

Audition pour le poste de Maître de Conférence 26MCF4575 en mathématiques appliquées et mathématiques à l'Université de Nice

Nicolas Barral
<https://nicolasbarral.fr/auditions>

Laboratoire J.A. Dieudonné, Nice
2 Mai 2019

Formation : Mathématiques appliquées, calcul scientifique

2012 Diplôme d'Ingénieur - Ecole Centrale Paris

2012 M2 - Master Modélisation et Simulation

2015 Doctorat - UPMC / INRIA (Dir. : F. Alauzet)

Activité de recherche

2011-2015 INRIA EPI GAMMA3

2016-2018 Research Associate, Imperial College London, Applied
Modelling and Computational Group

2018-2019 Research Associate à mi-temps, Imperial College London

Activité d'enseignement

2014 ECP, Chargé de TD, 1ère année (L3)

2016-2019 ICL Teaching Assistant, 1ère année (L1)

2018-2019 ICL Teaching Fellow à mi-temps pour la création du
Master ACSE

Formation : Mathématiques appliquées, calcul scientifique

[2012](#) Diplôme d'Ingénieur - Ecole Centrale Paris

[2012](#) M2 - Master Modélisation et Simulation

[2015](#) Doctorat - UPMC / INRIA (Dir. : F. Alauzet)

⇒ Qualification section 26

Activité de recherche

Activité d'enseignement

Formation : Mathématiques appliquées, calcul scientifique

Activité de recherche

2011-2015 INRIA EPI GAMMA3

2016-2018 Research Associate, Imperial College London, Applied
Modelling and Computational Group

2018-2019 Research Associate à mi-temps, Imperial College London

⇒ 3 articles dans des revues internationales, 6 actes de conférences avec
comité de lecture, 10+ communications dans des conférences internationales

⇒ co-auteur de 3 dossiers de financement acceptés

⇒ Principaux collaborateurs : P.L. George, F. Alauzet, A. Loseille (Inria,
France), M. Piggott, G. Gorman (ICL, RU), M. Knepley (UB, US), M. Park
(Nasa, US), A. Angeloudis (UE, RU)

⇒ Logiciel : Wolf (Inria), Pramatic, PETSc, Firedrake (Open Source)

Activité d'enseignement

Formation : Mathématiques appliquées, calcul scientifique

Activité de recherche

Activité d'enseignement

2014 ECP, Chargé de TD, 1ère année (L3)

2016-2019 ICL Teaching Assistant, 1ère année (L1)

2018-2019 ICL Teaching Fellow à mi-temps pour la création du Master ACSE

⇒ 130 HETD + corrections, conception de cours, responsabilités administratives

⇒ 1 étudiant de thèse co-encadré

Recherche : Variations autour de l'adaptation de maillage

Projet de recherche : trois axes dans la continuité

Enseignement

Problématique

Pipeline de la simulation numérique

CAO → **MAILLAGE** → SOLVEUR → VISU / ANALYSE

Un mauvais maillage conduit à une solution inexacte ou peu exacte.

Face à

- ▶ l'augmentation de la complexité géométrique
- ▶ l'augmentation de la complexité physique
- ▶ des études de convergence en 3D :
 $\frac{h}{4} \rightsquigarrow 64N$ and $dt \sim h_{min} \rightsquigarrow \frac{dt}{4} \implies \text{CPU} \times 256$

Modifier la discréétisation pour **contrôler** la précision.

Problématique

Pipeline de la simulation numérique

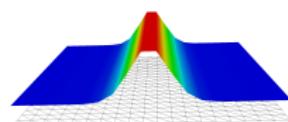
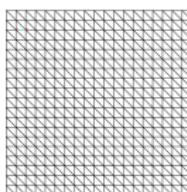
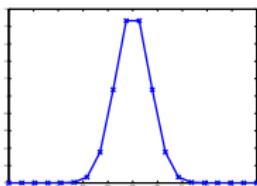
CAO → **MAILLAGE** → SOLVEUR → VISU / ANALYSE

Un mauvais maillage conduit à une solution inexacte ou peu exacte.

Face à

- ▶ l'augmentation de la complexité géométrique
- ▶ l'augmentation de la complexité physique
- ▶ des études de convergence en 3D :
 $\frac{h}{4} \rightsquigarrow 64N$ and $dt \sim h_{min} \rightsquigarrow \frac{dt}{4} \implies \text{CPU} \times 256$

Modifier la discrétisation pour **contrôler** la précision.



900 sommets

Problématique

Pipeline de la simulation numérique

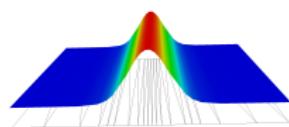
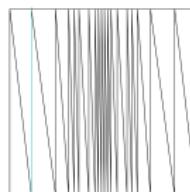
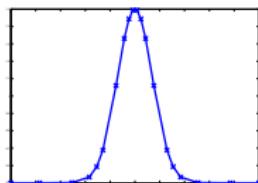
CAO → **MAILLAGE** → SOLVEUR → VISU / ANALYSE

Un mauvais maillage conduit à une solution inexacte ou peu exacte.

Face à

- ▶ l'augmentation de la complexité géométrique
- ▶ l'augmentation de la complexité physique
- ▶ des études de convergence en 3D :
 $\frac{h}{4} \rightsquigarrow 64N$ and $dt \sim h_{min} \rightsquigarrow \frac{dt}{4} \implies \text{CPU} \times 256$

Modifier la discréétisation pour **contrôler** la précision.



60 sommets

Métriques et adaptation *hessian based*

Métrique Riemanienne $(\mathcal{M}(\mathbf{x}))_{\mathbf{x} \in \Omega}$: définit localement des tailles et une orientation

\mathcal{H} Maillage unité $\iff \forall \mathbf{e}, \ell_{\mathcal{M}}(\mathbf{e}) \approx 1$ and $\forall K, |K|_{\mathcal{M}} \approx \begin{cases} \sqrt{3}/4 & \text{in 2D} \\ \sqrt{2}/12 & \text{in 3D} \end{cases}$

[George, Hecht and Vallet., 1991]



- ▶ On considère l'**erreur d'interpolation** : $\|u - \pi_h u\|$
- ▶ Pour une certaine classe de problèmes : $\|u - \pi_h u\| \leq Ch \|\mathbf{H}_u\|$ [Ciarlet., 1978]
- ▶ **Hessienne** : bon indicateur des variations, presque une métrique
- ▶ Historiquement, $\mathcal{M} = \alpha |H_u|$
- ▶ Concept de **maillage continu** [Loseille, 2011] permet de transformer un problème d'optimisation discrète en problème d'optimisation continue

3 de mes contributions principales

- ▶ Estimateurs d'erreur pour calculs en géométries mobiles
- ▶ Dissémination de l'adaptation de maillage
- ▶ Application à la modélisation de l'océan

Estimateurs d'erreur pour des géométries mobiles



Problèmes :

- ▶ modifier le solveur pour le maillage mobile
- ▶ modifier l'estimateur d'erreur (*la métrique optimale*) pour prendre en compte le déplacement du maillage

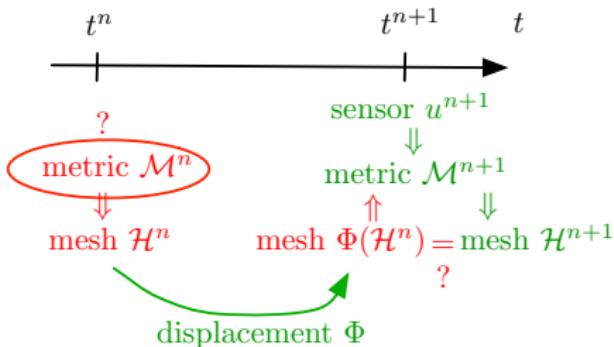
Contexte :

- ▶ Euler, FV, 3D, déformation conforme du maillage par élasticité
- ▶ Algorithme d'adaptation de point fixe global

Contribution :

- ▶ modification du solveur avec ajout de termes ALE 3D [Barral, 2018, EwC]
- ▶ modification de la métrique optimale [Barral, 2017, JCP] pour "suivre" le maillage mobile.

Estimateurs d'erreur pour des géométries mobiles



Maillage continu : métrique \mathcal{M} équivalente au maillage discret \mathcal{H}

On raisonne sur le passé d'une arête adaptée à t^{n+1}

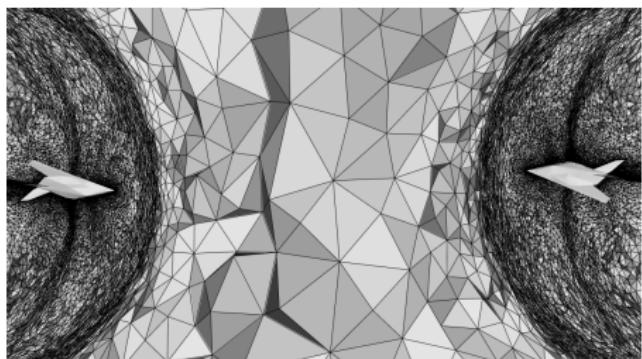
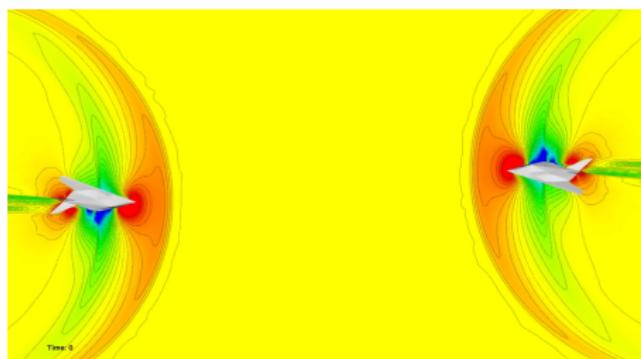
Métrique ALE optimale

$$\mathcal{M}_{L^p}^{\text{ALE}}(\mathbf{x}^n) = \left(\frac{N^{n+1}}{\int_{\Omega^n} \left[\det |\mathbf{H}_u^*| \right]^{\frac{p}{2p+3}} d\mathbf{x}^n} \right)^{\frac{2}{3}} \det(|\mathbf{H}_u^*|)^{-\frac{1}{2p+3}} |\mathbf{H}_u^*|$$

$$\text{with } |\mathbf{H}_u^*| = \left| \det \nabla^n \boldsymbol{\phi}(\mathbf{x}^n) \right|^{\frac{1}{p}} (\nabla^n \boldsymbol{\phi}(\mathbf{x}^n) \cdot |\widehat{H}_u(\mathbf{x}^n, t^{n+1})| \cdot \nabla^n \boldsymbol{\phi}^T(\mathbf{x}^n)).$$

Two F117s crossing flight paths

- ▶ Deux avions à Mach 0.4 dans un air inerte.
- ▶ Les avions sont en translation et rotation.
- ▶ 50 sous-intervalles et 4 boucles d'adaptation
- ▶ Taille moyenne des maillages : 747,000 sommets, 95,000 pas de temps



Dissémination de l'adaptation de maillage

Problème : mise en œuvre l'adaptation de maillage difficile

- ▶ Nombreux facteurs spécialisés : formation de la métrique, génération du maillage, transfert de solution, parallélisme
- ▶ codes pas compatibles ou pas open-source ou inutilisables

Solution : des **librairies d'adaptation** *clés en main* open source



Contributions [Barral 2016, Ibanez, 2017, Park, 2018, 2019]

- ▶ Développement de la librairie de remaillage **Pragmatic**
- ▶ Couplage avec **PETSc** et Firedrake
- ▶ Implémentation et validation d'**outils** pour l'adaptation
- ▶ Problématique du parallélisme [projet eCSE11-12, en cours]

Intérêt scientifique

- ▶ Mise à disposition de ces outils **au plus grand nombre**
- ▶ Large spectre d'applications : modélisation côtière, tectonique, ...
- ▶ Exploration de discréétisations variées + ordre élevé

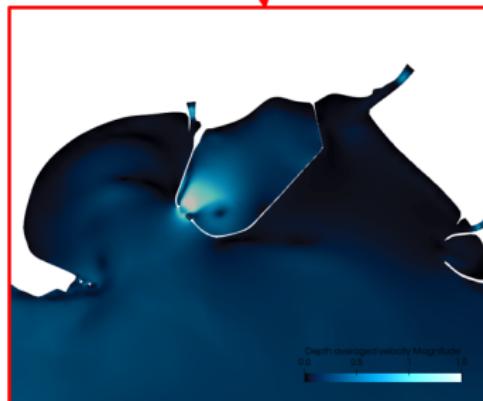
Modélisation de l'océan : étude d'un barrage marémoteur dans la baie de Swansea [Barral 2018, EGU]



Nécessité de simuler tout l'estuaire

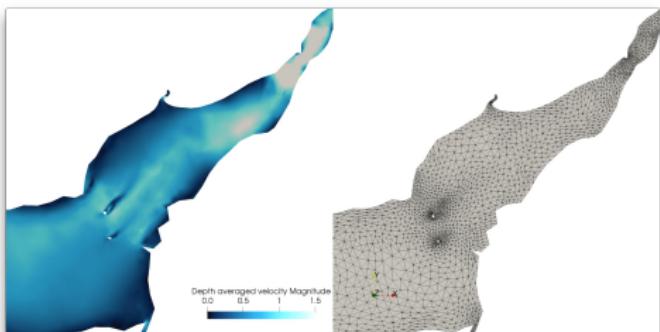
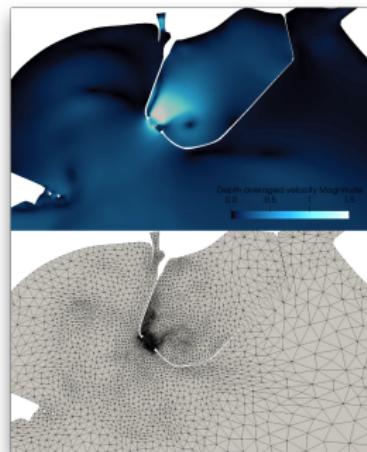
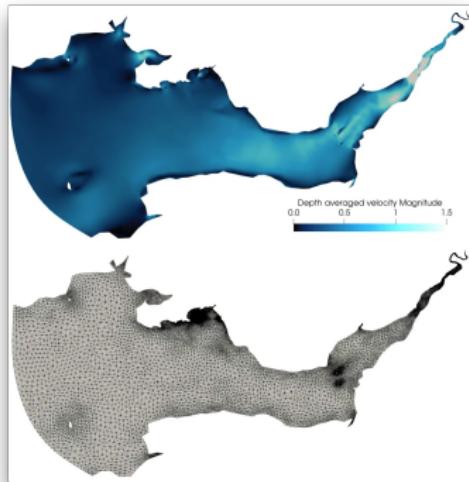
Modèle côtier **Thetis** utilisant Firedrake :

- ▶ Génération automatique du code bas niveau
- ▶ Navier-Stokes moyenné selon z
- ▶ Discrétisation FEM :
 - ▶ $P_1DG P_2$ pour \mathbf{v} et η
 - ▶ avec mouillage et séchage et modèle réduit pour les flux traversant le barrage
 - ▶ Discrétisation temporelle : Crank-Nicolson
 - ▶ $T_{end} = 2 \text{ days}$ (4 cycles)



Paramètres d'adapt. :

- ▶ Nouveau maillage toutes les 1 000s
- ▶ Interpolation P_1 consistante
- ▶ Taille des maillages : entre 28,000 et 38,000 triangles



En cours

- ▶ Déterminer théoriquement le meilleur senseur pour l'adaptation
- ▶ Adaptation **Goal oriented** à partir de l'adjoint [Wallwork et al. TBP]

Recherche : Variations autour de l'adaptation de maillage

Projet de recherche : trois axes dans la continuité

Enseignement

Projet de recherche : 3 axes dans la continuité

- ▶ Estimateurs d'erreur pour des discrétisations avancées
- ▶ Applications variées de l'adaptation de maillage
- ▶ Modélisation de l'océan

Estimateurs d'erreur et algo. d'adaptation de maillage

- ▶ Estimateurs pour l'ordre élevé :
 - ▶ les dérivées secondes ne suffisent plus
 - ▶ on essaie de fitter des ellipsoïdes dans des polynômes
 - ▶ et les maillages courbes ?
- ▶ Estimateurs pour des discrétisations avancées
 - ▶ Comment tirer parti des **discrétisations DG** ?
- ▶ Estimateurs *goal-oriented* : on optimise l'erreur dans une (petite) zone du domaine
 - ▶ Utilisation de l'**adjoint**
 - ▶ Adjoint continu *vs* discret
- ▶ Pont entre le non structuré et le structuré (AMR)
 - ▶ Stratégies d'adaptation **hp** (T. Chaumont-Frelet, F. Rapetti)
 - ▶ Construction d'une interface unifiée dans PETSc pour comparer
- ▶ Les solveurs automatiques (FreeFem, Firedrake...) sont un atout pour expérimenter

Dissémination de l'adaptation de maillage

Appliquer les estimateurs précédents dans des situations variées
⇒ **boucle de rétroaction pour les améliorer**

A la fois une **motivation** et une **validation**

Exemples d'applications :

- ▶ dynamique océanique
- ▶ simulation du **mucus dans les poumons** (B. Mauroy)
- ▶ plasmas dans les Tokamaks (CASTOR)
- ▶ interactions **ondes/matière** : photovoltaïque, lentilles hautes précision (NACHOS)

Cadre logiciel :

- ▶ utilisation/développement **d'outils open-source** qui s'interfacent **facilement** avec d'autre codes
- ▶ Nécessité de prendre en compte des architectures de calcul plurielles dans le remaillage
⇒ Etude du **parallelisme** (repartitionnement, interpolation)
- ▶ **Validation et adoption de standards** : collaboration UGAWG (Inria, Nasa, Boeing, ICL, MIT)

Modélisation de l'océan

- ▶ Nice bien placé pour étudier la mer
- ▶ Problématiques nombreuses : énergies marines, hausse du niveau des mers, dispersion de polluants, propagation de tsunamis ou autres vagues, etc.
- ▶ Maths : écoulements à surfaces libres (en 2D ou 3D) + couplage
- ▶ Problème : trouver des modèles et schémas adaptés pour ces diverses applications
- ▶ Localement : formation et propagation de la houle (D. Clamond), dispersion de particules (COFFEE)
- ▶ Problèmes multiphysiques avec experts d'autres labos (IC Londres, U. Edimbourg, U. Nice, UPMC, ADEME, Monaco...)

Recherche : Variations autour de l'adaptation de maillage

Projet de recherche : trois axes dans la continuité

Enseignement

En France, à l'ECP :

- ▶ 1ère année (~L3)
 - ▶ Analyse théorique et numérique des EDP - P. Lafitte
TDs - Des distributions aux FEM + TP Scilab & FreeFem++

En Angleterre, dans le département de Géosciences de l'ICL :

- ▶ Niveau L1
 - ▶ Introduction à la programmation - G. Gorman puis N. Barral
 - ▶ Méthodes numériques 1
Cours et TPs - Interpolation polynomiale, intégration numérique, résolution de systèmes (Gauss, Jacobi...)
- ▶ Niveau Master
 - ▶ Techniques de programmation modernes - G. Gorman
Cours - Python avancé, développement collectif (git), tests
 - ▶ Applications du calcul scientifique - G. Collins
Conception et évaluation de 3 mini-projets d'une semaine

Administration :

- ▶ *de facto responsable du cours* de Python (cours + orga)
- ▶ Implication dans la **création et organisation** du Master ACSE

Encadrement : 1 étudiant de Master puis thèse co-encadré

Pratiques pédagogiques innovantes

Contexte : approche de type *blended learning*

- ▶ Capacité d'attention limitée à ~15min
- ▶ Comprendre par la pratique
- ▶ Inspiré par les préceptes de la *Software Carpentry Foundation*

Ecosystème :

- ▶ Python : Simplicité et puissance avec Numpy, Scipy et SimPy
- ▶ Jupyter Notebook : mélange de texte et de code
- ▶ Cloud : chaque étudiant peut travailler de chez lui

Problème

Extensibilité du retour aux étudiants sur leurs exercices

Solution choisie : plateforme de notation automatique **OkPy**

- ▶ Déploiement sur le Cloud Microsoft Azure et d'un client local
- ▶ Satisfaction des étudiants (surtout en 1ère année)
- ▶ Permet de concevoir de meilleurs exercices

Perspective

Je peux **enseigner** :

- ▶ des **maths** (de base)
- ▶ des **maths appliquées** (schémas, CFD,...)
- ▶ de la **programmation**
- ▶ de l'**informatique**

Je peux **contribuer**

- ▶ à l'enseignement en **Licence**
- ▶ aux **Masters IM ou MPA** (cours de Modélisation et Simulation Numérique, Calcul Scientifique...)

J'ai de l'expérience dans la **création de cours**.

- ▶ L'adaptation de maillage présente de vraies problématiques mathématiques
- ▶ Un peu à la marge du profil : je ne suis pas un EDPiste...
- ▶ Mais je peux travailler avec eux !
 - ▶ Je veux faire plus de maths !
 - ▶ Estimateurs d'erreur
 - ▶ Développement de modèles océaniques
- ▶ Je peux mener mes propres recherches, et m'insérer dans des projets existants
- ▶ Expérience de l'enseignement variée, centrée sur la pédagogie, et de l'organisation de l'enseignement