

Adaptation de maillage & co

Nicolas Barral

Enseirb-Matmeca - Inria CARDAMOM - IMB

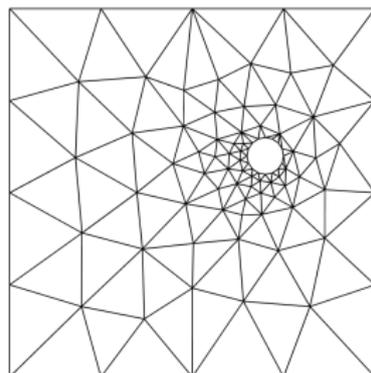
Rencontre avec l'ED Inria Bordeaux
Bordeaux - 21 Mai 2021

Qu'est-ce qu'un maillage ?

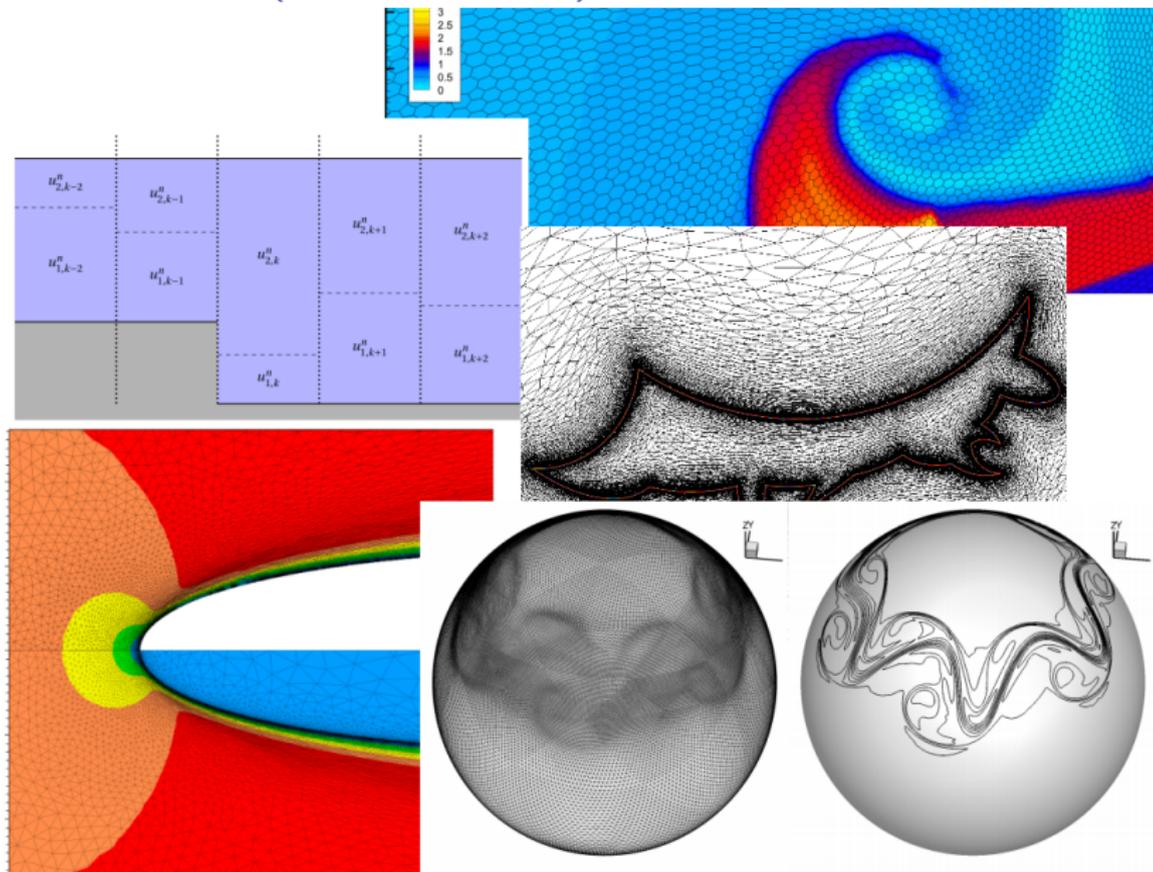
Cadre : calcul scientifique

Maillage : discrétisation d'un domaine continu permettant l'approximation d'Équations aux Dérivées Partielles sur un ordinateur

Maillage non structuré: recouvrement d'une partie du plan (resp. de l'espace) en triangles (resp. tétraèdres) qui ne se chevauchent pas.



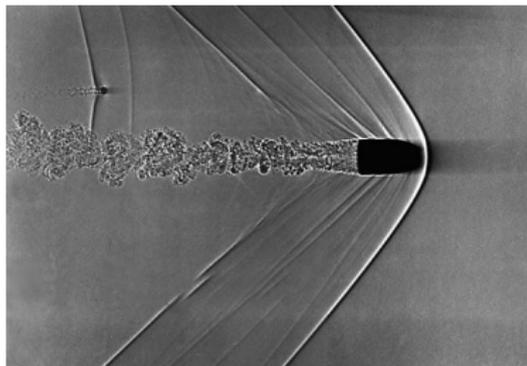
Tout le monde (dans l'équipe) utilise des maillages



Besoin d'adaptation automatique

Pas de maillage, pas de solution.

Un mauvais maillage entraîne une mauvaise solution.



Face à:

- ▶ une complexité **géométrique** croissante
- ▶ une complexité **physique** croissante

Précision accrue + Nombreux pas de temps
⇒ **coût CPU rapidement prohibitif**

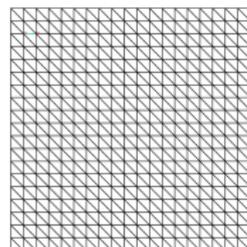
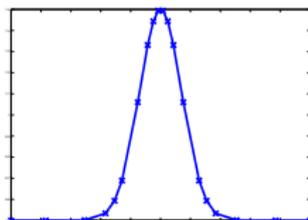
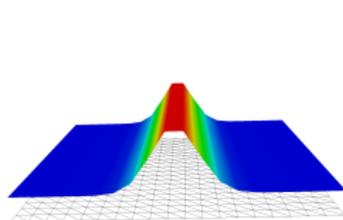
Besoin d'adaptation automatique

Solution "à l'américaine":

- ▶ Tourner sur des supercalculateurs de plus en plus gros

Adaptation de maillage

- ▶ Optimiser la résolution spatiale pour augmenter la précision tout en diminuant le coût



Nasa CFD Vision 2030 study

"Focused research programs in streamlined CAD access and interfacing, large-scale mesh generation, and automated optimal adaptive meshing techniques are required."

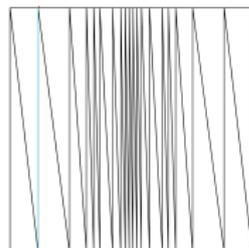
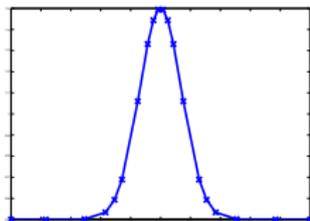
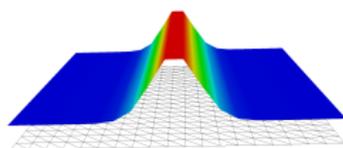
Besoin d'adaptation automatique

Solution "à l'américaine":

- ▶ Tourner sur des supercalculateurs de plus en plus gros

Adaptation de maillage

- ▶ Optimiser la résolution spatiale pour augmenter la précision tout en diminuant le coût

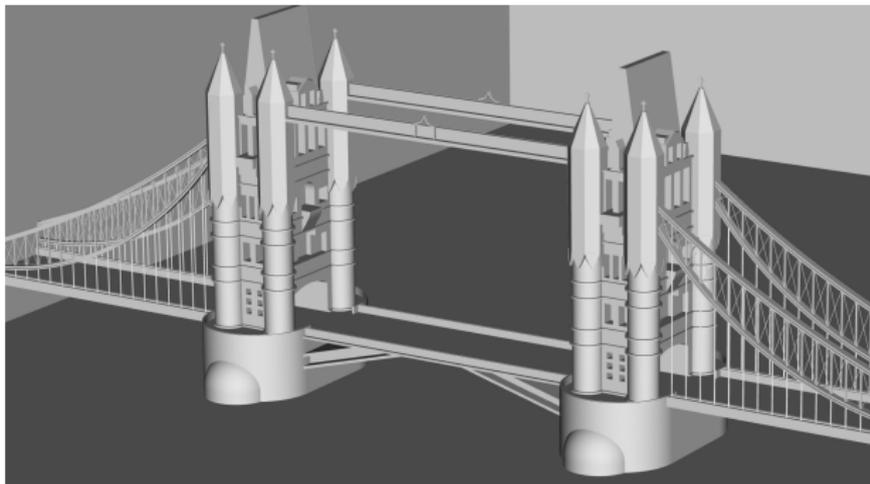


Nasa CFD Vision 2030 study

"Focused research programs in streamlined CAD access and interfacing, large-scale mesh generation, and automated optimal adaptive meshing techniques are required."

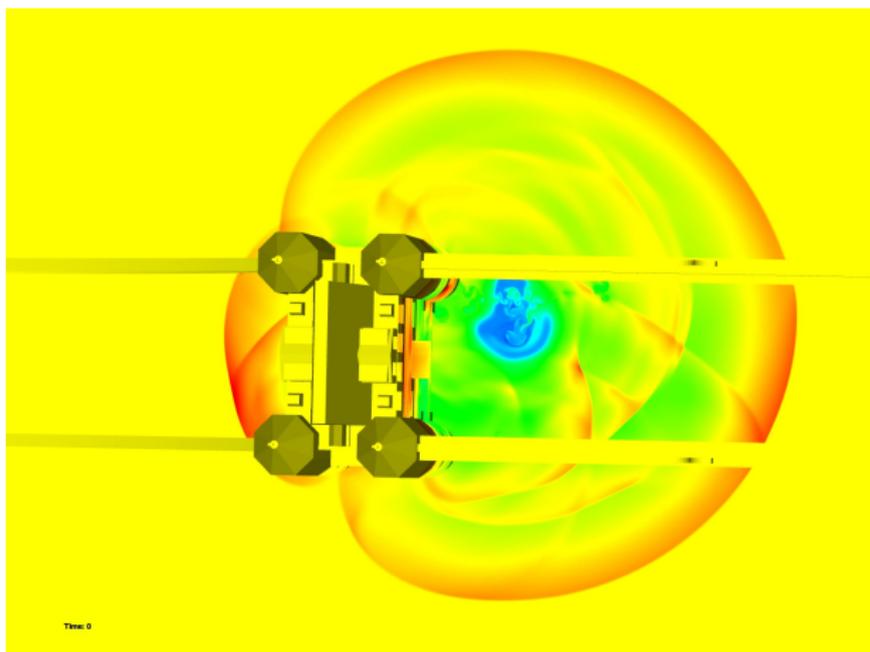
Example: blast sur le London Tower Bridge

- ▶ Géométrie 3D de l'*IMR meshing contest* ($260 \times 150 \times 100 \text{ m}^3$)
⇒ phénomènes physiques 3D *a priori* imprévisibles
- ▶ Taille moyenne des maillages: 3, 300, 000 sommets (max: 3, 760, 622 sommets)
- ▶ 16, 353 pas de temps, taille de maille min: $1e^{-3}$



Example: blast sur le London Tower Bridge

- ▶ Géométrie 3D de l'*IMR meshing contest* ($260 \times 150 \times 100 \text{ m}^3$)
⇒ phénomènes physiques 3D *a priori* imprévisibles
- ▶ Taille moyenne des maillages: 3, 300, 000 sommets (max: 3, 760, 622 sommets)
- ▶ 16, 353 pas de temps, taille de maille min: $1e^{-3}$



Adaptation de maillage dans CARDAMOM

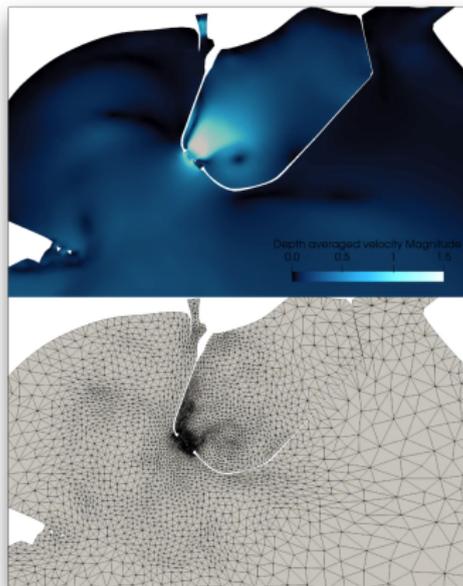
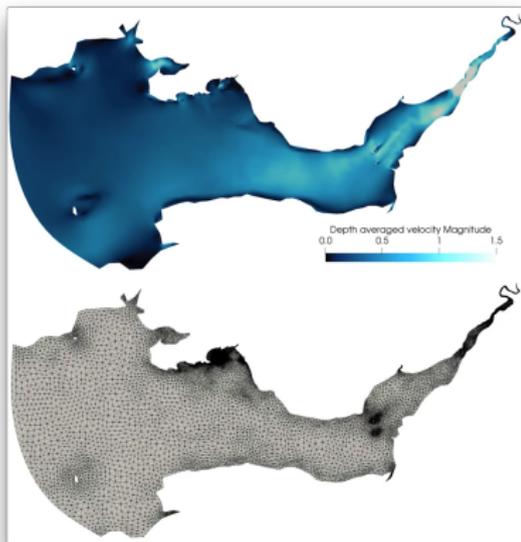
3 aspects traités:

1. étude mathématique
2. réalisation logicielle
3. utilisation dans des calculs à grande échelle

Applications: Modélisation de l'océan

1. Énergies renouvelables.

Ex: barrage marémoteur dans la baie de Swansea

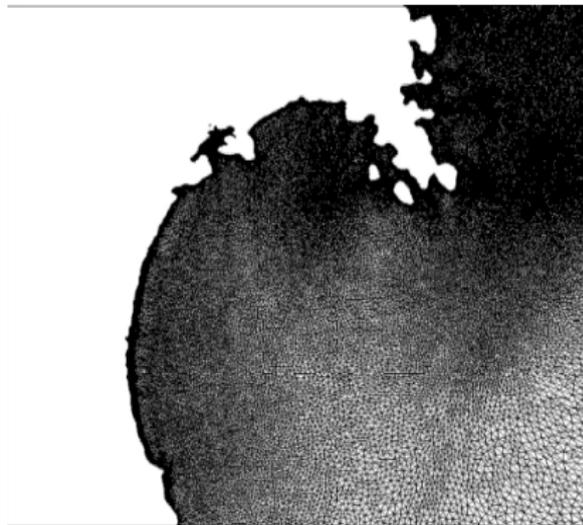


2. Propagation des vagues.

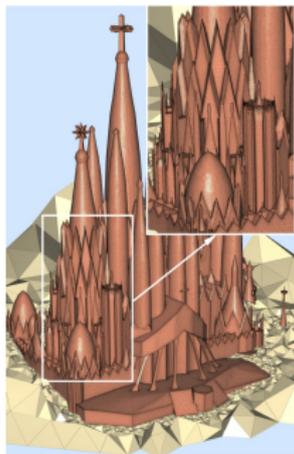
Exemple: tsunami sur la baie de Sendai (a.k.a. catastrophe de Fukushima)

Applications: Modélisation de l'océan

1. Énergies renouvelables.
Ex: barrage marémoteur dans la baie de Swansea
2. Propagation des vagues.
Exemple: tsunami sur la baie de Sendai (a.k.a. catastrophe de Fukushima)



MMG (Algiane Froehly)



Remaillleur anisotrope 2D et 3D

Entrée: maillage + métrique (carte de tailles)



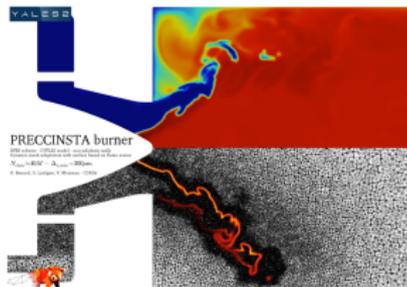
Séquence de modifications locales tant que le résultat n'est pas optimal



Sortie: maillage adapté

Développement historiquement associé à CARDAMOM

- ⇒ Consortium industriel qui pilote et finance son développement
- ⇒ Utilisation et collaboration intense

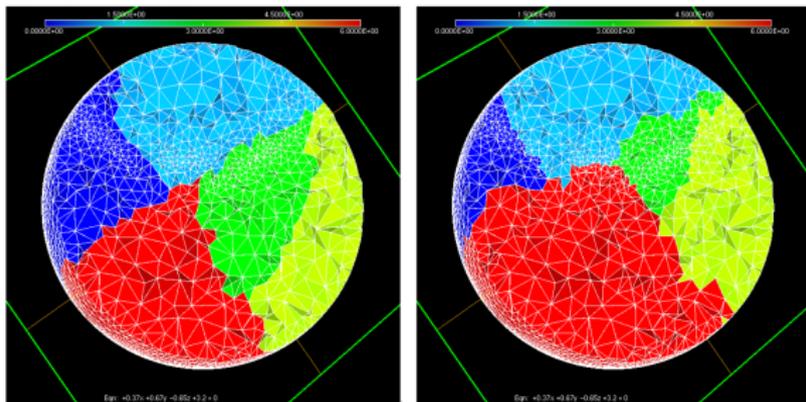


ParMMG (Algiane Froehly & Luca Cirrottola)

Tournant du **calcul parallèle** inévitable:

- ▶ au quotidien sur un ordinateur portable, ou sur des milliers (millions) de coeurs sur les plus gros supercalculateurs
 - ▶ les gros codes de calcul sont parallèles: **Aerosol**, **PETSc**...
- développement d'une version parallèle de MMG

Fonctionnement: Maillage découpé en petits bouts, chaque bout est remaillé indépendamment des autres, interfaces sont fixes, puis redécoupage par migration des interfaces



1er résultats sur 1000 procs sur Plafrim

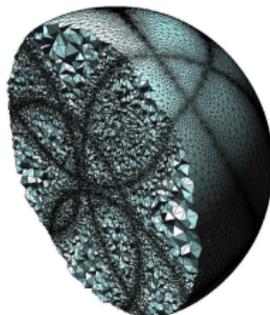
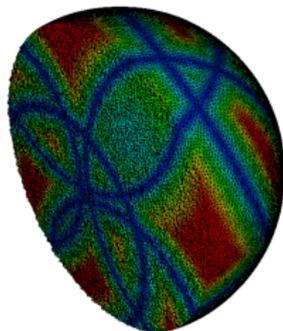
ParMMG (Algiane Froehly & Luca Cirrottola)

Tournant du **calcul parallèle** inévitable:

- ▶ au quotidien sur un ordinateur portable, ou sur des milliers (millions) de coeurs sur les plus gros supercalculateurs
 - ▶ les gros codes de calcul sont parallèles: **Aerosol**, **PETSc**...
- développement d'une version parallèle de MMG

Fonctionnement: Maillage découpé en petits bouts, chaque bout est remaillé indépendamment des autres, interfaces sont fixes, puis redécoupage par migration des interfaces

1er résultats sur 1000 procs sur Plafrim



Estimation d'erreur

But: optimiser le maillage par rapport à la solution

Besoin d'un **modèle d'erreur** numérique

On considère **l'erreur d'interpolation**: $\|u - \pi_h u\|$

Pour certains types de problèmes: $\|u - \pi_h u\| \leq Ch \|H_u\|$ [Ciarlet., 1978]

Hessienne: Bon indicateur des variations de la solution

On en déduit une **métrique** optimale (carte de tailles): [Loseille et al., 2011]

$$\mathcal{M}_{L^p} = D_{L^p} (\det |H_u|)^{\frac{-1}{2p+3}} \mathcal{R}_u^{-1} |\Lambda| \mathcal{R}_u$$

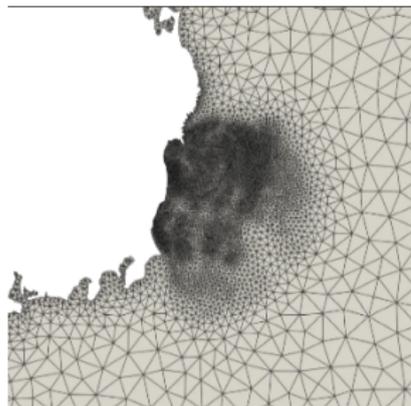
Adaptation *goal-oriented*

But: Optimiser la précision pour un **objectif** précis (e.g.: variable diagnostic dans une sous-région précise)

Exemple: lift ou drage en aéronautique, inondation d'un point précis de la côte par un tsunami, etc.

Equations adjointes: "inverse" de l'EDP considérée, donnent une information sur la **sensibilité** p/r au goal étudié

⇒ intégrer cette information dans le **modèle d'erreur** .



Quelques défis

- ▶ HPC : réaliser des simulations adaptatives entières sur des gros clusters
 - défi logiciel: paralléliser toutes les briques et les faire communiquer efficacement
 - couplage de ParMMG avec Petsc et Aerosol
 - projet EuroHPC eFlows4HPC (Mario, Héloïse)
- ▶ Améliorer les estimateurs d'erreur pour la modélisation côtière
 - projet ANR Tsunamay (Mario, Maria)
- ▶ Autres applications :
 - électrophysiologie cardiaque: projet EuroHPC Microcard (MMG, CARMEN)
 - exploration sismique (MAGIQUE3D)
 - pour le givrage en aéronautique (Héloïse)
- ▶ Améliorer la représentation des frontières immergées