
Candidature sur le poste de Professeur des universités PR 0021 (4118)

Mathieu Colin

**Enseirb-Matmeca Bordeaux INP
IMB, UMR 5251, Université de Bordeaux**

Plan :

- État civil : page 2
- Situation professionnelle : page 2
- Titres et diplômes : page 2 à 3
- Activité scientifique : pages 3 à 8
- Encadrement : pages 8 à 11
- Animation de la recherche : page 11 à 12
- Responsabilités administratives : page 12 à 14
- Activités d'enseignement : page 14 à 15
- Projet d'enseignement : pages 15 à 17
- Activités de recherche : résumé des travaux (pages 17 à 21), projet de recherche (pages 21 à 27), synthèse (pages 27 à 29)

État Civil

Mathieu COLIN, né le 31.03.1974 à Poitiers, nationalité Française, marié, 2 enfants.

Situation Professionnelle

- **2003** : nommé **Maître de Conférences** à l'Université Bordeaux 1, affecté à l'école d'ingénieurs ENSEIRB-MATMECA depuis le 01.09.2005, puis à l'Institut Polytechnique de Bordeaux en 2009, devenu depuis Bordeaux INP.
- Promu à la **Hors-Classe** par le CNU 26 en 2015.
- Membre des équipes Inria **MC2**, de **BACCHUS** (2014) et enfin de **CARDAMOM** depuis 2015.
- Obtention d'une délégation Inria pour l'année 2007-2008.
- **Directeur** du département Mathématique et Mécanique de l'Enseirb-Matmeca depuis le 01/09/2021.
- Titulaire de la **PEDR** ou de la **PES** depuis septembre 2004.

Adresse professionnelle :

Bordeaux INP

1 avenue du Dr Albert Schweitzer, 33402 Talence cedex

tél : 05 35 00 26 62

E-mail: mcolin@math.u-bordeaux.fr

Page Web: <http://www.math.u-bordeaux.fr/~mcolin>

Cursus et Diplômes

- **Magistère** de l'ENS Cachan. **Licence** de Mathématiques (1996, ENS Cachan). **Maîtrise** de Mathématiques (1997, Université Paris VII).
- **DEA** "EDP et Calcul Scientifique" (1997, Université Paris XI).
- **Agrégation** de Mathématiques (1998).
- **Thèse de doctorat** de l'Université Paris XI (sept 1998-dec 2001) : *"Étude mathématiques d'équations de Schrödinger quasilineaires intervenant en physique des plasmas."*
Rapporteurs : T. Cazenaze, N. Hayashi.
Jury: T. Cazenaze, T. Colin, A. de Bouard (**Directrice de thèse**), T. Lehner, J.C. Saut.
- **HDR**, Université Bordeaux 1, novembre 2011 : *Études de quelques problèmes issus de la physique des plasmas et de la mécanique des fluides.*
Rapporteurs : O. Goubet, A. Miranville, C. Sulem.
Jury: J. Bona, T. Colin, A. de Bouard, G. Gallice, O. Goubet, P. Fabrie, J.C. Saut.
- **Hors Classe** : promu par le CNU 26 en 2015.

– Primes –

- sept 2004 : obtention de la **PEDR**.
- sept 2008 : obtention de la **PEDR**.
- sept 2012 : obtention de la **PES**.
- sept 2016 : obtention de la **PEDR**.
- sept 2020 : obtention de la **PEDR**.

Résumé de l'Activité Scientifique

– Publications –

- **30 articles** parus dans des revues internationales avec comité de lecture.
- **1 note** aux C.R.A.S.
- **5 publications** dans des actes de congrès internationaux avec comité de lecture.
- **1 article** de vulgarisation dans un journal de médecine.
- **23 exposés** dans des congrès internationaux et 1 **mini-cours**.
- **17 séminaires** dans des universités françaises.

Article publiés :

- [31] P.-H. Decaup, M. Colin, E. Garrot, C. Couture, *Prevalence of taurodontism: meta-analysis in recent humans and evolutionary perspectives*, **Homo, Journal of Comparative Human Biology**, Accepté pour publication (2021).
- [30] D. Bresch, M. Colin, K. Msheik, P. Noble, X. Song, *Lubrication and shallow-water systems, Bernis-Friedman and BD entropies*, **ESAIM PROCEEDINGS and SURVEYS**, vol. 69, (2020), 1-23
- [29] M. Colin and T. Watanabe, *Cauchy problem for the nonlinear Schrödinger equation coupled with the Maxwell equation*, **Annale Henri Lebesgue**, (2020), 67-85.
- [28] M. Colin and T. Iguchi, *Solitary wave solutions to the Isobe-Kakinuma model for water waves*, **Studies in Applied Mathematics**, vol. 145(1), (2020), 52-80.
- [27] M. Colin and T. Watanabe, *A refined stability result for standing waves of the Schrödinger-Maxwell system*, **Nonlinearity**, vol. 32, (2019), 3695-3714.
- [26] D. Bresch, M. Colin, K. Msheik, P. Noble and X. Song, *BD Entropy and Bernis-Friedman Entropy*, **C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. I** 357, (2019), 1-6.
- [25] D. Bresch, M. Colin, P. Noble et X. Lin. *Lubrication theory and viscous shallow water equations*, **Proceedings Recent Advances in PDEs: Analysis, numerics and Control, SEMA SIMAI Springer Ser.** 17, (2018), 61-71.
- [24] M. Colin and T. Watanabe, *On the existence of ground states for a nonlinear Klein-Gordon-Maxwell type system*, **Funkcialaj Ekvacioj**, vol. 61, (2018), 1-14.
- [23] M. Colin and T. Watanabe, *Orbital stability of standing waves for the nonlinear Schrödinger equation coupled with the Maxwell equation*, **Nonlinearity**, vol. 30(5), (2017), 1920-1947.

- [22] M. Colin and T. Watanabe, *Cauchy problem for the nonlinear Klein-Gordon equation coupled with the Maxwell equation*, **Journal of Mathematical Analysis and Applications**, 443(2), (2016), 778-796.
- [21] S. Bellec, M. Colin and M. Ricchuito, *Discrete asymptotic equations for long wave propagation*, **SIAM Journal of Numerical Analysis**, 54(6), (2016), 3280-3299.
- [20] M. Colin and S. Bellec, *On the existence of solitary waves for Boussinesq type equations and a new conservative model*. **Advances in Differential Equations**, 21(9-10), (2016), 945-976.
- [19] M. Colin, L. di Menza et J.-C.Saut, *Solitons in quadratic media*. **Nonlinearity**, 29(3), (2016), 1000-1035.
- [18] M. Colin, T. Colin and J. Dambrine, *A simplified model for wormlike micelles flows in microchannel*. **Mathematics and Computer in Simulations**, 127, (2016), 28-55.
- [17] A. Filipini, S. Bellec, M. Colin and M. Ricchuito, *On the nonlinear behavior of Boussinesq type models : amplitude-velocity vs amplitude-flux forms*, **Costal Engineering**, 99, (2015), 109-123.
- [16] M. Colin, M. Ohta, *Instability of ground states for a quasilinear Schrödinger equation*. **Differential and Integral Equations.**, vol 27 (7-8), (2014), 613-624.
- [15] M. Colin, M. Ohta, *Bifurcation from semi-trivial standing waves and ground states for a system of nonlinear Schrödinger equations*. **SIAM Journal on Mathematical Analysis**, vol. 44(1), (2012), 206-223.
- [14] M. Colin, T. Colin, J. Dambrine, *Validity of the Reynolds equation for miscible fluids in microchannels*. **Discrete Continuous Dynamical System Série B**, vol. 17(3), (2012), 801-834.
- [13] M. Colin, T. Colin, *A multi-D model for Raman amplification*, **Mathematical Modelling and Numerical Analysis**, vol. 1, (2011), 1-22.
- [12] M. Colin, J. Jeanjean and M. Squassina, *Stability and instability results for standing waves of quasilinear Schrodinger equations*, **Nonlinearity**, vol. 23(6), (2010), 1353-1385.
- [11] M. Colin et P. Fabrie, *A variational approach for optimal control of the Navier-Stokes equations*, **Advances in Differential Equations** , vol. 15, (2010), 829-852.
- [10] M. Colin, T. Colin et M. Ohta *Instability of standing waves or a system of nonlinear Schrödinger equations with three waves interaction*, **Funkcialaj Ekvacioj**, vol. 52, (2009), 371-380.
- [9] M. Colin, T. Colin et M. Ohta *Stability of solitary waves for a system of nonlinear Schrödinger equations with three waves interaction*, **Annales IHP Analyse Non Linéaire**, vol 26, (2009), 2211-2226.
- [8] M. Colin et D. Lannes, *Short pulses approximations in dispersive media*, **SIAM Journal on Mathematical Analysis**, vol. 41(2), (2009), 708-732
- [7] M. Colin et M. Ohta, *Stability of solitary waves for Derivative Nonlinear Schrödinger equation*. **Annales IHP Analyse Non Linéaire**, vol. 23, (2006), 753-764.
- [6] M. Colin et T. Colin, *A Numerical model for the Raman amplification for laser-plasma interaction*. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, vol. 193(2), (2006), 535-562.
- [5] M. Colin et T. Colin, *On a quasilinear Zakharov system describing interactions laser plasma*,

Differential and Integral Equations, vol. 17(3,4), (2004), 297-330.

[4] M. Colin et L. Jeanjean, *Solutions for a quasilinear Schrödinger equation : a dual approach*, **Nonlinear Analysis**, vol. 56(2), (2004), 213-226.

[3] M. Colin, *Approximation of a relativistic nonlinear Schrödinger equation by a Klein-Gordon equation*, **Asymptotic Analysis**, vol. 34(3,4), (2003), 275-309.

[2] M. Colin, *Stability of Standing waves for a Quasilinear Schrödinger Equation in Space Dimension 2*, **Advances in Differential Equations**, vol. 8(1), (2003), 1-28.

[1] M. Colin, *On the Local Well-Possedness of Quasilinear Schrödinger Equations in Arbitrary Space Dimension*, **Communications in Partial Differential Equations**, vol. 27, (2002), 325-354.

Proceedings :

[5] H. Kalish, M. Ricchuito, P. Bonneton, M. Colin et P. Lubin. *Introduction to the special issue on breaking wave*, European Journal of Mechanics B/Fluids, vol. 73, (2019), 1-5.

[4] A. Filipini, S. Bellec, M. Colin and M. Ricchuito, *On shoaling properties of enhanced Boussinesq models*, ECMI 2014 Proceedings.

[3] J. Bona, M. Colin, T. Colin and D. Lannes, *Preface: Special issue on asymptotic description of natural phenomena*, **Discrete and Continuous Dynamical Systems**, vol. 23 (2009), no. 4, iDii. 41-06.

[2] M. Colin, T. Colin et G. Métivier, *Nonlinear models for laser-plasma interaction*. **Séminaire X-EDP 2006-2007**.

[1] M. Colin, T. Colin, *Cauchy problem and numerical simulation for a quasilinear Zakharov system describing laser plasma interaction*. **Proceedings of the conference on nonlinear analysis**, 2004, Orlando, Nonlinear Analysis 63 (2005) e1679-e1686.

Article de vulgarisation :

[1] P.-H. Decaup, M. Colin, E. Garrot. *Analyse par éléments finis : point méthodologique*, **BioMatériaux Cliniques**, vol. 7(1), (2022), 1-9.

NB : Tous les articles sont téléchargeables à partir de ma page Web : <http://www.math.u-bordeaux.fr/~mcolin>.

– **Activités éditoriales** –

- Co-éditeur d'un numéro spécial **Discrete and Continuous Dynamical Systems** consacré aux équations dispersives non-linéaires. *Preface: Special issue on asymptotic description of natural phenomena*, Disc. Contin. Dyn. Syst. 23 (2009), no. 4, 41-06.
- Membre du **comité éditorial** du journal **Applications and Applied Mathematics: An International Journal (AAM)** depuis 2010.
- Co-éditeur d'un numéro spécial **European Journal of Mechanics /B Fluids** dédié aux 2 premières éditions du workshop international **B'Waves**. (2017).
- Reviewer pour les journaux **MMAS**, **Report on Math. Phys.**, **Funkcialaj Ekvacioj**, **JFA**, **Dis. Cont. Dyn. Syst.**, **Indiana Univ. Math. J.**, **J. Math. Phys.**, **Nonlinearity**, **DCDS**, **Comm. Cont. Maths.**, **J. Diff. Eqs**, **Anal. Math. Phys.**, **Royal Soc. Edinburgh : Proc. A**, **Complex Var. Elliptic Eqs.**, **JDCS**, **Advanced**

Nonlinear Studies, EJDE, Calc. Var. and PDEs, Nonlinear Analysis, EJMS, PJM, IJNMF, JMP, Annales IHP.

- Reviewer pour les Mathematical Reviews (jusqu'en 2017).

– Rapports et jurys de thèse –

- 2009 : Membre du jury de thèse de **J. Dambrine** : *"Modélisation et étude numérique de quelques écoulements de fluides complexes en micro-fluidique"*, Directeurs : T. Colin et M. Colin.
- 2013 : Rapporteur sur la thèse de **L. Mouzaoui** : *"Régimes asymptotiques pour l'équation de Schrödinger non-linéaire"* (Université de Montpellier), Directeur : Rémi Carles.
- 2014 : Rapporteur sur la thèse de **T. Nguyen** : *"Quelques problèmes variationnels issus de la théorie des ondes non-linéaires"* (Université Toulouse III), Directeur : Mihai Maris.
- 2016 : Membre du jury de thèse de **B. Mélinand** : *"Météotsunamis, résonance de Proudman et effet Coriolis pour les équations des vagues"*, (Université de Bordeaux). Directeur : D. Lannes.
- 2016 : Membre du jury de thèse de **B. Al Taki** : *"Sur quelques modèles hétérogènes en mécanique des fluides"*, (Université de Savoie et Université Libanaise). Directeur : D. Bresch et R. Talhouk.
- 2016 : Membre du jury de thèse de **S. Bellec** : *"Nouvelle approche pour l'obtention de modèles asymptotiques en océanographie"*, Directeurs : M. Colin et M. Ricchuito.
- 2016 : Rapporteur sur la thèse **Tianxang Gou** : *Normalized solutions for nonlinear Schrödinger equations*, soutenue le 29 septembre 2017 à l'Université de Franche-Comté. Directeur: L. Jeanjean.
- 2018 : Membre du jury de thèse de **Xi Lin** : *Ecoulements incompressibles réactifs avec interfaces: modèles macroscopiques et applications aux matériaux composites auto-cicatrisants*, soutenue le 21 septembre 2018 à l'Université de Bordeaux. Directeurs: D. Bresch et M. Colin.
- 2018 : Membre du jury de thèse de **Fatima Mroué** : *Couplage électromagnétique du coeur: modélisation, analyse mathématique et simulation numérique*, soutenue le 24 octobre 2019 à l'Université de Nantes. Directeurs: M. Bendahmane, M. Saad et R. Talhouk.
- 2019 : Rapporteur sur la thèse **Jordan Belissard** : *Extractions d'informations tri-dimensionnelles d'images obtenues par microscopie en vue de dessus*, soutenue le 21 novembre 2019 à l'Université de Grenoble Alpes. Directeur: S. Labbé.

– Participation et coordination de projets –

- 2004-2007 : membre de l'ACI Jeune Chercheur *Dispersion et nonlinéarités*.
- 2006 : membre de l'ACI nouvelle interface des mathématiques *Calculs de micro-fluides*.
- 2006-2009 : membre du projet ANR piano *Scan2*.
- 2010-2013 : membre du projet ANR *FAUTOCOES*.
- 2012-2013 : membre du projet ANR *MEMOVE*.
- 2013-2014 : responsable et **porteur** du projet PEPS IDEX BORDEAUX/CNRS *Développement d'une nouvelle approche mathématique et numérique pour la simulation des écoulements littoraux* (23 kilo-euros).
- 2014 : **porteur** du projet "Ecoulements incompressibles réactifs avec interfaces : modèles macroscopiques et applications aux matériaux composites autocicatrisants", financement obtenu suite à un appel à projet de l'Université de Bordeaux : 1 financement de thèse + 7 keuros de fonctionnement.
- 2015-2017 : Co-rédacteur du projet ANR VISCAP en 2016, accepté en 2016. Fin prévue en 2022.

- 2016 : **porteur** du projet "Modélisation d'un système de dégivrage thermique", financement obtenu suite à un appel à projet de l'Université de Bordeaux : 1 financement de thèse.
- 2016-2017 : Participation au projet ANR NABUCO porté par J.F. Coulombel.
- 2021 : Financement de 12000 euros obtenu auprès des départements SIN et ARCHÉO de l'Université de Bordeaux pour le projet inter-disciplinaire "FEAmand" (porteur du projet : E. Garrot, membre : M. Colin, C. Couture et P.-H. Decaup).

– Échanges internationaux –

- 2005 : Tokyo, Saitama University (invitation de M. Ohta).
- 2006 : Osaka, Osaka University (invitation de N. Hayashi).
- 2011 : Toronto, Fields Institute (invitation de D. Pelinovsky).
- 2011-2012 : Accueil de M. Ohta (Tokyo University of Science) à l'Université Bordeaux 1 pour un an.
- 2012 : Tokyo, Saitama University (invitation de M. Ohta).
- 2012 : Pékin, BICMR, (invitation T. Cazenave et B. Guo) : mini-cours école d'été *Dynamics of nonlinear dispersive and fluid mechanics equations*.
- 2014 : Tokyo, Tokyo University of Science (invitation de M. Ohta).
- 2015-2016 : Accueil de T. Watanabe (Kyoto Faculty of Sciences) à l'Université de Bordeaux pour un an.
- 2019: Invitation à Kyoto, Kyoto Sangyo University (Japon) par T. Watanabe en 2019 (8 jours).

– Exposé dans des Congrès internationaux –

- 2ème congrès international IMACS à Athens (USA), avril 2001.
- Congrès international WCNA à Orlando (USA), juillet 2004.
- Workshop "Nonlinear Wave and dispersive Equations", Kyoto University, Japon, janvier 2005.
- 4ème congrès international IMACS à Athens (USA), avril 2005.
- Congrès "Current Trend in Mathematics", Anogia (Crète) juillet 2005.
- Workshop "Asymptotic methods for PDE", Hokkaido University, Japon, février 2006.
- Workshop "PDE seminar", Osaka University, Japon, février 2006.
- 6ème conférence internationale AIMS, Poitiers juin 2006.
- 5ème congrès international IMACS à Athens (USA), avril 2007.
- 8ème congrès ECCOMAS-WCCM8, Venise, juin 2008.
- Congrès Waves 2011, Athens (USA), avril 2011.
- Workshop "Wave Breaking and Global Solutions in the Short-Pulse Dispersive Equations", Toronto, mai 2011.
- Workshop, Université de Saitama, Japon, février 2012.
- Workshop "Modified dispersion for dispersive equations and systems", Vienne, Autriche septembre 2013.
- Workshop "Dispersive equations with nonlocal dispersion", Vienne, Autriche septembre 2014.
- Workshop "Workshop on Analysis in Kagurazaka", Tokyo, Japon, janvier 2014.
- Workshop "Quasilinear and nonlocal nonlinear Schrödinger equations", Vienne Autriche 2015.
- Congrès AIMS, Orlando, juillet 2016 (2 exposés).
- Workshop "Recent progress on the qualitative properties of nonlinear dispersive equations and systems", Vienne Autriche, septembre 2016.
- 10ème congrès international IMACS à Athens (USA), Mars 2017.
- Exposé au congrès international AIMS, Taipei (Taiwan), juillet 2018.
- Exposé au workshop "On recent progress in nonlinear dispersive PDEs", Kyoto (japon), 2019.

– Mini-cours –

- Mini-Cours à l'école d'été "Dynamics of nonlinear dispersive and fluid mechanics equations", Beijing, Chine juillet 2012.

– Séminaires –

- GDR EAPQ à l'Institut Henri Poincaré (octobre 2000) et au CIRM (2002).
- Journée du laboratoire analyse numérique et EDP de Paris XI (octobre 2001).
- Université de Franche-Comté (mars 2002).
- Université d'Amiens (mars 2002).
- Université de Provence (LATP) (janvier 2003).
- Université Bordeaux 1 (février 2003).
- Institut Fourier de Grenoble (Physique Mathématique) (mars 2003).
- Université de Poitiers, janvier 2006.
- Université de Chambéry, mai 2006.
- Bordeaux janvier 2007.
- Journée Arc-Inria sur le projet ITER, janvier 2007.
- GDR CHANT, août 2008.
- Université d'Orléans, novembre 2008.
- Journées EDP Poitiers-La Rochelle, décembre 2010.
- "Journées thématiques sur les équations de Schrödinger", Université Toulouse III, janvier 2012.
- Université de Pau en juin 2015.
- Université de Franche-Comté 2017.

– Diffusion –

- Participation au salon de l'Étudiant de Bordeaux pour représenter l'école MATMECA (2005-2007).
- Création d'une plaquette de présentation de l'école MATMECA destinée aux élèves des classes préparatoires aux grandes écoles (2004-2007).
- Participation au forum des métiers du collège Pierre Martin de Rauzan (2008).
- Intervention auprès de collégiens pour présenter le métier de chercheur, collège Alfred Mauguin de Gradignan (2016 et 2019).
- Accueil de collégiens de 3ème pour le stage en entreprise : M. Hertzmann (2013), A. Claverie (2015).
- Participation au forum des métiers du collège Alfred Mauguin de Gradignan (2017).
- Participation au forum de l'orientation et des métiers du lycée des Graves de Gradignan (2017 et 2018).

Encadrement

– Second cycle –

- 2003-2008 : Encadrement projets école MATMECA 1ère année (6 élèves/an) et 2ème année (2 élèves/an).
- 2008-2015: Encadrement projets école MATMECA 1ère année (12 élèves/an) et 2ème année (4 élèves/an).
- 2011-2012 : Encadrement avec A. Iollo du stage de Master 1 de Meriem Jedouaa "Étude d'équations d'Hamilton-Jacobi".
- 2015-2022: Encadrement projets école ENSEIRB-MATMECA 2ème année (10 élèves/an).

– Projets de fin d'étude (3ème année MATMECA) –

- 2004-2005 : M. Papazzoni (BAW).
- 2005-2006 : X. Perrin (FLUIDYN).
- 2006-2007 : Samuel Gaben (SNECMA), Jean Loirat (ESA-ESRIN) et Christian Moutelière (ESI Group).
- 2007-2008 : E. Bardet (FLUIDYN), A. Bourgade (CEA CESTA) et Eric Martin (SCHLUMBERGER).
- 2008-2009 : D. Palos (EDF), J. Picot (CERFACS) et M. ARFA (MERCATOUR OCEAN).
- 2009-2010 : A. Carpentier (Centrale Lyon) et G. Perrot (CEA CESTA).

- 2010-2011 : S. Dissem (PHIMECA), E.H. Doumbia (TREFLE CNRS) et A. Ponce (ONERA).
- 2011-2012 : A. Deletre (LaTecis) et R. Lacroze (FCBA).
- 2012-2013 : M. Besnier (CEA CESTA), G. Deschryver (Sagem Défense Sécurité) et M. Touron (DynaAS+).
- 2013-2014 : J. Girard (Next Limit Dynamics), U. Humbert (Inria) et E. Le Beuvant (AIRBUS).
- 2014-2015 : A. Bourgoïn (EDF RD), M. Patrizio (Nuclétudes), M. Le Gall (3E) et J. LaSalle (3E).
- 2015-2016 : G. Couperie (AIRBUS Group), G. Dussuyer (Segula Matra Automotive), T. Fernandes (Roxel France).
- 2016-2017 : A. Noubli (TOTAL SA), R. Robyn (TOTAL SA), P. Ronzière (DGA).
- 2017-2018 : L. Dura, (FEI), L. Feydit (ENGIE).
- 2018-2019 : L. Penin (Atos), T. Gianoli (CEA), G. Desrues (INRIA).
- 2019-2020 : F. Loche-Moinet (CEA), J. Lim-Chap (BILFINGER).
- 2020-2021 : R. Boualil (Nextflow-Software), R. Bouchard (FAURECIA) et M. Saldhana (CEA).
- 2021-2022 : C. Barandon (CEA Cesta), S. Lemeute (EUROVIA), Q. Biechlé (Fivesgroup).

– Encadrement d'apprentis ingénieurs –

J'enseigne dans la filière par apprentissage MCM (Matériaux Composites Mécanique) portée par l'école d'ingénieur ENSCBP. A ce titre, depuis 2016, j'ai été (ou je suis) le tuteur pédagogique des apprentis suivants : [Lucie Hannequin](#) (CEA Cestas), [Papa Pathé Thiam](#) (VALEO), [Lucas Clocher](#) (SFK), [Camille Ingargiola](#) (ARIANNE GROUP), [Etienne Lucas](#) (ALMAY), [Hugo Tocqueville](#) (Cooper Standard), [Thibault Lecuyer](#) (FAURECIA) et [Quentin Benneteau](#) (ArianeGroup). Je suis aussi le tuteur pédagogique de [Jérémy Grelier](#) (Beecom) de la formation RSI. Le tutorat consiste à encadrer les apprentis pendant les 3 années de formation en école d'ingénieurs: suivi pédagogique, aide à la rédaction des rapports et à la préparation des soutenances, visites en entreprise.

– Master 2 –

- 2003-2004 : Co-encadrement (avec T. Colin) du mémoire de DEA de [F. Chazel](#) "Un modèle d'interaction entre une source laser et un milieu composé d'atomes mobiles à deux niveaux d'énergie". Position actuelle : MCF INSA Toulouse .
- 2005-2006 : Co-encadrement (avec T. Colin) du mémoire de DEA de [S. Arditi](#) : "Etude d'un écoulement diphasique dans un micro-canal". Position actuelle : inconnue.
- 2011-2012 : Co-encadrement (avec T. Colin, C. Poignard et O. Saut) du mémoire de Master 2 de [G. Ravon](#) : " Modélisation de la réponse au traitement de la leucémie myéloïde chronique". G. Ravon a soutenu sa thèse : "Problèmes inverses pour la cartographie optique cardiaque" le 16 décembre 2015 sous la direction d'Yves Coudière. Elle est actuellement en post-doctorat au sein de l'institut Liryc.
- 2012-2013 : Co-encadrement (avec M. Ricchuito) du stage de Master 2 de [R. Souyad](#) : "Etude d'écoulements à surface libre" (Devenir : enseignante de mathématiques au collège) et du stage de [Stevan Bellec](#) "Sur des modèles asymptotiques en Océanographie" (Devenir : voir ci-après).
- 2015-2016 : Co-encadrement (avec H. Beaugendre) du stage de [R. Ayoub](#) : "Modélisation d'un système de dégivrage thermique par une méthode level-set". Position actuelle : R. Ayoub a soutenu sa thèse à l'Université de La Rochelle sous la direction de A. Hamdouni le 02/10/2020. Sujet : Développement d'une méthode de discrétisation des EDP basée sur le calcul extérieur. Application à l'interaction fluide-structure.
- 2017-2018 : Co-encadrement (avec M. Ricchuito) du stage de [Khawla Msheik](#) : "Deriving and implemented the discrete 1D and 2D Peregrine model". Position actuelle : K. Msheik est actuellement en post-doc après avoir soutenu sa thèse sous la direction de D. Bresch le 25/09/2020. Sujet : Fluides non newtoniens avec surface libre: modélisation et caractère bien posé.

- 2019-2020: Co-encadrement (avec H. Beaugendre) du stage de [Tiffany Carlier](#) : "Modélisation d'un système de dégivrage par la méthode des frontières décalées". T. Carlier est actuellement en thèse sous ma direction et celle de H. Beaugendre.

- 2019-2020: [Kevin Guillon](#) : "Numerical computations for the Isobe-Kakinuma model in the case of solitary waves". L'objet de ce stage est de faire une première comparaison numérique entre les modèles de Green-Naghdi et les modèles d'Isobe-Kakinuma. Co-encadrement avec M. Kazolée. K. Guillon est actuellement en thèse sous la direction de S. Brull.

– Thèses et post-docs –

- sept 2006-sept 2009 : Co-encadrement (avec T. Colin) de la thèse de [Julien Dambrine](#) (co-financement INRIA/Région Aquitaine).

Sujet : La thèse porte sur le développement de modèles de mélange en microfluidique et sur l'étude d'écoulements de fluides complexes (micelles géantes). L'objectif a été de développer un code de calcul 3D incluant les modèles de fluides complexes, les propriétés de surface (glissement) et les effets de rugosité.

Devenir : [Julien](#) est Maître de Conférences à l'Université de Poitiers depuis le 01 septembre 2010.

- sept 2013-oct 2016 : Co-encadrement avec M. Ricchuito de la thèse de [Stevan Bellec](#) (bourse ASN, ENS Cachan) : "Nouvelle approche pour l'obtention de modèles asymptotiques en océanographie".

Sujet : L'objectif de cette thèse est d'élaborer puis de mettre en pratique une nouvelle approche pour obtenir des modèles asymptotiques décrivant des écoulements incompressibles à surface libre. Dans ce contexte, nous avons mis en oeuvre l'approche nouvelle et innovante qui consiste en l'inversion du paradigme : modèle physique $\rightarrow$ modèle asymptotique $\rightarrow$ modèle numérique.

Plus précisément, au lieu de discrétiser des équations complexes dont on ne connaît pas toujours la pertinence physique, nous avons proposer, dans cette thèse, d'introduire la démarche suivante :

- 1) écrire directement des schémas numériques sur les modèles de départ (Euler ou Bernoulli) qui sont dans un certain sens les bonnes équations à étudier,

- 2) effectuer l'analyse asymptotique sur ces équations semi-discrètes, pour obtenir des modèles finaux complètement discrets.

Devenir : [Stevan](#) a obtenu un poste de maître de conférences à l'Université du littoral mais il a préféré prendre son poste d'agréé en classes préparatoires.

- oct 2014-2018: Co-encadrement avec D. Bresch de la thèse de [Xi Lin](#) (financement de l'Université de Bordeaux) : "Ecoulements incompressibles réactifs avec interfaces : modèles macroscopiques et applications". Thèse soutenue le 21 septembre 2018.

Sujet : Les composites à matrice céramique (CMC) sont envisagés pour intégrer les chambres de combustion des futurs moteurs aéronautiques civils dans lesquels ils atteignent leurs conditions limites d'utilisation. Pour faire face à ces conditions, des CMC à matrice auto-cicatrisante ont été développés. Ces matériaux possèdent la particularité de s'auto-protéger vis-à-vis de l'oxydation par la formation d'un oxyde passivant qui limite la diffusion des espèces oxydantes au sein des fissures matricielles. Le comportement physico-chimique de ces matériaux est très complexe. L'objectif de cette thèse est d'introduire de nouveaux modèles mathématiques permettant de décrire d'une part ce phénomène de cicatrisation et d'autre part la propagation de l'oxyde à travers les fibres.

Devenir : [Xi](#) est repartie vivre en Chine et espère obtenir un poste d'enseignante-chercheuse.

- oct 2016-2019 : Co-encadrement avec H. Beaugendre de la thèse d'**Aurore Fallourd** (financement de l'Université de Bordeaux) "Modélisation d'un système de dégivrage thermique".

Sujet : Dès les débuts de l'aviation, le givrage a été identifié comme un risque majeur : l'accrétion de givre est due à la présence de gouttelettes d'eau surfondue dans les nuages et peut conduire au décrochage de l'avion. Dans une démarche de réduction de la consommation de carburant, des systèmes de dégivrage sont actuellement en cours de développement. Une des alternatives aux expériences réelles menées en soufflerie est l'utilisation de modèles numériques fiables et robustes: c'est le cadre de ce projet. Ces modèles devront prendre en compte le caractère multi-physique et multi-échelle du givrage : changement de phase, transfert thermique, impact de gouttelettes, écoulements aérodynamiques. Nous envisageons d'utiliser des équations aux dérivées partielles de types films minces couplées avec des méthodes level-set pour décrire les changements de phase de l'eau.

Devenir : **Aurore** n'a pas soutenue sa thèse. Elle a obtenu un poste d'ingénieur dans la société Epsilon-Alcen.

- sept 2020-... : Co-encadrement avec H. Beaugendre de la thèse de **Tiffanie Carlier** : Modélisation d'un système de dégivrage par la méthode des frontières décalées.

Sujet : L'objectif général de cette thèse est de simuler la présence d'un système de protection électrothermique sur les avions. Pour mener à bien ce projet, il faut d'abord être capable d'aborder les problèmes de changement de phase (solide-liquide) qui interviennent lors de la mise en action des systèmes de dégivrage. Il faut, en particulier, disposer d'une méthode numérique robuste pour assurer le suivi d'interfaces mobiles. Parmi toutes les méthodes existantes, nous choisissons ici d'explorer la méthode des frontières décalées. Pour suivre cette interface, et afin d'obtenir un ordre numérique convenable, nous proposons une version enrichie de cette méthode. L'idée est ici d'imposer faiblement les conditions aux bords sur cette frontière décalée par rapport à l'interface physique. Ceci permet d'éviter l'apparition de petites cellules comme dans l'approche cut-cell (qui entraîne d'importants problèmes de conditionnement numérique). L'ordre élevé de la méthode est assuré par un développement de type Taylor de l'interface physique vers l'interface décalée.

- janv 2020-juillet 2021 : Co-encadrement avec D. Bresch du post-doc de **Roberta Baggio** : l'objet de ce post-doc est de continuer l'étude des modèles de lubrification initiée dans la thèse de Xi Lin en regardant, entre autres, les problèmes de congestion qui pourraient apparaître dans les fissures des matériaux composites. La première étape est d'introduire un nouveau système augmenté de type Shallow-water et de comparer cette approche avec les modèles de type lubrification classiques.

Animation de la Recherche

- Organisation d'une session spéciale au 6ème congrès AIMS "Systèmes dynamiques, Equations différentielles et Applications" avec T. Colin, D. Lannes et J. Bona, Poitiers juin 2006.
- Organisation d'une session spéciale au 7ème congrès AIMS "International conference on Dynamical Systems, Differential equations and Applications" avec Hongqiu Chen et Reika Fukuizumi, Arlington (Texas) mai 2008.
- Membre du comité d'organisation du CANUM 2010 qui s'est déroulé à Carcans-Maubuisson.
- Co-fondateur et Co-organisateur du congrès B'WAVES 2014 qui s'est déroulé à Bordeaux. L'objectif de ce congrès était de réunir les leaders internationaux dans le domaine de la modélisation des phénomènes de déferlement afin de faire un état de l'art et d'identifier de nouveaux challenges. Ce projet a reçu le

soutien du cluster d'excellence CPU (30 kilo-euros). La seconde édition s'est déroulée à Bergen, Norvège en juin 2016.

- Organisation d'une session spéciale au 9ème congrès WAVES2015, Athens Georgia, avril 2015.
- Co-organisateur avec J.-C. Saut du workshop "Quasilinear and nonlocal nonlinear Schrödinger equations" (Vienne Autriche, Pauli Institute, septembre 2015).
- Co-organisateur avec D. Lannes des journées JEF 2016 (Bordeaux, mars 2016). Il s'agit de regrouper pendant 3 jours les jeunes docteurs et les chercheurs confirmés de la communauté des EDPs françaises.
- Organisation d'une session spéciale au 10ème congrès WAVES2017, Athens Georgia, avril 2017.
- Membre du Comité Scientifique des conférences nationales JEF (2016-2022).
- Co-organisateur avec T. Watanabe d'une session spéciale au 10ème congrès WAVES2017, Athens (USA), avril 2017.
- Membre du comité scientifique de la conférence internationale "The Tenth IMACS International Conference on nonlinear evolution equations and wave phenomena : computation and theory", Athens, avril 2017.
- Participation en tant qu'expert auprès de la fondation ISSNAF (Italian Scientists and Scholar of North America) dont la mission est de promouvoir des activités scientifiques entre l'Italie et l'Amérique du nord. J'ai participé à l'expertise de dossier pour la remise de prix « Award for Young Investigators » (2017).
- Co-organisateur d'une journée en l'honneur de P. Fabrie à l'occasion de son départ à la retraite (23 juin 2022).

Responsabilités Administratives

- Membre élu au conseil d'**UFR** Maths-Info de l'Université Bordeaux 1 (2004-2005).
- Responsable **communication** de l'école d'ingénieurs MATMECA (2004-2007).
- Responsable **concours d'entrée** MATMECA (2006-2009) : concours INT-Télécom adhérent à la banque Mines-Ponts.
- Examineur concours d'entrée MATMECA (2006-2009).
- Participation à des **comités de sélection** : Bordeaux (2007, 2009, 2012, 2014), Pau (2010), Poitiers (2010), Dijon (2022).
- Membre de la commission de spécialistes section 26 de l'Université Bordeaux 1 à partir de janvier 2007.
- Membre élu du **CNU 26** (2007-2011).
- Membre élu du Conseil Scientifique (**CS**) de l'Université Bordeaux 1 (2008-2011).
- Correspondant du Polytechnicum (devenu **CPBX**) (classes préparatoires intégrées à l'Université de Bordeaux donnant accès aux écoles d'ingénieurs de Bordeaux INP) pour l'ENSEIRB-MATMECA depuis 2010.
- Membre élu au Conseil de l'école ENSEIRB-MATMECA (2011-2012).
- Membre de la commission Inria Jeunes Chercheurs (2011) : cette commission a pour but d'analyser et de classer les demandes de bourses de thèse et de post-doc sur le site d'INRIA Bordeaux Sud-Ouest.
- Membre de la commission Inria Accompagnement des Chercheurs (2013) : cette mission locale a pour but d'offrir à chaque chercheur permanent un interlocuteur de son choix, auprès duquel il puisse, volontairement et en toute confidentialité, exposer ses questionnements (sur des aspects scientifiques, relationnels, d'équilibre vie professionnelle/vie privée, ...).
- Membre élu au **Conseil Scientifique** de l'établissement Bordeaux INP (2016-2018).
- Responsable **Relation Entreprise** pour les filières par apprentissage RSI (Réseaux et Systèmes d'Information) et SEE (Systèmes Electroniques Embarqués) portées par l'établissement BORDEAUX INP au sein de l'école d'ingénieur ENSEIRB-MATMECA depuis 2018 : organisation des soutenances de validation de thème de mémoire (2ème année) et de mémoire (3ème année), organisation des oraux de recrutement, validation des compétences des apprentis, développement des filières auprès des entreprises. Cette activité est accompagnée d'une décharge horaire de **30h/an**.

- Responsable des **stages 2A** du département MATMECA de l'ENSEIRB-MATMECA (2016-2021). Cette activité est accompagnée d'une décharge horaire de **10h/an**.
- Correspondant depuis 2009 du parcours **Licence Renforcée** de l'Université de Poitiers (organisation à Bordeaux d'entretiens d'entrée, participations aux jurys, présentation de l'école lors du forum, responsable de l'intégration des élèves, organisation de semaine de visite de l'école par les élèves). Cette activité est accompagnée d'une décharge horaire de **15h/an**.
- En 2019, j'ai été nommé au **CNU** (remplacement). J'ai participé à la campagne PEDR.
- Depuis septembre 2021, je suis membre élu du **CA** de Bordeaux INP.

Direction du département Mathématique et Mécanique

Suite à un problème de santé du directeur du département Mathématique et Mécanique, j'ai rejoint en mars 2021 avec L. Mieussens l'équipe de direction par interim formée par M. Touzet, C. Girard et R. Turpault. J'ai ensuite été nommé au 1er septembre 2021 **directeur** de ce département par la direction de l'Enseirb-Matmecca.

1. Missions.

La première de mes missions est de proposer la maquette pédagogique relative au département et de mettre en oeuvre la politique de formation définie par le Conseil d'école. Je suis responsable de la répartition des services d'enseignement et des responsabilités pédagogiques. Je gère les services des personnels BIATSS du département (secrétaire de département) et je veille à leur bon fonctionnement. Je participe aussi à la promotion des formations auprès des futurs candidats (plaquette, salons, forums, etc.).

2. Activités.

Voici un résumé de mes activités, réparties tout au long de l'année, en tant que directeur du département:

- affecter les services d'enseignement aux enseignants statutaires,
- coordonner (avec les responsables d'années) le recrutement des enseignants vacataires, ATER et doctorants,
- déclarer les services effectués par tous les intervenants,
- proposer le volet pédagogique des fiches de postes,
- assurer les entretiens annuels avec les personnels BIATSS concernés,
- assurer le bon déroulement de l'année scolaire (organisation de la rentrée, réunion régulière avec les délégués, préparation des examens et des jurys, ...) en lien avec l'équipe pédagogique,
- participer aux différents conseils de l'école : conseils de direction hebdomadaire, comités de pilotage, conseils de l'école, conseils de perfectionnement, commission recherche,
- assurer le suivi des élèves ingénieurs : entretiens individuels, conseil pour l'orientation, décider des exclusions, des redoublements,...
- animer des discussions au sein du département sur l'évolution du contenu pédagogique,
- préparer et exécuter le budget annuel en lien avec la gestion des ressources pédagogiques (montage de dossiers, achat, ...)
- participer aux différentes évaluations de l'école : CTI, HCERES,...

- fixer les responsabilités pédagogiques au sein du département,
- participer au recrutement des élèves ingénieurs.

Pour conclure sur cette fonction, notons que le département Mathématique et Mécanique regroupe environ **250 élèves ingénieurs** et que la fonction de directeur est accompagnée d'une **décharge horaire de 96 heures** équivalent TD par an. La durée du mandat est de 4 ans, avec une année supplémentaire possible.

Activités d'Enseignement

Je vais présenter ici mes activités d'enseignement, d'encadrement et de formation. Je suis maître de conférences depuis le 1^{er} septembre 2003, recruté d'abord à l'Université Bordeaux 1 puis affecté ensuite à l'école d'ingénieurs MATMECA en 2005 et enfin à Bordeaux INP (institut polytechnique qui regroupe les écoles d'ingénieurs du site Bordelais) depuis 2009.

1. Activités à l'école ENSEIRB-MATMECA.

Mes activités dans cette école sont scindées en deux parties : enseignement de cours-TD-TP et encadrement d'élèves pour des projets scientifiques personnalisés tout au long de leur cursus.

- Tout d'abord en matière d'encadrement, entre 2004 et 2021, j'ai proposé chaque année des sujets pour les TER (travaux encadrés rédigés) en première année et deuxième année. Le principe est le suivant : un encadrant propose un sujet de travail à un binôme d'élèves qui rédige un rapport et fait une présentation orale. En première année, le sujet se résume à explorer différentes méthodes de résolutions numériques d'équations différentielles ou d'équations aux dérivées partielles simples. En deuxième année, le principe est le même, mais les équations abordées sont des vraies EDP spatio-temporelles et les méthodes de résolution sont plus sophistiquées. J'ai encadré en moyenne entre 14 et 16 élèves par an. Depuis 2015, le format des TER a changé et les élèves sont groupés par 10 et encadrés par un binôme formé d'un mathématicien et d'un mécanicien. Ensuite, j'assure le tutorat de projets de fin d'étude des élèves ingénieurs (environ 3 par an). Il s'agit d'un stage de 6 mois, en général en **entreprise**, qui clôture le cursus des élèves.

- Depuis mes débuts à Bordeaux, j'ai assuré des travaux dirigés à l'école MATMECA : analyse fonctionnelle, intégration, calcul différentiel, équations aux dérivées partielles.

Depuis 2012, j'assure le **cours** d'analyse fonctionnelle en 1^{ère} année. Ce cours a fusionné en 2011 avec le cours d'intégration et j'ai donc **élaboré ce nouveau cours**. Voici son contenu : Rappels de topologie élémentaire. Espace complet. Compacité. Continuité. Intégration: Fonctions mesurables. Intégrale de Lebesgue. Théorème de convergence dominée. Intégrale multiple, théorèmes de Fubini. Méthode de calcul explicite. Changement de variables. Intégrales à paramètres, convolutions. Analyse Hilbertienne. Analyse de Fourier.

En 2015-2016, j'ai assuré le cours d'EDP en 2^{ème} année dont voici le contenu : analyse vectorielle et exemples d'équations de transport. Distributions et espaces de Sobolev. Problèmes aux limites elliptiques, théorème de Lax-Milgram, gestion des conditions aux bords, méthode de Galerkin. Transformée de Fourier, équation de la chaleur.

Depuis 2015, j'encadre des **TP de fortran 90** pour les élèves de 1^{ère} année.

Pendant la période 2019-2021, j'ai aussi assuré un cours d'option de 2^{ème} année (espaces vectoriels normés) pour la Prépa INP.

2. Formation en alternance.

Depuis l'année universitaire 2010-2011, je participe à une des formations en alternance proposée par Bordeaux INP. Plus précisément, j'enseigne dans la formation d'ingénieurs "Matériaux composites-Mécanique" qui s'adresse à des étudiants sortant d'IUT ou de BTS. Elle se déroule en alternance : 2

semaines en entreprise, 2 semaines à l'école ENSCBP. Les élèves ont le statut d'apprentis et sont à ce titre salariés de l'entreprise. J'effectue un des cours-TD intégré de la première année en mathématique de base (fonctions d'une variable réelle, intégration, suites, séries, équation différentielles). Il a bien entendu fallu s'adapter à ce public particulier.

3. Activités à l'Université de Bordeaux.

Pendant 3 ans, j'ai effectué un cours de mathématiques pour la physique en 1^{ère} année de licence (fonctions d'une variable réelle, fonctions de plusieurs variables, analyse vectorielle, formes différentielles).

Je suis aussi intervenu dans le cadre du Master 1 de l'Université de Bordeaux en assurant des travaux dirigés d'optimisation et d'équations aux dérivées partielles (2004-2009).

Pendant une année, j'ai aussi participé à la formation dispensée par le Polytechnicum de Bordeaux. Il s'agit d'une classe préparatoire intégrée pilotée par l'Université de Bordeaux. Les élèves ayant satisfait aux conditions d'intégration fixées par les écoles (moyenne générale supérieure à 11/20) peuvent intégrer au bout des 2 années de formation une école d'ingénieurs du site bordelais. Dans ce cadre-là, j'ai dispensé un cours sur la réduction des endomorphismes.

4. Cours mutualisé Master 2/ENSEIRB-MATMECA.

Il s'agit d'un cours mutualisé entre le Master 2 *Ingénierie Mathématique* porté par l'Université de Bordeaux et le parcours fluide proposé en 3^{ème} année de l'école d'ingénieurs ENSEIRB-MATMECA, que j'ai effectué pendant 3 ans sur la période 2013-2015. L'objectif principal de ce cours est de présenter quelques modèles mathématiques issus de la mécanique des fluides. Après avoir introduit les équations d'Euler et de Navier-Stokes, j'ai présenté un résultat d'existence de solutions faibles en utilisant la décomposition de Galerkin. Deux types d'applications ont ensuite été envisagées dans le cadre de ce cours: la microfluidique et les écoulements côtiers. Plus précisément, j'ai abordé d'une part les problèmes de mélange de fluides dans des micro-canaux (développements asymptotiques de type Hele-Shaw) et présenté un exemple d'écoulement de fluide non-newtonien dans une structure géométrique particulière (micro-canal en forme de T). D'autre part, j'ai présenté plusieurs modèles mathématiques utilisés pour décrire différents régimes d'écoulements côtiers.

Projet d'Enseignement

Création d'une filière de formation d'ingénieur en alternance liée au département Mathématique et Mécanique

1. Contexte

J'enseigne depuis 11 ans dans la formation d'ingénieur en alternance "Matériaux composites-Mécanique" pilotée par Bordeaux INP. Fort de cette expérience, je souhaite proposer la création d'une nouvelle **formation en alternance** rattachée à l'Enseirb-Matmeca. Notons tout d'abord que cette création s'intégrerait parfaitement dans la politique de l'établissement Bordeaux INP qui souhaite, avec le soutien de la région Nouvelle-Aquitaine, augmenter le nombre d'ingénieurs formés chaque année en développant de nouvelles filières. Cette formation s'articulerait autour du calcul scientifique et pourrait s'intituler "Outils de Calcul en Ingénierie". En effet, il existe actuellement, au sein des entreprises, un créneau très porteur autour du calcul scientifique au sens large. Les besoins sont réels car la simulation est une alternative crédible aux expériences physiques grandeur nature (comme les essais aérodynamiques en soufflerie effectués dans le domaine de l'aéronautique ou de l'automobile par exemple). Les calculs numériques sont, dans une certaine mesure, reproductibles indéfiniment et permettent d'optimiser les paramètres physiques, diminuant

ainsi les coûts liés au développement. Notons aussi qu'elle rend accessible de nombreux champs interdisciplinaires : en médecine par exemple, de nombreuses initiatives sont mises en oeuvre pour développer des outils d'aide à la prise de décision pour le praticien ou dans le domaine des matériaux où la simulation numérique permettra de certifier les composites du futur.

Un calcul numérique industriel peut se décomposer en 3 phases :

1. Identifier le modèle mécanique à utiliser.
2. Générer une géométrie puis effectuer le calcul avec un des codes disponibles dans l'entreprise.
3. Interpréter et certifier les résultats : la fiabilité des prédictions numériques est limitée par le caractère aléatoire des données utilisées pour définir les conditions aux bords, les conditions initiales, la géométrie, etc...

Si les deux premières étapes sont claires et bien établies, la troisième est plus empirique et intéresse actuellement fortement l'industrie. Il s'agit de répondre aux questions suivantes : quelle confiance peut-on avoir dans le calcul et est-on capable de quantifier l'erreur numérique que l'on produit? Ces questions constitueront le coeur de la formation et pour y répondre, il sera donc tout naturel d'inclure dans ce cursus, en plus des enseignements traditionnels en modélisation des EDP, analyse numérique et calcul scientifique, un enseignement en probabilité et statistique qui ouvrira les portes du calcul d'incertitude.

Ce type de profil intéresserait de façon préférentielle les sociétés de service en calcul (**Roxel France**, **Segula Matra Automotive**,...). Citons par exemple la société **Fluidyn** qui a accueilli pour des stages de PFE de nombreux élèves de l'ENSEIRB-MATMECA dont j'étais le tuteur. Je pense aussi à l'entreprise **Ingliance** avec qui nous avons créé des liens solides.

2. Mise en oeuvre.

Cette formation aura pour vocation de s'adresser aussi bien à l'apprentissage qu'à la formation continue.

Concernant les élèves apprentis et de par la technicité des compétences exigées par le calcul numérique, le recrutement sera proposé aux étudiants ayant effectué un cursus complet de licence de mathématiques appliquées (niveau L3) et à des élèves sortant de la prépa des INP ou de tout autre cursus de type classes préparatoires porté par les Universités (CPBX de Bordeaux, Licence renforcée de Poitiers, etc...). Un premier tri sera fait grâce à l'examen des dossiers de candidature. Le processus se poursuivra par des entretiens individuels. Concernant les stagiaires de la formation continue, le recrutement se fera uniquement sur dossier.

La formation sera composée de cours qui donneront de fortes compétences en analyse numérique, en modélisation, en calcul parallèle haute performance, probabilité-statistique, enseignement d'utilisation de codes de calcul, calcul d'incertitudes.

3. Conclusion :

La création d'une filière en alternance comporte de multiples tâches qui consisteront à

- recruter des **élèves**,
- trouver des **entreprises partenaires**,
- négocier avec un **CFA**,
- élaborer des **programmes**,
- trouver des **financements** pour l'achat de machines et de **codes de calcul** comme par exemple ANSYS-Fluent.

Pour mettre en place cette nouvelle filière, je vais m'appuyer sur les liens que j'ai pu établir avec les nombreux industriels que j'ai côtoyés lors de mon mandat de responsable entreprise pour l'alternance. J'estime avoir toutes les compétences et la crédibilité pour mener à bien ce projet.

Activités de Recherche

Cette section présente l'ensemble de mes activités de recherche. La première partie regroupe essentiellement les travaux réalisés jusqu'à l'habilitation à diriger des recherches mais aussi quelques uns effectués après et qui s'inscrivent dans la même continuité thématique. Elle est elle-même divisée en deux sous-parties : la première est consacrée aux équations de Schrödinger et aux interactions laser-plasma et la suivante a pour thème général la mécanique des fluides. La seconde partie décrit les projets de recherche que j'ai entamés après mon habilitation concernant notamment les écoulements à surface libre (avec trois champs d'applications distincts : les écoulements côtiers en océanographie, les matériaux auto-cicatrisants et les processus de dégivrage en aéronautique). La troisième partie se présente comme une synthèse des deux précédentes dans laquelle je décrirai mon apport personnel dans le domaine des EDPs.

A) Travaux antérieurs à l'HDR.

Mes travaux de recherche concernent des équations aux dérivées partielles issues de la physique des plasmas ou de la mécanique des fluides. En amont, ils comportent une part importante de modélisation : approximation de systèmes hyperboliques, dérivation de systèmes de types Zakharov, modèle Hele-Shaw, modèle de micelles géantes. En aval, ils abordent un certain nombre de problèmes théoriques : existence et unicité des solutions, stabilité/instabilité des ondes solitaires, contrôle optimal, estimations d'erreur et convergence de modèles. Ils explorent aussi quelques méthodes numériques de résolution de type volumes finis ou différences finies sur des grilles cartésiennes.

I. Interactions Laser-Plasma : équations de Schrödinger et systèmes de Zakharov.

1. Résumé des travaux de thèse, Directrice : Anne de Bouard, DR CNRS.

Le point de départ de mes travaux de thèse repose sur la situation physique suivante. Lorsqu'une impulsion laser haute-énergie (de durée $\tau < 1$ picoseconde, $P = 10^{10}$ W) est envoyée dans un milieu gazeux (par exemple H_e , H_2 , CO_2 , N_2), il se produit une ionisation du gaz qui se situe sur les contours du laser. Même dans les régions où l'intensité est faible, l'impulsion arrache de nombreux électrons aux atomes et molécules de gaz présents, créant ainsi une colonne de plasma dans laquelle les plus hautes intensités du laser se propagent. La propagation d'une onde électro-magnétique dans un plasma provoque un grand nombre de phénomènes physiques susceptibles de modifier en profondeur la structure même du milieu. Durant ma thèse, une première tentative de modélisation de ce type d'événements a été mise en oeuvre : l'approche relativiste. Il s'agit d'introduire, à partir d'un système de Maxwell, une équation de Schrödinger relativiste de type quasilinear. Les résultats obtenus ont été les suivants. Tout d'abord, j'ai montré que le problème de Cauchy est bien posé localement dans des espaces de Sobolev, sans supposer aucune hypothèse de petitesse sur les données initiales, en utilisant des transformations de jauge et des méthodes de symétrisation. Ensuite, j'ai montré l'existence, l'unicité et la stabilité d'ondes solitaires en dimension 2 d'espace. Ces ondes jouent un rôle primordial dans la dynamique de ces équations car elles sont globales en temps. Enfin, j'ai étudié une version semi-classique de cette équation. Ces travaux ont fait l'objet des publications [1,2,3].

2. L'effet Raman.

La construction de lasers de plus en plus puissants, comme le laser Méga-Joule en cours de développement actuellement au CEA-Cesta, est en train de rendre la fusion par confinement inertiel accessible à l'échelle expérimentale du laboratoire, proposant ainsi de nouveaux défis scientifiques. C'est dans cette optique, qu'en collaboration avec T. Colin, nous avons étudié un des effets nonlinéaires qui intervient lorsqu'une onde incidente laser se propage dans un plasma : l'effet Raman. C'est un phénomène d'interaction à 3 ondes : une onde incidente A_0 de vecteur d'onde et de pulsation (K_0, ω_0) pénètre dans un plasma, une partie de son énergie est alors rétrodiffusée sous la forme d'une onde Raman A_R (K_R, ω_R) . Ces 2 ondes se combinent pour créer une onde plasma-électronique E_0 $(K_1, \omega_{pe} + \omega_1)$.

L'interaction est effective lorsque les données vérifient la condition de résonance

$$\begin{aligned}\omega_0 &= \omega_{pe} + \omega_R + \omega_1, \\ K_0 &= K_R + K_1.\end{aligned}$$

Pour modéliser l'effet Raman, deux directions sont alors possibles. Dans [5], nous avons adopté une approche 1D : nous avons supposé que les vecteurs d'ondes étaient tous portés par l'onde incidente A_0 . Dans le cadre de cette approximation, nous avons montré l'existence d'un champ Raman A_{R_1} rétrodiffusé correspondant à une amplification maximale, conduisant à la construction d'un système de Zakharov structurellement riche. En effet, l'intérêt du système réside dans le fait qu'il présente des zones elliptiques, les méthodes classiques issues de l'hyperbolique ne peuvent donc s'appliquer dans ce cas précis. Pour résoudre le problème de Cauchy, nous avons dû contourner cette difficulté en utilisant des méthodes de symétrisation.

Dans un cadre plus général 2D (voir [13]), la situation s'avère beaucoup plus complexe. En effet, une des solutions du système précédent correspond à la configuration déjà étudiée. Cependant, il est aussi possible de montrer, au moins numériquement, que ce système possède une infinité de solutions dans le plan parmi lesquelles deux directions privilégiées, symétriques par rapport à l'onde incidente mais non colinéaires à celle-ci, correspondent à un maximum d'amplification des champs Raman. L'effet Raman étant un processus d'amplification exponentielle, au moins en temps court, nous nous sommes intéressés à ces 3 directions privilégiées d'amplification. Deux nouveaux champs Raman A_{R_2} et $A_{R_2^s}$ se propageant vers l'avant sont donc mis en évidence dans ce travail. Pour illustrer ces résultats, nous avons ensuite effectué des calculs numériques 1D et 2D. Les résultats énoncés ci-dessus sont regroupés dans [5,6,13].

3. Le point de vue des ondes solitaires.

Les résultats de cette partie concernent l'étude des ondes solitaires pour des équations ou des systèmes de type Schrödinger semi-linéaires ou quasilinearaires. Les ondes solitaires sont des solutions particulières d'équations d'évolution qui se propagent sans changer d'aspect. Elles peuvent prendre différentes formes : ondes stationnaires, ondes progressives.... On se focalisera ici essentiellement sur des ondes stationnaires de type

$$u_\omega(t, x) = e^{i\omega t} \phi_\omega(x),$$

où ω est un paramètre réel à déterminer et ϕ_ω représente le profil indépendant du temps.

Elles ont la particularité d'être des solutions globales en temps et jouent un rôle fondamental dans la dynamique des équations. Ce sont de plus des solutions qui sont observables dans la nature (par exemple, les tsunamis, les mascarets, ...). Trois aspects principaux sont abordés dans mes travaux : l'existence, l'unicité et la stabilité (ou l'instabilité) orbitale.

Plusieurs équations ont été abordées dans le cadre de mes travaux. Après ma thèse, en collaboration avec L. Jeanjean (Université de Franche-Comté), nous avons montré l'existence d'ondes solitaires pour des équations de types Schrödinger quasilinearaires autonomes et non-autonomes (voir [4]). Ensuite, dans le cadre d'une collaboration avec M. Ohta (Université de Saitama, Japon), nous avons étudié le cas de l'équation DNLS (Derivative Nonlinear Schrödinger Equation) en montrant un résultat de stabilité complet pour une famille d'ondes progressives indexées par deux paramètres (voir [7]). Avec T. Colin (Université de Bordeaux) et M. Ohta, nous avons étudié une version simplifiée du système de Zakharov décrivant l'effet Raman. Il s'agit d'un système de 3 équations de types Schrödinger couplées entre elles par

des termes semi-linéaires. Nous avons obtenu différents résultats d'existence, de stabilité et d'instabilité pour des ondes stationnaires semi-triviales du type $(e^{2i\omega t}\varphi, 0, 0)$, $(0, e^{2i\omega t}\varphi, 0)$ et $(0, 0, e^{2i\omega t}\varphi)$. Ces résultats ont été obtenus lorsque M. Ohta était accueilli comme professeur invité à l'Université Bordeaux 1 pour un mois (septembre 2009). Ils ont fait l'objet des publications [9] et [10]. Dans la continuité de ces travaux, avec M. Ohta, nous avons voulu élargir l'étude au cas d'ondes stationnaires quelconques. Nous avons alors déterminé entièrement la structure des états fondamentaux (ondes stationnaires qui minimisent l'énergie parmi toutes les solutions). Nous avons aussi décrit entièrement les phénomènes de stabilité et d'instabilité pour ces états. Ces travaux ont été réalisés pendant le séjour de M. Ohta d'une année au sein de l'IMB (mars 2010-mars 2011), financé par une bourse jeune chercheur de la JSPS (Japanese Society for the Promotion of Science) et a fait l'objet de la publication [15]. Avec L. Jeanjean et M. Squassina (Université de Vérone, Italie), nous avons montré dans [12] différents résultats d'existence, d'unicité, de stabilité et d'explosion en temps fini pour une équation de Schrödinger quasilinéaire (voir aussi [16]).

4. Approximation des impulsions courtes dans des milieux dispersifs.

Ce travail a été réalisé avec D. Lannes et a conduit à la publication [8]. Il s'agit de décrire le mieux possible la propagation d'impulsions laser ultra-courtes ou à spectre large dans des milieux dispersifs. Considérons un système hyperbolique de la forme suivante avec une donnée initiale rapidement oscillante

$$\begin{cases} \partial_t u + A(\partial)u + \frac{1}{\varepsilon}Eu = \varepsilon F(u), \\ u|_{t=0} = U^0(x)e^{i\frac{\mathbf{k}\cdot\mathbf{x}}{\varepsilon}} + \text{c.c.}; \end{cases}$$

où $\varepsilon \ll 1$ est un petit paramètre qui correspond à la longueur d'onde des oscillations. L'approximation de type Schrödinger classique ne permet pas de traiter le cas de telles impulsions.

Dans ce travail, nous avons fourni un cadre simple permettant d'étudier la propagation de ces ondes. En particulier, nous avons introduit une nouvelle famille d'équations de Schrödinger ayant une *meilleure* relation de dispersion, contenant uniquement des opérateurs différentiels. Ces modèles s'écrivent sous la forme

$$(1 - i\varepsilon\mathbf{b} \cdot \nabla - \varepsilon^2 \nabla \cdot B \nabla) \partial_t U + (\mathbf{c}_g \cdot \nabla)U - \varepsilon \frac{i}{2} \mathcal{R}(\partial, \partial)U + i\varepsilon \nabla \cdot (\nabla \omega_1(\mathbf{k})\mathbf{b}^T) \nabla U + \varepsilon^2 \mathbf{C}(\nabla)U = \tilde{F}(U),$$

où $\mathbf{b} \in \mathbb{C}^d$, $B \in \mathcal{M}_{d \times d}(\mathbb{R})$ et $\mathbf{C} : (\mathbb{C}^d)^3 \rightarrow \mathbb{C}$ est une forme trilinéaire. Puis nous avons établi des estimations d'erreur précises pour les différents modèles afin d'établir leur domaine de validité. Enfin, nous avons présenté des résultats numériques en comparant les différents modèles.

II. Etude de quelques phénomènes issus de la mécanique des fluides.

1. Un problème de contrôle optimal.

Le but de ce travail (voir [11], en collaboration avec P. Fabrie) est de fournir de nouvelles directions pour appréhender un problème de contrôle optimal pour les équations de Navier-Stokes posées sur un domaine borné régulier Ω de $\mathbb{R}^2$ tel que $\partial\Omega = \Gamma_e \cup \Gamma_c$ avec $\Gamma_e \cap \Gamma_c = \emptyset$, Γ_e and Γ_c désignant respectivement les parties extérieure et intérieure du domaine.

Le contrôle est défini sur Γ_c ; sur Γ_e , on impose une condition de Dirichlet non-homogène. On se donne alors une fonction régulière g et un contrôle u_ρ défini sur Γ_c et on introduit la fonctionnelle d'énergie que l'on souhaite minimiser

$$J(u_\rho) = \|u(\tau)\|_Y^2 + \alpha \|u_\rho(\tau)\|_X^2,$$

où X and Y sont deux espaces de Hilbert et α est un paramètre positif. Notons que l'espace X représente l'ensemble des contrôles admissibles. La relation entre u et u_ρ est donnée par le système de Navier-Stokes

suivant

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t}(t, x) + (u(t, x) \cdot \nabla)u(t, x) - \frac{1}{\mathcal{R}_e}\Delta u(t, x) + \nabla p(t, x) = f(t, x), \\ \operatorname{div}(u)(t, x) = 0, \\ u|_{\Gamma_e}(t, x) = u_\rho(t, x), \quad u|_{\Gamma_e}(t, x) = g(x), \\ u(0, x) = u_0(x), \end{cases}$$

où $(t, x) \in [0, T] \times \Omega$, u_0 est une donnée initiale régulière, f est la force extérieure appliquée au système et $\mathcal{R}_e$ est le nombre de Reynolds. L'originalité de ce travail réside dans l'introduction d'un cadre naturel pour l'espace X . Nous montrons alors l'existence d'un contrôle optimal u_ρ^{opt} vérifiant

$$J(u_\rho^{opt}) = \inf_{u_\rho \in X} J(u_\rho),$$

et nous exhibons les équations d'Euler satisfaites par ce contrôle optimal.

2. Modèles pour les mélanges de fluides Newtoniens en micro-fluidique.

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la thèse de J. Dambrine (maître de conférences à l'Université de Poitiers). Il a fait l'objet de la publication [14]. L'objectif est le suivant: on désire introduire des modèles pour décrire des méthodes de mélanges passifs de fluides Newtoniens dans des canaux très fins. La première méthode consiste à considérer un canal plat associé à des conditions de type glissement et pour la seconde, on considère un canal avec un fond à reliefs associé à des conditions d'adhérence. En effectuant une asymptotique de type Hele-Shaw sur les équations de Stokes, nous avons dérivé deux types de systèmes

- un système dit 2.5 D pour lequel les vitesses sont 3D mais la pression est seulement 2D,
- un système simplifié pour lequel toutes les grandeurs sont 2D.

Les coefficients des deux types de systèmes sont déterminés par le type de canal envisagé. Nous avons alors effectué plusieurs expériences numériques pour lesquelles nous disposons de données expérimentales pour déterminer les domaines de validité des 2 modèles. Notons que dans ce travail, nous avons aussi résolu le problème de Cauchy relatif au modèle 2D. L'originalité de ce résultat résulte dans la prise en compte de conditions aux limites non standard.

3. Les écoulements de solution de micelles géantes.

Ce travail, relatif aussi à la thèse de J. Dambrine (voir article [18]), porte sur les écoulements de micelles géantes en solution dans les micro-canaux. Les micelles géantes sont des agrégats de molécules bipolaires nageant dans un solvant. Elles possèdent essentiellement deux états distincts dépendant de la force du cisaillement appliquée à la solution : un état aligné et un état enchevêtré. Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés à la rhéologie de ces écoulements. Pour décrire de tels écoulements, nous avons choisi le modèle de Jonhson-Segalman-Giesekus diffusif, suivant

$$\begin{cases} \nabla \cdot (2\eta D[V] + \sigma_p) = \nabla P, \\ \nabla \cdot V = 0, \\ (\partial_t + V \cdot \nabla)\sigma_p + \sigma_p \Omega[V] - \Omega[V]\sigma_p - a(\sigma_p D[V] + D[V]\sigma_p) + \frac{\sigma_p}{\tau} + \frac{\kappa}{G\tau}\sigma_p^2 = 2GD[V] + \mathcal{D}\Delta\sigma_p. \end{cases}$$

Les expériences numériques portent sur les écoulements de micelles géantes à travers des jonctions micro-fluidiques en forme de "T", dans le cadre d'une véritable géométrie 3D. Nous montrons alors que le modèle de Jonhson-Segalman utilisé permet de décrire correctement les phénomènes de bouchage observés expérimentalement. Ces calculs ont mis en lumière l'importance de la géométrie sur les rapports des débits de sortie ainsi que l'importance de l'asymétrie de la jonction sur ces débits. Nous avons ainsi observé des régimes non-permanents au niveau de la jonction. Tous ces phénomènes mettent bien sûr en évidence le

caractère non-Newtonien des micelles géantes et la tendance du modèle à créer des bandes de cisaillement dans l'écoulement.

B) Projets de Recherche

Cette partie est dédiée à la présentation de travaux entamés après l'HDR. D'une part, elle présente mes activités dédiées aux équations de Schrödinger qui sont en continuité de mes travaux initiés depuis le début de ma thèse (je vais donc commencer par les décrire rapidement dans une première partie). Elle concerne d'autre part la modélisation des écoulements à surface libre, avec trois domaines d'applications distincts : les écoulements côtiers en océanographie, la cicatrisation des matériaux composites et les phénomènes de dégivrage en aéronautique.

I. Équations de Schrödinger.

1. Contexte.

En collaboration avec T. Watanabe (Kyoto Sangyo University, Japon), nous avons décidé d'entamer une étude sur des modèles issus de la théorie de Born-Infeld en mécanique quantique. Ces modèles ont la particularité d'être des systèmes d'équations couplées de type Schrödinger-Maxwell ou Klein-Gordon-Maxwell. De manière très synthétique, ces systèmes ont été introduits pour pallier certaines incohérences présentes dans la théorie de Maxwell linéaire, notamment le fait que l'énergie totale dans l'espace entourant un électron diverge lorsque le rayon d'influence de ce dernier tend vers 0. La théorie de Born-Infeld est donc une version nonlinéaire de l'électromagnétisme qui décrit en particulier l'interaction d'une particule chargée avec un champ électromagnétique. Les modèles qui en découlent sont invariants par changement de jauge (on parle "d'ambiguïté de jauge"). Pour assurer l'unicité des solutions, nous avons travaillé dans le cadre de la jauge de Coulomb en imposant $\text{div}(\mathbf{A})=0$, où $\mathbf{A}$ désigne le champ magnétique. Nous abordons ces systèmes sous deux angles complémentaires : celui de la théorie de Cauchy et celui de l'existence/stabilité des ondes solitaires.

2. Résultats et perspectives.

Nous avons donc étudié deux familles de modèles issus de la théorie de Born-Infeld (voir ci-dessus). Dans [22], nous abordons le problème de Cauchy pour un système couplant une équation de Klein-Gordon non-linéaire avec les équations de Maxwell, dans le formalisme de la jauge de Coulomb. Nous montrons le caractère bien posé localement des équations dans des espaces de Sobolev d'ordre élevé, en utilisant des méthodes d'énergie et des processus de symétrisation. Notons que les méthodes traditionnelles (du type théorème du viriel par exemple) ne permettent pas d'obtenir de solutions globales et que ce problème reste très largement ouvert. En complément, dans [24], nous montrons l'existence d'ondes solitaires en introduisant un nouveau problème de minimisation sous-contrainte non standard, où la contrainte est donnée par un potentiel.

Dans une autre série d'articles, nous avons considéré la version Schrödinger-Maxwell issue de la théorie de Born-Infeld. Dans [23], nous nous sommes intéressés au comportement d'ondes stationnaires en dimension 3 d'espace. Dans ce système, l'interaction entre le champ électromagnétique et la fonction d'onde est modélisée par un paramètre e . La preuve de l'existence de telles ondes repose sur l'étude d'un problème de minimisation sous contrainte où la contrainte représente la charge d'une particule. Ensuite, pour des petites valeurs de e , nous montrons qu'il existe bien des états fondamentaux pour ces équations (ce sont des ondes stationnaires qui minimisent l'action associée au système). Pour finir, nous établissons un résultat de stabilité orbitale dans le cadre d'une non-linéarité quadratique. Ce dernier résultat est amélioré dans [27], grâce à l'utilisation d'une formulation pour la stabilité qui tient compte de l'invariance de jauge. Nous sommes ainsi amenés à introduire et à étudier un nouveau problème de minimisation sous contrainte qui prend pleinement en compte cette invariance de jauge. Enfin, dans [29], nous abordons le problème d'évolution en montrant l'existence d'une théorie de Cauchy locale dans des espaces de Sobolev réguliers. L'idée principale est de symétriser le système de départ en utilisant des

techniques de dérivation. Les pertes de dérivées sont pour leur part traitées à l'aide d'une procédure à la *Ozawa-Tsutsumi*.

Perspectives : l'existence et la stabilité des ondes solitaires pour le système de Schrödinger-Maxwell ont été établis en dimension 3 d'espace. Notons que dans cette configuration, les identités de Pohozaev et de Nehari ainsi que les estimations sur l'opérateur non-local $S(u)$ (voir par exemple le Lemme 3.3 de [27]) permettent d'appréhender raisonnablement le problème. En dimension 2 d'espace, la situation est beaucoup plus radicale tant du point de vue des expressions des identités citées que du traitement de l'opérateur $S(u)$ (notamment son comportement vis-à-vis des changements d'échelles devient problématique). Ce travail est en cours.

Dans [19], avec L. Di Menza et J.-C. Saut, nous abordons l'étude des propriétés des solitons dans les milieux quadratiques. L'intérêt est ici d'étudier des systèmes d'équations dont les opérateurs de dispersion peuvent présenter des dégénérescences de type hyperbolique. Nous rappelons d'abord la dérivation des systèmes décrivant les interactions des ondes qui se propagent dans de tels milieux. Nous discutons ensuite du caractère bien posé des systèmes obtenus (existence locale et globale). Nous montrons l'existence ou la non-existence d'ondes solitaires dans différents types de régimes physiques en considérant des versions elliptiques ou hyperboliques de nos systèmes (en référence aux équations de Davey-Stewartson) et abordons le problème de la stabilité orbitale. Enfin, des illustrations numériques complètent cette étude. À la suite de ces travaux de nombreux problèmes restent ouverts, notamment en ce qui concerne l'existence d'ondes solitaires. En effet, le système stationnaire associé à cette étude est composé de deux équations couplées dont les opérateurs de dispersion sont hétérogènes ($\Delta_1 = \delta_\perp + \varepsilon_1 \partial_z^2$ et $\Delta_2 = \delta_\perp + \varepsilon_2 \partial_z^2$ où $\varepsilon_1 = \pm 1$ et $\varepsilon_2 = \pm 1$). Les cas où l'analyse s'avère délicate sont ceux dont au moins un des coefficients ε_1 et ε_2 est égale à -1. Les seuls résultats disponibles pour le moment concernent la non-existence d'ondes stationnaires et proviennent directement de l'égalité de Pohozaev associée. Beaucoup de cas restent donc indéterminés.

II. Écoulements à surface libre.

1. Contexte scientifique et motivation.

Dans le domaine de l'ingénierie, il est souvent nécessaire d'avoir une bonne compréhension de la dynamique des écoulements de fluides intervenant dans les applications. Le caractère multi-échelle est alors primordial pour la plupart de ces écoulements. Dans ce projet, je m'intéresse aux applications pour lesquelles ce caractère multi-échelle se traduit, entre autres, par une très forte raideur géométrique : parmi les trois directions physiques, au moins une d'entre elles possède une dimension caractéristique très faible par rapport aux autres. On parle alors d'écoulements *essentiellement bi-dimensionnels*.

C'est en partie le cas dans les exemples suivants : écoulements atmosphériques (épaisseur atmosphère/circonférence terre), propagation de Tsunamis sur la surface de l'océan (longueur d'onde/amplitude), écoulements littoraux (longueur d'onde/profondeur ou amplitude), écoulements micro-fluidiques dans les micro-canaux (épaisseur canaux/longueur), infiltration et oxydation dans les matériaux composites (épaisseur fissure/longueur transversale), etc

Une simulation efficace de ce type de problèmes nécessite, d'une part, l'utilisation et la compréhension de modèles mathématiques structurellement riches et d'autre part, de méthodes numériques adaptées à l'hétérogénéité de l'écoulement. Notons qu'il est souvent possible de créer une hiérarchie naturelle parmi les paramètres physiques, spécifique à chaque application et régime. Cette hiérarchie permet de développer des modèles asymptotiques qui tiennent compte des effets liés aux plus grands paramètres. Cette approche est largement utilisée car elle a l'avantage de transformer les équations, initialement tri-dimensionnelles, en des modèles bi-dimensionnels. Ajoutons aussi que le développement de techniques de discrétisation efficaces est un enjeu crucial et actuel dans le monde académique et industriel. L'intérêt est ici lié au besoin de pouvoir adapter, de manière dynamique, la précision de la méthode numérique à la dynamique locale de l'écoulement.

Ces thématiques font l'objet de nombreuses initiatives au niveau national et international. Par exem-

ple, dans le domaine de l'océanographie, les modèles de propagation de Tsunamis font partie intégrante du système d'alerte du NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration [A7]), dont l'intérêt réside dans le développement et la validation de modèles [A6]. Comme remarqué dans [A1], [A4], l'utilisation de modèles asymptotiques appropriés est fondamentale dans ce contexte. De plus, l'importance et l'impact économique de ces activités dans le domaine de la prévention et de la sécurité est analysée dans [A2]. Dans ce cadre là, nous pouvons citer le projet d'Investissement d'avenir TANDEM porté par le CEA qui a été initié suite aux événements qui ont touché la centrale nucléaire de Fukushima au Japon. Dans le monde industriel, les initiatives sont aussi nombreuses. Nous pouvons par exemple citer les actions concernant les matériaux composites auto-cicatrisants destinés à l'aéronautique civil menées à la NASA [A5] ou dans l'entreprise Safran [A8].

A travers toutes ces initiatives, il est possible de dégager plusieurs faits importants :

1. un *modèle de simulation* est la combinaison de trois éléments : le modèle mathématique, un schéma de discrétisation (numérique), l'implémentation dans une plateforme de calcul ;
2. dans les applications pratiques, les modèles 2D obtenus présentent encore une forte anisotropie : existence de plusieurs échelles de temps (prise en compte d'effets à courte durée dans une simulation sur des temps très longs), de plusieurs échelles géométriques (dimension du domaine de calcul très grande devant la dimension caractéristique locale de l'écoulement), combinaison de plusieurs phénomènes physiques différents (transport, dispersion, diffusion, non-linéarité et formation de discontinuités, etc....) ;
3. il existe de nombreux travaux portant sur l'obtention d'EDPs asymptotiques. Cependant, pour la plupart des applications déjà mentionnées, il n'existe pas un modèle standard, mais plutôt des classes de modèles correspondants à certains choix (arbitraires) faits pendant le processus de dérivation. En général, la complexité mathématique de ces équations est importante et croît rapidement avec l'augmentation de la précision du développement asymptotique [A3] ;
4. le processus de développement asymptotique ne permet de retenir qu'une partie de la physique exprimée par le modèle tri-dimensionnel de départ. De plus, le choix du schéma de discrétisation des équations induit une nouvelle perte d'information de l'ordre de grandeur de l'erreur de troncature. La complexité des modèles asymptotiques existants rend parfois particulièrement délicate la mise en oeuvre de schémas numériques suffisamment précis en vue des applications.

L'objectif de ce projet est d'établir et d'étudier les propriétés mathématiques de nouveaux modèles asymptotiques pertinents pour décrire des écoulements essentiellement bi-dimensionnels.

Références :

[A1] R.A. Darlymple and S.T. Grilli and J.T. Kirby, *Tsunamis and challenges for accurate modelling*, Oceanography Magazine, vol. 19(1), (2006).

[A2] L. Ewing and C. Synolakis, *Resilience to extreme events*, Coastal Engineering Proceedings, vol. 1(33), (2012).

[A3] J.T. Kirby, *Boussinesq models and applications to nearshore wave propagation, surf zone processes and wave induced currents*, Adv. Coast. Modelling, vol. 13(4), (2011).

[A4] P.J.Lynnet and P.L.-F.Liu, *Numerical simulation of complex tsunami behaviour*, Computing in Science and Engineering Magazine, vol. 13(4), (2011).

[A5] S.V. Raj and R. Bhatt, *High-Temperature, Lightweight, Self-Healing Ceramic Composites for Aircraft Engine Applications*, NASA Tech Brief 20130009813, (2013), <http://www.techbriefs.com/component/content/article/130009813>

[A6] C.E. Synolakis and E. Bernard and V. Titov and U. Kanoglu and F. Gonzalez, *Validation and Verification of Tsunami Numerical Models*, Pure and Applied Geophysics, vol. 165, (2008), 2197-2228.

[A7] *National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA* : <http://www.noaa.gov/>

[A8] *Thermostructural composites at HERAKLES* : <http://www.herakles.com/innovation/composites-thermosructuraux/>

2. Résultats et programme de recherche.

a) en océanographie.

L'objectif principal de ce projet est de dériver, à partir des équations physiques 3D, des modèles EDP 1D ou 2D et d'effectuer une analyse mathématique fine de leurs propriétés spécifiques : étude de leurs propriétés dispersives, problème de Cauchy, étude de solutions particulières globales.

Concrètement, il s'agit d'obtenir des modèles ayant un domaine de validité large et un niveau de fiabilité élevé. Ce programme s'articule autour de plusieurs challenges scientifiques.

Nouveaux paradigme discret. Le premier challenge est de mettre en oeuvre l'approche nouvelle et innovante qui consiste en l'inversion du paradigme décrit ci-dessous :

$$\text{modèle physique} \longmapsto \text{modèle asymptotique} \longmapsto \text{modèle numérique.}$$

Plus précisément, au lieu de discrétiser des équations complexes dont on ne connaît pas toujours la pertinence physique, je propose d'introduire la démarche suivante :

1) écrire directement des schémas numériques partiels sur les modèles de départ (Euler ou Bernoulli), qui sont dans un certain sens les *bonnes* équations à étudier,

2) effectuer l'analyse asymptotique sur ces équations semi-discrètes, pour obtenir des modèles finaux complètement discrets.

Notons que pour ce type d'équations, les schémas numériques sont bien connus et relativement simples à écrire (différences finies ou éléments finis par exemple). L'objectif principal est de pouvoir s'affranchir du choix d'un schéma numérique complexe pour des équations asymptotiques hyperboliques. L'ambition est alors de répondre aux enjeux suivants. Tout d'abord, il s'agit d'améliorer la pertinence et la fiabilité des modèles simplifiés (en jouant éventuellement sur les paramètres, les conditions aux bords, etc...). Nous nous intéresserons ensuite à l'influence du choix de la méthode numérique sur le modèle final obtenu : par exemple on s'attend à ce qu'un schéma centré produise un résultat différent de celui donné par un schéma décentré. Nous nous attendons bien sûr aussi à obtenir de nouvelles familles de modèles.

Résultats : Dans le cadre de la thèse de S. Bellec (bourse ASN), nous avons déjà mis en oeuvre cette technique pour une asymptotique de type Peregrine, en écrivant sur les équations d'Euler 2D en (x, z) un schéma de type élément fini en x et en effectuant ensuite le processus asymptotique de moyennisation en z . Les résultats obtenus sont prometteurs et fournissent un premier modèle dont les propriétés de dispersion du linéarisé apparaissent bien meilleures que celles issues du modèle de Peregrine original. Ce travail a fait l'objet de la publication [21].

Ondes solitaires. Pour décrire l'évolution de la surface libre d'un fluide, il existe de nombreux modèles asymptotiques correspondant à des régimes physiques particuliers : équations de Nwogu, d'Abbot, de Peregrine, de Green-Naghdi, etc.... Ces modèles sont largement utilisés par les communautés du calcul scientifique au sens large et de l'ingénierie pour effectuer des tests numériques sur des applications spécifiques (étude des phénomènes de déferlement, de *shoaling*,...). Si ces équations sont maintenant bien comprises du point de vue du problème de Cauchy (depuis les travaux de J. Bona, D. Lannes, J.-C. Saut, etc ...) de nombreux aspects restent encore inexplorés. Par exemple, du point de vue applicatif, il n'existe pas toujours de solution exacte analytique utilisable pour tester des nouveaux schémas numériques. D'un point de vue pratique, la communauté scientifique utilise souvent des solutions approchées en essayant au pire de limiter l'erreur commise ou au mieux d'inclure la totalité de cette erreur dans un terme source (ce qui demande parfois des calculs fastidieux). Dans cette optique, les ondes solitaires sont susceptibles

d'apporter une aide précieuse en vue des applications. Elles donnent aussi d'importantes informations sur la dynamique des systèmes en tant que solutions globales en temps.

Résultats : Après avoir obtenu une nouvelle formulation conservative des équations de Nwogu, qui pourrait s'avérer très utile dans le domaine de l'ingénierie, nous avons montré, avec S. Bellec, l'existence et l'unicité d'ondes solitaires pour les modèles cités ci-dessus (à l'exception des équations de Green-Naghdi). Nous avons aussi donné un moyen de construire numériquement ces solutions particulières en fournissant la relation analytique entre l'amplitude et la vitesse de propagation de l'onde. Tous ces résultats sont regroupés dans l'article [20]. Enfin l'article [17] et le proceeding [4] établissent l'existence de deux familles de modèles : les modèles écrits en variables vitesse-amplitude et ceux écrits en variables flux-amplitude. A l'aide d'expériences numériques, nous avons pu établir que ces deux familles avaient des comportements très différents vis-à-vis notamment des propriétés de shoaling : les premiers sur-évaluant l'augmentation de la hauteur de la vague alors que les seconds la sous-évaluent. Ces résultats sont importants pour les ingénieurs qui souhaiteraient inclure dans leur modèles des critères de déferlement par exemple. En collaboration avec T. Iguchi, j'ai étudié l'existence d'ondes solitaires pour des équations de type Isobe-Kakinuma. Le modèle d'Isobe-Kakinuma permet aussi de décrire la propagation d'écoulements à surface libre. C'est un modèle asymptotique qui pourrait s'avérer être une alternative intéressante au modèle de Green-Naghdi. En effet, parmi tous les modèles existants, les équations de Green-Naghdi représentent une approximation des équations des Water Waves à l'ordre δ^4 , où δ est égal au rapport de la profondeur moyenne sur la longueur d'onde caractéristique de la vague. T. Iguchi a montré que le modèle très prometteur d'Isobe-Kakinuma est une approximation encore meilleure puisque celle-ci est égale à δ^6 . Nous avons montré dans [28] l'existence d'ondes solitaires de petite amplitude pour un modèle d'Isobe-Kakinuma à fond plat, en utilisant une méthode perturbative. Nous présentons aussi dans ce même papier des simulations numériques qui suggèrent l'existence d'une onde solitaire de large amplitude de forme extrême, faisant écho à la fameuse onde de Stokes.

A Venir : J'envisage maintenant d'étudier la stabilité orbitale de ces ondes solitaires pour les modèles asymptotiques décrits ci-dessus, ce qui va nécessiter, entre autre, une étude fine des propriétés de l'opérateur linéarisé associé à ces équations. Enfin, je continue l'étude des modèles d'Isobe-Kakinuma d'un point de vue numérique et je vérifie que les schémas classiques permettent bien d'obtenir une telle approximation. Ce projet consiste en particulier à étudier les relations de dispersion associées, comparer les coefficients de Stokes, etc., ouvrant ainsi la voie à une comparaison que l'on espère pertinente entre ces modèles. Très peu de résultats numériques existent concernant le modèle d'Isobe-Kakinuma, ce qui rend ce projet vraiment ambitieux et devrait ouvrir de nombreuses voies pour de futures recherches.

b) dans le domaine des matériaux composites.

Les composites à matrice céramique (CMC) sont envisagés pour intégrer les chambres de combustion des futurs moteurs aéronautiques civils. Dans ces moteurs, ils atteignent leurs conditions limites d'utilisation à cause de la conjonction de fortes sollicitations thermiques et mécaniques et d'un environnement très oxydant. Pour faire face à ces conditions, des CMC à matrice auto-cicatrisante ont été développés. Ils possèdent la particularité de se protéger contre l'oxydation par la formation d'un fluide passivant, qui limite la diffusion des espèces oxydantes au sein des fissures matricielles. En effet, la durée de vie de ces matériaux est pilotée par les fibres qui sont sujettes à l'oxydation. Au fur et à mesure de son utilisation, des fissures apparaissent et deviennent autant de chemins possibles pour propager l'oxygène jusqu'aux fibres et donc pour fragiliser le matériau. Le processus d'auto-cicatrisation consiste à combler ces fissures par un oxyde produit in situ par oxydation d'une partie de la matrice présente, sans modifier de manière importante sa rigidité ni sa résistance mécanique. Les temps moyens de rupture de ces matériaux sont de l'ordre de plusieurs milliers d'heures, ce qui rend les expériences en laboratoire quasiment inaccessibles. Pour étudier le comportement physico-chimique complexe de ces matériaux et notamment prédire leur durée de vie, il est donc essentiel, voire indispensable, d'introduire des modèles mathématiques fiables et utilisables pour des simulations numériques. Notons qu'un modèle efficace devra prendre en compte :

- 1) le caractère multi-dimensionnel du problème (topologie des fibres et de la matrice multicouche),
- 2) les processus chimiques complexes qui apparaissent au niveau des fissures (réactions chimiques menant à la production ou au recul de phases condensées),
- 3) l'écoulement de l'oxyde dans les fissures.

Remarquons de plus que le problème proposé possède plusieurs échelles distinctes : l'échelle locale du processus d'auto-cicatrisation, une échelle intermédiaire correspondant au réseau de fibres et une échelle macroscopique décrivant les efforts mécaniques auxquels est soumis le matériau. En résumé, ce vaste projet consiste à fournir de nouveaux modèles mathématiques décrivant ce processus d'auto-cicatrisation. Il comporte un caractère multi-disciplinaire très fort et nécessite les compétences développées au sein de l'IMB et d'Inria en modélisation et EDP avec celles développées au LCTS en physique et chimie des matériaux.

Résultats : Le premier travail a consisté à écrire un modèle de type Saint-Venant et un modèle de type lubrification des films minces pour décrire l'écoulement d'un oxyde dans une fissure. S'appuyant sur des conditions aux bords plus ou moins complexes, nous avons écrit une hiérarchie de modèles asymptotiques. Le second travail a consisté à étudier un modèle de type film mince extrait de la hiérarchie précédente et à montrer son caractère bien posé (voir [25], [26]).

A Venir : Nous avons obtenu le projet ANR VISCAP qui a permis de financer le post-doc de R. Baggio. Nous avons fait le lien entre les modèles de lubrification et des systèmes "augmentés" de type Shallow-water. Deux articles sont en cours de rédaction.

c) en aéronautique.

Depuis les débuts de l'aviation, les phénomènes de givrage qui apparaissent sur la structure d'un avion ont été identifiés comme des risques majeurs d'accident. Les raisons en sont multiples : modification du poids de l'appareil (surcharge), modification des performances aérodynamiques, injection de cristaux de glaces dans les moteurs,... Ainsi, les industriels de l'aviation ont cherché à développer des systèmes de protection contre l'apparition du givre. Il existe essentiellement deux méthodes : l'antigivrage et le dégivrage. Les systèmes d'antigivrage sont actuellement les plus répandus. Ils fonctionnent suivant le procédé suivant : de l'air chaud est prélevé dans les moteurs (par exemple à la sortie du turboréacteur) et injecté sur la surface à protéger. En raison de leur caractère permanent, ces systèmes sont très efficaces et très fiables. Par contre, ils nécessitent une quantité importante de carburant car ils fonctionnent en continu. Avec la prise de conscience de l'importance des questions environnementales, des systèmes de dégivrage sont actuellement à l'étude. Le principe est de placer des résistances électriques dans les zones que l'on souhaite protéger du givre. Il possède deux avantages majeurs : il ne nécessite pas le transport d'un fluide (ce qui permet de réduire les problèmes mécaniques liés à l'usure, les fuites,...) et il est moins coûteux sur le plan énergétique. En effet, ces systèmes sont destinés à fonctionner de la manière suivante : on commence d'abord par laisser une fine couche de givre se déposer (sur une aile par exemple) avant d'activer les résistances. Au fur et à mesure que l'on chauffe, un film d'eau liquide entre la paroi et le bloc de givre apparaît et conduit au détachement de ce dernier sous l'effet des forces aérodynamiques externes.

Il s'agit bien sûr d'un projet ambitieux qui s'inscrira dans la durée. Il a débuté avec la thèse d'A. Fallourd et se poursuit actuellement avec celle de T. Carlier. Pour l'aborder sous un angle nouveau et raisonnable, avec H. Beaugendre, nous avons décidé de regarder en premier lieu les problèmes de changement de phase (solide-liquide) qui interviennent lors de la mise en action des systèmes de dégivrage. En particulier, il faut disposer d'une méthode numérique robuste pour assurer le suivi d'interfaces mobiles. La méthode choisie s'appuie sur une approche éléments finis associée à un processus de méthodes immergées afin de pouvoir appréhender les difficultés techniques liées aux contraintes de remaillage, surtout lorsque des géométries complexes sont impliquées. En particulier, nous avons fait le choix d'utiliser une

méthode des frontières décalées qui va suivre le maillage. Ainsi, les conditions aux bords seront imposées faiblement sur cette frontière décalée. L'ordre élevé de la méthode sera ensuite assurée par un développement de type Taylor de l'interface physique vers l'interface décalée.

Nous avons commencé par implémenter cette méthode sur un problème de Stefan écrit en formulation mixte, afin de s'assurer du bien-fondé de ces idées. L'innovation ici consiste en un enrichissement de l'approximation qui permettra d'obtenir l'ordre élevé à la fois sur la variable primale et son gradient. Un article est en cours de rédaction avec H. Beaugendre, T. Carlier et L. Nouveau.

Dans un deuxième temps nous avons entamé avec H. Beaugendre et M. Parisot un processus de modélisation de la chaîne complète du givrage. Il s'agit d'un modèle qui prendra en compte trois états de l'eau (liquide, solide et ruissellement) dans un système d'équations couplées et moyennées suivant la variable verticale, et qui fera écho aux systèmes développés en océanographie ou pour les matériaux composites.

Conclusion :

La force et l'originalité de ces projets résident dans les points suivants :

- un mélange entre analyse asymptotique des EDPs et construction de schémas numériques,
- le développement de paradigmes de dérivation de modèles asymptotiques discrets innovants dans les domaines d'applications considérés ici,
- la proposition de nouveaux modèles décrivant le processus de cicatrisation des matériaux composites pour l'aéronautique civile,
- l'émergence de nouveaux modèles pour décrire les phénomènes de dégivrage thermique.

Mathématicien appliqué, je crois beaucoup à l'apport précieux des mathématiques dans le milieu industriel, et je suis enthousiaste à l'idée de contribuer au transfert des compétences. J'insiste d'ailleurs sur le fait que ce transfert a lieu dans les deux sens : transférer les connaissances développées par une équipe universitaire vers le monde industriel est une chose, mais réciproquement les industriels nous apportent beaucoup de connaissances nouvelles et de nouveaux défis qui sont très excitants pour les mathématiciens. J'apprécie beaucoup cet échange permanent, enrichissant à la fois pour la recherche et l'enseignement. C'est aussi la raison pour laquelle je suis très motivé pour développer un projet d'enseignement intimement lié à cet aspect de mon travail.

C) Synthèse des compétences et Apport Personnel.

Tout au long de mes travaux, j'ai pu développer mes **connaissances** et **compétences** suivantes dans les domaines énoncés ci-dessous.

- **Problème de Cauchy** : Lors de la résolution de tels problèmes (que ce soit dans des espaces de **Sobolev** ou des algèbres de **Wiener**), j'ai utilisé des **méthodes de Galerkin** et des **méthodes d'énergies** couplées avec des méthodes de **symétrisation** (pour compenser des pertes de dérivées comme dans [1], [12], [22] et [29] ou supprimer des zones elliptiques de systèmes quasilinéaires, voir [5]). Une autre manière de traiter les pertes de dérivées a été de mettre en oeuvre la méthode d'**Ozawa-Tsutsumi** (voir [5]) ou d'utiliser des **transformations de jauge** (voir [1,12]). Notons aussi que dans [14], j'ai étudié des problèmes de Cauchy sur des ouverts bornés associés à des conditions aux limites physiques nécessitant l'utilisation de **principe du maximum** et de **relèvements** non standards.
- **Méthodes Spectrales versus Méthodes Variationnelles** : Pour étudier la stabilité des ondes solitaires, il existe deux grandes familles de méthodes : les méthodes dites **spectrales** et

les méthodes **variationnelles**. Les premières reposent essentiellement sur les propriétés fines de l'opérateur linéarisé autour de l'onde solitaire : étude du spectre et de la coercivité de l'opérateur (voir [7,9,10,15]). Les secondes sont basées sur des problèmes de **minimisation sous contraintes** (voir [4,12,16,23,24,27]). L'existence de telles ondes nécessitent parfois l'utilisation de **lemme du col** ou de problèmes de minimisation sous contraintes (voir [2,4,12]). Toutes ces méthodes m'ont aussi permis d'affiner mes compétences dans le traitement des **équations elliptiques**. Notons aussi que dans [15], j'ai étudié un phénomène de **bifurcation**, alors que dans [28] j'ai mis en oeuvre des méthodes de **perturbation**.

- **Modélisation** : Il existe plusieurs méthodes pour dériver des modèles asymptotiques. Dans [5], pour obtenir les systèmes de Zakharov décrivant l'interaction à 3 ondes, j'ai utilisé des méthodes d'**optique géométrique** (approximation d'**enveloppes**, développement **WKB**, utilisation de conditions de **résonance**, ...). J'ai aussi étudié des versions **semi-classiques** des systèmes afin de déterminer le comportement asymptotique des solutions (voir [6]), essentiellement pour prévoir les taux de croissance des champs en présence en vue de fabriquer des **schémas numériques** efficaces). Dans [8], des équations de **Schrödinger** décrivant la propagation dans des milieux dispersifs d'ondes laser spécifiques (*short pulse* et *chirped pulse*) sont établies à partir de **systèmes hyperboliques** symétriques avec des données initiales rapidement oscillantes. Ces modèles sont obtenus en effectuant des développements de Padé de la paramétrisation de la branche adéquate de la **variété caractéristique**. J'ai aussi appris à maîtriser des techniques de type **Hele-Shaw** (voir [14]), ainsi que celles qui permettent l'écriture de modèles asymptotiques en océanographie et qui reposent sur l'**identification de petits paramètres** (systèmes de Boussinesq, voir [17,20,21]).

Voici maintenant une description de mon **apport personnel** dans le domaine des EDPs.

- **Méthode de changements de variables** : Dans [2] et [4], j'ai introduit une méthode de changement de variable générale qui permet de transformer des équations elliptiques d'ordre 2 quasilinéaires en équations semi-linéaires. Cette méthode donne un cadre pertinent pour étudier l'existence, l'unicité et la stabilité orbitale des ondes solitaires solutions des équations de Schrödinger associées. Depuis, cette technique a été reprise dans de nombreux articles (**40** citations répertoriées dans *Mathscinet* pour [2] et **349** pour [4]) pour montrer différents résultats d'existence et d'unicité ainsi que la non-dégénérescence d'états fondamentaux.
- **Ondes solitaires** : J'ai obtenu différents résultats d'existence et de stabilité d'ondes solitaires pour des équations de Schrödinger quasilinéaires ainsi que pour des **systèmes** d'équations de Schrödinger, ce qui est nouveau dans la littérature (étude d'ondes solitaires triviales [9,10] et non-triviales [15], voir aussi [19]). Dans [15], j'ai étudié un système particulier en déterminant complètement la structure et le comportement des états fondamentaux. J'ai aussi mis en évidence un comportement surprenant pour une équation de Schrödinger quasilinéaire en montrant la stabilité dans leur ensemble des ondes solitaires et l'instabilité orbitale de ces mêmes ondes (voir [12,16]). J'ai aussi transposé ces méthodes à l'étude de systèmes issus du domaine de l'océanographie (voir [20,28]).
- **Problème des multiplicateurs de Lagrange** : Dans [2], j'ai formalisé le problème des multiplicateurs de Lagrange qui intervient dans les techniques de minimisation sous contraintes pour des équations où il n'existe pas de changements d'échelles qui permettent de déterminer directement la valeur de ces multiplicateurs. J'ai de plus, en utilisant des arguments de **concavité**, montré que l'on pouvait apporter des réponses partielles à cette problématique difficile.
- **Effet Raman** : Dans [5,6,13], j'ai étudié l'effet Raman qui est un phénomène d'amplification exponentielle qui intervient lorsqu'une onde incidente se propage dans un plasma. J'ai dérivé un système de Zakharov pour décrire la propagation de l'onde Raman rétrodiffusée en proposant une méthode de dérivation systématique et mis en évidence l'existence de deux ondes Raman qui se propagent dans le même sens que l'onde incidente, tout en étant non-colinéaires à celle-ci. C'est le premier résultat dans ce sens existant dans la littérature. J'ai aussi proposé une technique d'analyse semi-classique pour mettre en évidence la croissance exponentielle des champs Raman.

- **Problème de Cauchy** : J'ai généralisé les méthodes de **symétrisation** existantes pour les équations quasilineaires afin d'une part de supprimer les conditions de petitesse des données initiales et d'autre part d'abaisser la régularité des espaces de Sobolev dans lesquels vivent les solutions (voir [1,5] et aussi [12,22,29]). J'ai aussi introduit des conditions générales sur les termes non-linéaires de ces équations qui permettent de résoudre au moins localement les problèmes de Cauchy associés.
- **Modélisation** : J'ai introduit, dans le contexte de l'océanographie, une **nouvelle méthode ambitieuse et innovante** pour obtenir des modèles asymptotiques discrets qui repose sur l'inversion du paradigme usuel. Cette méthode est très prometteuse et offre de nombreuses possibilités de développements pour le futur (voir [21]).
- **Applications** : Tout au long de mes travaux, je me suis intéressé aux problèmes physiques réels à l'origine des systèmes d'EDP que je considérais. Ainsi, par exemple, les systèmes de Zakharov permettent l'étude de l'effet Raman qui apparaît lors du processus de **fusion nucléaire** alors que l'étude du comportement rhéologique des micelles géantes visait la **récupération assistée du pétrole**. Mon projet de recherche cible 3 problématiques physiques ou industrielles actuelles :
 - ◊ la compréhension des **écoulements océaniques ou fluviaux**,
 - ◊ la cicatrisation des **matériaux composites** utilisés en aéronautique avec pour ambition d'améliorer les processus de certification de certaines pièces intégrant la structure des avions,
 - ◊ les méthodes de **dégivrage thermique** sur les avions avec pour ambition de diminuer la consommation des avions en phase de vol.