Carpraux - Magistère Modélisation Mathématique et Méthode Informatique de Rennes (3^{ème} année).
6. 1992 : Mounir Hahad - DEA d'informatique de Rennes.
7. 1993 : Laurent Bultel - DESS d'Informatique Parallèle de Lille.
8. 1993 : Cyrille Madre - DEA d'Informatique de Rennes.
9. 1993 : Philippe Feat - Magistère Modélisation Mathématique et Méthode Informatique de Rennes (2^{ème} année).
10. 1994 : Stéphane Chauveau - DEA d'informatique de Rennes.
11. 1994 : Dominique Korzezeck - DESS d'Informatique Parallèle de Lille.
12. 1994 : Philippe Feat - Magistère Modélisation Mathématique et Méthode Informatique de Rennes (3^{ème} année).
13. 1995 : Jean-Marc Legrand - DEA d'informatique de Rennes.
14. 1995 : Laurent Nicol - DESS d'informatique parallèle de Besançon.
15. 1995 : Stéphanie Rault - Magistère Modélisation Mathématique et Méthode Informatique de Rennes (3^{ème} année).
16. 1996 : Frédéric Guyomarc'h - DEA d'informatique de Rennes.
17. 1996 : Christophe Mansion - INSA de Rouen.
18. 1998 : Fabien Guenego - Magistère Modélisation Mathématique et Méthode Informatique de Rennes (2^{ème} année). Co-encadrement avec F. Guyomarc'h et P. Perez (équipe-projet VISTA).
19. 1998 : Anne-Claire Lavallée - Magistère Modélisation Mathématique et Méthode Informatique de Rennes (2^{ème} année). Co-encadrement avec P. Chartier et R. Cozot (équipe-projet SIAMES).
20. 1998 : Jean-Duclair Tagu-Signé - Ecole Polytechnique de Yaoundé, Cameroun. Co-encadrement avec B. Philippe et J.-R. de Dreuzy (Géosciences).
21. 1999 : Olivier Dournon - SUPELEC. Co-encadrement avec F. Guyomarc'h, E. Mémin (équipe-projet VISTA) et P. Perez (équipe-projet VISTA).
22. 1999 : Gwenole Ars - ENS Cachan, antenne de Bruz et Magistère Modélisation Mathématique et Méthode Informatique de Rennes (2^{ème} année). Co-encadrement avec M. Brieu (Paris 6).
23. 1999 : Frédéric Sérrier - ENS Cachan, antenne de Bruz et Magistère Modélisation Mathématique et Méthode Informatique de Rennes (2^{ème} année). Co-encadrement avec O. Beaumont.
24. 2000 : Ibrahim Moukouop - Ecole Polytechnique de Yaoundé, Cameroun.
25. 2001 : Mohamed Hayek - DEA de mathématiques appliquées de Grenoble. Co-encadrement avec E. Canot.
26. 2001 : Erwan Deriaz - ENS Cachan, antenne de Bruz et Magistère Modélisation Mathématique et Méthode Informatique de Rennes (2^{ème} année).
27. 2001 : Caglar Girit - MIT, USA (2^{ème} année).
28. 2001 : Grace Hechme - DEA de modélisation de Beyrouth. Co-encadrement avec E. Canot.
29. 2002 : Samih Zein - DEA de modélisation de Beyrouth. Co-encadrement avec E. Canot.
30. 2003 : Azzam Haidar- DEA de modélisation de Beyrouth.
31. 2004 : Josette Tchaptchet - DEA de Yaoundé. Co-encadrement avec L. Grigori.
32. 2005 : Remco Vietor - Master 2 (DESS double compétence) de Rennes.
33. 2006 : Baptiste Poirriez - DIIC2 de Rennes. Co-encadrement avec J. Demmel (Université de Berkeley, USA).
34. 2007 : Baptiste Poirriez - DIIC3/Master 2 de Rennes. Co-encadrement avec F. Guyomarc'h.
35. 2008 : Jessy Haykal - Master de l'AUB, Beyrouth. Co-encadrement avec N. Makhoul.
36. 2009 : Hélène Philippe - Master 1 de l'ENS Cachan-Rennes. Co-encadrement avec J. Charrier.
37. 2009 : Frédéric Wang - école d'ingénieurs. Co-encadrement avec D. Nuentza et N. Soualem.

39. 2009 : Ibrahim Zangré – école d'ingénieurs. Co-encadrement avec A. Beaudoin et N. Soualem.

Direction de thèses : encadrement ou co-encadrement

A l'Université de Rennes. Pour le suivi des doctorants, voir le site web de l'équipe SAGE :

<http://www.irisa.fr/sage/docteur.html>

1. Octobre 1991-Septembre 1994 : Jean-François Carpraux, boursier DRET/CNRS (100%). Quelques outils d'aide au contrôle de précision en calcul scientifique. Décédé en 1995.
2. Octobre 1992-Juin 1995 : Mounir Hahad, boursier algérien – co-encadrement avec T. Priol (50%). Schémas d'exécution pour algorithmes irréguliers sur machines parallèles à mémoire virtuelle partagée. Ingénieur puis chef de projet aux USA.
3. Février 1993-Décembre 1995 : Rémi Choquet, boursier DRET/CNRS. (100%). Etude de la méthode de Newton-GMRES : application aux équations de Navier-Stokes compressibles. Ingénieur de recherche au CNRS, Montpellier.
4. Octobre 1995-Septembre 1998 : Stéphanie Rault, boursier INRIA-Région Bretagne (financement CNES) – co-encadrement avec B. Philippe (80%). Algorithmes parallèles pour le calcul d'orbites. Informaticienne au Ministère des Finances.
5. Octobre 1996-Janvier 1999 : Mathias Brieu - boursier AMN, ENS Cachan - co-encadrement avec F. Devries (50%). Homogénéisation et endommagement de composites élastomères par techniques de calcul parallèle. Professeur à l'Ecole Centrale de Lille.
6. Octobre 1996-Novembre 2000 : Frédéric Guyomarc'h - boursier AMN, ENS Cachan (100%). Méthodes de Krylov : régularisation de la solution et accélération de la convergence. MDC à Lille.
7. Octobre 1999-Septembre 2002 : Hussein Hoteit - boursier CIES – co-encadrement avec B. Philippe et R. Mosé (30%). Simulation d'écoulements et de transports de polluants en milieu poreux : application à la modélisation de la sûreté des dépôts de déchets radioactifs. Ingénieur aux USA.
8. Octobre 2002-October 2005 : Hussein Mustapha - allocataire MESR (fléchée ACI Grid, projet HYDROGRID) – co-encadrement avec J-R. de Dreuzy (50%). Simulation numérique de l'écoulement dans des milieux fracturés tridimensionnels. Chercheur associé à l'université Mc Gill, Canada.
9. Février 2004-Septembre 2007 : Samih Zein - allocataire INRIA (contrat de plan-etat-région, projet avec l'Ifremer) – co-encadrement avec E. Canot et N. Nassif (30%). Application des méthodes d'optimisation stochastiques à deux problèmes d'inversion sismique. Ingénieur chez Samtech, en Belgique.
10. Octobre 2005-Décembre 2008 : Caroline de Dieuleveult - allocataire ANDRA (100%). Un modèle numérique global et performant pour le couplage géochimie/transport. Chercheur à l'école des mines de Paris.
11. Octobre 2006- Octobre 2009: Mohamad Muhieddine - allocataire MESR – co-encadrement avec E. Canot et R. March (20%). Simulation numérique des structures de combustion préhistoriques. Enseignant-chercheur au Liban.
12. Octobre 2005- : Noha Makhoul - allocataire SARIMA - co-encadrement avec N. Nassif (20%). Calcul numérique par tranches de temps et parallélisation en temps de systèmes d'équations différentielles ordinaires. Soutenance prévue en décembre 2010.
13. Octobre 2007- : Baptiste Poirriez – allocataire MESR/moniteur université de Rennes 1- (100% puis co-encadrement avec G. Pichot en 2010-2011). Analyse de réseaux de fractures 3D et simulation à grande échelle du transfert de fluides. Soutenance prévue en juin 2011.
14. Octobre 2008- : Désiré Nuentza-Wakam – allocataire INRIA (financement ANR-RNTL, projet Libraero) /moniteur université de Rennes 1 – co-encadrement avec E. Canot (80%). Résolution de grands systèmes linéaires issus de modèles en CFD.
15. Septembre 2008- : Julia Charrier – allocataire INRIA (financement ANR-CIS, projet Micas)/moniteur ENS-Cachan/Bruz – co-encadrement avec A. Debussche (50%). Quantification d'incertitudes dans la modélisation numérique du transfert de solutés.
16. Septembre 2009- : Sinda Khalfallah - allocataire Co-Advise – co-tutelle avec A. ben Abda (30%). Résolution de quelques problèmes inverses en hydrogéologie.
17. Septembre 2009- : Mestapha OUMOUNI - allocataire Co-Advise – co-tutelle avec Z. Mghazli (30%). Numerical methods for solving equations of flow and transport in heterogeneous porous media with stochastic inputs.
18. Octobre 2010-: Souhila Sabit – allocataire INRIA (financement ANDRA)- 100%. Méthodes numériques pour le transport réactif.

Direction de thèses : participation

A l'Université de Rennes. Pour le suivi des doctorants, voir le site web de l'équipe SAGE.

1. Octobre 1994-Novembre 1998 : Philippe Féat, boursier MRES – participation à l'encadrement avec M. Crouzeix (10%). Approximation d'un problème à frontière libre bidimensionnel. Enseignant du secondaire.

2. Octobre 1996-Décembre 1999 : Jean-Raynald de Dreuzy - boursier AMN, Polytechnique – participation à l’encadrement avec P. Davy (10%). Analyse des propriétés hydrauliques des réseaux de fractures. CR1 CNRS à Géosciences Rennes.

Suivi de post-doctorants

1. Septembre 1994-Juillet 1995 : Fabio Guerinoni, contrat européen HCM. Algorithmes parallèles et décomposition de domaines pour la mécanique des fluides. Assistant professor à Virginia State University.
2. Septembre 2004-Juillet 2005 : Anthony Beaudoin, financement INRIA, co-encadrement avec J-R. de Dreuzy (50%). Macro-dispersion en milieu poreux hétérogène. Maître de Conférences à l’université du Havre jusqu’en août 2010 puis à l’université de Poitiers.
3. Mars 2007-Août 2009 : Géraldine Pichot, contrat ANR-CIS, post-doc CNRS-Geosciences Rennes, co-encadrement avec J-R. de Dreuzy (50%). Méthode Mortar pour des réseaux de fractures 3D. Post-doc à l’université du Havre jusqu’en septembre 2010. Chargée de Recherche INRIA dans l’équipe SAGE depuis octobre 2010.

Encadrement d'ingénieurs

1. 1998 (6 mois) : Rémi Choquet, ingénieur-expert, contrat avec la région Bretagne, partenaires Ifremer et Simulog. Ingénieur de recherche au CNRS, Montpellier.
2. 2003-2005 (22 mois) : Caroline de Dieuleveult, ingénieur-expert, financement ACI Grid (projet HYDROGRID), partenaires : équipes-projets INRIA PARIS et ESTIME, Géosciences Rennes, IMFS Strasbourg. Chercheur à l’école des mines de Paris.
3. 2006-2008 (16 mois) : Etienne Bresciani, ingénieur associé INRIA. Plate-forme de simulation Hydrolab. Doctorant à Géosciences Rennes.
4. 2008-2011 (38 mois) : Nadir Soualem, ingénieur-expert, financement ANR CIS (projet Micas).

Responsabilités collectives

Comités éditoriaux

- Membre du comité éditorial de la revue ETNA, depuis février 2010.
- Membre du comité éditorial du site interstices, depuis avril 2010.

Conférences internationales : comités d'organisation, comités de programme, symposia

J'ai participé à plusieurs comités de programme et comités d'organisation. J'organise régulièrement un mini-symposium dans une conférence internationale. Cette activité est importante dans la communauté du calcul scientifique.

- 1983 : secrétariat scientifique du 6^{ème} colloque international sur les méthodes de calcul scientifique et technique (Versailles, 200 participants).
- 1988 : membre du comité d'organisation de International Conference on Supercomputing (responsable du secteur publicité) (Saint-Malo, 300 participants).
- 1991 : membre du comité de programme du 2^{ème} Symposium on High Performance Computing (Montpellier, 150 participants).
- 1992 : organisation avec B. Philippe d'un cours de 4 jours à l'Université Saint-Jacques de Compostelle sur le thème Parallélisme et matrices creuses.
- 1999 : organisation d'un symposium lors de la conférence internationale SCICADE'99, Australie.
- 2002 : membre du comité de programme du 2^{ème} International Workshop on Parallel Matrix Algorithms and Applications (PMAA'02), Suisse.
- 2004 : membre du comité de programme de International Conference on Supercomputing (Saint-Malo).
- 2005 : organisation d'un symposium lors de la conférence internationale SIAM on computational Geosciences, France.
- 2006 : membre du comité d'organisation de PMAA'06, France.
- 2007 : organisation d'un symposium lors de la conférence internationale SIAM on Computational Geosciences, USA.
- 2008 : membre du comité de programme de PMAA'08, Suisse.
- 2008 : organisation d'un symposium lors de la conférence internationale IMACS, France.
- 2008 : membre du comité de programme de PARCFD'2008, France. Editeur associé des proceedings.
- 2009 : organisation d'un symposium lors de la conférence internationale SIAM on computational Geosciences, Allemagne.
- 2009 : organisation de la conférence internationale NUMCOOP'09 (en l'honneur de B. Philippe), Cameroun.
- 2010 : organisation d'un symposium lors de la conférence internationale MFD'2010, France.
- 2010 : membre du comité de lecture de CARI'2010, Côte d'Ivoire.
- 2011 : membre du comité de programme de PARENG'2011, Corse.
- 2012 : j'ai candidaté avec T. Sassi (université de Caen) pour organiser la conférence DDM21 en juin 2012.

Conférences nationales : comités d'organisation, comités de programme

J'ai organisé des rencontres et des cours, en région Bretagne et en région parisienne. J'organise le séminaire d'équipes depuis 1997, avec des présentations des invités et des membres. J'ai été membre de comités de programme.

- 1989 : organisation avec B. Philippe d'une rencontre INRIA de deux jours "Précision de l'arithmétique en calcul scientifique" (50 participants de France).
- 1994 : organisation avec B. Philippe et M. Sadkane d'un cours de 3 jours à EDF-DER (mai et octobre 1994) sur le thème "Algèbre linéaire pour matrices creuses".
- 1997 : organisation avec J-M. Chesneaux et J-M. Muller d'une journée sur la qualité numérique des logiciels scientifiques, à Paris.
- 2000 : organisation avec H. Leroy d'une journée sur la simulation de grands systèmes moléculaires complexes, au Pôle de Calcul Intensif de l'Ouest (PCIO), à Rennes.
- 2000 : organisation avec B. Philippe d'un séminaire pendant une semaine sur le calcul à haute performance, au Pôle de Calcul Intensif de l'Ouest (PCIO), à Rennes.
- 2001 : organisation avec F. Bodin et H. Leroy d'un cours sur le calcul à haute performance, au Pôle de Calcul Intensif de l'Ouest (PCIO), à Rennes. Responsable du module "calcul scientifique".
- 2005 : membre du comité de programme de Renpar'16 (Le Croisic).
- 2006 : membre du comité de programme de Renpar'17 (Perpignan).

Expertise : review et jurys

- Je suis relecteur très régulièrement pour des articles de journaux. Ce point est important dans la communauté du calcul scientifique.
En 2007 : IMA J. Num. Anal., JCAM, SPE, TIPM, TSI.

En 2008 : JCAM, Num. Alg. (+ révision), TIPM (+ révision).

En 2009 : APNUM, LAA, SIMAX (+révision), TIPM (2 articles).

En 2010 : APNUM, AWR, ETNA (en tant qu'éditeur), J. Franklin Inst., J. Sci. Comp., Numerical Algorithms, SIMAX, TIPM (4 articles), interstices (en tant qu'éditeur).

- Je suis régulièrement sollicitée pour des rapports sur des projets nationaux et internationaux.
En 2007 : projet ANR-CIS ; projet DIM.
En 2008 : projet ANR-Cosinus ; projet ECOS-SUD.
En 2010 : projet EPT-UEB ; projet G8.
- J'ai présidé 4 jurys de thèse (à Lyon et à Rennes), été rapporteur de plusieurs thèses (1 à 2 par an depuis 1993) et de 2 HdR (Lyon et Tunis). Les thèses et HdR sont soit en mathématiques appliquées, soit en informatique, soit en géosciences.
En 2008 : thèse de L. Amir (maths, rapporteur), thèse de R. Trepos (info, présidente).
En 2009 : thèse de D. Guibert (maths, rapporteur et présidente), thèse de R. Madec (sciences de l'univers, rapporteur).
En 2010 : thèse de H. Fahs (sciences de la terre, rapporteur), thèse de P. Kumar (info, rapporteur), thèse de D. Roubinet (sciences de la terre, présidente).
- J'ai exercé deux mandats comme membre de la commission d'évaluation de l'INRIA. A ce titre, j'ai participé à de nombreux jurys de concours et de promotions de l'INRIA (CR, DR). Je continue de participer régulièrement à des jurys de concours CR de l'INRIA.
- J'ai exercé deux mandats comme membre la commission de spécialistes de l'Ifsic à l'université de Rennes 1. A ce titre, j'ai participé à de nombreux jurys de concours de l'université (MdC, Professeur).

Tâches d'intérêt collectif

- de 1996 à 1997 : responsable de la formation par la recherche au centre INRIA de Rennes.
- 2008 : organisation du séminaire d'évaluation du thème NumB de l'INRIA, mars.
- 2010 : correspondant à Rennes du séminaire développement durable, mars.

Structures de l'INRIA (autres que la CE)

J'ai choisi de m'impliquer dans la vie de l'INRIA à titre syndical ; j'essaie de contribuer au dialogue social dans une démarche positive de concertation et de respect mutuel. Par exemple, j'ai œuvré pour attirer l'attention sur les questions de parité (il n'y avait qu'une ou deux femmes dans les premiers jurys auxquels j'ai participé). Cette activité est très enrichissante, elle me permet de bien comprendre le fonctionnement de l'INRIA, tant des services que des équipes-projets.

- depuis 1999 : membre élu du Comité de Gestion Local de l'AGOS (secrétaire).
- depuis 2001 : membre élu suppléant puis titulaire puis suppléant du Comité Technique Paritaire et du Comité de Concertation de l'INRIA (4 mandats).
- depuis 2008 : membre élu suppléant puis titulaire du Conseil d'Administration de l'INRIA.

Formations

- 2004 : formation à la rédaction d'articles scientifiques. J'utilise une bonne partie des conseils prodigués pour améliorer la qualité des articles de l'équipe.
- 2007 : formation à la gestion de projet (au sens d'un contrat ou projet de recherche ou développement). J'utilise une partie des outils proposés pour coordonner le projet Micas et pour gérer la plate-forme logicielle H2OLab.

Management

- Responsable d'une équipe de l'INRIA depuis 1997
- animation de 4 projets internationaux
- participation à 7 projets internationaux
- participation à 2 groupes de travail internationaux
- coordination de 3 projets nationaux (une action incitative INRIA, un projet ANR, un projet de groupement CNRS)
- animation de 11 projets nationaux
- participation à 4 groupes de travail nationaux

Création et responsabilité d'équipe

Je suis responsable d'équipe-projet depuis 13 ans maintenant, et à ce titre membre du comité des équipes-projets de l'INRIA Rennes. J'accorde beaucoup d'importance à l'ambiance de groupe et au suivi de carrière de tous les membres. Je fais également en sorte de garantir une bonne communication interne, via différents outils (mail, wiki), des réunions, un séminaire d'équipe. Je délègue une partie des tâches à l'assistante et aux membres permanents seniors mais j'évite de solliciter les jeunes chercheurs (doctorants, post-doctorants, CR2). Je fais en sorte d'avoir un budget équilibré. Les retours d'évaluations de l'équipe ont toujours été positifs (dernières évaluations en mars 2008 et en mars 2010).

- Création et animation scientifique de l'équipe-projet ALADIN, de 1992 à 1997, avec B. Philippe (responsable). L'équipe-projet ALADIN comptait de 10 à 15 membres, dont 4 membres permanents.
- Responsable de l'équipe-projet ALADIN, de 1997 à 2004, et animation scientifique avec B. Philippe. L'équipe-projet ALADIN comptait de 15 à 20 membres, dont 4 à 6 membres permanents.
- Création et responsabilité de l'équipe-projet SAGE, depuis 2004. L'équipe-projet SAGE a démarré avec 5 permanents ; elle compte actuellement 13 membres : 4 permanents (dont un chercheur émérite), 8 doctorants, 1 ingénieur-expert.

Animation de projets internationaux

1. 1992-1995: Human Capital and Mobility (HCM). Responsable pour l'équipe-projet ALADIN d'une convention européenne sur l'application à la mécanique des fluides de solveurs non linéaires. Financement d'un post-doctorant (F. Guerinoni).
2. 1993-1999 : Bénéficiaire d'une bourse de l'université du Queensland, Australie, en 1993-1994. Financement d'un séjour de 3 mois à Brisbane. Responsable français en 1996 d'un contrat dans le cadre du programme International Science and Technology du gouvernement australien, sur le calcul à haute performance. Partenaire Université du Queensland. Financement d'un séjour de 3 mois à Brisbane et des visites de chercheurs australiens (6 mois cumulés). Bénéficiaire d'une bourse de l'université du Queensland, en 1999. Financement d'un séjour de 2 semaines à Brisbane.
3. 2009-2011 : responsable pour l'INRIA d'un contrat INRIA/Euro-Méditerranée ; projet Hydromed. Coordination : LAMSIN. Thème: problèmes inverses en hydrogéologie et formation à la plate-forme H2OLab. Organisation avec E. Canot de la réunion de lancement en 2009 à Rennes.
4. 2009-2011 : responsable pour l'équipe SAGE d'un contrat européen (coordinateur B. Philippe) ; projet Co-Advise ; coopération avec les pays méditerranéens. Financement de deux thèses en co-tutelle (S. Khalfallah et M. Oumouni).

Participation à des projets internationaux

5. 1995-1999: Participation aux Projets européens Portrait puis Stable (coordinateur B. Philippe). Thème: calcul parallèle de portraits spectraux de matrices.
6. 2001-2003 : Participation à une action NSF-INRIA (coordinateur B. Philippe). Titre : Préconditionnements robustes et parallèles : un moyen pour combiner méthodes directes et itératives de résolution de systèmes.
7. 2004-2008 : Participation au projet SARIMA, INRIA/MAE (coordinateur B. Philippe); coopération avec l'Afrique et le Moyen-Orient. Accueil dans l'équipe-projet SAGE d'invités étrangers ; financement de 4 thèses en co-direction dans l'équipe-projet SAGE (dont la thèse de N. Makhoul) ; courts séjours et enseignement dans les pays partenaires.
8. 2005-2006 : Participation à un contrat STIC INRIA/Tunisie (responsable B. Philippe); problèmes aux moindres carrés et problèmes inverses. Court séjour à Tunis (LAMSIN).
9. 2005 : Participation à un contrat INRIA/USA (mini-call, responsable L. Grigori); calcul intensif en algèbre linéaire appliqué à l'hydrogéologie. Court séjour à Berkeley (groupe de J. Demmel).
10. 2006-2008 : Participation à un contrat 3+3 Med INRIA/Méditerranée (responsable B. Philippe); Hydro3+3 : simulations numériques en hydrogéologie.
11. 2009- : participation aux activités du laboratoire commun INRIA-Urbana Champaign pour le calcul intensif : <http://jointlab.ncsa.illinois.edu/>

Participation à des groupes de travail internationaux

12. 2001- : Participation au groupe de travail ERCIM ``Matrix Computations and Statistics". Coordinateurs : B. Philippe (équipe-projet SAGE) et E. Kontoghiorghes (Chypre) : <http://www.irisa.fr/sage/wg-statlin/> . Accueil dans l'équipe-projet SAGE des post-doctorants M. Fyrillas (2002) et Y. Petko (2006-2007). Organisation de la conférence PMAA à Rennes en 2006. Comité de programme de PMAA à Neuchatel en 2008.
13. 2002-2008 : Participation au groupe de travail ERCIM ``Applications of Numerical Mathematics in Science". Coordinateur : M. Arioli (GB).

Coordination de projets nationaux

1. 1997-1999 : Action Incitative INRIA - projet FIABLE. Coordination avec B. Philippe. Partenaires: équipes-projets ALADIN, EURECA, PRISME et SAFIR ; équipes CHPV (Paris 6) et SAAO (ENS-Lyon). Thème: calcul numérique certifié.
2. 2008-2011 : ANR-CIS, projet Micas : <http://www.irisa.fr/sage/micas/> . Coordination du projet. Partenaires : équipe SAGE, Géosciences Rennes, université de Lyon, université du Havre. Financement dans l'équipe SAGE d'une thèse (J. Charrier) et d'un ingénieur-expert (N. Soualem, 3 ans).
3. 2010-2011 : groupement MOMAS, projet TC1 : <http://www.gdrmommas.org/projets.html>

Animation de projets nationaux

4. 2001-2002 : Action de bioinformatique. Coordinateur : CEFÉ, Montpellier. Responsable pour l'équipe-projet ALADIN. Thème : algorithmes numériques pour la dynamique des populations.
5. 2002-2005 : Action de l'ACI Grid - projet HYDROGRID : <http://www-rocq.inria.fr/~kern/HydroGrid/HydroGrid.html> . Coordinateur : M. Kern, équipe-projet ESTIME. Responsable pour l'INRIA-Rennes (équipes ALADIN/SAGE et Paris). Thème : Couplage de codes pour le transfert de fluides et de solutés dans les milieux géologiques. Une approche par composants logiciels. Allocation d'une thèse fléchée (H. Mustapha) et financement pour 22 mois d'un ingénieur-expert (C. de Dieuleveult).
6. 2002-2009 : Projets du Groupement MOMAS du programme interdisciplinaire PACEN du CNRS. Responsable pour l'équipe-projet ALADIN puis SAGE du projet Développement de méthodes numériques pour le transport réactif. Projet TC04 pour 2008-2009. Participation au benchmark sur le transport réactif (3^e prix).
7. 2003-2007 : Action de l'ACI Grid - projet Grid'5000 Rennes : Coordinateur pour Rennes : Y. Jégou, équipe-projet PARIS. Responsable pour l'équipe-projet SAGE. Thème : Calcul intensif pour le transfert de fluides et de solutés dans des aquifères.
8. 2006 : BQR de l'Université de Rennes 1, projet GEOLOG. Responsable du projet. Partenaire Géosciences Rennes. Thème : plateforme de modélisation numérique en hydrogéologie. Financement d'un serveur de calcul multi-processeurs avec environnement de développement.
9. 2006-2010 : projet ARPHYMAT. Responsable pour l'équipe Sage avec E. Canot. Thème : modélisation de structures de combustion préhistoriques. Financement d'une thèse pluridisciplinaire (M. Muhieddine).
10. 2008-2011 : ANR-RNTL, projet Libraero. Coordinateur FLUOREM. Responsable pour l'équipe SAGE. Thème : résolution de très grands systèmes linéaires. Financement d'une thèse (D. Nuenta Wakam) dans l'équipe SAGE.
11. 2008-2012 : Grid'5000/Aladdin5K : <https://www.grid5000.fr/mediawiki/index.php/Grid5000:Home> Utilisation de la grille Grid'5000.
12. 2009-2010 : Genci. Responsable du projet. Thème : résolution de très grands systèmes linéaires. Utilisation des machines du centre de calcul IDRIS.
13. 2010-2011 : PEPS CNRS, projet DIAM-GPU. Coordinateur LIP6. Responsable pour l'équipe SAGE. Thème : optimisation d'un logiciel de physique sur GPU.
14. 2010- : action d'envergure INRIA, action Hemera. Coordinateur C. Perez. Responsable pour l'équipe SAGE. Thème : challenge scientifique pour le calcul sur grille.

Participation à des groupes de travail nationaux

15. 1995-1996 : PRC-PRS pôle parallélisme no 1169. Participation au thème arithmétique et précision animé par J-M. Muller. Rédaction d'un ouvrage collectif sur la qualité numérique.
16. 2002- : Participation au groupement MOMAS du CNRS (Modélisation Mathématique et Simulations Numériques liées aux problèmes de gestion des déchets nucléaires) : <http://www.gdrmommas.org/presentation.html> . Directeur : A. Bourgeat puis A. Ern. Participation aux rencontres scientifiques et membre d'un projet.
17. 2009- : Réseau Thématique de Recherche RISC-E : <http://risc-e.univ-rennes1.fr/> . Coordinateurs P. Davy, R. Delannay, C. Gascuel. Animation scientifique collective de l'axe 2 sur Modèles, Prédictions et Incertitudes sur les Systèmes Complexes.
18. 2010- : Réseau National des Systèmes Complexes : <http://rnsc.fr/tiki-index.php> . Direction E. Perrier, G. Deffuant.

Mobilité

J'ai effectué une mobilité de Bretagne en région parisienne pour revenir 11 ans plus tard en Bretagne ; j'ai effectué plusieurs longs et courts séjours à l'étranger ; grâce à cette mobilité géographique, j'ai établi des collaborations fructueuses. J'ai également abordé plusieurs thèmes scientifiques différents au cours de ma carrière ; cette mobilité thématique me permet de travailler sur des sujets pluridisciplinaires, en utilisant des collaborations diverses.

Mobilité géographique

- 1968 à 1982 : Etudes secondaires à Saint-Malo, classes préparatoires à Rennes, études supérieures à l'ENS de Fontenay-aux-Roses et à Paris 6, thèse de doctorat à l'INRIA Rocquencourt et à Paris 6, recrutement à l'INRIA Rocquencourt.
- 1987 : Mobilité de l'INRIA Rocquencourt à l'INRIA Rennes. Après les équipes-projets MENUSIN puis CAPRAN de Rocquencourt, j'ai ainsi participé aux équipes-projets CALCPAR, puis ALADIN, puis SAGE de Rennes.

Séjours longs à l'étranger

- 1986 : Séjour de 5 mois aux Etats-Unis, dans la société ETA Systems, filiale de Control Data. Cette mission était financée par la société Control Data France. Le travail effectué n'a pas donné lieu à publication, à cause du caractère confidentiel mais j'y ai acquis une forte expérience en développement logiciel et transfert industriel.
- 1993/1994 : Séjour de 3 mois en Australie, à l'Université du Queensland à Brisbane. Cette mission était financée par une bourse de l'Université du Queensland, obtenue sur appel à candidature.
- 1996 : Séjour de 3 mois en Australie, à l'Université du Queensland à Brisbane. Cette mission a été en grande partie financée par un contrat de recherche avec le gouvernement australien. Dans ce cadre, l'IRISA a accueilli en 1996 quatre chercheurs australiens pour une durée de un à deux mois chacun.

Visites internationales

- 1982 : séjour de 2 semaines en URSS, Universités de Moscou et de Novossibirsk.
- 1984 : séjour de 2 semaines au Japon, centres Hitachi, Nec, Fujitsu.
- 1999 : séjour de 2 semaines en Australie, Université du Queensland.
- 2003 : séjour de 2 semaines en Australie, Université du Queensland.
- 2005 : séjour d'une semaine aux USA, Université de Berkeley.
- 2006 : séjour d'une semaine en Tunisie, Université de Tunis.
- 2010 : séjour de deux semaines en Tunisie, Université de Tunis.

Mobilité thématique

- Calcul à haute performance : architectures vectorielles, multiprocesseurs à mémoire partagée (virtuelle ou non), à mémoire distribuée, grappes de processeurs, multicœurs.
- Validation en calcul scientifique : méthodes d'analyse des arrondis, estimation de conditionnements, application à des codes industriels.
- Algorithmes numériques : systèmes linéaires, problèmes non linéaires, problèmes inverses, schémas de discrétisation spatiale et temporelle.
- Application à la mécanique des fluides : pour l'aérospatiale, pour l'hydrogéologie.

Enseignement

Dans ce qui suit, je fais la distinction entre les enseignements en France et à l'étranger. J'ai enseigné au niveau master 1 et 2 en région parisienne puis à Rennes. J'ai également donné quelques séminaires à l'INSA et à l'ENS-Cachan. J'ai enseigné au niveau master 2 au Cameroun et au Liban. Les supports de cours sont disponibles sur ma page web : <http://www.irisa.fr/sage/jocelyne/cours.html> . Depuis quelques années, j'ai diminué le volume d'enseignement pour me consacrer à l'encadrement, au management d'équipes et de projets.

Enseignement en France

- E1. 1980 à 1983 : colles en classes préparatoires, niveau maths sup.
- E2. 1984 à 1986 : Université de Paris-Nord - Maîtrise Sciences et Techniques en Mathématiques Appliquées (MSTMA) - 14 heures de cours par an - 10 étudiants. Responsable du cours "Architectures parallèles et algorithmes numériques" (architecture, programmation, algorithmes numériques).
- E3. 1987 et 1988 : Université d'Orsay - DEA d'Analyse Numérique - 6 heures par an - 30 étudiants. Coresponsable du cours "Parallélisme en calcul scientifique".
- E4. de 1991 à 1993 : Université de Rennes - DESS Double Compétence - 10 heures de cours et travaux pratiques par an - 10 étudiants. Participation à l'option "Calcul Scientifique".
- E5. de 1991 à 1996 : Université de Rennes - Maîtrise d'Informatique - 20 heures de cours par an - 20 à 30 étudiants. Responsable de l'option "Calcul Scientifique".
- E6. de 1992 à 2004 : Université de Rennes - Diplôme d'Ingénieur en Informatique et Communications (DIIC), 2^{ème} année puis 1^{ère} année depuis 1996 - 10 heures de cours - 90 étudiants ; en 1994, 2 fois 10 heures de TD - 30 étudiants par groupe. Responsable du cours "Méthodes Numériques" puis "Mathématiques Appliquées".
- E7. de 1992 à 1997 : Université de Rennes - DEA d'Informatique - 12 à 21 heures de cours - 20 à 30 étudiants. Responsable de l'option "Calcul Parallèle (CAPA)".
- E8. 1994-1995 : Université de Rennes - DEA d'Analyse Numérique - 12 heures de cours - 4 étudiants. Responsable du module "Algèbre linéaire creuse sur machines parallèles."
- E9. de 1997 à 1999 : Séminaire ENS-Cachan sur le calcul scientifique à haute performance - 3 heures -30 étudiants de 1^{ère} année.
- E10. de 1999 à 2001 : Séminaire INSA sur la qualité numérique - 3 heures - 40 étudiants de 5^{ème} année.
- E11. 2001 : Université de Rennes - maîtrise de mécanique - 6 heures de cours - 30 étudiants. Calcul scientifique.
- E12. 2002-2003 : Université de Rennes - maîtrises de mathématiques et de mécanique -20 heures de TD - 20 étudiants. Modélisation et EDP hyperboliques.
- E13. 2006-2010: Université de Rennes 1 - Diplôme d'Ingénieur en Informatique et Communications (DIIC), 2^{ème} année - 8 heures de cours - 60 étudiants ; Responsable du cours Méthodes Numériques avec J.-J. Fuchs.

Enseignement à l'étranger

- E14. 1994 : Université de Yaoundé, Cameroun - DEA d'informatique - 24 heures de cours - 10 étudiants. Calcul parallèle.
- E15. 2003 : Université libanaise, Beyrouth, Liban - DEA de modélisation - 20 heures de cours - 20 étudiants. Modélisation et EDP hyperboliques.
- E16. 2004, 2005 et 2007 : Université libanaise, Beyrouth, Liban - DEA de modélisation - 20 heures de cours - 20 étudiants. Résolution de grands systèmes linéaires sur machines parallèles.
- E17. 2010 : ENIT, Tunis, Tunisie - master2 de mathématiques appliquées - 6 heures de cours - 10 étudiants. Comment résoudre un système linéaire issu d'équations aux dérivées partielles.

E18. Supports de cours

- E19. 1990 : Erreurs de calcul des ordinateurs.
- E20. 1999-2001 : modules pour le projet DIA de cours de DEA multi sites (<http://www.irisa.fr/dia/>).
- E21. 1999-2001 : qualité numérique et validation du calcul scientifique (séminaire INSA).
- E22. 2004 : Mathématiques appliquées (cours de DIIC 2).
- E23. 2004 : Calcul matriciel et systèmes linéaires (cours de DEA, avec N. Nassif et B. Philippe).
- E24. 2004 : Modélisation et simulation numérique en hydrogéologie (semestre Chaire Unesco, Tunis).
- E25. 2005-2010 : Les eaux souterraines mises sur ordinateur (interventions dans les lycées).

Diffusion de l'information scientifique

J'ai choisi de participer à la dissémination vers le grand public. Récemment, j'ai publié un article dans la Recherche (cahiers de l'INRIA), j'ai participé à l'opération de rencontres entre chercheurs et lycéens de l'académie de Rennes et j'ai donné une conférence à l'espace des sciences de Rennes.

- D1. Erhel, J. et al. (1992), démo de l'équipe ALADIN sur l'atelier Aquarels, démo aux journées portes ouvertes de l'Irisa.
- D2. Erhel J, Philippe B. (1993), la programmation vectorielle, courrier du CNRS no 80 sur la recherche en informatique.
- D3. Erhel, J. (1995), participation au dossier IRISA, mensuel Réseau no 114. Rubrique ALADIN, le calcul contre la sécheresse.
- D4. Erhel, J. (1997), poster sur « la sécheresse mise sur ordinateur », journées portes ouvertes de l'Irisa.
- D5. Erhel J. (1999), enregistrement d'un CD audio pour la société Renault sur la prédictivité des simulations numériques, collection technoscope, no 12, Renault.
- D6. Erhel, J. (2005), participation au no Inédit 50 de l'INRIA. Rubrique sur les défis des grilles, paragraphe Des composants pour étudier les nappes phréatiques.
- D7. Erhel, J. (2005), Les eaux souterraines mises sur ordinateur, conférence aux journées des portes ouvertes de l'Irisa.
- D8. Erhel J. et al. (2005), démo de l'équipe SAGE intitulée où passe le désherbant du jardinier ?, démo aux journées des portes ouvertes de l'Irisa.
- D9. Erhel, J. (2006), Comprendre l'écoulement de l'eau dans les roches grâce à l'informatique, conférence au festival des sciences de Rennes Métropole, espace des sciences, Rennes.
- D10. Erhel, J. (2007, 2008, 2009 et 2010) Le calcul scientifique et la modélisation. Exemple : les eaux souterraines. Interventions dans quatre lycées de l'Académie de Rennes, dans le cadre de l'opération « à la découverte de la recherche ». Intervention également avec P. Hellier en novembre 2009 et février 2010 auprès de lycéens.
- D11. Erhel, J. et al. (2007), participation à l'accueil de jeunes filles, dans le cadre de shadowing day, au forum sur informatique et société, 40 ans de l'INRIA, Lille.
- D12. Erhel, J. (2008), Les métiers de l'informatique. Participation à la manifestation « 100 femmes, 100 métiers », Rennes. Intervention auprès des visiteurs.
- D13. Erhel, J. (2008), participation au no Inédit 65 de l'INRIA. Rubrique sur des STIC pour l'environnement, paragraphe analyse et simulation numériques.
- D14. Erhel J. (2009), participation au no Inédit 69 de l'INRIA. Rubrique Recherche, vers des plateformes de calcul vertes, paragraphe Intrusion d'eau salée dans une nappe phréatique.
- D15. Erhel J., de Dreuzy J-R. (2009), article dans le journal La Recherche, mai 2009. Rubrique les cahiers de l'INRIA, article sur les pollutions suivies à la trace.
- D16. Beaudoin A., de Dreuzy J-R. et Erhel J. (2009), poster au stand ANR du forum Ter@tec, Paris.
- D17. Erhel J. et al. (2010), fiche sur le projet Micas financé par l'ANR-CIS-07. Cahiers de l'ANR 3, le calcul intensif : technologie clé pour le futur, page 153.
http://www.agence-nationale-recherche.fr/fileadmin/user_upload/documents/uploaded/2010/Cahier-ANR-3-Calcul-intensif.pdf
- D18. Erhel J. et al. (2010), présentation au colloque ANR STIC, Paris.
- D19. Erhel, J. (2010), participation à la lettre d'information no 11 d'émérgences, INRIA Rennes. Article « L'eau souterraine mise en équations ».

Travaux de recherche : description synthétique

Mes travaux de recherche se situent dans le domaine du calcul intensif pour la modélisation et la simulation numérique. J'ai commencé à travailler sur la parallélisation des simulations numériques en 1980. Les enjeux sont de passer à l'échelle dans la taille des problèmes traités, de garantir la fiabilité des méthodes et algorithmes, de maîtriser la complexité. Les algorithmes numériques sont alors appliqués à divers domaines scientifiques. Les simulations numériques sont exécutées sur des architectures parallèles, avec une modélisation et une analyse fine des performances. Depuis 10 ans, j'ai investi dans la modélisation appliquée à l'hydrogéologie, qui pose de nombreux défis numériques. Ce domaine a un très fort impact sociétal, car les ressources en eau sont vitales et préserver la qualité des eaux souterraines est un défi majeur de développement durable. Mon ambition est de développer une plate-forme logicielle permettant de réaliser sur calculateurs parallèles des simulations numériques appliquées à l'hydrogéologie. Les modèles physiques abordent deux difficultés: le milieu souterrain est hétérogène et peu de données sont accessibles par des mesures.

Problèmes d'écoulement

Durant ma carrière, j'ai ainsi étudié plusieurs systèmes d'équations aux dérivées partielles (EDP). Je vais illustrer mes travaux par deux classes de problèmes: les problèmes paraboliques (elliptiques dans le cas stationnaire) et les problèmes hyperboliques. Considérons un problème de diffusion ou d'écoulement stationnaire $\text{div}(K \text{ grad } u) = q$ ou transitoire avec une condition initiale u_0 . Ce type d'EDP modélise par exemple l'écoulement d'un fluide dans un milieu poreux (avec la loi de Darcy), la diffusion d'un soluté dans un milieu poreux, les petits déplacements d'une structure mécanique. Bien que ce cas soit étudié depuis longtemps, il pose encore de nombreux défis numériques. La géométrie peut être complexe, surtout en 3D; le tenseur K peut être fortement hétérogène; le problème peut être non linéaire; il peut être couplé à un autre système EDP ou à un système algébrique; le modèle peut être stochastique, avec un tenseur K ou un terme source q qui est un champ aléatoire avec une loi de probabilité donnée; les données K, q, u_0 doivent souvent être identifiées par résolution d'un problème inverse; le schéma doit satisfaire un principe de maximum discret, de façon à respecter les contraintes physiques (par exemple, la concentration du soluté est positive); le système semi-discret, après discrétisation en espace, est une EDO ou une DAE raide; les schémas en temps explicites doivent donc respecter une contrainte forte de stabilité (CFL petit); il est en général préférable d'utiliser un schéma en temps implicite, qui induit des systèmes d'équations non linéaires à chaque pas de temps.

Problèmes de transport par advection et dispersion

Considérons maintenant un problème hyperbolique de transport par advection-diffusion-réaction. Ce type d'EDP modélise par exemple le transport d'un soluté dans un milieu poreux par advection (vitesse du fluide v) et dispersion (tenseur D), avec un terme de réaction f et un terme source q . Les équations d'Euler ou de Navier-Stokes, également hyperboliques, sont au cœur des simulations en mécanique des fluides. Outre les défis précédents, le schéma doit être monotone, pour éliminer des oscillations numériques non physiques. Un schéma eulérien induit de la diffusion numérique et ne reproduit pas bien les chocs physiques (fronts de discontinuité). Un schéma lagrangien a l'avantage de bien reproduire les chocs; par contre, il est plus difficile de simuler le phénomène de dispersion, surtout si le coefficient D est discontinu. De plus, le temps de calcul est souvent très élevé. Le système semi-discret est souvent moins raide que dans le cas d'une diffusion et les conditions de stabilité sont donc moins contraignantes. Par contre, lorsque l'opérateur contient une partie elliptique, le système est globalement raide. Une approche possible est la séparation d'opérateurs, en essayant de réduire les erreurs liées à la séparation des conditions aux limites.

Résolution de systèmes linéaires creux

Pour discrétiser en espace un système d'équations aux dérivées partielles, on peut utiliser un maillage structuré et une méthode de différences finies par exemple ou utiliser un maillage non structuré et une méthode d'éléments finis par exemple. Que le problème soit linéaire ou non, transitoire ou non, l'opération la plus consommatrice de ressources est en général la résolution d'un système linéaire creux de grande taille. Cette notion de grande taille varie au cours du temps, un grand système comportant plusieurs milliers d'inconnues dans les années 80, plusieurs millions de nos jours, sans doute plusieurs milliards dans une vingtaine d'années. La matrice de ce système est creuse, avec très peu d'éléments non nuls (souvent quelques unités ou dizaines par ligne seulement). Dans le cas d'une résolution directe, le coût est lié à la factorisation de la matrice $PA=LU$, qui induit un remplissage (il y a plus d'éléments non nuls dans les matrices L et U que dans A). Dans le cas d'une résolution itérative par une méthode de sous-espace, le coût est lié au produit matrice-vecteur et au préconditionnement (indispensable pour accélérer la convergence). Dans le cas d'un problème parabolique, la matrice est souvent symétrique définie positive. Les méthodes de choix sont alors la factorisation de Cholesky, le gradient conjugué préconditionné, les méthodes multigrilles, les méthodes de sous-domaines. Dans le cas d'un problème parabolique couplé ou d'un problème hyperbolique avec schéma en temps implicite, le système linéaire est souvent non symétrique. Les méthodes de choix sont alors la factorisation de Gauss avec pivot, la méthode GMRES ou la méthode BiCGStab. Les méthodes multigrilles sont parfois inefficaces. Les méthodes de sous-domaines sont en général utilisées comme préconditionnements, par exemple la méthode de Schwarz est associée à GMRES. Dans tous les cas, les méthodes de déflation accélèrent la convergence.

Résolution de systèmes non linéaires

Très souvent, les EDP précédentes, couplées ou non avec d'autres EDP, sont non linéaires; si un schéma en temps

implicite est utilisé, il faut alors résoudre un système d'équations non linéaires à chaque pas de temps. La méthode itérative de Newton basée sur une linéarisation est souvent utilisée ; lorsque le Jacobien n'est pas connu, il peut être approché par une fonction ; lorsque le système linéaire est résolu par une méthode itérative, la solution est approchée ; ces approximations du système (Newton modifié) et de la solution (Newton inexact) peuvent limiter la vitesse de convergence. La méthode de Newton inexacte associée à une méthode de Krylov pose le problème des convergences interne et externe.

Stratégie de parallélisation

La stratégie de parallélisation, qui a été le fil conducteur de mes travaux depuis 30 ans, définit plusieurs objectifs qui concourent à la meilleure efficacité possible et à l'obtention de résultats scientifiques majeurs.

- * Identifier les noyaux de calcul les plus consommateurs de ressources (temps de calcul et mémoire). Résoudre un système linéaire creux est alors au cœur de la simulation numérique. Les opérations fondamentales sur lesquelles j'ai travaillé dans un premier temps sont ainsi : le stockage creux de la matrice, le produit matrice-vecteur, le préconditionnement, la factorisation $PA=LU$ (ou ses variantes), l'assemblage d'une matrice d'éléments finis. Ces travaux ont été effectués en collaboration avec différentes personnes.
- * Concevoir de nouveaux algorithmes parallèles, en suivant certaines règles. Par exemple, la version parallèle ne doit pas trop accroître la complexité de l'algorithme. Une exception notable est la parallélisation à travers le temps d'équations différentielles, à cause du caractère intrinsèquement séquentiel du problème. D'autre part, si la version parallèle est différente, il faut prouver les propriétés numériques de l'algorithme, étudier la vitesse de convergence, analyser la stabilité numérique. La simulation numérique à grande échelle implique donc un travail important de validation mathématique et numérique. L'algorithme parallèle doit être le plus indépendant possible de l'architecture. Une exception notable est la vectorisation d'algorithmes, qui est différente de la parallélisation sur architectures multiprocesseurs.
- * Adopter une stratégie multiniveaux. Il est souvent possible de définir plusieurs axes complémentaires de parallélisation. Par exemple, une méthode de sous-domaines est parallèle à travers les sous-domaines, les calculs dans chaque sous-domaine sont parallèles, les opérations BLAS3 sont parallèles.
- * Exploiter les bibliothèques numériques. Il existe maintenant une palette assez large de logiciels parallèles pour la simulation numérique. L'objectif est donc de les utiliser, en analysant la distribution et la migration de données que cela implique. Pour certains schéma et algorithmes, il est encore nécessaire de développer une version parallèle.
- * Développer des logiciels parallèles de simulation numérique. Avec J-R. de Dreuzy (Géosciences Rennes), je suis actuellement chef du projet H2OLab, qui contient plusieurs logiciels parallèles développés sur un mode collaboratif (PARADIS, MP-FRAC, etc).
- * Valider les algorithmes mis au point, valider les modèles de performances, montrer l'efficacité de l'approche proposée.
- * Appliquer les méthodes et algorithmes à des problèmes réels issus du monde industriel ou académique. Les problèmes réels sont en général très complexes et présentent plusieurs défis scientifiques. De plus, ils imposent de traiter la chaîne de simulation de A à Z, donc d'analyser et de paralléliser toutes les étapes, en identifiant tous les noyaux durs.
- * Lancer des expérimentations à grande échelle sur les calculateurs les plus récents. Durant ma carrière, j'ai ainsi développé des logiciels sur différents types d'architectures parallèles. Ces expériences permettent d'acquérir une expertise dans le domaine du calcul parallèle en traitant des problèmes difficiles. Cette expertise peut alors être transférée à divers domaines applicatifs.

Développement logiciel

J'ai fortement contribué au développement de logiciels et effectué des simulations numériques sur diverses architectures parallèles (CRAY, INTEL, KSR, IBM, grappes de processeurs, grilles de calcul, etc), qu'elles soient vectorielles, multiprocesseurs, multicoeurs, à mémoire partagée, virtuelle partagée ou distribuée. Si certains logiciels sont des prototypes, en Matlab par exemple, beaucoup sont des réalisations abouties, qui ont été ou seront diffusées dans la communauté scientifique. Je coordonne le développement de la plate-forme H2OLab, qui permet de lancer sur calculateurs parallèles des simulations numériques pour analyser la pollution de nappes phréatiques, la sécurité d'un site géologique de stockage de déchets, la faisabilité d'un site de séquestration du CO₂, etc. Le point fort de la plate-forme est de traiter des données hétérogènes, ainsi que les incertitudes sur les données. Nous prévoyons de traiter également des phénomènes couplés en intégrant dans la plate-forme des logiciels pour des modèles physiques couplés (notamment EAUSALEE, GLOBAL-DAE-3D).

Travail pluridisciplinaire

Ces objectifs ont un fort recouvrement et font appel à des compétences dans plusieurs disciplines, notamment les mathématiques appliquées, l'informatique, les sciences physiques (incluant la géophysique, la chimie). J'ai noué diverses collaborations transdisciplinaires pour contribuer au mieux dans ces différents domaines.

Au cours de ma carrière, j'ai acquis une expertise dans le domaine du calcul intensif, des algorithmes numériques, et de la simulation numérique appliquée à des problèmes physiques. Pour réaliser un transfert vers l'Andra et le CEA, je me suis familiarisée avec la géochimie.

Collaborations dans les années 1980 : parallélisme

Dans les années 80, au sein des équipes Menusin puis Capran, nous avons effectué un travail de pionnier dans le domaine du calcul intensif, en développant des simulateurs d'architectures parallèles [logiciels MUPI et CREM] et en expertisant différentes machines [publications A2,C6]. Nous avons ainsi contribué aux travaux sur les projets de calculateurs parallèles français [contrats DGA/DRET T1].

Avec A. Lichnewsky (Université d'Orsay et INRIA), T. Bloch (CCVR), et P. Herchuelz (CCVR), nous avons développé un benchmark de simulations numériques [logiciel BENCHMARK], pour tester différents calculateurs vectoriels. Notre séjour au Japon a précédé l'achat d'un superordinateur au CCVR, le centre de calcul prédécesseur de l'IDRIS. Nos séjours aux USA nous ont permis de tester les performances des machines CRAY, qui étaient les plus puissantes du marché. Lors d'un séjour long aux USA, j'ai également analysé les performances attendues du calculateur ETA10. Avec C. Eisenbeis (INRIA), j'ai aussi réalisé des expériences sur ST100.

Toujours à l'INRIA Rocquencourt, nous avons identifié des noyaux algorithmiques qui sont au cœur de beaucoup de logiciels de calcul scientifique et j'ai contribué à améliorer leurs performances sur des architectures vectorielles ou parallèles [publications U1,A1,C1,C2,C3,C5,C7,C9]. Les résultats obtenus ont été une avancée scientifique par rapport à l'état de l'art lors de leur publication. Par exemple, avec A. Lichnewsky et F. Thomasset (INRIA), nous avons travaillé sur le gradient conjugué préconditionné.

J'ai toujours eu le souci d'utiliser ces algorithmes dans un contexte applicatif. Avec F. Angrand (INRIA), nous avons ainsi appliqué ces méthodes à des problèmes de mécanique des fluides (équations d'Euler en compressible) [publications C4,C10,C11]. Ces travaux ont fait l'objet d'un transfert vers la société Dassault Aviations, qui a intégré dans ses logiciels les algorithmes vectoriels et parallèles mis au point [contrats Dassault T2].

Les approches par sous-domaines se sont révélées génériques et efficaces pour des architectures multiprocesseurs à mémoire distribuée ou partagée. Une partition spatiale est en effet adaptée au parallélisme car elle n'induit des communications qu'aux interfaces des sous-domaines. Avec P. Le Tallec et M. Vidrascu (INRIA), nous avons démarré des travaux sur les méthodes de sous-domaines et leur parallélisation [C8,C12,C13]. Les méthodes de sous-domaines sont largement utilisées aujourd'hui (voir le site <http://www.ddm.org>).

Collaborations dans les années 1990 : parallélisme, précision, Krylov

Algorithmes numériques et parallélisme

J'ai poursuivi les travaux sur certains algorithmes numériques, notamment avec M. Vidrascu: produit matrice creuse-vecteur, gradient conjugué préconditionné [publications U2,A3,A4,C15,NA1].

Au sein des projets Calpar puis Aladin, nous avons analysé l'utilisation de modèles de programmation, avec différentes architectures cibles et en plaçant ceux-ci dans le contexte du calcul scientifique. J'ai participé à plusieurs contrats de recherche de l'INRIA Rennes avec des constructeurs pour effectuer des expérimentations sur des machines parallèles, notamment la machine PARAGON d'Intel, la machine KSR [contrat Intel T3, contrat DGA/DRET T4]. En collaboration avec F. Bodin, T. Priol et M. Hahad [doctorant co-encadré 2], nous avons réalisé plusieurs expériences numériques sur le concept de mémoire virtuelle partagée et nous avons montré comment exploiter au mieux ce type d'architecture [publications C17,C19,C20,C21,C22]. En particulier, nous avons étudié la parallélisation de la factorisation de Cholesky sur matrices creuses, avant l'avènement des bibliothèques logicielles telles que Mumps.

Qualité numérique

La performance ne doit pas nuire à la robustesse. D'autre part, une question difficile est la validation des simulations numériques. C'est pourquoi j'ai également étudié la précision en calcul scientifique et la sensibilité aux paramètres [publications A5, A6, A7, B1]. Avec B. Philippe, nous avons coordonné l'action incitative Fiable [projet national 1]; j'ai participé à un groupe de travail sur la précision et j'ai contribué à un livre sur la qualité des calculs numériques [projet national 15].

Avec B. Philippe, nous avons dirigé le développement de l'environnement logiciel Aquarels et son transfert vers Simulog, le CNES et le CEA [contrats CNES T6]. L'atelier Aquarels a permis d'analyser la qualité numérique de différents logiciels industriels et des logiciels internes à l'équipe [publications C14, C16, C25, NA2]. Le CNES a utilisé Aquarels pour ses simulations de trajectoires de satellites (notamment le satellite Topex-Poséidon) et Simulog a commercialisé l'atelier. Nous avons réalisé plusieurs études de qualité numérique pour Bertin/Andra, le CEA, Dassault Aviations [contrats CEA T7, Bertin T8, Génie T9]; nous avons notamment analysé l'impact du parallélisme sur la qualité numérique.

J'ai encadré la thèse de J-F. Carpraux [doctorant 1] sur la qualité numérique pour les problèmes aux valeurs propres.

Avec F. Rechenmann (INRIA, équipe Sherpa), nous avons défini un système d'aide utilisant une base de connaissances.

Avec M. Sadkane (INRIA, équipe Aladin), nous avons défini une méthode de calcul du pseudo-spectre de matrices (ce travail a été fortement cité) [projet international 5].

Avec S. Rault [doctorante 4], nous avons développé un algorithme parallèle, basé sur les travaux de B. Philippe et P. Chartier (INRIA), pour calculer la trajectoire d'un satellite. Une des contraintes était de conserver la précision de la version séquentielle. Seule la parallélisation à travers le temps était possible; nous avons obtenu une bonne efficacité grâce à une approximation assez précise du Jacobien dans les itérations de Newton [publication NA3]. Le travail a fait l'objet d'un transfert au CNES [contrat CNES T5].

Résolution de systèmes linéaires et non linéaires par les méthodes de Krylov

J'ai également démarré des travaux sur les méthodes itératives de Krylov, pour résoudre de très grands systèmes linéaires creux [contrats DGA/DRET T10]. Avec F. Guyomarch' [doctorant 6] et Y. Saad (Minnesota, USA), nous avons formalisé des méthodes de gradient conjugué augmenté (AugCG) et avec déflation (DefCG) [publications A16, A17]. Ces méthodes sont largement utilisées de nos jours (voir les citations sur le web). Avec M-O. Bristeau (INRIA), R. Glowinski (Texas, USA) et J. Périaux (Dassault Aviations), nous avons appliqué l'algorithme AugCG pour réaliser des simulations parallèles en propagation d'ondes (équation d'Helmholtz), sur des problèmes fournis par Dassault Aviations [publications A8, A13, C18]. Voir aussi l'exemple des matériaux composites ci-dessous.

Avec des stagiaires de master, nous avons développé une version parallèle de GMRES [logiciel PARGMRES], basée sur les travaux de L. Reichel (Kent, USA), de B. Philippe et R. Sidje (INRIA), dont j'ai montré l'efficacité sur divers calculateurs parallèles [publications A9, C23]. Ces travaux ont été repris récemment par B. Philippe, L. Grigori (INRIA) et G-A. Atenekeng-Kahou (INRIA, Cameroun), pour intégrer un préconditionnement Schwarz multiplicatif (logiciel GPREMS).

Lors de mes séjours en Australie [projet international 2], en collaboration avec K. Burrage (Queensland, Australie), B. Pohl (post-doctorant) et A. Williams (doctorant), nous avons conçu une méthode de déflation, d'abord pour une méthode de relaxation puis pour GMRES [publications A11, A12, A14, A15]. J'ai aussi montré comment intégrer la déflation dans la version parallèle de GMRES. Cette approche innovante, proche des travaux similaires et contemporains de Morgan, est largement utilisée de nos jours (voir les citations sur le web). La méthode DefGMRES a fait l'objet d'un transfert à l'Aérospatiale [contrat T11]. Nous reprenons actuellement les travaux sur la déflation (voir programme de recherche).

Avec R. Choquet [doctorant 3], nous avons conçu des stratégies de redémarrage pour accélérer la convergence de Newton-GMRES et nous avons également défini un préconditionnement adaptatif de Newton-GMRES [publications A10, C24]. Ce sujet est toujours d'actualité (voir les citations sur le web). Nous avons appliqué notre méthode à des problèmes de mécanique des fluides et effectué des simulations sur machines parallèles. Les résultats ont montré l'efficacité de nos méthodes [projet international HCM, 1].

Collaborations dans les années 2000 : parallélisme, Krylov, géophysique

Solveurs linéaires creux parallèles

Avec I. Altas (Australie) et M. Gupta (USA), nous avons comparé divers préconditionnements du gradient conjugué pour résoudre un problème biharmonique avec une discrétisation d'ordre élevé [publication A20]. Ce travail est fréquemment cité. Avec B. Philippe, nous avons démarré une étude sur des méthodes hybrides, associant direct et itératif [projet international NSF, 6].

Nous utilisons les machines de Grid'5000 [projets nationaux 7 et 11] et du Genci [projet national 12]. Nous disposons également d'un serveur de calcul multiprocesseurs sous Windows, financé par un BQR [projet national 8].

Avec A. Beaudoin (post-doctorant) et J-R. de Dreuzy (Géosciences Rennes), nous avons comparé différentes bibliothèques numériques pour résoudre un problème d'écoulement (ou de diffusion) avec un tenseur K fortement hétérogène [publications C28, C29]. Nous avons effectué des simulations numériques en 2D (taille de système jusqu'à 64 millions) sur les grappes de processeurs de Grid'5000 (jusqu'à 64 processeurs) et sur la machine Varga de l'Idris. Nous avons finalement choisi une méthode multigrille algébrique, qui converge très rapidement et qui est efficace sur une grappe de processeurs. Nous poursuivons le travail avec des simulations en 3D, les premiers résultats confirment nos conclusions mais nous devons augmenter la taille des systèmes (jusqu'à 1 ou 10 milliards).

Avec D. Nuentza Wakam [doctorant 14], B. Philippe et E. Canot (équipe Sage, CNRS), nous travaillons à plusieurs approches pour accélérer l'algorithme GPRMES, qui est une version parallèle de GMRES avec un préconditionnement de Schwarz multiplicatif [publications C42, C44]. Nous avons montré sur différents exemples que Schwarz multiplicatif est parmi les plus fiables et qu'il est efficace sur des grappes de processeurs. Nous étudions l'intégration de nos méthodes de déflation pour accélérer la convergence; les premiers résultats sont très encourageants. Nous avons aussi défini une approche multiniveaux, avec utilisation des processeurs multicœurs, parallélisation au sein de chaque sous-domaine et distribution des calculs entre les sous-domaines. Nos simulations sur les machines de Grid'5000 et de l'Idris montrent l'efficacité du logiciel GPREMS. Ces travaux sont réalisés dans le cadre du pôle de compétitivité LUTB, avec un contrat de la région Rhône-Alpes [contrat Cinemas T14] et un contrat ANR-RNTL [projet national Libraero 10]. Le

logiciel GPREMS est déposé à l'APP, il sera bientôt disponible en logiciel libre. Il a fait l'objet d'un transfert vers la PME innovante FLUOREM (Lyon) et les sociétés partenaires de Cinemas (Valeo, Plastic Omnium, Renault Trucks).

Simulations numériques de phénomènes physiques couplés non linéaires

Une des difficultés dans la modélisation et la simulation est de traiter des équations non linéaires couplées: c'est par exemple le cas pour l'homogénéisation de matériaux composites (couplage micro-macro), un écoulement avec mélange d'eau douce et d'eau salée (couplage écoulement-transport), une diffusion de la chaleur dans un sol humide. J'ai contribué à définir des schémas numériques efficaces, à développer des logiciels et à réaliser des simulations sur calculateurs parallèles.

Avec M. Brieu [doctorant 5] et F. Devries (CNRS, Paris), nous avons prouvé que la méthode incrémentale utilisée par les physiciens pour simuler le comportement de matériaux composites est en fait une méthode de Newton, donc à convergence quadratique locale. Ce résultat a permis de valider la méthode incrémentale et d'expliquer les résultats de convergence observés. Nous avons également utilisé l'algorithme AugCG lors des itérations de Newton. Nous avons développé un logiciel parallèle, en utilisant une décomposition en sous-domaines [publications A24, NA4]. Ces simulations ont permis d'effectuer des analyses du comportement et de l'endommagement des matériaux élastomères (M. Brieu et F. Devries ont réalisé des transferts industriels, vers Michelin notamment).

Avec C. de Dieuleveult (ingénieur) et E. Canot, nous avons étudié la modélisation d'un écoulement avec densité variable, qui est utilisée notamment pour analyser les nappes phréatiques côtières [publications C30, NA5]. Il s'agit alors de coupler l'écoulement et le transport de sel. Le point de départ était un logiciel développé par l'IMFS (P. Ackerer, CNRS, Strasbourg). Nous avons utilisé une méthode de point fixe, qui est une alternative à la méthode de Newton, et mis au point une version parallèle. En collaboration avec C. Perez (INRIA), nous avons mis au point une version avec des composants logiciels, dans le cadre du projet Hydrogrid (coordination M. Kern, participants IMFS, INRIA, Géosciences) [projet national 5]. Nous avons ainsi montré que le nombre d'itérations varie avec le nombre de processeurs et que l'efficacité dépend fortement du réseau de l'architecture parallèle [logiciel EAUSALEE].

Lorsqu'on utilise un schéma en temps explicite pour simuler un phénomène transitoire, on n'a pas de système à résoudre, mais se pose la question du parallélisme. Avec N. Makhoul [doctorante co-encadrée 12] et N. Nassif (université AUB, Liban), nous avons repris les travaux sur la parallélisation en temps [projet international Sarima 7]. Nous avons défini la méthode RAPTI, basée sur un changement d'échelle et sur une propriété de similarité. La thèse est maintenant terminée, la soutenance est prévue en décembre (j'ai choisi de ne pas cosigner les publications, ma contribution n'étant pas assez importante).

Avec M. Muhieddine [doctorant co-encadré 11], E. Canot, R. Delannay (Institut de Physique de Rennes) et R. March (archéosciences, CNRS, Rennes 1), nous avons étudié la modélisation de la combustion d'un feu préhistorique [projet national Arphymat 9]. L'objectif est de déterminer l'altération du sous-sol due à la chaleur. Des comparaisons avec des fouilles archéologiques ont validé les simulations numériques (j'ai choisi de ne pas cosigner les publications). Le projet Arphymat continue, sous la responsabilité d'E. Canot.

Problèmes inverses

Avec R. Choquet et Y-H. De Roeck (Ifremer), nous avons étudié les aspects algorithmiques de la méthode MBTT, pour caractériser les fonds sous-marins à partir de mesures sismiques [contrat T12]. Avec S. Zein [doctorant co-encadré 9], E. Canot et N. Nassif (université AUB, Liban), nous avons mis au point plusieurs méthodes pour résoudre ce problème inverse. Nous avons utilisé la méthode directe développée par le projet Ondes et avons utilisé un algorithme de gradient stochastique ; nous avons également défini une méthode de lancer de rayons associée à un algorithme génétique [publications A26, A27, C31, C32, C33]. Nous avons travaillé sur les données des campagnes Ifremer [contrat T13].

Avec S. Khalfallah [doctorante 16], N. Hariga (Tunis), A. ben Abda (Tunis), nous étudions les problèmes de complétion de données, dans le cadre d'un projet STIC-Tunisie [projet international 8], [publications A33, C36, C40]. Nous avons défini un problème aux moindres carrés généralisé, qui évite le coût d'une matrice de transfert, ainsi qu'une formulation avec minimisation d'énergie.

Schémas numériques pour l'écoulement et le transport de solutés

Avec H. Hoteit [doctorant co-encadré 7], B. Philippe, R. Mosé (IMFS) et P. Ackerer (IMFS), nous avons défini et développé des modèles numériques pour simuler l'écoulement et le transport de solutés dans des milieux poreux [publications A18, A19, A23], dans le cadre du groupement Momas [projet national 16]. Nous avons étudié les propriétés numériques du schéma d'éléments finis mixtes pour modéliser l'écoulement. Nous avons étudié une approche par séparation d'opérateurs pour modéliser le transport, avec éléments finis discontinus pour l'advection. Nous avons mis au point un limiteur de pente efficace, qui évite les oscillations numériques. Ce travail a été appliqué par H. Hoteit et R. Mosé aux cas tests Couplex définis par le groupement Momas (ils ont obtenu le 1er prix). Les publications sont

fréquemment citées.

Avec A. Beaudoin (post-doctorant) et J-R. de Dreuzy (CNRS, Géosciences Rennes), nous avons étudié une approche lagrangienne, utilisant la méthode particulière dite du marcheur aléatoire, pour simuler le transport d'un soluté inerte (pas de réaction chimique) [publication C34]. Nous avons conçu une version parallèle originale, exploitant la distribution en sous-domaines du champ de vitesse et le caractère indépendant des trajectoires de particules. Nos simulations numériques sur les machines de Grid'5000 et de l'Idris montrent une très bonne efficacité parallèle.

Avec C. de Dieuleveult [doctorante 10], M. Kern (INRIA) et J. Carrayrou (IMFS, Strasbourg), nous avons étudié les modèles de transport réactif, couplant transport et chimie [publications A30, A31, A32, C26, C35]. Nous avons formalisé différentes méthodes de la littérature et nous avons proposé une méthode basée sur une formulation en système algèbro-différentiel. Nous avons appliqué cette méthode au benchmark 1D de géochimie défini par le groupement Momas (nous avons obtenu le 3^e prix, les 2 premiers prix ont également étudié le benchmark 2D) et à plusieurs problèmes proposés par l'Andra [contrat Andra T15, projet national Momas 6, groupement Momas 16]. Nous avons ensuite appliqué la méthode à des problèmes 2D et 3D [logiciel GLOBAL-DAE-3D].

Avec J-R. de Dreuzy, nous avons démarré des travaux sur les réseaux de fractures 2D puis 3D [thèse de H. Mustapha, doctorant co-encadré 8], dans le cadre du projet Hydrogrid [projet national 5]. Avec B. Poirriez [doctorant 13], G. Pichot (post-doctorante), R. Le Goc (doctorant de J-R. de Dreuzy) et J-R. de Dreuzy, nous avons développé un modèle stochastique d'un écoulement transitoire dans un réseau de fractures discret 2D ou 3D [publications A22, A29, A34, C27, C38, C41] et implémenté ce modèle [logiciel MP_FRAC]. Ce travail est réalisé dans le cadre du projet Micas, que je coordonne [projet national 2] et du projet INRIA/USA [projet international 9]. Nous avons défini des algorithmes efficaces pour générer le réseau, mailler le réseau, appliquer une méthode d'éléments finis mixtes. Nous avons conçu une méthode de type Mortar pour traiter des maillages non conformes. Nous travaillons actuellement sur les méthodes de sous-domaines pour résoudre le système linéaire issu de la discrétisation et sur une version parallèle du logiciel MP-FRAC : voir programme de recherche. Notre logiciel MP_FRAC est utilisé pour réaliser des simulations sur des modèles fournis par l'IFP.

Modélisation et simulation avec des données incertaines

Une autre difficulté dans les applications en physique, notamment en hydrogéologie, est de traiter les incertitudes dans les données. L'hétérogénéité des milieux nécessite de suivre une approche de quantification d'incertitude. Une des approches est de définir un modèle stochastique, où les données sont des champs aléatoires. Actuellement, nous utilisons une méthode de Monte-Carlo, bien adaptée aux modèles ergodiques. Avec J. Charrier [doctorante 15] et A. Debussche (IRMAR/ENS Cachan Bretagne/INRIA), nous étudions des méthodes de quantification d'incertitude non intrusives. Les résultats de J. Charrier sont remarquables.

Ces méthodes nécessitent plusieurs centaines de simulations, chacune comprenant un système linéaire creux avec 100 millions, voire 100 milliards d'inconnues. Nous définissons des algorithmes parallèles pour toutes les étapes de calcul et gérons un parallélisme à plusieurs niveaux [travail d'E. Bresciani, ingénieur associé], [publications C39, C43].

Avec A. Beaudoin et J-R. de Dreuzy, dans le cadre du projet Micas [projet national 2], nous avons effectué des simulations stochastiques et multiparamétriques pour analyser le phénomène de macro-dispersion d'un soluté inerte [publications A25, A28, A35, C37, NA6, NA7, NA8]. Nous avons développé un logiciel qui intègre un modèle numérique parallèle d'écoulement avec une décomposition en sous-domaines et une résolution parallèle du système linéaire (voir ci-dessus), un modèle numérique parallèle de transport (voir ci-dessus) et un modèle parallèle de Monte-Carlo (voir ci-dessus) [logiciel PARADIS]. Grâce à ces simulations, nous avons obtenu des résultats qui servent de référence dans la communauté de l'hydrogéologie (voir le comment élogieux de A. Fiori et al. dans la revue WRR et notre reply).

La plate-forme logicielle H2OLab (<http://h2olab.inria.fr/>) est spécialisée dans la modélisation et la simulation numérique d'aquifères. Les milieux physiques sont hétérogènes, poreux ou fracturés. L'incertitude sur les données est traitée par un modèle stochastique. La plate-forme est organisée en plusieurs logiciels (le cœur formé de GW_NUM et GW_UTIL, les applications, notamment PARADIS, MP_FRAC) et en bases de données de résultats de simulation. J'exerce un rôle de chef de projet, en lien avec J-R. de Dreuzy. La plate-forme est développée en gestion collaborative, avec une dizaine de contributeurs. La plate-forme a un fort impact sur nos travaux de recherche: nous pouvons démontrer la pertinence de nos schémas et algorithmes, illustrer les performances de nos algorithmes parallèles; nous obtenons des résultats en hydrogéologie qui sont tout à fait originaux et innovants. Nous envisageons une diffusion de la plate-forme auprès de partenaires académiques, européens (universités de Barcelone et de Leipzig) et africains (universités de Tunis, de Kenitra, de Rabat).

Programme de recherche

Modèles, algorithmes et logiciels pour l'hydrogéologie

Contexte

L'objectif de mon programme de recherche est de développer des méthodes numériques pour modéliser le transport de fluides et de solutés dans des milieux souterrains hétérogènes. Les domaines d'application sont la gestion des ressources en eaux souterraines, la prévention de la pollution des nappes phréatiques, la réhabilitation des aquifères pollués, le stockage de déchets toxiques ou nucléaires, la gestion de réservoirs pétroliers, la séquestration du CO₂. Les transferts de fluides et d'éléments dans les milieux souterrains sont déterminés en premier lieu par la très forte hétérogénéité géologique, qui se trouve à la fois dans les milieux fracturés et poreux. Les fractures servent de chenaux préférentiels d'écoulement et modifient complètement les propriétés hydrauliques d'un site. Dans les milieux poreux, la forte variabilité de perméabilité induit une dispersion des temps de transit des solutés sur plusieurs ordres de grandeur.

Les études de terrain montrent que l'hétérogénéité géologique ne présente pas nécessairement d'échelle caractéristique à partir de laquelle pourrait être mise en œuvre une approche d'homogénéisation. Pour ces milieux fracturés et poreux, le seul outil de modélisation est une simulation numérique, où toutes les échelles sont représentées. D'autre part, une des caractéristiques des modèles géologiques est l'absence de données précises de terrain. Pour étudier la phénoménologie des propriétés hydrauliques, nous utilisons une modélisation stochastique, où les données sont des variables aléatoires suivant une distribution prescrite. La pertinence des modèles mis en œuvre est assurée par la représentativité des modèles aléatoires d'hétérogénéité et par la confrontation des résultats de simulation aux observations qualitatives de terrain. L'objectif est de définir des modèles simplifiés ayant un nombre de degrés de liberté limité et de calibrer les modèles aux données de terrain en résolvant un problème inverse. Cette étape est nécessaire pour modéliser un site naturel particulier.

Modélisation numérique

Les phénomènes physiques que j'étudie sont le transfert de fluides (écoulement) et le transport de solutés. Une des difficultés est le couplage de ces deux modèles entre eux ou avec d'autres modèles : couplage écoulement-transport avec densité variable (intrusion d'eau salée), couplage transport-chimie (pollution), couplage transport-chimie-biologie (remédiation), couplage écoulement-transport-thermique-mécanique-chimie THMC (déchets nucléaires), etc. Il s'agit alors de définir un modèle discret spatio-temporel, de résoudre des équations non linéaires, de résoudre des systèmes linéaires à plusieurs millions ou milliards d'inconnues, de traiter des données à fort contraste, variant sur plusieurs ordres de grandeur. Pour calibrer le modèle direct, il faut également résoudre un problème inverse.

Un de nos objectifs est de mettre en œuvre des schémas spatio-temporels pour le transfert de fluides (permanent ou transitoire), pour des maillages structurés et non structurés, en 2D et en 3D. Une des difficultés est d'appliquer ces méthodes à des réseaux discrets de fractures en 3D (thèse de B. Poirriez, collaboration avec G. Pichot –équipe Sage, avec J-R. de Dreuzy –Géosciences Rennes, projet Micas). En effet, il faut dans un premier temps générer un maillage d'une géométrie complexe. Nous avons défini une méthode robuste, avec des maillages conformes ou non conformes, qui nous permet de discrétiser l'écoulement pour tout type de réseau. Nous prévoyons d'utiliser des indicateurs pour raffiner le maillage du réseau de fractures (collaboration avec Z. Mghazli, projet Hydromed), afin d'effectuer des simulations sur des réseaux de grande taille et déterminer des lois d'échelle. Un autre objectif est de modéliser un milieu poreux-fracturé, avec les échanges entre matrice poreuse et fractures (collaboration avec J. Jaffré, M. Kern et J. Roberts –équipe Estime, P-L. George et F. Alauzet –équipe Gamma, ARC soumise).

La discrétisation spatio-temporelle des équations de transport est délicate. Les méthodes telles que le marcheur aléatoire discrétisent bien l'advection mais sont moins efficaces pour la dispersion cinématique. Nous étudions les propriétés des marcheurs aléatoires et nous les appliquons à l'analyse de la macro-dispersion dans des milieux poreux 3D (collaboration avec G. Pichot, A. Beaudoin –université de Poitiers, J-R. de Dreuzy, A. Lejay –équipe Tosca). Notre objectif est aussi de poursuivre les travaux sur la séparation d'opérateurs et sur le transport réactif (projet Momas).

L'hétérogénéité des milieux nécessite de suivre une approche de quantification d'incertitude. Une des difficultés est de traiter les lois de distribution utilisées en hydrogéologie. Actuellement, nous utilisons une méthode de Monte-Carlo, qui s'avère très efficace pour les modèles ergodiques. Nous analysons numériquement la convergence du modèle de transport inerte dans un milieu poreux, associant méthode de Monte-Carlo, méthode de volumes finis pour l'écoulement, marcheur aléatoire pour le transport. Un objectif est de traiter d'autres modèles et d'utiliser des méthodes non intrusives de quantification d'incertitude, basées sur un développement de Karhunen-Loeve (thèse de J. Charrier, en collaboration avec A. Debussche –équipe Ipso, projet Micas et thèse de M. Oumouni, en collaboration avec Z. Mghazli, projets Hydromed et Co-Advise).

Pour modéliser un site naturel, il est nécessaire de résoudre un problème inverse qui calibre les paramètres du modèle grâce aux mesures. Pour l'identification de paramètres, nous étudions différentes approches non linéaires basées sur un calcul approché de gradient (thèse de S. Khalfallah, collaboration avec A. ben Abda, projets Hydromed et Co-Advise). Dans les problèmes inverses en hydrogéologie, une des difficultés est la paramétrisation. Nous choisissons une approche par points pilotes plutôt qu'une approche par zonation, parce qu'elle semble plus adaptée à l'hydrogéologie. Il s'agit alors de définir une méthode itérative pour choisir efficacement ces points pilotes.

Algorithmes de résolution et calcul à haute performance

Une étape fondamentale est la mise au point d'algorithmes de calcul et résolution. Pour des phénomènes couplés tels que l'intrusion d'eau salée ou le transport réactif, les équations sont non linéaires et forment un système global constitué de plusieurs modèles physiques (thèse de S. Salit, collaboration avec M. Kern –équipe Estime ; projet Momas, contrat ANDRA ; collaboration avec R. Bouhlila, projet Hydromed). La majorité des méthodes proposées pour les couplages se basent sur une stratégie de point fixe, qui converge lentement en général. Une alternative est de considérer l'ensemble des modèles couplés comme un unique système global et de résoudre à chaque pas de temps un système non linéaire. Nous préconisons d'utiliser une formalisation en systèmes d'équations différentielles ordinaires ou algébriques (DAE) et de considérer une méthode de Newton. Cette approche présente plusieurs avantages, notamment le contrôle du pas de temps, la convergence rapide et contrôlée de Newton et la modularité. Une des difficultés est la taille du système linéaire sous-jacent.

La résolution de systèmes linéaires creux de grande taille est au cœur du calcul scientifique. Les forts contrastes impliquent des systèmes très mal conditionnés difficiles à résoudre. Notre objectif est de définir des critères a priori qui permettent de choisir le solveur le plus performant.

Dans le cas de problèmes elliptiques avec une matrice symétrique définie positive, les enjeux sont de traiter un milieu poreux 3D fortement hétérogène avec plusieurs milliards d'inconnues (collaboration avec D. Tromeur-Dervout – université de Lyon, projet Micas) et un réseau de fractures avec une géométrie complexe (thèse de B. Poirriez, projet Micas). Nous étudions pour cela les techniques de sous-domaines, à la fois Schwarz et Schur, et des techniques multigrilles. Il s'agit de trouver un préconditionnement ou une accélération efficace.

Dans le cas général de problèmes avec une matrice non symétrique, le défi est de traiter des matrices de très grande taille issues de problèmes industriels complexes (thèse de D. Nuentza Wakam, projet Libraero, contrat Cinemas). La méthode GMRES préconditionnée par une méthode de sous-domaines de type Schwarz est robuste. Nous étudions les techniques de déflation pour passer à l'échelle et garantir une convergence presque indépendante du nombre de sous-domaines (collaboration avec L. Grigori –équipe Grand Large, laboratoire commun INRIA-UIUC).

L'utilisation du calcul intensif est un élément incontournable des simulations numériques en hydrogéologie. Nous définissons des algorithmes parallèles pour toutes les étapes de calcul : calcul des matrices et fonctions, résolution des systèmes linéaires, marcheurs aléatoires. Nous utilisons un partitionnement en sous-domaines et un modèle de programmation par messages, basé sur une architecture à mémoire distribuée. Un objectif est d'exploiter au mieux les ressources en gérant un parallélisme à plusieurs niveaux. Il s'agit de définir la meilleure stratégie possible, entre chaque niveau de parallélisme, en fonction des ressources disponibles (expérimentations sur Grid'5000, projet Genci, action d'envergure Hemera).

Logiciels : plate-forme H2OLab et logiciels de résolution

Les modèles et méthodes numériques que nous étudions sont mis en œuvre dans des logiciels. En ce qui concerne les algorithmes de résolution, le logiciel GPREMS est déposé à l'APP et sera disponible comme logiciel libre (licence Cecill-C). Nous développons une interface pour utiliser différents solveurs linéaires, qui sera aussi disponible sous licence libre. En ce qui concerne l'hydrogéologie, ces logiciels sont intégrés dans la plate-forme H2OLab (projet Micas). La principale originalité de cette plate-forme est d'effectuer des modélisations stochastiques pour des milieux poreux ou fracturés fortement hétérogènes (voir fiche). Une autre caractéristique est que la plupart des logiciels sont parallèles. Pour l'instant, quatre logiciels ont été déposés à l'APP (PARADIS, MPFRAC, GW_NUM et GW_UTIL). D'autres logiciels sont en cours de développement. Pour l'instant, les logiciels EAUSALEE et GLOBAL_DAE_3D ne sont pas intégrés dans H2OLab. Nous prévoyons de les déposer à l'APP et d'intégrer une nouvelle version. La plate-forme joue un rôle fédérateur et a vocation à être une référence numérique en hydrogéologie des milieux hétérogènes (réseaux RISC-E et RNSC, collaboration avec O. Kolditz –UFZ, Leipzig, J. Carrera –UPC, Barcelone, projet COST soumis). Pour l'instant, les logiciels sont privés, mais nous prévoyons une stratégie de diffusion académique avec une licence gratuite. Nous avons de plus développé une base de données qui intègre les données et résultats des nombreuses simulations effectuées. Un objectif est de développer un portail Web permettant d'interfacer la base de données et de lancer les simulations sur une machine distante, par exemple une grille de calcul.

Animation scientifique

J'ai créé l'équipe Sage en 2003-2004 ; elle a été évaluée par l'INRIA en 2008 et en 2010, avec des rapports très favorables. Actuellement, je dirige 7 thèses, dont 3 en co-tutelle à l'étranger et 2 en co-direction à Rennes ; une soutenance est programmée fin 2010 et trois en 2011. Je supervise également le travail d'un ingénieur-expert jusqu'à fin 2011. Ces encadrements sont étroitement liés à mon programme de recherche.

Je coordonne le projet Micas, financé par l'ANR-CIS-2007, jusqu'à fin 2011. La collaboration entre les partenaires est très forte, comme le montrent de nombreux échanges, des publications communes, des co-encadrements (voir sites web de SAGE et de Micas). Je poursuivrai ces collaborations très fructueuses au-delà du projet Micas et je prévois de pérenniser le travail pour aboutir à une diffusion des logiciels dans la communauté académique internationale. L'équipe SAGE est depuis longtemps fortement impliquée dans des collaborations avec le Liban et l'Afrique. Je poursuis ces collaborations à travers des co-tutelles de thèse (Liban, Maroc, Tunisie) et la participation au projet Hydromed ainsi qu'au projet européen Co-Advise.

LISTE COMPLETE DES RÉALISATIONS

1. Publications

La plupart des articles de journaux sont sur Web of Science (sauf papiers Multiphysics-2008, ETNA-1995, 1990, 1986, 1984). Parmi les articles de proceedings, seuls Europar 2007 et PDPTA 2005 sont sur Web of Science.

Une partie seulement des articles de journaux sont sur Mathscinet; seulement quelques articles de journaux et de proceedings sont sur DBLP.

J'ai publié 34 articles dans des revues internationales. Les revues sont toutes de très bon niveau, par exemple SISC, SIMAX, JCAM, NLAA, ETNA, Num. Meth. Eng., JCP, WRR, Parallel Computing, etc. Certaines revues sont ciblées vers l'algèbre linéaire, d'autres vers les algorithmes numériques, plusieurs traitent d'applications physiques. Je suis parfois seul auteur, souvent co-auteur à cause du travail pluridisciplinaire qui nécessite des collaborations et aussi grâce aux encadrements de thèses. L'ordre des auteurs est souvent l'ordre alphabétique, parfois le doctorant ou post-doctorant est le premier auteur. Il n'y a pas de redondance dans les articles.

Je suis co-auteur d'un livre paru chez Masson en 1997 et co-éditeur d'un proceedings à paraître.

J'ai également publié 44 articles dans des proceedings ou des chapitres de livres. Très souvent, ce sont des conférences liées au calcul parallèle, avec une forte sélection, par exemple ICS, ICPP, Parco, Europar, ParCFD, etc. Il n'y a pas ou très peu de redondance entre les articles de proceedings et les articles de revues.

J'ai publié 7 articles dans des ouvrages nationaux (revues, chapitres de livres ou actes de conférences). Ce sont des articles originaux, non traduits dans des articles en anglais.

J'ai présenté 8 conférences plénières invitées et j'ai été auteur ou co-auteur de 21 présentations dans des conférences internationales sur invitation.

Je suis auteur ou co-auteur de 16 contributions dans des conférences internationales (sélection, actes des résumés) et de 14 conférences nationales (sélection ou invitation, actes des résumés).

A signaler enfin 17 rapports de recherche (dont certains sont des versions longues d'articles publiés dans des revues ou proceedings) ou rapports techniques (souvent des manuels d'utilisation ou des descriptions techniques de logiciels) et 22 rapports de contrats (dont certains n'ont pu faire l'objet de publications à cause de leur caractère confidentiel).

D'autre part, 1 article est soumis et 3 articles sont en préparation. J'ai également le projet de publier un livre avec N. Nassif et B. Philippe (la rédaction a démarré).

Thesis and HdR

- U1. Erhel, J. (1982), 'Parallélisation d'algorithmes numériques', thèse de 3^e cycle, Université de Paris 6, France.
- U2. Erhel, J. (1992), 'Vitesse et précision en calcul scientifique', Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Rennes 1, France.

International journals

- A1. Erhel, J.; Lichnewsky, A. & Thomasset, F. (1984), 'Some algorithms for vector or parallel computers', *Physica A* **124**, 587-602.
- A2. Erhel, J. (1986), 'parallel programming and applications on Cray-XMP', *Supercomputer* **14**.
- A3. Erhel, J. (1990), 'sparse matrix multiplication on vector computers', *international journal on high speed computing* **2**, 101-106.
- A4. Erhel, J.; Traynard, A. & Vidrascu, M. (1991), 'An Element by Element Preconditioned Conjugate Gradient Method implemented on a Vector Computer', *Parallel Computing* **17**, 1051-1065.
- A5. Erhel, J. (1993), 'Experiments with Data Perturbations to Study Condition Numbers and Numerical Stability', *Computing* **51**, 29-44.
- A6. Carpraux, J. & Erhel, J. (1994), 'SESAME - A Knowledge-Based System for Eigenvalue Problems', *Mathematics and Computers in Simulation* **53**, 315-325.
- A7. Carpraux, J.; Erhel, J. & Sadkane, M. (1994), 'Spectral portrait for non hermitian large sparse matrices', *Computing* **53**, 301-310.
- A8. Bristeau, M.; Féat, P.; Erhel, J.; Glowinski, R. & Périaux, J. (1995), 'Solving the Helmholtz equation at high wave numbers on a parallel computer with a shared virtual memory', *International Journal of Supercomputer Applications and High Performance Computing* **9:1**, 18-28.

- A9. Erhel, J. (1995), 'A parallel GMRES version for general sparse matrices', *Electronic Transactions on Numerical Analysis* **3**, 160-176.
- A10. Choquet, R. & Erhel, J. (1996), 'Newton-GMRES algorithm applied to compressible flows', *International Journal for Numerical Methods in Fluids* **23**, 177-190.
- A11. Erhel, J.; Burrage, K. & Pohl, B. (1996), 'Restarted GMRES preconditioned by deflation', *Journal of Computation and Applied Mathematics* **69**, 303-318.
- A12. Burrage, K.; Williams, A.; Erhel, J. & Pohl, B. (1996), 'The implementation of a Generalized Cross Validation algorithm using deflation techniques for linear systems', *J. Applied Numerical Mathematics* **19**, 17-31.
- A13. Bristeau, M. & Erhel, J. (1998), 'Augmented Conjugate Gradient. Application in an iterative process for the solution of scattering problems', *Numerical Algorithms* **18**, 71-90.
- A14. Burrage, K.; Erhel, J.; Pohl, B. & Williams, A. (1998), 'A deflation technique for linear systems of equations', *SIAM Journal on Scientific Computing* **19**(4), 1245-1260.
- A15. Burrage, K. & Erhel, J. (1998), 'On the performance of various adaptive preconditioned GMRES', *Numerical Linear Algebra with Applications* **5**, 101-121.
- A16. Saad, Y.; Yeung, M.; Erhel, J. & Guyomarc'h, F. (2000), 'A deflated version of the Conjugate Gradient Algorithm', *SIAM Journal on Scientific Computing* **21**(5), 1909-1926.
- A17. Erhel, J. & Guyomarc'h, F. (2000), 'An Augmented Conjugate Gradient Method for solving consecutive symmetric positive definite systems', *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications* **21**(4), 1279-1299.
- A18. Hoteit, H.; Erhel, J.; Mosé, R.; Philippe, B. & Ackerer, P. (2002), 'Numerical Reliability for Mixed Methods Applied to Flow Problems in Porous Media', *Computational Geosciences* **6**, 161-194.
- A19. Hoteit, H.; Mosé, R.; Philippe, B.; Ackerer, P. & Erhel, J. (2002), 'The maximum principle violations of the mixed-hybrid finite-element method applied to diffusion equations', *International Journal for Numerical Methods in Engineering* **55**, 1373-1390.
- A20. Altas, I.; Erhel, J. & Gupta, M. (2002), 'High Accuracy Solution of Three-Dimensional Biharmonic Equations', *Numerical Algorithms* **29**(1), 1-19.
- A21. Brieu, M. & Erhel, J. (2003), 'On the convergence of a non-incremental homogenization method for non-linear elastic composite materials', *Numerical Algorithms* **32**, 141-161.
- A22. de Dreuzy, J. & Erhel, J. (2003), 'Efficient algorithms for the determination of the connected fracture network and the solution to the steady-state flow equation in fracture networks', *Computers and Geosciences* **29**, 107-111.
- A23. Hoteit, H.; Ackerer, P.; Mosé, R.; Erhel, J. & Philippe, B. (2004), 'New two-dimensional slope limiters for discontinuous Galerkin methods on arbitrary meshes', *International Journal of Numerical Methods in Engineering* **61**, 2566-2593.
- A24. de Dreuzy, J.; Davy, P.; Erhel, J. & de Bremond d'Ars, J. (2004), 'Anomalous diffusion exponents in continuous two-dimensional multifractal media', *Physical Review E* **70**, 016306 (6 pages).
- A25. de Dreuzy, J.; Beaudoin, A. & Erhel, J. (2007), 'Asymptotic dispersion in 2D heterogeneous porous media determined by parallel numerical simulations', *Water Resource Research* **43**, W10439 (doi:10.1029/2006WR005394).
- A26. Zein, S.; Canot, E.; Erhel, J. & Nassif, N. (2008), 'Determination and Sensitivity Analysis of the Seismic Velocity of a Shallow Layer from Refraction Traveltimes Measures', *International Journal of Multiphysics* **2**(4), 437-456.
- A27. Zein, S.; Canot, É.; Erhel, J. & Nassif, N. (2008), 'Determination of the Mechanical Properties of a Solid Elastic Medium from a Seismic Wave Propagation Using Two Statistical Estimators', *Mathematics and Mechanics of Solids*, **13**, 388 – 407.

- A28. de Dreuzy, J.; Beaudoin, A. & Erhel, J. (2008), 'Reply to comment by A. Fiori et al. on "Asymptotic dispersion in 2D heterogeneous porous media determined by parallel numerical simulations"', *Water Resources Research* **44**, W06604, (doi:10.1029/2008WR007010).
- A29. Erhel, J.; de Dreuzy, J.-R. & Poirriez, B. (2009), 'flow simulations in three-dimensional Discrete Fracture Networks', *SIAM Journal on Scientific Computing* **31**(4), 2688-2705.
- A30. de Dieuleveult, C.; Erhel, J. & Kern, M. (2009), 'A global strategy for solving reactive transport equations', *Journal of Computational Physics* **228**, 6395-6410.
- A31. Carrayrou, J.; Hoffmann, J.; Knabner, P.; Kräutle, S.; de Dieuleveult, C.; Erhel, J.; der Lee, J. V.; Lagneau, V.; Mayer, K. & MacQuarrie, K. (2010), 'Comparison of numerical methods for simulating strongly non-linear and heterogeneous reactive transport problems – the MoMaS benchmark case', *Computational Geosciences*, **14**, 483-502.
- A32. de Dieuleveult, C. & Erhel, J. (2010), 'A global approach to reactive transport: application to the MoMas benchmark', *Computational Geosciences*, **14**, 451-464.
- A33. Hariga-Tlatli, N.; Baranger, T. N. & Erhel, J. (2010), 'Misfit functionals for recovering data in ElectroCardioGraphy problems', *Engineering Analysis with Boundary Elements* **34**, 492-500.
- A34. Pichot, G.; Erhel, J. & de Dreuzy, J. (2010), 'A mixed hybrid Mortar method for solving flow in discrete fracture networks', *Applicable Analysis*, **89**, 1629–1643.

Books

- B1. Bajard, J.; Beaumont, O.; Chesneaux, J.; Dumas, M.; Erhel, J.; Michelucci, D.; Muller, J.; Philippe, B.; Revol, N.; J-L.Roch & Vignes, J. (1997), *Qualité des Calculs sur Ordinateurs. Vers des arithmétiques plus fiables ?*, Masson. Version anglaise disponible également.
- B2. Tromeur-Dervout, D.; Brenner, G.; Emerson, D. & Erhel, J., ed. (to appear), *PARCFD'2008 conference proceedings*, Springer.

Proceedings of international conferences and book chapters

- C1. Erhel, J.; Lichnewsky, A. & Thomasset, F. (1982), Parallelism in finite element computation, in 'IBM Symposium on Parallel Processing'.
- C2. Erhel, J.; Lichnewsky, A. & Thomasset, F. (1983), Some algorithms for vector or parallel computers, in '7th Int congress on mathematical physics', North-Holland.
- C3. Erhel, J.; Jalby, W.; Lichnewsky, A. & Thomasset, F. (1985), Recent developments in parallel and vector processing, in 'Proc. of the sixth int'l. symposium on Computing methods in applied sciences and engineering', North-Holland, pp. 249 - 253.
- C4. Angrand, F. & Erhel, J. (1986), Vectorized finite element codes for compressible flows, in 'Finite Element in Flow Problems', F. Antibes, ed., New York, 1988, John Wiley & Son.
- C5. Erhel, J.; Lichnewsky, A. & Thomasset, F. (1986), Vectorizing Finite Element Methods, in P. Chenin; C. Di Crescenzo & F. Robert, ed., 'Computers and computing ; Informatique et calcul', Masson, pp. 255-269.
- C6. Eisenbeis, C. & Erhel, J. (1986), Expériences sur le calculateur vectoriel ST100, in P. Chenin; C. Di Crescenzo & F. Robert, ed., 'Computers and computing ; Informatique et calcul', Masson, pp. 250-254.
- C7. Erhel, J. (1987), Finite element methods on parallel and vector computers; applications in fluid dynamics, in '1st International Conference on Supercomputing (ICS)', Springer-Verlag, , pp. 768 - 781.
- C8. Erhel, J. (1988), parallelization of finite element methods by domain decomposition, in '2nd international symposium on domain decomposition methods'.
- C9. Erhel, J. & Philippe, B. (1988), Multiplication of a vector by a sparse matrix on supercomputers, in Vanneschi, M. Cosnard, M.H. Barton, ed., 'IFIP working conference on Parallel Processing', North-Holland.

- C10. Angrand, F.; Erhel, J. & Leyland, P. (1989), Fully vectorized implicit scheme for 2D viscous hypersonic flow using adaptive finite element methods, *in* 'International Symposium on Numerical Methods in Engineering', pp. 765-774.
- C11. Erhel, J. (1989), Simulation of compressible flows on supercomputers, *in* 'Finite element analysis in fluids; Proceedings of the Seventh International Conference on Finite Element Methods in Flow Problems', University of Alabama in Huntsville Press, pp. 1219-1224.
- C12. Erhel, J.; Tallec, P.L. & Vidrascu, M. (1989), Parallel implementation of an algorithm for domain decomposition methods applied to three-dimensional elasticity problems, *in* '5e congrès international sur les méthodes numériques de l'ingénieur'.
- C13. Erhel, J. & Vidrascu, M. (1989), Adapting algorithms and data structures to supercomputers in finite element calculations, *in* P. Ladevèze J.M. Fouet & R. Ohayon, ed., 'Calcul des Structures et Intelligence Artificielle', Pluralis, pp. 403-417.
- C14. Erhel, J. & Philippe, B. (1991), Aquarels: A problem-solving environment for numerical quality, *in* R. Vichnevetsky & J. Miller, ed., '13th IMACS World Congress on Computation and Applied Mathematics', pp. 45-46.
- C15. Traynard, A.; Erhel, J. & Vidrascu, M. (1991), Evaluation of an Element by Element Preconditioner for the Conjugate Gradient Method, *in* M. Durand & F. El Dabaghi, ed., 'High Performance Computing II', North Holland, pp. 257-268.
- C16. Erhel, J. & Philippe, B. (1992), Design of a Toolbox to Control Arithmetic Reliability, *in* L. Atanassova & J. Herzberger, ed., 'Computer Arithmetic and Enclosure Methods', North-Holland, , pp. 99-108.
- C17. Bodin, F. & Erhel, J. (1993), 'Parallel Sparse Matrix by Vector Multiplication using a Shared Virtual Memory Environment', *in* Norfolk, ed., '6th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing', 421-428.
- C18. Bristeau, M.; Erhel, J.; Glowinski, R. & Périaux, J. (1993), 'A Time Dependent Approach to the Solution of the Helmholtz Equation at High Wave Numbers', *in* Norfolk, ed., '6th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing', 258-261.
- C19. Hahad, M.; Erhel, J. & Priol, T. (1994), Scheduling strategies for Sparse Cholesky factorization on a shared virtual memory parallel computer, *in* 'International Conference on Parallel Processing', pp. 290-297.
- C20. Hahad, M.; Priol, T. & Erhel, J. (1995), Compiling Assemblage Patterns on Shared Virtual Memory Multicomputers, *in* 'Third Workshop on Languages, Compilers, and Run-Time Systems for Scalable Computers'.
- C21. Hahad, M.; Priol, T. & Erhel, J. (1995), Irregular Loop Patterns Compilation on Distributed Shared Memory Multiprocessors, *in* 'International Conference on Parallel Processing', pp. 113-116.
- C22. Erhel, J.; Hahad, M. & Priol, T. (1996), 'No-compile-time-knowledge' distribution of finite element calculations on multiprocessors, *in* '29th Hawaii International Conference of System Sciences (HICSS'96)', pp. 614-615.
- C23. Erhel, J. (1996), A Parallel Preconditioned GMRES Algorithm for Sparse Matrices, *in* M. Shub J. Renegar & S. Smale, ed., 'Lectures in Applied Mathematics, The Mathematics of Numerical Analysis', AMS, pp. 345-355.
- C24. Erhel, J. (1997), *About Newton-Krylov methods*, John Wiley & Sons, Chichester, pp. 53-61.
- C25. Beaumont, O.; Erhel, J. & Philippe, B. (2000), *Enabling technologies for computational science*, Kluwer Academic Publishers, Boston, chapter 28: Aquarels: a problem-solving environment for validating scientific software, pp. 351-357.
- C26. Erhel, J. & Kern, M. (2005), Numerical Methods for Chemistry and for Coupling Transport with Chemistry in Porous Media, *in* A. Mikelic; Ch. Scwhab & C. J. van Duijn, ed., 'Reactive Flow and Transport Through Complex Systems', pp. 2795-2798.

- C27. Mustapha, H.; Erhel, J. & de Dreuzy, J. (2005), 'Heterogeneous Fractured Media: Mathematical Analysis and Parallel Computing', in 'International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'05)', pp. 1031-1034.
- C28. Beaudoin, A.; Erhel, J. & de Dreuzy, J.-R. (2006), A comparison between a direct and a multigrid sparse linear solvers for highly heterogeneous flux computations, in 'Eccomas CFD 2006' (CD).
- C29. Beaudoin, A.; de Dreuzy, J.; Erhel, J. & Mustapha, H. (2006), Parallel Simulations of Underground Flow in Porous and Fractured Media, in G.R. Joubert; W.E. Nagel; F.J. Peters; O. Plata; P. Tirado & E. Zapata, ed., 'Parallel Computing: Current and Future Issues of High-End Computing', NIC, pp. 391-398.
- C30. Canot, É.; de Dieuleveult, C. & Erhel, J. (2006), A parallel software for a saltwater intrusion problem, in G.R. Joubert; W.E. Nagel; F.J. Peters; O. Plata; P. Tirado & E. Zapata, ed., 'Parallel Computing: Current and Future Issues of High-End Computing', NIC, pp. 399-406.
- C31. Zein, S.; Nassif, N.; Erhel, J. & Canot, É. (2006), Recovery of the coefficients of the elastodynamics equation using two statistical estimators, in Rizzi & Vichi, ed., 'Proc. of COMPSTAT 2006, 17th Symposium of IASCI-ERS, Physica Verlag, pp. 1421-1429.
- C32. Zein, S.; Canot, É.; Erhel, J. & Nassif, N. (2006), Recovery of the Velocity and the Shape of the Interface of a Geological Layer, in Topping; Montero & Montenegro, ed., 'Proc. of the Fifth Int. Conf. on Engineering Computational Technology.
- C33. Zein, S.; Canot, E.; Erhel, J. & Nassif, N. (2007), A Seismic Tomography Using Genetic Algorithm, in '6-th International Conference On Applied Mathematics APLIMAT 2007'.
- C34. Beaudoin, A.; de Dreuzy, J. & Erhel, J. (2007), An efficient parallel particle tracker for advection-diffusion simulations in heterogeneous porous media, in A.-M. Kermarrec; L. Bougé & T. Priol, ed., 'Euro-Par 2007, Lecture Notes in Computer Science 4641', Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 705-714.
- C35. de Dieuleveult, C. & Erhel, J. (2008), Global method for coupling reactive transport, in B. A. Schrefler & U. Perego, ed., 'Proceedings of IACM-ECCOMAS 2008 Congress', CD, 2 pages.
- C36. Hariga, N. & Erhel, J. (2008), Different misfit functionals for recovering data in ElectroCardioGraphy problems., in B. A. Schrefler & U. Perego, ed., 'Proceedings of IACM-ECCOMAS 2008 Congress', CD, 2 pages.
- C37. Erhel, J. (2009), Stochastic groundwater simulations for highly heterogeneous porous media, in B. Amaziane; D. Barrera; M. Fortes; M. Ibanez; M. Odunlami; A. Palomares; M. Pasadas; M. Rodriguez & D. Sbibih, ed., 'Proceedings of the third international conference on approximation methods and numerical modelling in environment and natural resources, MAMERN'09', EUG, pp. 419-422.
- C38. Pichot, G.; de Dreuzy, J.-R.; Erhel, J. & Davy, P. (2009), Flow in multi-scale fracture networks: numerical optimization by use of a Mortar-like method, in B. Amaziane; D. Barrera; M. Fortes; M. Ibanez; M. Odunlami; A. Palomares; M. Pasadas; M. Rodriguez & D. Sbibih, ed., 'Proceedings of the third international conference on approximation methods and numerical modelling in environment and natural resources, MAMERN'09', EUG, pp. 761-766.
- C39. Erhel, J.; de Dreuzy, J.; Beaudoin, A.; Bresciani, E. & Tromeur-Dervout, D. (2009), A parallel scientific software for heterogeneous hydrogeology, in Ismail H. Tuncer; Ulgen Gulcat; David R. Emerson & Kenichi Matsuno, ed., 'Proceedings of the Parallel Computational Fluid Dynamics 2007 conference', Lecture Notes in Computational Science and Engineering, Springer, pp. 39-48.
- C40. ben Abda, A.; Erhel, J. & Khalfallah, S. (2010), Fictitious domain decomposition technique for recovering missing boundary data: groundwater flow equation, in J. Carrera (Ed), ed., 'XVIII International Conference on Water Resources (CMWR 2010)', CIMNE, Barcelona.
- C41. Pichot, G.; Erhel, J. & de Dreuzy, J.-R. (2010), A non conforming mortar like method for modeling flow in 3d multiscale fracture networks, in J. Carrera (Ed), ed., 'XVIII International Conference on Water Resources (CMWR 2010)', CIMNE, Barcelona.
- C42. Nuentza-Wakam, D.; Erhel, J.; Canot, É. & Atenekeg-Kahou, G. (2010), A comparative study of some distributed linear solvers on systems arising from fluid dynamics simulations, in B. Chapman; F. Desprez; G.

Joubert; A. Lichnewsky; F. Peters & T. Priol, ed., 'Parallel Computing: from Multicores and GPU's to Petascale (proceedings of PARCO'09)', IOS Press, pp. 51-58.

- C43. Erhel, J.; de Dreuzy, J.-R. & Bresciani, E. (to appear), Multi-parametric intensive stochastic simulations for hydrogeology on a computational grid, *in* 'Proceedings of the Parallel Computational Fluid Dynamics 2008 conference', Lecture Notes in Computational Science and Engineering, Springer.
- C44. Nuentza-Wakam, D.; Erhel, J. & Canot, É. (to appear), Parallélisme à deux niveaux dans GMRES avec un préconditionneur Schwarz multiplicatif, *in* 'proceedings of CARI'2010'.

National journals, book chapters and proceedings

- NA1. Erhel, J. (1992), Quelques exemples d'algorithmes numériques sur architectures vectorielles et parallèles à mémoire partagée, Masson, chapter 13, pp. 185-200.
- NA2. Erhel, J. & Gourdou, O. (1997), 'Méthodes et outils pour les problèmes de précision numérique', *Revue internationale de CFAO et informatique graphique* **12** (1-2), 131-138.
- NA3. Erhel, J. & Rault, S. (2000), 'Algorithme parallèle pour le calcul d'orbites : Parallélisation à travers le temps', *Technique et science informatiques* **19** (5).
- NA4. Brieu, M.; Devries, F. & Erhel, J. (2001), 'Algorithme parallèle non incrémental pour la simulation de l'évolution d'endommagements en milieux hyperélastiques', *Calculateurs parallèles, réseaux et systèmes répartis* **13**, 83-106.
- NA5. Erhel, J.; Ackerer, P.; de Dreuzy, J.; Kern, M.; Leroy, H. & Perez, C. (2002), *Ecole Grid'2002*, France, chapter Couplage par composants logiciels de codes d'hydrogéologie.
- NA6. Beaudoin, A.; de Dreuzy, J. & Erhel, J. (2005), Transport dans les milieux poreux hétérogènes: Détermination des lois macroscopiques, *in* 'XXIIIèmes Rencontres Universitaires de Génie Civil'. Proceedings.
- NA7. Beaudoin, A.; de Dreuzy, J. & Erhel, J. (2007), Utilisation du calcul parallèle pour étudier numériquement la macro dispersion dans les aquifères, *in* 'Congrès Français de Mécanique CFM'. Proceedings and two posters.

National general journals

- NA8. Erhel, J. & de Dreuzy, J.-R. (2009), 'Modélisation hydrogéologique: des pollutions suivies à la trace', *La Recherche, les cahiers de l'INRIA* (430).

International and national conferences (invited plenary talks)

- P1. Erhel, J.; Ackerer, P.; de Dreuzy, J.; Kern, M.; Leroy, H. & Perez, C. (2002), Couplage par composants logiciels de codes d'hydrogéologie, *in* 'École thématique Grid 2002'. Invited lecture.
- P2. Canot, É. & Erhel, J. (2003), 'Simulation de problèmes couplés d'hydro-géologie : utilisation d'une grille de calcul et d'un modèle de composants logiciels', 'Renpar'15', La Colle sur Loup. Invited plenary talk.
- P3. Erhel, J. (2004), Modèles numériques et calculs sur une grille appliqués à des problèmes d'hydrogéologie, Semestre Calcul Numérique Intensif de la Chaire Unesco, Tunis. Invited lecture.
- P4. Erhel, J. (2006), Nonlinear methods for reactive transport simulations, Int. conf. on Approximation and Iterative Methods, Lille. Invited plenary talk.
- P5. Erhel, J. (2007), A parallel scientific software for heterogeneous hydrogeology, Parallel CFD, Antalya. Invited plenary talk.
- P6. Erhel, J. (2009), Stochastic groundwater simulations for highly heterogeneous porous media, MAMERN'09'. Invited plenary talk.
- P7. Erhel, J. (2010), 'Modélisation et simulation appliquées au suivi de pollution des nappes phréatiques', 'MMS', INSA Rennes. Invited lecture.
- P8. Erhel, J. (2011), 'Parallel sparse linear solvers', PARENG11. Invited plenary talk.

International conferences (conference or mini-symposium by invitation)

- I1. Brieu, M. & Erhel, J. (1999), 'simulation of damage evolution in nonlinear elastic materials' 'SCICADE', Fraser Island, Australie. Organization of a minisymposium.
- I2. Erhel, J. (1999): 'Direct and iterative sparse linear solvers', workshop of the european project CRUCID, Rabat. Invited contribution.
- I3. Altas, I.; Erhel, J. & Gupta, M. (2000), 'Iterative solvers for solving biharmonic equations', Workshop on 'Matrix Iterative Analysis and Biorthogonality', Luminy, France. Invited contribution.
- I4. Canot, É. & Erhel, J. (2002), 'Some inverse problems in electrocardiography', '2nd workshop, ERCIM Working Group on Matrix Computations and Statistics', Rennes, France. Invited contribution.
- I5. Erhel, J. & de Dreuzy, J.-R. (2003), 'A compact scheme for numerical simulation of flow circulation in highly heterogeneous porous media', 'ICIAM', Sydney, Australia. Invited talk in a minisymposium.
- I6. Erhel, J. & de Dreuzy, J.-R. (2003), 'Modelling Flow and Transport in Subsurface Complex Fracture Networks', 'SIAM GS', Austin, USA. Invited talk in a minisymposium.
- I7. de Dreuzy, J.; Davy, P. & Erhel, J. (2003), 'Well test interpretation in heterogeneous media', 'Workshop of European grant SALTRANS', Majorque, Spain. Invited contribution.
- I8. Erhel, J. (2005), 'A Global Method for Reactive Transport in Porous Media', 'SIAM on Computational Geosciences'05'. Invited talk in a minisymposium.
- I9. Erhel, J. (2005), 'Coupling flow, transport, heat transfer and geochemistry', Workshop on Model order reduction, coupled problems and optimization, Leiden, Pays-Bas. Invited contribution.
- I10. Mustapha, H.; de Dreuzy, J. & Erhel, J. (2005), 'Discrete Fracture Modeling of 3D Flow in Multi-scale Fracture Networks', 'SIAM on Computational Geosciences'05'. Organization of a minisymposium by J.Erhel and J.Roberts.
- I11. Erhel, J. (2006), 'Simulation numérique du transport de solutés dans des milieux poreux hétérogènes', Workshop on High Performance Computing, Tunis. Invited talk.
- I12. Erhel, J.; de Dreuzy, J.; Beaudoin, A. (2007), 'Direct and iterative sparse linear solvers applied to groundwater flow simulations', M2A07, Marseille. Invited talk.
- I13. Erhel, J.; de Dreuzy, J.; Beaudoin, A. & Tromeur-Dervout, D. (2007), 'High performance flow simulation in discrete fracture networks and heterogeneous porous media', 'SIAM on Computational Geosciences'07', Santa Fe (USA). Organization of a mini-symposium by J.Erhel and J.Roberts.
- I14. Erhel, J. & de Dieuleveult, C. (2008), 'A global strategy for solving reactive transport equations', 'First conference of SM2A. Porous media and scientific computing', Morocco. Invited talk in a minisymposium.
- I15. Poirriez, B.; Erhel, J. & de Dreuzy, J.-R. (2009), 'Flow simulation in 3D Discrete Fracture Networks', 'SIAM Conference on mathematical and computational issues in the Geosciences', Leipzig, Germany. Organization of a mini-symposium by J.Erhel and J.Roberts.
- I16. Erhel, J. & de Dieuleveult, C. (2009), 'Analysis of Numerical Methods for Coupling Transport and geochemistry Equations', 'SIAM Conference on mathematical and computational issues in the Geosciences', Leipzig, Germany. Invited talk in a minisymposium.
- I17. de Dieuleveult, C. & Erhel, J. (2009), 'Numerical Results with a Global Method for 2D Reactive Transport Problems', 'SIAM Conference on mathematical and computational issues in the Geosciences', Leipzig, Germany. Invited talk in a mini-symposium.
- I18. Nuentza-Wakam, D.; Canot, E. & Erhel, J. (2009), 'Comparison of some linear solvers on systems arising from fluid dynamics' 'Numerical methods and North-South Cooperation NUMCOOP'09', Yaounde, Cameroon. International conference organized by J. Erhel, E. Canot and E. Kamgnia.

- I19. Erhel, J.; Poirriez, B.; Pichot, G. & de Dreuzy, J.-R. (2009), 'How to compute flow in three-dimensional fracture networks'. 'Numerical methods and North-South Cooperation NUMCOOP'09', Yaounde, Cameroon. International conference organized by J. Erhel, E. Canot and E. Kamgnia.
- I20. Erhel, J.; ben Abda, A. & Khalfallah, S. (2010), 'Methods based on an energy formulation for data completion problems'. 'Inverse Problems, Computation, and Applications', Marseille, France. Invited talk.
- I21. Erhel, J.; de Dreuzy, J.-R.; Poirriez, B. & Pichot, G. (2010), 'Numerical schemes for simulation of steady-state flow in 3D Discrete Fracture Networks'. 'International congress in mathematical fluid dynamics and its applications (MFD)', Rennes, France. Organization of a mini-symposium by J. Erhel.

International Conferences (refereed contribution with book of abstracts)

- R1. Erhel, J.; Philippe, B.; Mallejac, N. & Paoletti, J. (1995), 'Aquarels: a problem-solving environment for numerical quality - review of the project and first use on realistic problems', 'ICIAM'. Accepted contribution.
- R2. Erhel, J.; Philippe, B. & Rault, S. (1997), 'Parallelization of satellite trajectory', *in* 'third European Cray-SGI MPP workshop', Paris. Accepted contribution.
- R3. Erhel, J.; Guyomarc'h, F. & Saad, Y. (2001), 'Least-squares polynomial filters for ill-conditioned linear systems', 'Conference on Applied Inverse Problems', Montecatini Terme, Italy. Accepted contribution.
- R4. Hoteit, H.; Erhel, J.; Philippe, B.; Mosé, R. & Ackerer, P. (2001), 'Numerical Reliability and Time Requirements for the Mixed Methods Applied to Flow Problems in Porous Media', 'Sixth SIAM Conference on mathematical and computational issues in the Geosciences', Boulder, CO, USA. Accepted contribution.
- R5. Erhel, J. & Canot, É. (2003), 'The inverse Electrocardiography Problem viewed as a General Linear Model', 'ICIAM', Sydney, Australia. Accepted contribution.
- R6. de Dieuleveult, C.; Canot, É. & Erhel, J. (2005), 'High Performance Computing Applied to a Saltwater Intrusion Numerical Model', 'SIAM on Computational Geosciences'05'. Accepted contribution.
- R7. Zein, S.; Erhel, J.; Nassif, N. & Canot, É. (2005), 'Determination of the material properties of a solid elastic medium in contact with a fluid medium with MCMC and SPSA'3rd World Conference on Computational Statistics and Data Analysis (CSDA)', IASC. Accepted contribution.
- R8. Zein, S.; Erhel, J.; Nassif, N. & Canot, É. (2005), 'Recovery of the coefficients of the elastodynamics equation using two statistical estimators', 'Workshop on Inverse Problems (WIP2005)'. Accepted contribution.
- R9. de Dieuleveult, C. & Erhel, J. (2007), 'A numerical model for coupling chemistry and transport', 'International Conference on Scientific Computation And Differential Equations, SciCADE 2007'. Accepted contribution.
- R10. Nassif, N.; Erhel, J. & Makhoul-Karam, N. (2008), 'Ratio-Based Parallel Time Integration (RaPTI) for Satellite Trajectories', 'SIAM conference on Parallel Processing for Scientific Computing', Atlanta, USA. Accepted contribution.
- R11. Pichot, G.; Erhel, J. & de Dreuzy, J. (2008), 'A Mixed-Hybrid Mortar Method for Domain Decomposition with non matching grids applied to solve flow in Discrete Fracture Networks', 'Scaling Up and Modeling for Transport and Flow in Porous Media', Dubrovnik, Croatia. Accepted contribution.
- R12. de Dreuzy, J.; Beaudoin, A. & Erhel, J. (2008), 'Asymptotic dispersion in 2D heterogeneous porous media' (EGU2008-A-00000), 'EGU General Assembly', USA. Accepted contribution.
- R13. de Dieuleveult, C. & Erhel, J. (2008), 'A global approach for coupling chemistry and transport' 'International Workshop on Modelling reactive transport in porous media', Strasbourg. Accepted contribution.
- R14. Pichot, G.; Erhel, J. & de Dreuzy, J.-R. (2009), 'On the Simulation of Flow in Large-Scale Fractured Media', 'SIAM Conference on mathematical and computational issues in the Geosciences', Leipzig, Germany. Accepted contribution.

- R15. Poirriez, B.; Pichot, G. & Erhel, J. (2010), 'Domain decomposition methods applied to flow simulation in 3D Discrete Fracture Networks'. 'Eleventh Copper Mountain conference on iterative methods'. Accepted contribution.
- R16. Nassif, N.; Erhel, J. & Makhoul-Karam, N. (2010), 'Rescaling Systems of Ordinary Differential Equations: Control of Stiffness and Parallel-in-Time Integration'. 'Conference in Numerical Analysis NumAn2010'. Accepted contribution.

National conferences

- NC1. Erhel, J. & Gourdou, O. (1997), 'Méthodes et outils pour les problèmes de précision numérique "MICAD'97', Paris. Invited talk.
- NC2. Hoteit, H.; Philippe, B.; Erhel, J.; Ackerer, P. & Mosé, R. (2002), 'Linear systems and mixed finite elements in hydrogeology', 'Sparse days at Cerfacs', Toulouse, France. Contribution.
- NC3. Erhel, J.; Hoteit, H.; Ackerer, P.; Mosé, R. & Philippe, B. (2002), 'Simulation du transport de solutés en milieu poreux par séparation des opérateurs de convection et diffusion', 'Journées du GdR Momas', Rocquencourt, France. Invited talk.
- NC4. Hoteit, H.; Mosé, R.; Ackerer, P.; Philippe, B. & Erhel, J. (2001), 'A propos de la stabilité de la méthode des Éléments Finis Mixtes', 'Congrès National de Mathématiques Appliquées et Industrielles', Pompadour, France. Contribution.
- NC5. Erhel, J.; Hoteit, H.; Ackerer, P.; Mosé, R. & Philippe, B. (2002), 'méthodes d'éléments finis mixtes en hydrogéologie des milieux poreux', 'Journées du PNRH', Rocquencourt, France. Invited talk.
- NC6. Erhel, J. & Kern, M. (2003), 'Méthodes numériques pour le transport réactif', 'Journées scientifiques du GdR Momas', Marseille, France. Contribution.
- NC7. Erhel, J. & Kern, M. (2005), 'reactive transport', 'Journées scientifiques Momas'. Contribution.
- NC8. de Dieuleveult, C. & Erhel, J. (2007), 'Couplage transport--chimie par une approche DAE : application au benchmark transport réactif', 'Journées scientifiques Momas'. Contribution.
- NC9. Canot, É.; Zein, S.; Erhel, J. & Nassif, N. (2008), 'Application des méthodes d'optimisation stochastiques à deux problèmes d'inversion sismique', 'International marine science and technology week (Sea Tech): Appraisal of the Undersea Acoustics and Geophysics Elements of the Regional Strategic Development Plan', 'Sea Tech week, Brest, CPER "Acoustique et Sismique sous-marine" final meeting. Invited contribution.
- NC10. Beaudoin, A.; de Dreuzy, J. & Erhel, J. (2008), 'Dispersion dans des milieux hétérogènes', 'XXIV Rencontres Universitaires de Génie Civil AUGC', Nancy, France. Contribution.
- NC11. Erhel, J., Carrayrou J., Kern M. and Younes A. (2009), 'Méthodes numériques pour le transport réactif', 'Journées scientifiques Momas'. Invited contribution.
- NC12. Erhel, J. (2010), 'Micas: Modelling and Intensive Computation for Aquifer Simulations'. 'Grand colloque STIC 2010 (ANR)', Paris, Invited contribution.
- NC13. Erhel, J. (2010), 'Méthodes numériques pour des modèles couplés et stochastiques d'hydrogéologie'. 'Journée GNR Momas / GDR CALCUL', Paris. Invited contribution.
- NC14. Erhel, J. (2010), 'How to solve a large sparse linear system arising in groundwater and CFD problems', 'Workshop on High Performance Computing for CO2 Geological Storage'. Invited contribution.

Research reports

- RR1. Erhel, J.; Lichnewsky, A. & Thomasset, F. (1982), 'Multiprocesseur INRIA: structure et fonctionnement'(14), Technical report, INRIA.
- RR2. Erhel, J. (1983), 'Parallélisation d'un algorithme de Gradient Conjugué'(189), Technical report, INRIA.
- RR3. Erhel, J. (1983), 'CREM User's manual'(25), Technical report, INRIA.

- RR4. Eisenbeis, C. & Erhel, J. (1985), 'Etude des performances du calculateur vectoriel ST100'(51), Technical report, INRIA.
- RR5. Erhel, J. (1985), 'Vectorizing finite element methods'(383), Technical report, INRIA.
- RR6. Erhel, J. (1986), 'concurrent programming and numerical applications'(67), Technical report, INRIA.
- RR7. Angrand, F. & Erhel, J. (1987), 'Simulation par éléments finis d'écoulements compressibles sur calculateurs vectoriels'(622), Technical report, INRIA.
- RR8. Erhel, J. (1990), 'Erreur de calcul des ordinateurs'(552), Technical report, IRISA.
- RR9. Erhel, J. (1991), 'Statistical estimation of roundoff errors and condition numbers'(1490), Technical report, INRIA.
- RR10. Choquet, R. & Erhel, J. (1993), 'Some Convergence Results for the Newton-GMRES Algorithm'(2065), Technical report, INRIA.
- RR11. Hahad, M.; Erhel, J. & Priol, T. (1993), 'Factorisation parallèle de Cholesky pour matrices creuses sur une mémoire virtuelle partagée'(1988), Technical report, INRIA.
- RR12. Hahad, M.; Erhel, J. & Priol, T. (1993), 'A New Approach to Parallel Sparse Cholesky Factorization on DMPCs'(2081), Technical report, INRIA.
- RR13. Hahad, M.; Priol, T. & Erhel, J. (1994), 'Irregular loop patterns compilation on distributed shared memory multiprocessors'(1862), Technical report, IRISA.
- RR14. Erhel, J.; Philippe, B. & Rault, S. (1997), 'Parallélisation de calculs d'orbites'(3150), Technical report, INRIA.
- RR15. Brieu, M.; Devries, F. & Erhel, J. (1998), 'Une méthode non incrémentale d'homogénéisation de structures élastomères. Application aux composites unidirectionnels'(3341), Technical report, INRIA.
- RR16. Brieu, M. & Erhel, J. (1999), 'Une méthode non incrémentale d'homogénéisation de structures élastomères. Démonstration de la convergence.'(3599), Technical report, INRIA.
- RR17. Erhel, J.; Guyomarc'h, F. & Saad, Y. (2001), 'Least-squares polynomial filters for ill-conditioned linear systems'(4175), Technical report, INRIA.

Reports for contracts and grants

- GR1. Erhel, J. & Thomasset, F. (1983), 'expertise du langage LC2', Technical report, INRIA.
- GR2. Erhel, J. & Thomasset, F. (1983), 'expertise du langage Xanadu', Technical report, INRIA.
- GR3. Bloch, T.; Erhel, J.; Herchuelz, P. & Lichnewsky, A. (1985), 'rapport d'expertise sur les calculateurs vectoriels japonais', Technical report, INRIA et CCVR.
- GR4. Erhel, J. (1986), 'Experiments with the ETA multitasking library', Technical report, INRIA et Control Data.
- GR5. Erhel, J. & Thomasset, F. (1986), 'rapport d'expertise sur les calculateurs vectoriels CONVEX et SCS-40', Technical report, INRIA.
- GR6. Erhel, J. & Philippe, B. (1989), 'qualité numérique des logiciels scientifiques: étude de faisabilité du projet SQUARELS', Technical report, INRIA.
- GR7. Erhel, J. & Philippe, B. (1991), 'dossier de spécifications d'Aquarels', Technical report, INRIA-CNES.
- GR8. Erhel, J.; Jégou, Y. & Philippe, B. (1991), 'Rapport de conception préliminaire d'Aquarels: bibliothèques d'arithmétiques diverses', Technical report, INRIA-CNES.
- GR9. Erhel, J. (1993), 'rapport d'activités sur KSR', Technical report, INRIA.
- GR10. Erhel, J. & Paoletti, J. (1996), 'rapport de contrat sur l'utilisation d'Aquarels', Technical report, INRIA-Simulog-CNES.

- GR11. Choquet, R. & Erhel, J. (1997), 'Amélioration de l'algorithmique pour un code de traitement automatique des relevés géo-acoustiques des fonds marins', Technical report, INRIA.
- GR12. Erhel, J.; Philippe, B. & Rault, S. (1997), 'Analyse du comportement numérique de modules de calcul', Technical report, INRIA.
- GR13. Erhel, J. (1998), 'Parallélisation du code MBTTRAY', Technical report, INRIA.
- GR14. Erhel, J. (2000), 'Etude de la prise en compte des erreurs d'arrondi dans la preuve d'un algorithme de calcul de trajectoire', Technical report, INRIA.
- GR15. Canot, É.; Erhel, J. & Zein, S. (2004), 'Développement de nouveaux moyens d'exploration géophysique : mise au point d'un modèle numérique pour la propagation des ondes élastiques ; 1^{ère} partie.', Technical report, INRIA.
- GR16. Canot, É.; Erhel, J. & Zein, S. (2005), 'Développement de nouveaux moyens d'exploration géophysique : mise au point d'un modèle numérique pour la propagation des ondes élastiques ; 2^{ème} partie.', Technical report, INRIA.
- GR17. Canot, É.; Erhel, J.; Nassif, N. & Zein, S. (2006), 'Estimation des propriétés d'un milieu élastique solide en contact avec un fluide à partir de la propagation d'une onde sismique', Technical report, INRIA.
- GR18. de Dieuleveult, C.; Erhel, J. & Perez, C. (2006), 'Déploiement sur une grille de calcul de composants logiciels parallèles pour simuler l'intrusion d'eau salée dans une nappe d'eau souterraine', Technical report, INRIA.
- GR19. de Dieuleveult, C. & Erhel, J. (2006), 'Modèle numérique global et performant pour le couplage géochimie/transport', Technical report, INRIA.
- GR20. de Dieuleveult, C. & Erhel, J. (2007), 'Résultats numériques d'une méthode globale pour le transport réactif', Technical report, INRIA.
- GR21. Canot, É.; Erhel, J.; Nassif, N. & Zein, S. (2007), 'Estimation des coefficients mécaniques d'un milieu élastique par une méthode SPSA parallèle', Technical report, INRIA.
- GR22. de Dieuleveult, C. & Erhel, J. (2008), 'Résultats numériques avec la méthode globale appliquée à des problèmes de transport réactif', Technical report, INRIA.

2. Développements technologiques : logiciel ou autre réalisation

J'adopte ici une classification correspondant aux thèmes de recherche suivants : calculateurs et algorithmes parallèles, validation des logiciels de calcul scientifique, applications à l'hydrogéologie. Je n'indique ici que les logiciels dont le développement est abouti ; quelques logiciels ont été diffusés dans la communauté scientifique ou ont vocation à l'être bientôt. Je n'indique pas les logiciels prototypes, qui ont servi à des expérimentations pour des articles.

Calculateurs et algorithmes parallèles

- MUPI (1982) : simulateur de machine parallèle. Conception (50%) et développement (50%). Co-auteurs A. Lichnewsky et F. Thomasset. Ce logiciel était basé sur une simulation à événements discrets. Nous avons simulé les détails de l'architecture matérielle des processeurs, défini un langage assembleur, défini des outils de synchronisation multiprocesseurs, simulé les calculs et les synchronisations. Nous avons choisi une programmation en langage PL1. En outre, j'ai développé un outil graphique pour représenter les événements sur chaque processeur. J'ai rédigé une documentation. J'ai utilisé ce logiciel pour émuler des algorithmes numériques parallèles et analyser les performances, notamment l'impact des synchronisations. J'ai installé MUPI dans plusieurs universités et centres INRIA où il a servi à d'autres équipes. Il a été utilisé jusqu'à l'extinction du système Multics, vers 1990.
- CREM (1984) : simulateur de bibliothèque parallèle CRAY. Conception (50%) et développement (80%). Co-auteurs A. Lichnewsky et F. Thomasset. Ce logiciel était basé sur des routines systèmes de bas niveau, afin d'émuler le parallélisme et les synchronisations. Nous avons ainsi pu simuler le modèle de programmation choisi par la société CRAY, alors qu'aucune machine CRAY n'était disponible en France. Nous avons choisi une programmation en langage PL1. J'ai rédigé une documentation. J'ai utilisé ce logiciel pour définir et valider des algorithmes numériques parallèles, analyser les performances. J'ai installé CREM dans plusieurs centres INRIA où il a été utilisé par plusieurs équipes. Il a été utilisé jusqu'à l'extinction du système Multics.
- BENCHMARK (1986) : évaluation de calculateurs vectoriels. Conception (50%) et développement (80 %). Co-auteurs A. Lichnewsky, F. Thomasset, P. Herchuelz. Nous avons rassemblé une collection de programmes illustrant les besoins en calcul numérique intensif. L'objectif était de mesurer les capacités des calculateurs vectoriels et parallèles sur une gamme représentative de logiciels en calcul scientifique. Nous avons utilisé ce benchmark au Japon, pour expertiser les superordinateurs des constructeurs Hitachi et Fujitsu. Nous l'avons aussi utilisé aux USA, pour expertiser les superordinateurs du constructeur CRAY. J'ai ensuite utilisé ce benchmark, aux USA, lors d'un séjour de 5 mois dans la société ETA systems. L'objectif était de comparer les performances attendues de l'ETA 10, par rapport à celles mesurées chez CRAY. J'ai ainsi pu mettre en évidence quelques points forts et points faibles de chaque architecture matérielle et logicielle. Ce benchmark a cessé d'être utilisé dans les années 90.
- PARGMRES (1995) : algorithme GMRES parallèle. Conception (80%). J'ai encadré plusieurs stagiaires qui ont réalisé le développement, en C et Fortran. Ce logiciel a permis de montrer tout l'intérêt de l'approche choisie pour paralléliser GMRES. Nous avons utilisé PARGMRES en interne dans l'équipe ALADIN. Il n'est plus maintenu.
- GPREMS (2009) : algorithme GMRES parallèle préconditionné par Schwarz multiplicatif. Le travail sur PARGMRES a été poursuivi dans la thèse de G-A. Atenekeng-Kahou. Il a développé le logiciel GPREMS, qui inclut un préconditionnement par Schwarz multiplicatif. Je suis responsable scientifique du logiciel GPREMS : je me charge de la propriété intellectuelle et de la diffusion (dépôt à l'APP, licence libre). Nous utilisons maintenant ce logiciel pour le projet Libraero financé par l'ANR-RNTL et pour le projet Cinemas financé par la région Rhone-Alpes, en collaboration avec la PME FLUOREM et des partenaires industriels (Valeo, Plastic Omnium, Renault Trucks). Le logiciel est diffusé aux sociétés industrielles partenaires du projet, pour résoudre des systèmes linéaires de très grande taille. Il va être bientôt disponible sous licence libre. Nous travaillons à des améliorations pour accroître les performances.

Validation de logiciels scientifiques

- SQUARELS (1988 à 1993) : atelier de qualité numérique pour la réalisation de logiciels scientifiques. Spécifications (50%) et conception globale (50%). Co-auteurs B. Philippe et Y. Jégou. Développement d'un module prototype réalisant une analyse par perturbations (100%). La conception détaillée et le développement ont été confiés à la société Simulog. L'atelier a été commercialisé par Simulog pendant quelques années (contact : C. Saguez). Il a été très utilisé au Cnes. Je l'ai utilisé pour réaliser des opérations de transfert auprès de plusieurs sociétés françaises (Cnes, CEA, Bertin/Andra, Dassault Aviations, Ifremer) et pour des travaux de recherche.

Applications à l'hydrogéologie

- EAUSALEE (2004-) : modélisation numérique d'un écoulement densitaire. Conception (70%). Le développement a été réalisé par C. de Dieuleveult, ingénieur-expert dans l'équipe, à partir d'un logiciel fourni par l'IMFS. Financement ACI Grid et GdR Momas. Nous avons apporté plusieurs améliorations, pour accroître la fiabilité et les performances. Nous avons mis au point une version parallèle. Nous avons également développé une version par composants logiciels. Nous avons utilisé le logiciel en interne, il n'est pas diffusé. Je souhaite poursuivre le développement et la maintenance de ce logiciel, afin de l'intégrer à la plate-forme H2OLab. Je prévois un dépôt APP de ce logiciel.
- GLOBAL_DAE_3D (2006-) : modélisation numérique d'un transport réactif. Conception (70%). Le développement a été réalisé par C. de Dieuleveult, doctorante dans l'équipe. Financement Andra et Momas. Nous avons choisi d'utiliser les logiciels libres MT3D, SUNDIALS, UMFPAK pour réaliser respectivement les modules de transport, de résolution du système d'équations différentielles algébriques, de résolution du système linéaire. Nous avons développé le module de chimie et le gestionnaire du couplage entre le transport et la chimie. Le logiciel est conçu avec une approche par composants afin de changer facilement ces modules. Il est utilisé en interne dans l'équipe Sage. Nous avons pu montrer la pertinence de l'approche globale proposée grâce à ce logiciel. Nous avons participé au benchmark sur le transport réactif proposé par Momas et nous avons obtenu le 3^e prix. Je vais poursuivre le développement et la maintenance de ce logiciel avec S. Sabit. Je prévois un dépôt APP de ce logiciel et son intégration dans H2OLab.
- PARADIS (2005-) : modélisation numérique du transport de fluides et de solutés dans des milieux poreux hétérogènes. Conception (40%). Le développement a été réalisé par A. Beaudoin, post-doctorant dans l'équipe, et par J-R. de Dreuzy, chercheur à Géosciences Rennes. Ce logiciel est intégré dans la plate-forme H2OLab. J'ai effectué un dépôt APP en 2008 de la version 1 (simulations 2D, écoulement permanent, transport par advection et diffusion moléculaire). Nous poursuivons le développement (simulations 3D, transport également par dispersion cinématique). Les nouvelles versions seront enregistrées à l'APP. Le logiciel est utilisé par les partenaires du projet Micas (Sage, Géosciences Rennes, observatoire H+, universités du Havre, de Poitiers, et de Lyon). Nous prévoyons une démo de PARADIS en 2011.
- MP_FRAC (2006-) : modélisation numérique du transport de fluides dans des milieux fracturés. Conception (50%). Le développement a été réalisé par R. Le Goc et par J-R. de Dreuzy, doctorant et chercheur à Géosciences Rennes. Ce logiciel est intégré dans la plate-forme H2OLab. J'ai effectué un dépôt APP en 2008 de la version 1 (réseau de fractures 3D, maillage conforme, matrice creuse non structurée). Nous poursuivons le développement (maillage non conforme, méthodes de sous-domaines). Les nouvelles versions seront enregistrées à l'APP. Le logiciel est utilisé par les partenaires du projet Micas. Nous prévoyons une démo de MP_FRAC en 2011.
- GW_NUM (2005-) : méthodes numériques pour la simulation numérique en hydrogéologie. Conception (40%). Développement réalisé par A. Beaudoin, E. Bresciani, post-doctorant et ingénieur associé dans l'équipe, ainsi que par J-R. de Dreuzy. Logiciel interne aux équipes partenaires de l'ANR Micas, intégré dans la plate-forme H2OLab. Dépôt APP en 2008. Nous poursuivons le développement avec de nouvelles fonctionnalités. Les nouvelles versions seront enregistrées à l'APP.
- GW_UTIL (2005-) : algorithmes de base pour la simulation numérique en hydrogéologie. Conception (20%). Développement réalisé par E. Bresciani et J-R. de Dreuzy. Logiciel interne aux équipes partenaires de l'ANR Micas, intégré dans la plate-forme H2OLab. Dépôt APP en 2008. Nous poursuivons le développement avec de nouvelles fonctionnalités. Les nouvelles versions seront enregistrées à l'APP.
- H2OLab (2006-) : plate-forme de simulation numérique pour l'hydrogéologie hétérogène. Chef du projet (60%) avec J-R. de Dreuzy. Développement par E. Bresciani, N. Soualem, ingénieurs dans l'équipe. Le cœur de la plate-forme est constitué des logiciels GW_NUM et GW_UTIL. Plusieurs applications y sont intégrées, notamment PARADIS et MP_FRAC. De plus, la plate-forme contient une base de données où sont stockés les résultats des simulations. Les quatre logiciels ci-dessus et de la base de données sont opérationnels, ils peuvent être diffusés en l'état. Pour l'instant, nous avons choisi une utilisation restreinte aux partenaires de Micas mais nous réfléchissons à une diffusion, sous licence gratuite, à des partenaires académiques. D'autres logiciels de la plate-forme sont encore à l'état de prototype. Nous prévoyons une démo de H2OLab en 2011.

3. Transferts technologiques résultant de la recherche

J'ai choisi de regrouper les actions de transferts en quatre groupes, correspondant aux thèmes scientifiques suivants : calculateurs et algorithmes parallèles, validation des simulations numériques, algorithmes numériques pour la physique, applications à l'hydrogéologie. J'indique également les activités d'expertise exercées à titre de consultant.

Calculateurs et algorithmes parallèles

- T1. de 1983 à 1985 : DGA/DRET - Participation à des conventions sur le calcul parallèle. Expertise de langages de programmation, d'architectures parallèles. Benchmark de logiciels du calcul scientifique.
- T2. de 1986 à 1989 : Dassault Aviation. Responsable de conventions dans le cadre du projet européen de navette spatiale Hermès. Simulations numériques parallèles en CFD.
- T3. 1993-1996 : INTEL. Responsable de la partie algorithmique numérique dans un programme de recherche multi-projets sur le calculateur parallèle PARAGON de la société INTEL.
- T4. 1994 : DGA/DRET. Participation à une convention sur l'utilisation d'un ordinateur à mémoire virtuelle partagée en calcul scientifique.
- T5. 1995-1998 : CNES. Responsable avec B. Philippe d'une convention sur la parallélisation de calcul d'orbites de satellites. Financement partiel de la thèse de S. Rault.

Validation des simulations numériques sur architectures parallèles

- T6. de 1988 à 1993 : CNES (Département d'analyse numérique) et SIMULOG. Responsable (avec B. Philippe) de conventions de recherche sur le projet d'atelier de qualité numérique Aquarels.
- T7. 1994-1996 : CEA. Responsable avec B. Philippe d'une convention sur les problèmes de précision en calcul parallèle (utilisation de l'atelier Aquarels).
- T8. 1997 : Bertin. Responsable d'une convention sur la validation de modules de calcul. Problèmes posés par l'Andra.
- T9. 1999-2000 : Action de développement INRIA Génie 2. Coordinateur : équipe-projet META2. Responsable pour l'équipe-projet ALADIN. Partenaire : Dassault Aviations. Thème : calcul sûr de trajectoires.

Algorithmes et simulations numériques appliqués à la physique

- T10. 1993 : DGA/DRET. Responsable d'une convention sur des algorithmes robustes et efficaces pour des matrices creuses.
- T11. 1996 : Aérospatiale. Responsable d'une commande sur la résolution itérative d'un système linéaire complexe. Application de GMRES avec déflation.
- T12. 1997-1998 : Région Bretagne, Simulog et Ifremer. Responsable d'une convention sur la sismique sous-marine. Financement d'un contrat d'ingénieur-expert (R. Choquet). Simulation numérique parallèle.
- T13. 2004-2007 : Ifremer. Convention dans le cadre du Contrat de Plan Etat Région sur l'offshore profond. Responsable avec E. Canot. Thème : problèmes directs et inverses en sismique sous-marine. Financement d'une thèse en co-direction avec le Liban (S. Zein).
- T14. 2007-2011 : Ecole Centrale de Lyon, projet CINEMAS2 financé par la Région Rhône-Alpes et labellisé par le pôle de compétitivité LUTB. Plusieurs partenaires industriels. Responsable du contrat. Thème : solveurs linéaires parallèles pour un logiciel de paramétrisation en mécanique des fluides. Financement partiel d'une thèse en co-tutelle avec le Cameroun (G. Atenekeng-Kahou) et d'un ingénieur-expert (en 2011).

Simulations numériques en hydrogéologie

- T15. 2005-2008 : Andra. Responsable du contrat, label MOMAS. Thème : transport réactif. Financement d'une thèse (C. de Dieuleveult).
- T16. 2007 : SAFE Technology. Responsable d'une commande. Thème : modélisation d'un écoulement multiphasique.
- T17. 2010-2013 : Andra. Responsable du contrat. Thème : transport réactif. Financement d'une thèse (S. Sabit).

Consultante auprès de PME

- T18. 2004 : action de consulting auprès de la société IPSIS, Rennes (10 jours). Thème : optimisation d'un logiciel de calcul scientifique pour l'Ifremer. J'ai contribué à modifier le logiciel de façon à éliminer les calculs inutiles et à utiliser au mieux des opérations BLAS3 et LAPACK.
- T19. 2010- : consulting auprès de la société CAPS-Entreprise, Rennes. Thème : calcul scientifique à haute performance. J'ai contribué à modifier un logiciel de simulation en physique de façon à utiliser au mieux des opérations BLAS3 et à exploiter efficacement les cartes graphiques.
- T20. 2010- : action de consulting auprès de la société CCPA, Rennes. Thème : logiciel permettant de définir la ration alimentaire du bétail. J'ai contribué à modéliser le problème sous la forme d'une minimisation du coût en respectant des contraintes non linéaires sur les aliments et nutriments.