

Audition pour le poste de Maître de Conférence 26MCF4100 en Calcul Scientifique à l'Institut Polytechnique de Bordeaux

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

ENSEIRB-MATMECA, Bordeaux
7 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

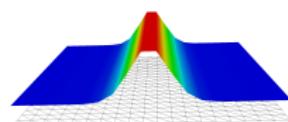
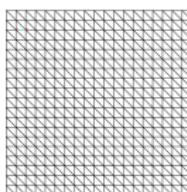
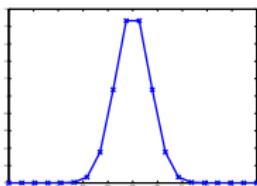
CAO → **MAILLAGE** → SOLVEUR → VISU / ANALYSE

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

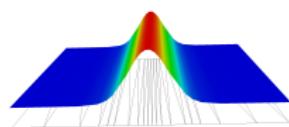
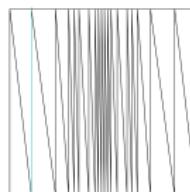
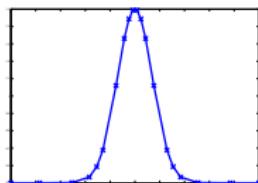
CAO → **MAILLAGE** → SOLVEUR → VISU / ANALYSE

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 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

- ▶ Algorithmes d'adaptation dits **de point fixe**.

3 de mes contributions principales

- ▶ Adaptation de maillage en géométrie mobile
- ▶ Dissémination de l'adaptation de maillage
- ▶ Application à la modélisation de l'océan

Adaptation de maillage pour des géométries mobiles



Problèmes pour le maillage mobile :

- ▶ Gestion des géométries mobiles
- ▶ modification du solveur
- ▶ modification de la *métrique optimale*

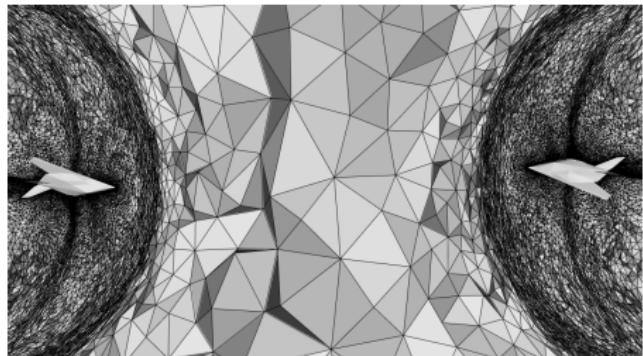
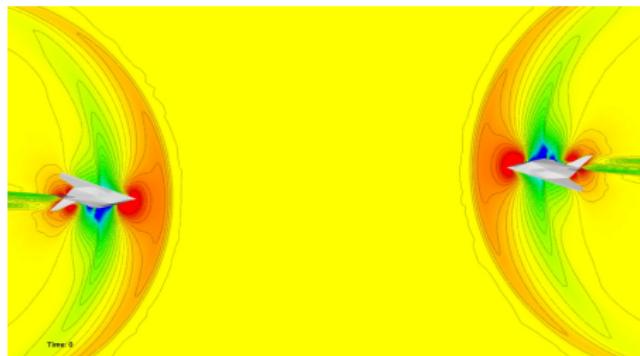
Contribution :

- ▶ Etude d'algorithmes de déformation de maillage conformes [Barral, 2014, IMR]
- ▶ 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.

Adaptation de maillage pour des géométries mobiles

Contexte : Euler compressible, FV, 3D

- ▶ 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

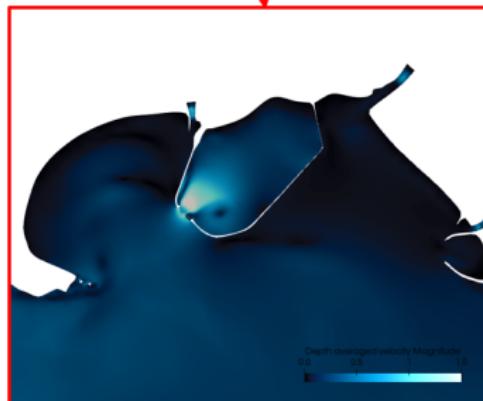
Modélisation de l'océan : étude d'un barrage marémoteur dans la baie de Swansea [Barral 2018, EGU]



Nécessité de simuler tout l'estuaire

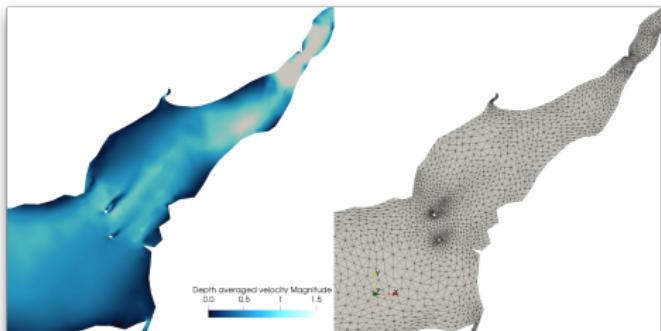
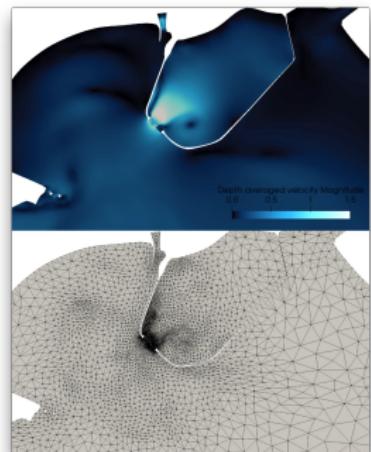
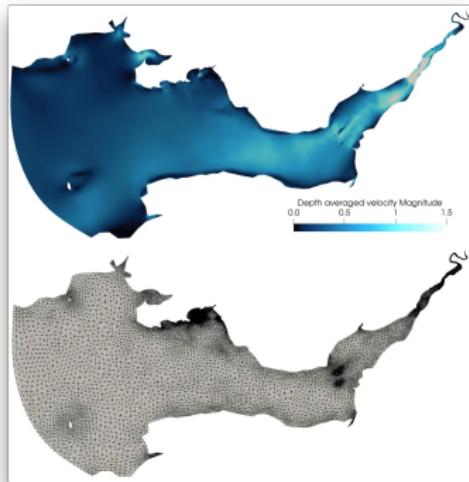
Modèle côtier **Thetis** utilisant Firedrake :

- ▶ 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

- ▶ Algorithmes de point-fixe
- ▶ Déterminer théoriquement le meilleur moniteur
- ▶ Estimateurs *Goal oriented* utilisant 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 et algorithmes d'adaptation de maillage
- ▶ 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 ?
- ▶ Couplage avec la **r-adaptation**
 - ▶ Comment faire correspondre les estimateurs d'erreur ?
 - ▶ En géométrie mobile : la r-adaptation peut-elle suivre les géométries ?
- ▶ Estimateurs pour les **frontières immergées** : adapter à la fois à la physique et à la géométrie
- ▶ Pont entre le non structuré et le **structuré (AMR)** :
 - ▶ les estimateurs non structurés peuvent-ils être appliqués ?
 - ▶ construction d'une interface unifiée dans PETSc pour comparer

Applications variées de l'adaptation de maillage

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

Appliquer les algorithmes dans des situations variées \Rightarrow **boucle de rétroaction pour les améliorer**

Exemples d'applications :

- ▶ Dynamique océanique (CARDAMOM)
 - ▶ détails plus loin
- ▶ Givre sur les ailes d'avion (H. Beaugendre)
 - ▶ calculs multi-échelles
 - ▶ frontières immergées
 - ▶ croissance du givre ou débris : bouger de maillage
 - ▶ calcul intensif
- ▶ Electrophysiologie cardiaque (Y. Coudière, CARMEN)
 - ▶ fronts raides à propager longtemps
 - ▶ géométries complexes
 - ▶ ordre élevé

Applications variées de l'adaptation de maillage : cadre logiciel

- ▶ utilisation/développement **d'outils open-source** qui s'interfacent **facilement** avec d'autre codes
- ▶ Contribution au remailleur **MMG**
 - ▶ liens forts avec l'IMB
 - ▶ apport de l'expertise en re-maillage anisotrope
 - ▶ intégration à d'autres codes open source pour faciliter les objectifs de recherche
- ▶ Nécessité de prendre en compte des architectures de calcul plurielles dans le remaillage
⇒ Etude du **parallélisme** (repartitionnement, interpolation)
- ▶ **Validation et adoption de standards** : collaboration UGAWG (Inria, Nasa, Boeing, ICL, MIT)

Modélisation de l'océan

- ▶ Bordeaux 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
- ▶ Modélisation de l'océan en tant qu'application de l'adaptation de maillage
 - ▶ Amélioration d'algorithmes de r-adaptation pour la propagation de vagues (M. Ricchiuto)
 - ▶ Schémas non dispersifs pour modèles non hydrostatiques (M. Kazolea)
- ▶ Modélisation de l'océan en tant que telle
 - ▶ Trouver des modèles et schémas adaptés pour ces diverses applications
 - ▶ Problèmes multiphysiques avec **experts d'autres labos** (IC Londres, U. Edimbourg, EPOC, IMB, BRGM, ADEME...)

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 à l'ENSEIRB-MATMECA

Enjeux spécifiques d'une **école d'ingénieur** :

- ▶ bases solides avec applications industrielles en vue
- ▶ volonté de faire réussir chaque étudiant
- ▶ recherche sur le maillage a vocation à intéresser les industriels

Je peux **enseigner** :

- ▶ de l'analyse numérique
- ▶ des méthodes numériques pratiques
- ▶ du calcul sur machine et HPC

Je peux **contribuer** à :

- ▶ des cours de bases de méthodes numériques
- ▶ des TP s d'informatiques
- ▶ la filière HPC
- ▶ le cours de maillage
- ▶ l'encadrement de projets de 1ère année

J'ai de l'expérience et de la motivation pour la **création de cours** et l'**organisation de l'enseignement** en amont.

- ▶ J'explore des problèmes variés autour de l'adaptation de maillage depuis près de 10 ans dans des contextes différents
- ▶ Objectif : réaliser des simulations intensives en calcul motivées par des applications concrètes
- ▶ Je serais ravi de pouvoir prolonger mes recherches dans le cadre de l'IMB
- ▶ 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