Curriculum Vitae

Madalina PETCU

23 octobre 2014

1 Identification

Nom : PETCU

Prénom : Madalina Elena

Grade : Maître de conférences

Date d'affectation : 1er septembre 2007

Titularisation : 1er septembre 2008

Établissement d'affectation : Université de Poitiers
Téléport 2 - BP 30179
Boulevard Marie et Pierre Curie
86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex

Page web : www-math.sp2mi.univ-poitiers.fr/∼petcu/

2 Déroulement de carrière

2.1 Expérience professionelle

1er Septembre 2007–présent : Maître de conférences à l'Université de Poitiers, France

1er Novembre 2006–Août 2007 : Assistant post-doctorant à l'Université de Genève, Suisse

1er Janvier–30 Août 2006 : ATER à l'Université Paris-Sud, Orsay, France

2000–2006 : Chercheur assistant à l'Institut de Mathématiques de l'Académie Roumaine, Bucarest, Roumanie

Automne 2005 : Teaching instructor au Department of Mathematics, Indiana Univesity, Bloomington, USA

2001– 2006, 2008– 2011 : Visiting Research Associate à l'Institute for Scientific Computing and Applied Mathematics, Indiana University, Bloomington, USA

2.2 Formation

2011 : Habilitation à diriger des recherches (Université de Poitiers)
Date de soutenance : 8 Décembre 2011.
Titre : *Modélisation, analyse théorique et numérique de certaines équations de la mécanique et de la physique*
Soutenue devant le jury : Pierre Fabrie, Martin Gander, Olivier Goubet (rapporteur), Alain Miranville, Frédéric Pascal, James Robinson (rapporteur), Jean-Michel Rakotoson, Roger Temam

2002–2005 : Thèse de Mathématiques en co-tutelle à l'Université Paris–Sud, Orsay, France (sous la direction de R. Temam) et à l'Université de Bucarest (sous la direction de G. Dinca).
Date de soutenance : Mai 2005.
Titre : *Régularité et asymptotique pour les Equations Primitives*
Soutenue devant la commission d'examen : François Alouges, Jacques Blum, Benoît Desjardins (rapporteur), George Dinca, Isabelle Gallagher (rapporteur), Jacques Laminie, Roger Temam

1999–2001 : Diplôme d'Etudes Approfondies en Analyse Réelle et Complexe (mention 10/10)
Université de Bucarest, Roumanie

1999 : Maîtrise de Mathématiques à la Faculté de Bucarest (mention pour l'examen de diplôme : 10/10)

3 Articles

3.1 Articles publiés dans des revues internationales

[1] M. Petcu, R. Temam, et D. Wirosoetisno. Existence and regularity results for the primitive equations. *Comm. Pure Appl. Analysis*, 3(1) :115–131, March 2004.

[2] M. Petcu et R. Temam. Control for the sine-Gordon equation. ESAIM : COCV, 10 :553–573, 2004.

[3] M. Petcu. Gevrey class regularity for the primitive equations in space dimension 2. *Asymptotic Analysis*, 39(1) :1–13, 2004.

[4] M. Petcu et A. Rousseau. On the δ-Primitive and Boussinesq type equations. *Advances in Differential Equations*, 10(5) : 579–599, 2005.

[5] M. Petcu, R. Temam, et D. Wirosoetisno. Renormalization group method applied to the primitive equation. *Journal of differential equations*, 208 : 215–257, 2005.

[6] M. Petcu. Euler Equation in a channel in space dimension 2 and 3. *Discrete and Continuous Dynamical Systems* – series A, 13, no. 3, 755-778, 2005.

[7] M. Petcu et A. Rousseau. Numerical time-schemes for an ocean related system of PDEs. *Numerical Methods in Partial Differential Equations*, 22 : 32-47, 2006.

[8] M. Petcu et D. Wirosoetisno. Sobolev and Gevrey regularity for the primitive equations in a space dimension 3, *Applicable Analysis*, 84(2005), no. 8, 769-788.

[9] M. Petcu. Euler equations in a 3D channel with nonhomogenous boundary conditions, *Differential and Integral Equations*, 19, no. 3, 297-326, 2006.

[10] M. Petcu. On the three-dimensional primitive equations, *Advances in Differential Equations*, 11, no. 11, 1201-1226, 2006

[11] M. Petcu, R. Temam et M. Ziane. Some mathematical problems in fluid dynamics, *Handbook of Numerical Analysis* special volume on *Computational Methods for the Ocean and the Atmosphere*, 577-750, 2009

[12] M. Petcu. On the backward uniqueness of the primitive equations, *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées*, 87, no. 3, 275-289, 2007

[13] B. Ewald, M. Petcu et R. Temam. Stochastic solutions of the two-dimensional primitive equations of the ocean and atmosphere, *Analysis and Applications*, 5, no. 2, 183-198, 2007

[14] M. Gander et M. Petcu. Analysis of the modified parareal algorithm for second-order ordinary differential equations, *AIP Conference Proceedings : Numerical Analysis and Applied Mathematics*, 233-236, 2007

[15] M. Gander et M. Petcu. Analysis of a Krylov subspace enhanced parareal algorithm, *ESAIM Proc.*, 25, pp.114-129, 2008

[16] M. Petcu et R. Temam. The Shallow Water equations with Dirichlet boundary conditions on the velocity, DCDS-S, vol. 4, no. 1, 2011

[17] L. Cherfils, M. Petcu et M. Pierre. A finite element discretization of the Cahn-Hilliard equation with dynamic boundary conditions, DCDS-A, vol. 27, no.4, 1511–1533, 2010

[18] K. Lucas, M. Petcu et A. Rousseau. Quasi-hydrostatic primitive equations for ocean global circulation models, *Chin. Ann. Math.*, 31B(5), pp. 1-20, 2010

[19] C. Jung, M. Petcu et R. Temam. Singular perturbation analysis on a homogeneous ocean circulation model, *Analysis and Applications*, vol. 9, no. 3 (2011), 275–313

[20] S. Faure, M. Petcu, R. Temam et J. Tribbia. On the inaccuracies of some finite volume discretizations of the linearized Shallow Water problem, *International Journal of Numerical Analysis and Modeling*, vol. 8, no. 3, pp. 518-541, 2011

[21] M. Petcu et R. Temam. The Shallow Water equations with transparent boundary conditions , *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 2011, DOI : 10.1002/mma.1482

[22] A. Huang, M. Petcu et R. Temam. Supercritical Shallow Water equations with topography, *Annals of the University of Bucharest, Mathematics Section*, 2 (LX), 63-82, 2011

[23] M. Petcu. Exponential Decay of the Power Spectrum and Finite Dimensionality for Solutions of the Three Dimensional Primitive Equations, *Numerische Mathematik*, DOI 10.1007/s00211-011-0405-0, 2011

[24] M. Petcu et R. Temam. An interface problem : the two-layer Shallow Water equations, *DCDS-A*, vol. 33, no. 11 & 12, 5327-5345, 2013

[25] A. Bousquet, M. Marion, M. Petcu et R. Temam. Multilevel finite volume methods and boundary conditions for geophysical flows, *Computers&Fluids*, 74 (2013), 66–90

[26] A. Bousquet, M. Petcu, M. C. Shiue, R. Temam et J. Tribbia. Boundary conditions for limited area models, *Communications in Computational Physics*, vol. 14, no. 3, 664–702, 2013

[27] H. Israel, A. Miranville et M. Petcu. Well-posedness and long time behavior of a perturbed Cahn-Hilliard system with regular potentials, *Asymptotic Analysis*, 84 (2013), 147–179

[28] L. Cherfils et M. Petcu. A numerical analysis for the Cahn-Hilliard equation with non-permeable walls, *Numerische Mathematik*, 128(2014), 517-549

[29] H. Israel, A. Miranville et M. Petcu. Numerical analysis of a CahnÐHilliard type equation with dynamic boundary conditions, *Ricerche mat.*, DOI 10.1007/s11587-014-0187-7

3.2 Articles en préparation

[30] M. Petcu, R. Temam et D. Wirosoetisno. Renormalization group method for the three dimensional primitive equations

[31] A. Huang, M. Petcu et R. Temam. The nonlinear $2D$ supercritical inviscid shallow water equations in a rectangle

4 Conférences dans des congrès internationaux

Août 2014 : 12ème colloque franco-roumain de mathématiques appliquées, Lyon, France

Juillet 2014 : The 10th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications, Madrid, Espagne

Déc. 2013 : Workshop on "Partial Differential Equations and Geophysical Fluid Dynamics", Newton Institute, Cambdridge, United Kingdom

Juillet 2013 : Joint International Meeting of the American Mathematical Society and the Romanian Mathematical Society, Alba Iulia, Roumanie

Fevr. 2013 : AIMS workshop on "Stochastics in geophysical fluids", Palo Alto, USA

Août 2012 : 11ème colloque franco-roumain de mathématiques appliquées, Bucarest, Roumanie

Juillet 2012 : The 9th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications, Orlando, Florida, USA

Sept. 2011 : International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics, Halkidiki, Greece

Juin 2011 : The Seventh Congress of Romanian Mathematicians, Brasov, Romania

Juin 2010 : International Congress in Mathematical Fluid Dynamics and its Applications, Rennes, France

Juin 2010 : Conférence en l'honneur du Prof. R. Temam, "Advances in Partial Differential Equations and their Applications", Shanghai, Chine

Mai 2010 : The 8th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications , Dresde, Allemagne

Juin 2009 : Mini-cours pendant la conférence Analysis of fluid stability, Maxwell Institute, Edinburgh, UK

Mai 2009 : 6th European Conference on Elliptic and Parabolic Problems, Gaeta, Italie

Août 2008 : 9ème Colloque Franco-Roumain de Mathématiques Appliquées, Brasov, Roumanie

Mars 2008 : 9th IMACS International Symposium on Iterative Methods in Scientific Computing, Lille, France

Sept. 2007 : International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics, Corfu, Greece

Avr. 2007 : Colloque Numérique Suisse, Genève, Suisse

Febr. 2006 : Workshop on Geophysical Fluid Dynamics, Palo Alto, USA

Déc. 2004 : SIAM Conference on Analysis of PDEs (PD'04), Houston, Texas

5 Autres conférences et séminaires

Juin 2014 : Groupe de travail PHYDROMAT, Institut Pprime, Université de Poitiers

Fevr. 2013 : Séminaire à l'Institut de Mathématiques de l'Academie Roumaine, Bucarest, Roumanie

Mai 2012 : Séminaire à l'Université de Genève, Suisse

Avr. 2012 : Séminaire à l'Université de Besançon

Mars 2012 : Séminaire à l'Université de La Rochelle

Mars 2012 : Séminaire à l'Université de Grenoble, IMAG

Mars 2012 : Séminaire à l'Université de Picardie, Amiens

Déc. 2010 : Séminaire à l'Université de Poitiers

Fev. 2009 : Groupe de travail, Poitiers, France

Nov. 2008 : Séminaire à Indiana University, Bloomington, USA

Oct. 2008 : Séminaire à l'Université de Picardie, Amiens

Mai 2008 : Séminaire à Durham University, UK

Déc. 2007 : Séminaire à l'Université d'Orsay

Nov. 2007 : Séminaire à l'Université de Poitiers

Mars 2007 : Séminaire à l'Université de Nancy

Mars 2007 : Séminaire à l'Université Montpelliers II

Jan. 2007 : Séminaire à l'Université de Genève, Suisse

Nov. 2006 : Séminaire à University of Illinois at Chicago

Juin 2006 : Participation au Colloque du Groupement de Recherche "Analyse des Equations aux Dérivées Partielles", Evian

Mai 2006 : Participation au CANUM, Guidel

Avr. 2006 : Séminaire à l'Université de Lille 1

Mars 2006 : Séminaire à l'Université de Poitiers

Oct. 2005 : PDE Seminar, Indiana University, Bloomington, USA

Mai 2005 : Exposé dans le cadre du congrès SMAI, Evian, France

Mai 2005 : Séminaire à Strathclyde University, Glasgow, Scotland

Avr. 2005 : Journée *Mathématiques et Océanographie*, Université Paris-Sud

6 Activité de recherche

Mes travaux de recherche sont principalement axés sur l'étude des solutions des équations d'évolution non-linéaires provenant de la physique et de la mécanique des fluides géophysiques : on étudie le caractère bien-posé des modèles considérés, la régularité des solutions, ainsi que leur comportement aymptotique. En particulier je me suis intéressée à l'étude de différents modèles océaniques et atmosphériques, tels que les équations primitives, les équations δ-primitives, et les équations de Boussinesq, ainsi qu'à l'étude des équations d'Euler pour les fluides incompressibles. Pendant mon post-doctorat à l'Université de Genève, sous la direction de Martin Gander, j'ai aussi commencé à travailler sur un problème de calcule en parallèle pour les équations différentielles ordinaires d'ordre deux. Depuis mon arrivée à Poitiers j'ai commencé aussi à m'intéresser à des sujets qui portent sur des problèmes de séparation de phases pour les matérieux biphasiques, modélisés par les équations de type Cahn-Hilliard et Caginalp, avec différentes conditions aux bords.

Je détaillerai les plus importantes sujets de recherche pendant les derniers cinqs ans :

6.1 Les Equations Primitives

Les équations primitives sont des équations qui modélisent le mouvement de l'océan et de l'atmosphère. Elles sont obtenues à partir des lois fondamentales de la physique en utilisant les approximations de Boussinesq et hydrostatique. Ces lois comprennent : l'équation de conservation de la quantité de mouvement horizontale, l'équation hydrostatique, l'équation de conservation de la masse, l'équation de la température (conservation de l'énergie), l'équation de la salinité et l'équation d'état. Les équations s'expriment comme suit :

$$\frac{\partial \boldsymbol{v}^*}{\partial t^*} + (\boldsymbol{v}^* \cdot \nabla^*)\boldsymbol{v}^* + w^* \frac{\partial \boldsymbol{v}^*}{\partial z^*} + fk \times \boldsymbol{v}^* + \frac{1}{\rho_{\text{réf}}} \nabla p^* = \mu^*_{\boldsymbol{v}} \, \Delta^*_{\text{h}} \boldsymbol{v}^* + \nu^*_{\boldsymbol{v}} \frac{\partial^2 \boldsymbol{v}^*}{\partial z^{*2}}, \tag{1a}$$

$$\frac{\partial p^*_{\text{tot}}}{\partial z^*} = -\rho^*_{\text{tot}} \, g, \tag{1b}$$

$$\frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} + \frac{\partial w^*}{\partial z^*} = 0, \tag{1c}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t^*} + (\boldsymbol{v}^* \cdot \nabla^*)T + w^* \frac{\partial T}{\partial z^*} = \mu_T \, \Delta^*_{\text{h}} T + \nu_T \frac{\partial^2 T}{\partial z^{*2}}, \tag{1d}$$

$$\frac{\partial S}{\partial t^*} + (\boldsymbol{v}^* \cdot \nabla^*)S + w^* \frac{\partial S}{\partial z^*} = \mu_S \, \Delta^*_{\text{h}} S + \nu_S \frac{\partial^2 S}{\partial z^{*2}}, \tag{1e}$$

$$\rho^*_{\text{full}} = \rho_{\,\text{réf}} \left[1 - \beta_T (T - T_{\text{réf}}) + \beta_S (S - S_{\text{réf}}) \right]. \tag{1f}$$

Ici $\boldsymbol{v}^* = (u^*, v^*)$ représente la vitesse horizontale, w^* est la vitesse verticale, p^*_{tot} est la pression totale, T la température et S la salinité. Les quantités avec astérisques correspondent respectivement à des valeurs dimensionnées et $\rho_{\text{réf}}$, $T_{\text{réf}}$, $S_{\text{réf}}$ représentent les valeurs de référence (valeurs moyennes) pour la densité, la température et la salinité ; g est la constante universelle de gravitation et f est le paramètre de Coriolis. Une simplification de ce système est obtenue en supposant que $\beta_T \nu_T = \beta_S \nu_S$ et $\beta_T \mu_T = \beta_S \mu_S$, et combinant alors (1d)–(1f) nous obtenons l'équation suivante pour la densité :

$$\frac{\partial \rho^*_{\mathrm{tot}}}{\partial t^*} + u^* \frac{\partial \rho^*_{\mathrm{tot}}}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial \rho^*_{\mathrm{tot}}}{\partial y^*} + w^* \frac{\partial \rho^*_{\mathrm{tot}}}{\partial z^*} = \mu^*_\rho \, \Delta^*_{\mathrm{h}} \rho^*_{\mathrm{tot}} + \nu^*_\rho \, \frac{\partial^2 \rho^*_{\mathrm{tot}}}{\partial z^{*2}} \, . \tag{2}$$

Les détails concernant la façon d'obtenir ces équations se trouvent dans la littérature géophysique (voir par exemple, [32], [34]).

Les Equations Primitives sont au centre des études des sciences de l'atmosphère et des océans et leur intérêt pratique a amené de nombreux mathématiciens à les étudier du point de vue mathématique et du point de vue de l'analyse numérique. Je rappelle ici le travail fondateur de Lions, Temam et Wang, concentré sur une analogie entre les équations primitives et les équations de Navier-Stokes incompressibles. Dans ce travail, les auteurs ont montré l'existence globale en temps des solutions faibles (voir, par exemple, [27], [28] et l'article de synthèse [33]). Différents auteurs ont ensuite amélioré ces résultats obtenant en particulier des résultats d'existence et d'unicité pour tout temps en dimension deux d'espace et pour un temps limité en dimension trois. Une derniére étape importante a été récemment franchie avec les travaux de Cao et Titi (voir [4]) et de Kobelkov (voir [21]) qui ont montré l'existence globale en temps des solutions fortes en dimension trois, bien que le terme non-linéaire dans les équations primitives ait une structure plus compliquée que dans les équations de Navier-Stokes. La différence est liée à la structure de la pression qui est bidimensionnelle pour les équations primitives de ce fait les équations primitives tridimensionnelles ont plutôt une structure intrinsèque bidimensionnelle. Cette différence est liée au caractère fortement anisotrope des équations primitives. Plusieurs objects sont poursuivis dans mes travaux sur les équations primitives :

1). En liaison avec les théories phenomenologiques de la turbulence (Kolmogorov [22], [23], [24], Kraichnan [25]), j'ai démontré la décroissance exponentielle des coefficients de Fourier des solutions des équations primitives. Ces résultats montrent l'existence d'une zone de dissipation dans le spectre ("dissipative range" en anglais) dans laquelle l'énergie cinétique accumulée est négligeable. Ces résultats sont atteints en démontrant *la régularité de Gevrey* des solutions, c'est-à-dire que pour $\sigma > 0$, $m > 0$ et pour $t > 0$, $\sum_k |\hat{u}_k(t)|^2 \exp(2\sigma |k|^{2m}) < \infty$. L'obtention de cette regularité de Gevrey pour tout temps nécessite elle-même de démontrer la régularité H^2 (solutions dans $L^\infty(0, t_1, H^2)$, $\forall\, t_1$), une étude que j'ai étendu, avec les mêmes outils à tous les espaces H^m (voir [10], ainsi que [11] de la liste de publications).

Dans l'article [23] (cf. liste de publications) je suis revenue aussi sur divers définitions des longueurs de dissipation semblables à celles de la turbulence classique dont l'inverse définit le début du spectre de dissipation et je montre comment représenter les solutions des équations primitives en dimension trois d'espace à l'aide d'un espace de dimension finie. L'idée est de voir si, comme dans le cas des équations de Navier-Stokes, les modes correspondants aux hautes fréquences décroissent rapidement si bien que l'énergie est en fait donnée par les basses fréquences. Cette question, dans le cadre des équations de Navier-Stokes, a été traitée par Foias et Temam [13] et ensuite par Constantin, Doering et Titi [5], par Doering et Titi [6], par Jones et Titi [19], etc.

Dans le cadre des équations primitives, j'ai déterminé le nombre de points (appellés *points déterminants*) ou le nombre de sous-cubes (appelés *volumes déterminants*), nécessaires pour pouvoir suivre l'évolution du fluide et bien le représenter. Une autre question intéressante est le nombre de basses fréquences (appellées *fréquences déterminantes*) dont nous avons besoin pour pouvoir detérminer le comportement asymptotique des fréquences restantes (cf. [23] de la liste de publications).

2). Une deuxième préoccupation qui a donné le fil directeur de mes travaux est la suivante : dans la version sans dimension des équations primitives apparaît un nombre adimensionnel, dit nombre de Rossby, qui est petit. Sa position en facteur d'un opérateur antisymétrique fait que ce paramètre introduit de grandes oscillations dans les solutions et ainsi il introduit un bruit indésirable. Dans l'article en préparation [29] (cf. liste de publications) nous montrons comment la théorie de la renormalisation permet de “moyenner" des solutions oscillantes, en dimension deux d'abord et puis en dimension trois d'espace.

Dans nos travaux, nous appliquons une méthode de renormalisation pour obtenir une approximation d'ordre un. L'approche que nous utilisons, proposée par Ziane [37], consiste à écrire les équations primitives comme un problème d'évolution abstrait de la forme :

$$\begin{aligned} &\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\varepsilon} LU = \mathcal{F}(U), \\ &U(0) = U_0, \end{aligned} \tag{3}$$

où $\varepsilon > 0$ est un paramètre petit et L est un opérateur antisymétrique (qui provoque les oscillations des solutions) ; L correspond à la force de Coriolis. Nous faisons un changement de variable, nous écrivons (3) dans la variable rapide $s = t/\varepsilon$ et nous introduisons $F(s, \cdot) = e^{Ls}\mathcal{F}(e^{-Ls}\cdot)$. Nous partageons F en sa partie F_r indépendante du temps (la partie résonante) et en la partie restante F_n, dépendant du temps s. Puis nous considérons l'opérateur :

$$F_{np}(s, U) = \int_0^s F_n(s', U)\ \mathrm{d}s'. \tag{4}$$

La solution approchée cherchée est alors de la forme :

$$\tilde{U}^1(s) = e^{-Ls}\{\bar{U}(s) + \varepsilon F_{np}(s, \bar{U}(s))\}, \tag{5}$$

où $\bar{U}$ est la solution de l'équation renormalisée :

$$\left\{ \begin{aligned} &\frac{\mathrm{d}\bar{U}}{\mathrm{d}s} = \varepsilon F_r(\bar{U}), \\ &\bar{U}(0) = U_0. \end{aligned} \right. \tag{6}$$

Nous montrons d'abord que le système renormalisé (6) conserve les propriétés du système initial, à savoir la conservation de l'énergie pour le cas sans viscosité (donc la propriété d'orhogonalité du terme non-linéaire) et de dissipation (coercivité) en présence de viscosité. En utilisant ces propriétés, nous montrons l'existence et l'unicité pour tout temps d'une solution faible ou d'une solution très régulière pour le système (6). Outre l'étude du système renormalisé (6), un autre problème important est de montrer que la solution renormalisée est un bonne approximation de la solution exacte oscillante par nature. Nous démontrons que :

$$|\tilde{U}^1(t) - U(t)|_{L^2} \sim \mathcal{O}(\varepsilon). \tag{7}$$

Pour obtenir ce résultat, nous avons besoin d'utiliser des techniques de la théorie des nombres pour étudier les résonances causées par l'interaction de trois ondes.

3). Dans un travail en collaboration avec K. Lucas et A. Rousseau ([18] dans la liste de publications) nous avons étudié les équations primitives quasi-hydrostatiques, un nouveau modèle de circulation océanique à grande échelle. Les modèles numériques pour la circulation océanique cherchent, pour simuler l'écoulement d'un fluide, à trouver le meilleur compromis entre les coûts de calcul et la réalité physique. D'une part, les équations de Navier-Stokes complètes contenant tous les processus dynamiques pouvant décrire de manière exacte le phénomène physique sont trop coûteuses à implémenter dans un grand domaine. D'autre part, les équations primitives hydrostatiques répresentent un bon compromis entre un modèle viable du point de vue calcul scientifique mais aussi du point de vue de la réalité physique.

Les équations primitives sont plus simples que les équations physiques complètes, elles sont obtenues en utilisant l'approximation hydrostatique, qui prend en compte le fait que la longueur L du domaine et beaucoup plus grande que sa profondeur H, en fait le rapport $\varepsilon = H/L$ est typiquement d'ordre 10^{-3} pour le modèles de circulation océanique à grand échelle. Dans les équations de conservation du mouvement, nous négligeons aussi les termes de Coriolis contenant $2\Omega \cos\theta$, où $\vec{\Omega} = \Omega(\cos\theta, \sin\theta, 0)$ est le vecteur de rotation de la Terre à la latitude θ. Des études numériques ([29], [36]) montrent que les équations primitives gardant les termes de type $\Omega \cos\theta$ fournissent de meilleurs résultats. Ces équations sont appellées les équations primitives quasi-hydrostatiques.

Dans [18] (cf. liste de publications), nous avons justifier par une analyse d'échelle l'obtention du modèle des équations primitives quasi-hydrostatiques et ensuite nous avons montrer le caractère bien-posé du modèle. Les équations primitives quasi-hydrostatiques permettent ainsi d'obtenir les mêmes résultats théoriques sur la régularité des solutions que dans le cas des équations primitives hydrostatiques, mais elles sont plus adéquates pour certaines études numériques.

4). Dans [19] (cf. liste de publications), nous étudions les équations quasigéostrophiques barotropiques de l'océan, dans le cas où la viscosité est petite. Le but de nos travaux est d'étudier, quand la viscosité tend vers zéro, la convergence de la solution du modèle visqueux vers la solution des équations non-visqueuses qui ont été obtenues en considérant la viscosité égale à zéro. Loin de la frontière la convergence est assurée mais au voisinage de la frontière on rémarque l'apparition d'une couche limite. Nous démonstrons d'abord l'existence et l'unicité de la solution pour le modèle visqueux, ainsi que pour le modèle non-visqueux. Comme résultat auxiliaire, nous démonstrons aussi la régularité $\mathcal{C}^\infty$ des solutions des équations quasigéostrophiques visqueuses et non-visqueuses. Ensuite, nous étudions la différence entre la solution du modèle visqueux et celle du modèle non-visqueux, dans le cas où la viscosité tend vers zéro. Pour compenser la discordance entre les solutions, nous avons besoin de construire plusieurs correcteurs, satisfaisant des variantes des équations de Prandtl et d'étudier la structure des correcteurs. Nous obtenons ainsi que proche de la frontière la solution visqueuse corrigée converge vers la solution non-visqueuse.

6.2 Equations de Saint Venant

Une autre direction de recherche est l'étude des équations de Saint Venant. Je me suis intéressée à etablir le caractère bien-posé des équations non-visqueuses considérées dans un domaine borné. Les équations de Saint Venant sont des équations qui décrivent le comportement des fluides géophyqiques dans des domaines avec une profondeur petite, comme par exemple dans le cas des lacs ou des couches fines de l'atmosphère. L'étude de l'évolution régionale de la météorologie et du climat conduit à l'introduction de modèles dans des régions limitées (LAM-Limited Area Models), car le domaine physique est trop grand pour pouvoir y effectuer directement des simulations numériques. En général les régions considérées n'ont pas de signification physique particulière et il n'y a donc pas de lois physiques naturelles permettant d'écrire des conditions aux limites sur la frontière du domaine de calcul. Le choix des conditions à la frontiére est imposée par des considérations mathématiques (le modèle ainsi obtenu doit être bien-posé), ainsi que par des considérations numériques, c'est-à-dire nous cherchons des conditions aux bords qui n'introduisent pas des effets indésirables et des reflexions artificielles d'ondes à la frontière. Dans la littérature mathématique des conditions aux limites qui ne produisent pas des reflexions artificielles sont appelées des *conditions aux limites transparentes*. Dans mes travaux j'ai cherché des conditions aux limites transparentes dans le contexte des équations de Saint-Venant, qui est un modèle pour le mouvement de l'atmosphère et de l'océan, mais la question des conditions aux limites fictives apparaît et joue un role fondamental dans beaucoup d'autres domaines scientifiques, notoirement en électromagnétisme (voir e.g. [2], [3], [7], [8], [18], [30], [31]).

Dans [16] (cf. liste de publications) nous considerons les équations de Saint Venant dans un intervalle borné et nous prenons en compte des conditions au bord de type Dirichlet pour la vitesse et de type Neumann pour la pression ; les conditions au bord correspondent au cas d'un domaine avec des murs latéraux. Nous montrons le caractère bien-posé du modèle ainsi obtenu. Dans [21] (cf. liste de publications) nous proposons des conditions aux limites plus intéressantes du point de vue physique et nous démontrons que le modèle ainsi obtenu a un caractère bien-posé. Les simulations numériques dans [26] (cf. liste de publications) confirment que les conditions proposées sont transparentes, car on peut voir que les ondes circulent librement de l'intérieur vers l'extérieur du domaine et vice versa, sans reflexions artificielles. Les résultats obtenus dans [21] restent valable pour le cas où la topographie du fond du domaine est variable, comme on démontre dans [22] (cf. liste de publications).

Dans [24] (cf. liste de publications) nous étudions le cas des équations de Saint Venant à deux couches et nous démontrons le caractère bien-posé des équations munies de certaines conditions aux limites, qui sont des conditions transparentes comme les simulations numériques dans [26] (cf. liste de publications) le montrent.

Dans [25] (cf. liste de publications) nous étudions du point de vue numérique les équations de Saint Venant, plus exactement nous proposons des algorithmes multi-niveaux pour des discrétisations de type volumes finis. La question sur l'importance des conditions à la frontière est illustrée en utilisant le cas de référence du soliton équatorial de Rossby.

6.3 L'algorithme pararéel

L'algorithme pararéel est une méthode d'intégration en parallèle pour les problèmes d'évolution. Il a été introduit par Lions, Maday et Turinici dans [26], dans le but de calculer plus rapidement, en utilisant plusieurs processeurs, les solutions approchées d'équations différentielles ordinaires (EDOs). L'avantage de la méthode est qu'elle nous donne des approximations de la solution à un instant donné, avant de calculer une bonne approximation aux pas de temps antérieurs, mais la précision globale de la méthode après quelques itérations est comparable à la précision donnée par une méthode séquentielle, en utilisant une discrétisation fine en temps.

Etant donné le grand nombre d'applications dans des domaines différents (voir [1], [9], etc.), la méthode a reçu l'attention de nombreux auteurs et elle a été écrite sous plusieurs formes : Farhat et Chandesris [9] ont écrit la méthode sous la forme d'un algorithme appelé PITA (en anglais *Parallel Implicit Time Integrator*), et Gander et Vanderwalle [16] l'ont écrit comme une méthode de tir multiple. Dans [15], [1], [9], les auteurs montrent que l'algorithme pararéel produit une acceleration importante pour les EDOs d'ordre un, par contre la méthode n'a pas le même potentiel pour certaines EDOs d'ordre deux (voir aussi [16]). Dans [10] les auteurs proposent un algorithme de PITA modifié, adapté aux EDOs d'ordre deux.

Dans [15] (cf. la liste des publications), nous montrons l'équivalence pour les problèmes linéaires, entre l'algorithme proposé par Farhat et al. [9] et la méthode de tir multiple et nous proposons une méthode de tir multiple adaptée aux ODEs d'ordre deux, méthode qui est équivalente pour le cas linéaire à l'algorithme de PITA modifié, introduit dans [10]. Ensuite, nous étudions la convergence de la méthode de tir multiple que nous proposons ainsi que l'erreur entre la solution exacte et la solution produite par la méthode de tir multiple que nous avons considéré.

6.4 Modèles en transition et séparation de phases

Depuis mon arrivée à Poitiers j'ai commencé à m'intéresser à des sujets qui portent sur des problèmes de séparation de phases pour les matérieux biphasiques, modélisés par les équations de type Cahn-Hilliard et Caginalp, thématiques propres à l'équipe EDP de Poitiers. J'ai commencé ainsi à étudier du point de vue théorique ainsi que numérique des modèles en transition et séparation de phases. Les questions théoriques portent sur l'existence, l'unicité et la régularité des solutions (caractère bien-posé du modèle) et sur l'étude du comportement asymptotique des solutions (existence d'attracteurs de dimension finie).

Dans les travaux [17] (cf. liste de publications), nous avons étudié du point de vue numérique les équations de Cahn-Hilliard avec des conditions aux bords dynamiques. Les physiciens ont commencé récement à étudier les interactions entre les constituants du mélange et la paroi du domaine, c'est ainsi que les équations de Cahn-Hilliard avec des conditions aux bords dymaniques ont été introduites (voir [11, 12, 20]). Dans l'article, nous proposons une discrétisation en espace de type éléments finis et on démontre l'existence et l'unicité de la solution approchée obtenue par cette discrétisation. Ensuite, nous obtenons des estimations d'erreurs entre la solution exacte et la solution approchée, lorsque le pas de maillage tend vers zéro. Nous proposons aussi une discrétisation en temps de type Euler implicite et nous montrons que la solution approchée est inconditionnellement stable (c'est-à-dire sans réstriction sur la dimension du pas de temps) et que la suite des solutions approchées ainsi obtenues convergent vers un etat stationnaire. Pour mettre en évidence nos résultats, nous proposons des simulations numériques en dimension deux d'espace, obtenues avec FreeFem++. Les simulations numériques nous montrent l'influence des différents paramètres sur la solution, par exemple nous pouvons voir les différences entre le cas où une des phases est attirée de manière préférentielle par la frontière du domaine et le cas où la frontière n'a pas un effet préférentiel sur aucune des phases.

Dans l'article [28] (cf. liste de publications) nous étudions du point de vue numérique les équations de Cahn-Hilliard avec un autre type de conditions aux bords dynamiques. Les conditions aux bords considérées ici ont été introduite dans [17], où les auteurs ont étudié l'existence et l'unicité des solutions ainsi que leur comportement asymptotique quand le temps tend vers infini. Nous montrons la convergence de la solution approchée obtenue par une discrétisation de type élément fini vers la solution exacte et nous obtenons des estimations sur l'erreur entre la solution approchée et la solution exacte. L'étude est similaire aux travaux dans [17] (cf. liste de publications) mais les différences entre les modèles imposent des traitements différents. Les simulations numériques, à part leur intérêt intrinsèque de valider les résultats obtenus dans l'article, montrent aussi que les conditions aux bords considérées ici produisent des comportements différents à la frontière par rapport aux conditions aux bords considérées dans [17] (cf. liste de publications), mais à l'intérieur du domaine les comportements des constituants du mélange sont similaires.

Dans l'article [27] (cf. liste de publications) nous considérons une équation perturbée du modèle Cahn-Hilliard (l'équation est différente de l'équation de Cahn-Hilliard classique par la présence du terme $\varepsilon(-\Delta u + f(u))$). Nous travaillons avec des conditions au bord de type de Dirichlet et nous montrons le caractère bien-posé du modèle considéré et l'existence d'un attracteur global et d'un attracteur exponentiel. L'existence d'une famille robuste d'attracteurs exponentiels est aussi établie et pour le cas quand le paramètre ε tend vers zéro nous montrons la continuité des attracteurs exponentiels des problèmes perturbés vers un attracteur exponentiel du problème de Cahn-Hilliard classique.

7 Vulgarisation/Animations grand public

- Fête de la Science : Octobre 2010, Université de Poitiers
  Présentation : *Modélisation des écoulements fluides*

8 Activités d'enseignement

2014-2015 : Enseignements à l'Université de Poitiers (un semestre de délégation CNRS)
- TD Analyse Numérique (niveau L3)
- Cours et TD, Séries de fonctions (niveau L2 parcours renforcé)

2013-2014 : Enseignements à l'Université de Poitiers
- Cours Analyse pour la préparation de l'Agrégation externe et interne
- TD Analyse Numérique (niveau L3)
- Communications orales (niveau L1, L2 parcours renforcé)
- Cours et TD, Séries de fonctions (niveau L2 parcours renforcé)
- TD Calcul matriciel et algebre linéaire (niveau L1)

2012-2013 : Enseignements à l'Université de Poitiers
- Cours Scilab pour la préparation de l'Agrégation externe
- TD Analyse Numérique (niveau L3)
- Communications orales (niveau L1, L2 parcours renforcé)

- Cours et TD, Séries de fonctions (niveau L2 parcours renforcé)
- TD Calcul matriciel et algebre linéaire (niveau L1)

2011-2012 : Enseignements à l'Université de Poitiers
- Cours Scilab pour la préparation de l'Agrégation externe
- TD Analyse Numérique (niveau L3)
- Communications orales (niveau L1, L2 parcours renforcé)
- Cours et TD, Séries de fonctions (niveau L2 parcours renforcé)

2010-2011 : Enseignements à l'Université de Poitiers
- Cours Scilab pour la préparation de l'Agrégation externe
- TD Analyse Numérique (niveau L3)
- Communications orales (niveau L1, L2 parcours renforcé)

2009-2010 : Enseignements à l'Université de Poitiers
- Cours "Introduction aux équations Navier-Stokes" (niveau M2)
- TD Equations Différentielles aux Dérivées Partielles et Optimisation (niveau M1)
- TD Equations Différentielles aux Dérivées Partielles (niveau M1PRO)
- TP Equations Différentielles aux Dérivées Partielles à l'aide de Scilab (niveau M1PRO)
- Cours Scilab pour la préparation de l'Agrégation externe
- TD Algébre linéaire, (niveau L1)

2008-2009 : Enseignements à l'Université de Poitiers
- TD Analyse Numérique (niveau L3)
- Cours "Introduction à la dynamique des fluides" (niveau M2)
- TD Equations Différentielles aux Dérivées Partielles et Optimisation (niveau M1)
- TD Equations Différentielles aux Dérivées Partielles (niveau M1PRO)
- TP Equations Différentielles aux Dérivées Partielles à l'aide de Scilab (niveau M1PRO)

2007-2008 : Enseignements à l'Université de Poitiers
- TD Analyse Numérique (niveau L3)
- Cours Scilab pour la préparation de l'Agrégation
- TD Equations Différentielles aux Dérivées Partielles et Optimisation (niveau M1)
- TD Modélisation (niveau L2)
- Cours et TD, Séries de fonctions (niveau L2 parcours renforcé)

2006 : Enseignements à l'Université de Genève (TDs d'Analyse Réelle)

Enseignements à Orsay comme ATER, 2éme semestre 2005-2006 (TD sur machine en Matlab – cours de L. Di Menza de Theorie des Equations Différentielles Ordinaires et TD – cours de F. Issard-Roch de Theorie des Equations Différentielles Ordinaires, niveau L3)

Automne 2005 : Cours de Calcul Différentiel et Intégral Appliqué, Department of Mathematics, Indiana University, Bloomington

2001 : Vacations à la Faculté de Mathématiques, Université de Bucarest, Roumanie (TDs d'Analyse Réelle et d'Analyse Complexe)

9 Encadrements stages/memoires M1, M2

- Encadrement stage M2, 2009 : Almokdad Nasr
- Encadrement stage M2, 2010 : Benjamin Moyet
- Encadrement stage M1, 2010 : Adeline Choquet et Aurelia Leon
- Encadrement mémoire M2, 2010 : Heydi Israel

- Encadrement stage M2, 2010-2011 : Adeline Choquet, Aurelia Leon, Thomas Ruffini, Mohamed Kaseb
- Encadrement stage L3, 2013-2014 : Amar Sid'Ahmed

10 Encadrements en thèse

- Co-encadrement avec Alain Miranville : Haydi Israel (thèse soutenue le 5 déc. 2013)
- Participation à l'encadrement en thèse de Aimin Huang à l'Indiana University à Bloomington (thèse soutenue en 2014)

11 Expertises et reviews

Editeur pour les journaux suivants :
- Differential and Integral Equations
- Applied Mathematics and Optimization
- Asymptotic Analysis

Rapports d'expertise pour les journaux suivants :
- Discrete and Continuous Dynamical Systems
- Nonlinear Analysis. Real World Applications
- Journal of Computational and Applied Mathematics
- Differential Equations and Applications
- Indiana University Mathematics Journal
- SIAM Journal on Scientific Computing
- Domain Decomposition 21, Proceedings
- Proceedings of the Royal Society of Edinburgh
- Communications on Pure and Applied Analysis

12 Activités internationales

12.1 Accueil de chercheurs étrangers

- Nathan Glatt-Holtz, University of Indiana, Bloomington, USA
- Djoko Wirosoetisno, Durham University, UK

12.2 Séjours à l'étranger

- 30 Novembre-14 Décembre 2013 : Visiting Fellow à Newton Institute, Cambridge, UK
- Janvier-Août 2011 : Chercheur à l'Institut de Mathématiques de l'Academie Roumaine, Bucarest, Roumanie
- 2001– 2006, 2008– 2012 : Visiting Research Associate à l'Institute for Scientific Computing and Applied Mathematics, Indiana University, Bloomington, USA
- 1er Novembre 2006–Août 2007 : Assistant post-doctorant à l'Université de Genève, Suisse
- Automne 2005 : Teaching instructor au Department of Mathematics, Indiana Univesity, Bloomington, USA

13 Collaborations

- Arthur Bousquet, Indiana University, Bloomington, USA

- Laurence Cherfils, Université de La Rochelle
- Brian Ewald, Florida State University, USA
- Sylvain Faure, Université Paris-Orsay
- Martin Gander, Université de Genève, Suisse
- Aimin Huang, Indiana University, Bloomington, USA
- Haydi Israel, Université de Poitiers
- Chang-Yeol Jung, Ulsan National Institute of Science and Technology, Corée du Sud
- Carine Lucas, Université d'Orleans
- Alain Miranville, Université de Poitiers
- Morgan Pierre, Université de Poitiers
- Antoine Rousseau, INRIA (équipe MOISE)
- Roger Temam, Indiana University, Bloomington, USA
- Joseph Tribbia, NCAR, Boulder, USA
- Ming-Cheng Shiue, National Chiao Tung University, Taiwan
- Djoko Wirosoetisno, Durham University, UK
- Mohammed Ziane, University of Southern California, Los Angeles, USA

14 Contrats de recherche

Responsable du projet ACI sur la "Résistance de vagues", membres de l'équipe : Madalina Petcu (LMA), Morgan Pierre (LMA), Julien Dambrine (LMA), Damien Calluaud (Institut Pprime), Clément Clapier (Institut Pprime), durée : 1 an

Membre du projet PRES entre le Laboratoire de Mathématiques et Applications UMR 6086 de Poitiers et le Laboratoire Mathématiques, Images et Applications EA 3165 de La Rochelle (durée : 1 an, de janvier à décembre 2010 - financement partie Poitiers : 4572 EUR pour un total de 11 participants - responsables : A. Miranville, M. Arnaudon, L. Cherfils et J.-C. Breton)

Membre du projet LEA sur "Evaluation de fonctions de matrices et algorithmes pararéels", membres de l'équipe : Lori Badea (IMAR, Roumanie), Jean-Paul Chehab (Université d'Amiens, France) et Madalina Petcu (Université de Poitiers, France), durée : 2 ans à partir de décembre 2012 jusqu'au décembre 2014

15 Autres responsabilités

Membre de la Commission de Spécialistes, Université de Poitiers, Laboratoire de Mathématiques et Applications

Membre du Conseil du Laboratoire, Université de Poitiers, Laboratoire de Mathématiques et Applications

Co-organisateur local pour le "XIX Symposium on Trends in Applications of Mathematics to Mechanics", Poitiers, 8-11 Septembre 2014

Co-Organisateur, avec Laurence Cherfils et Alain Miranville du symposium :
"Mathematical Modelling and Numerical Methods for Phase-Field Problems", à l'occasion du congrès : "The 10th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications", Madrid, Espagne, 7 - 11 Juillet, 2014

Co-Organisateur, avec Roger Temam et Shouhong Wang du symposium :
"Advances in Classical and Geophysical Fluid Dynamics", à l'occasion du congrès : "The 9th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications", Orlando, Florida, USA, 1 - 5 Juillet, 2012

Organisateur du symposium "Primitive Equations of the Ocean and of the Atmosphere" à l'occasion du congrès "Mathematical Fluid Dynamics", Juin 2010, Rennes

Co-organisateur local pour le Colloque Franco-Roumain, Août 2010, Poitiers

16 Primes et prix

PES à partir de 2012
PEDR à partir de 2008
2014-2015 obtention d'un semestre de délégation CNRS
2010-2011 obtention d'un semestre de délégation CNRS
2011-2012 obtention d'un semestre de CRCT CNU
Prix "Spiru Haret" de l'Academie Roumaine pour l'activité scientifique en 2011

Références

[1] G. Bal, *On the convergence and the stability of the parareal algorithm to solve partial differential equations*, 40 (2005), pp. 425–432.

[2] E. Blayo et L. Debreu, *Revisiting open boundary conditions from the point of view of characteristic variables*, Ocean Modelling (2005).

[3] A. F. Bennett et P. E. Kloeden, *Boundary conditions for limited-area forecasts*, J. Atmospheric Sci., 35(6) (1978), 990-996.

[4] C. Cao et E. Titi, *Global well-posedness of the three-dimensional viscous primitive equations of large scale ocean and atmosphere dynamics*, Ann. of Math. (2), vol. 166, pp. 245–267, (2007)

[5] P. Constantin, C. R. Doering, et E. S. Titi, *Rigorous estimates of small scales in turbulent flows*, J. Math. Phys., 37 (1996), pp. 6152–6156.

[6] C. R. Doering et E. S. Titi, *Exponential decay rate of the power spectrum for solutions of the Navier-Stokes equations*, Phys. Fluids, 7 (1995), pp. 1384–1390.

[7] B. Engquist et L. Halpern, *Far field boundary conditions for computation over long time*, Appl. Numer. Math. 4 (1988), no. 1, 21–45

[8] B. Engquist et A. Majda, *Absorbing boundary conditions for the numerical simulation of waves*, Math. Comp. 31 (1977), no. 139, pp. 629–651.

[9] C. Farhat et M. Chandesris, *Time-decomposed parallel time-integrators : theory and feasibility studies for fluid, structure, and fluid-structure applications*, Internat. J. Numer. Methods Engrg., 58 (2003), pp. 1397–1434.

[10] C. Farhat, J. Cortial, C. Dastillung et H. Bavestrello, *Time-parallel implicit integrators for the near-real-time prediction of linear structural dynamic responses*, Internat. J. Numer. Methods Engrg., 67 (2006), pp. 697–724.

[11] H. P. Fischer, Ph. Maass and W. Dieterich, *Novel surface modes in spinodal decomposition*, Phys. Rev. Letters, **79** (1997), 893–896.

[12] H. P. Fischer, Ph. Maass and W. Dieterich, *Diverging time and length scales of spinodal decompositi on modes in thin films*, Europhys. Letters, **62** (1998), 49–54.

[13] C. FOIAS ET R. TEMAM, *Determination of the solutions of the Navier-Stokes equations by a set of nodal values*, Math. Comp., 43 (1984), pp. 117–133.

[14] C. FOIAS ET R. TEMAM, *Gevrey class regularity for the solutions of the Navier-Stokes equations*, J. Funct. Anal., 87 (1989), pp. 359–369.

[15] M. J. GANDER ET E. HAIRER, *Nonlinear convergence analysis for the parareal algorithm*, Domain decomposition methods in science and engineering XVII, pp. 45–56, Lect. Notes Comput. Sci. Eng., 60, Springer, Berlin, (2008).

[16] M. J. GANDER ET S. VANDERWALLE, *Analysis of the parareal time-parallel time-integration method*, SIAM J. Sci. Comput., 29 (2007), no. 2, pp. 556–578.

[17] G. RUIZ GOLDSTEIN, A. MIRANVILLE, G. SCHIMPERNA, *A Cahn-Hilliard equation in a domain with non-permeable walls*, Phys. D, **240** (2011), no. 8, 754–766.

[18] L. HALPERN ET J. RAUCH, *Absorbing boundary conditions for diffusion equations*, Numer. Math. 71 (1995), no. 2, pp. 185–224.

[19] D. A. JONES ET E. S. TITI, *Upper bounds on the number of determining modes, nodes, and volume elements for the Navier-Stokes equations*, Indiana Univ. Math. J., 42 (1993), pp. 875–887.

[20] R. KENZLER, F. EURICH, PH. MAASS, B. RINN, J. SCHROPP, E. BOHL AND W. DIETERICH, *Phase separation in confined geometries : solving the Cahn-Hilliard equation with generic boundary conditions*, Comput. Phys. Comm., **133** (2001), 139-157.

[21] G. KOBELKOV, *Existence of a solution 'in the large' for the 3D large-scale ocean dynamics equations*, Comptes Rendus Mathématique. Académie des Sciences. Paris, 343 (2006), pp. 283–286

[22] A. N. KOLMOGOROV, *The local structure of turbulence in incompressible viscous fluid for very large Reynolds number*, C. R. (Doklady) Acad. Sci. URSS (N.S.), 30 (1941), pp. 301–305

[23] A. N. KOLMOGOROV, *On the generation of isotropic turbulence in an incompressible viscous liquid*, C. R. (Doklady) Acad. Sci. URSS (N.S.), 31 (1941), pp. 528–540

[24] A. N. KOLMOGOROV, *A refinement of previous hypotheses concerning the local structure of turbulence in a viscous incompressible fluid at high Reynolds number*, J. Fluid Mech., 13 (1962), pp. 82–85

[25] R. H. KRAICHNAN, *Inertial ranges in two-dimensional turbulence*, Phys. Fluids, 10 (1967), pp. 1417–1423

[26] J.-L. LIONS, Y. MADAY ET G. TURINICI, *Résolution d'EDP par un schéma en temps "pararéel"*, C. R. Acad. Sci. Paris Sér. I Math., 332 (2001), pp. 661–668.

[27] J.-L. LIONS, R. TEMAM ET S. WANG, *New formulations of the primitive equations of the atmosphere and applications*, Nonlinearity, 5 (1992), pp. 237–288.

[28] J.-L. LIONS, R. TEMAM ET S. WANG, *On the equations of the large-scale ocean*, Nonlinearity, 5 (1992), pp. 1007–1053.

[29] J. MARSHALL, C. HILL, L. PERELMAN ET A. ADCROFT, *Hydrostatic, quasi-hydrostatic, and nonhydrostatic ocean modeling*, J. Geophys. Research, 102 : (1997), pp. 5733–5752.

[30] A. MCDONALD, *Transparent boundary conditions for the shallow water equations : testing in a nested environment*, Mon. Wea. Rev., 131 (2003), pp. 698–705.

[31] J. NYCANDER, A. MCC. HOGG ET L. M. FRANKCOMBE, *Open boundary conditions for nonlinear channel flow*, Ocean Modelling, 24 (2008), pp. 108–121.

[32] J. PEDLOSKY, *Geophysical fluid dynamics, 2nd Edition*, Springer, 1987.

[33] M. PETCU, R. TEMAM ET M. ZIANE, *Some mathematical problems in geophysical fluid dynamics*, *Handbook of Numerical Analysis* special volume on *Computational Methods for the Ocean and the Atmosphere*, 577-750, 2009.

[34] R. SALMON, *Lectures on Geophysical Fluid Dynamics*, Oxford University Press, 1998.

[35] W. WASHINGTON ET C. PARKINSON, *An introduction to three-dimensional climate modelling*, Oxford Univ. Press, 1986.

[36] A. A. WHITE ET R. A. BROMLEY, *Dynamically consistent, quasi-hydrostatic equations for global models with a complete representation of the coriolis force*, Q. J. R. Meteorol. Soc., 121 (1995), pp. 399–418.

[37] M. ZIANE, *On a certain renormalization group method*, J. Math. Phys., 41 (2000), pp. 3290–3299.