

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

Nicolas Barral

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)

## **Expérience Recherche : Adaptation de maillage**

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

## **Expérience Enseignement**

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

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

2018-2019 ICL part time Teaching Fellow 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

**Expérience Recherche : Adaptation de maillage**

**Expérience Enseignement**

## **Formation : Mathématiques appliquées, calcul scientifique**

### **Expérience Recherche : Adaptation de maillage**

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)

### **Expérience Enseignement**

**Formation : Mathématiques appliquées, calcul scientifique**

**Expérience Recherche : Adaptation de maillage**

**Expérience Enseignement**

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

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

2018-2019 ICL part time Teaching Fellow pour la création du Master  
ACSE

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

⇒ 1 étudiant de thèse co-encadré

Recherche : 50 nuances d'adaptation de maillage

Projet de recherche : trois axes dans la continuité

Enseignement

# Problématique

## Pipeline de la simulation numérique

CAO  $\longrightarrow$  **MAILLAGE**  $\longrightarrow$  SOLVEUR  $\longrightarrow$  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  $dt \sim h_{min} \rightsquigarrow \frac{dt}{4} \implies \text{CPU} \times \mathbf{256}$

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

# Problématique

## Pipeline de la simulation numérique

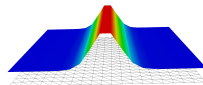
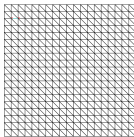
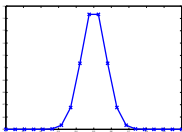
CAO  $\longrightarrow$  **MAILLAGE**  $\longrightarrow$  SOLVEUR  $\longrightarrow$  VISU / ANALYSE

*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  $dt \sim h_{min} \rightsquigarrow \frac{dt}{4} \Rightarrow \text{CPU} \times \mathbf{256}$

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



900 sommets



# Problématique

## Pipeline de la simulation numérique

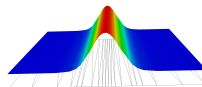
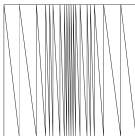
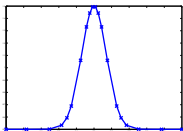
CAO  $\longrightarrow$  **MAILLAGE**  $\longrightarrow$  SOLVEUR  $\longrightarrow$  VISU / ANALYSE

*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  $dt \sim h_{min} \rightsquigarrow \frac{dt}{4} \implies \text{CPU} \times \mathbf{256}$

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



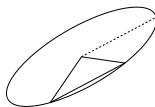
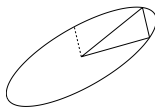
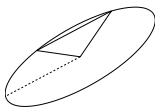
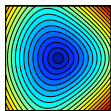
60 sommets

# Métriques et adaptation *hessian based*

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

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

[George, Hecht and Vallet., 1991]



- ▶ On considère l'**erreur d'interpolation** :  $\|u - \pi_h u\|$
- ▶ Pour une certaine classe de problèmes :  $\|u - \pi_h u\| \leq Ch \|H_u\|$  [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

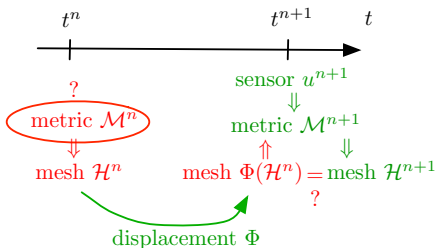
## Contexte :

- ▶ 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

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

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

## 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 **bibliothèques d'adaptation** *clés en main* open source



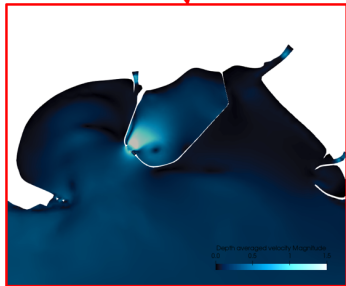
## Contributions [Barral 2016, Ibanez, 2017, Park, 2018, 2019]

- ▶ Développement de la bibliothèque 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 **discrétisations variées** + ordre élevé

# Modélisation de l'océan : étude d'un barrage marémoteur dans la baie de Swansea [Barra 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  $\eta$
  - ▶ 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 : 50 nuances d'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
- ▶ 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
- ▶ Stratégies d'adaptation hp (T. Chaumont-Frelet, F. Rapetti)
- ▶ Estimateurs pour l'adaptation structurée (AMR) : construction d'une interface unifiée dans PETSc
- ▶ 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**

Exemples d'applications :

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

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

Cadre logiciel :

- ▶ utilisation/développement **d'outils open-source** qui **s'interfaçent facilement** avec d'autres codes
- ▶ 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

- ▶ 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 : 50 nuances d'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 TP - 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**

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

Je peux **contribuer**

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

# Conclusion

- ▶ 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