

# Développement d'une bibliothèque de structures et algorithmes pour un mailleur polyédrique

---

Alexandre MARIN

Master Mathématiques et Applications Sorbonne Université

Parcours Ingénierie Mathématique

Majeure Ingénierie Mathématique Pour l'Entreprise

IFP Énergies nouvelles

Direction Sciences et Technologies du Numérique – Département Informatique Scientifique

1-4 avenue du Bois-Préau RUEIL-MALMAISON

2 novembre 2020

Soutenance de fin de stage

Encadrants :

Laurent Astart, Alexandra Bac



## 1. Introduction

Présentation d'IFPEN

Objectifs

Calendrier

## 2. Mission du stage

Travail effectué

Résultats

Difficultés

## 3. Conclusion

# Brève présentation d'IFPEN

- un EPIC
- $\approx 50\%$  de son budget issu de l'État
- un groupe employant 1 600 salariés
- conçoit et développe des procédés, équipements et logiciels relatifs à quatre domaines :
  - la mobilité durable
  - les énergies renouvelables
  - les hydrocarbures responsables
  - le climat/environnement

Premier objectif : faire un travail bibliographique et développer des structures de données et algorithmes pour un maillage polyédrique 3D, censé être adapté à la simulation d'écoulements dans le sous-sol.

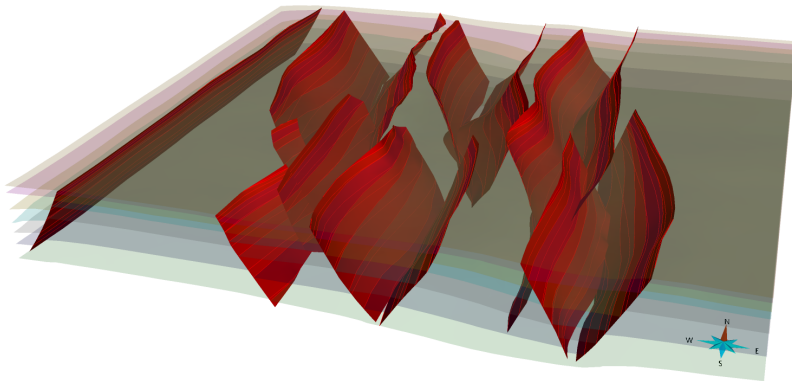
Premier objectif : faire un travail bibliographique et développer des structures de données et algorithmes pour un mailleur polyédrique 3D, censé être adapté à la simulation d'écoulements dans le sous-sol.

Objectif retenu : s'approprier des concepts sur la génération de maillages 2D et mettre en œuvre certains algorithmes en programmant une bibliothèque logicielle.

Juillet	Installation, programmation en C++ d'une structure en demi-arêtes et d'algorithmes de génération de maillages Delaunay
Août	Réorganisation du code, génération de maillages Delaunay contraints, tests
Septembre	Création de diagrammes de Voronoï, rédaction du rapport
Octobre	Seconde étude bibliographique

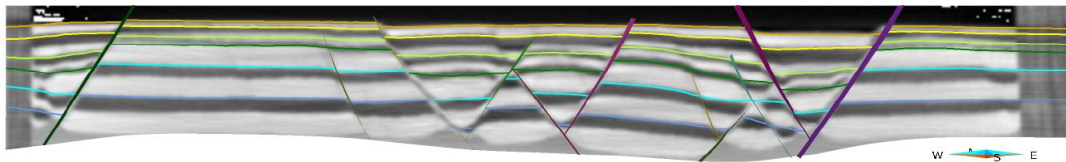
La simulation d'écoulements dans le sous-sol nécessite des maillages tels que :

- les éléments structuraux apparaissent



Exemple d'un ensemble d'horizons et de failles à respecter  
(source : <https://geoanalog.ifpen.fr/>)





Une section de ce modèle  
(source : [12])

La simulation d'écoulements dans le sous-sol nécessite des maillages tels que :

- les éléments structuraux apparaissent
- certaines contraintes géométriques soient respectées

La simulation d'écoulements dans le sous-sol nécessite des maillages tels que :

- les éléments structuraux apparaissent
- certaines contraintes géométriques soient respectées

Avec des méthodes du type *Volumes finis* ou *Éléments virtuels*, il est possible d'utiliser des maillages polyédriques.

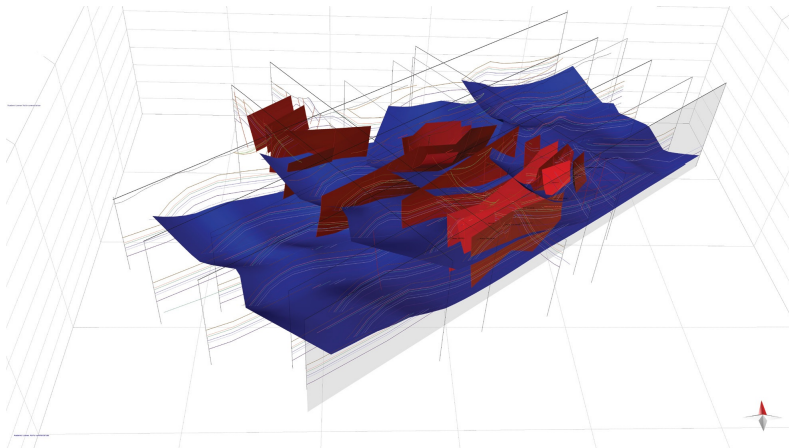
La simulation d'écoulements dans le sous-sol nécessite des maillages tels que :

- les éléments structuraux apparaissent
- certaines contraintes géométriques soient respectées

Avec des méthodes du type *Volumes finis* ou *Éléments virtuels*, il est possible d'utiliser des maillages polyédriques.

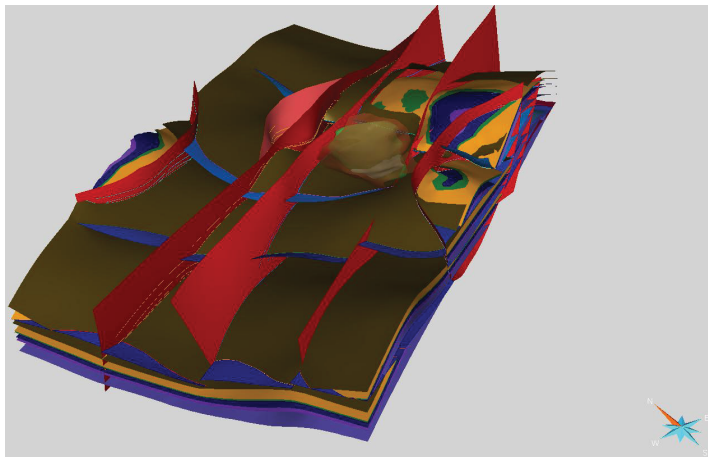
Quelles sont les bonnes propriétés de tels maillages vis-à-vis de ces méthodes numériques ?

## Quelques exemples de domaines géologiques



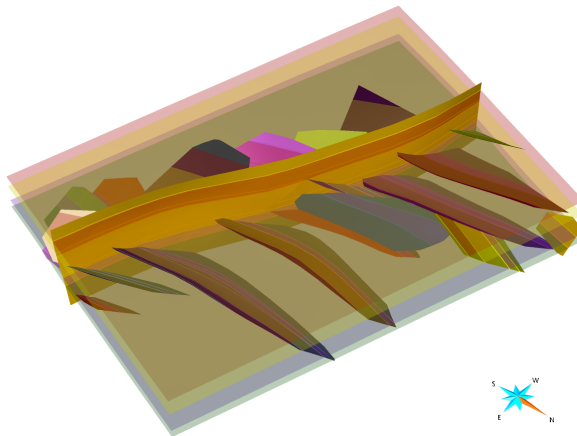
Modèle géologique reconstruit, failles inverses en bleu et failles transpressives en rouge (source : [11])

## Quelques exemples de domaines géologiques



Modèle géologique reconstruit précédent, avec les horizons (source : [11])

## Quelques exemples de domaines géologiques

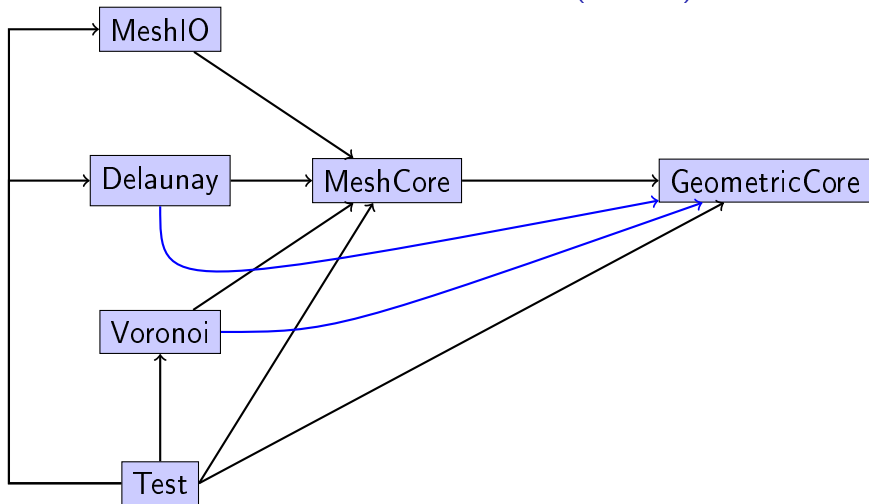


Une faille principale décrochante, quelques failles de part et d'autre de celle-ci  
(source : [12])

# Première étude bibliographique

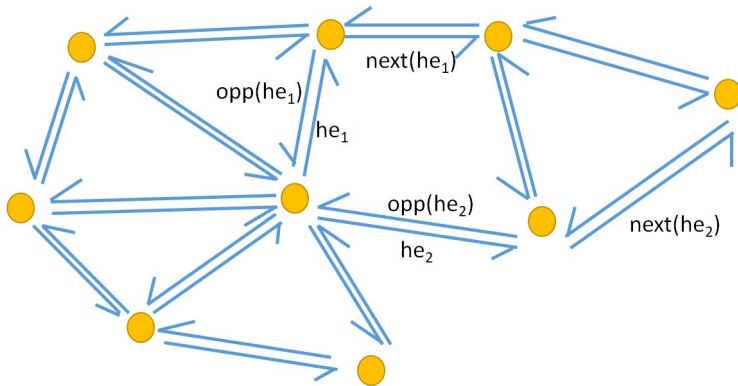
- [1] Jonathan Richard Shewchuk.  
Lecture Notes on Delaunay Mesh Generation.  
February 2012.
- [2] Herbert Edelsbrunner.  
*Geometry and Topology for Mesh Generation.*  
Cambridge Monographs on Applied and Computational Mathematics.  
Cambridge University Press, 2001.
- [3] Rao Garimella, Jibum Kim, and Markus Berndt.  
Polyhedral Mesh Generation and Optimization for Non-manifold Domains.  
10 2013.





Architecture du projet (sous QtCreator)

# Structure en demi-arêtes



Légende :

flèche bleue : demi-arête, rond : sommet, opp : demi-arête opposée, next :  
demi-arête suivante

Elle concerne

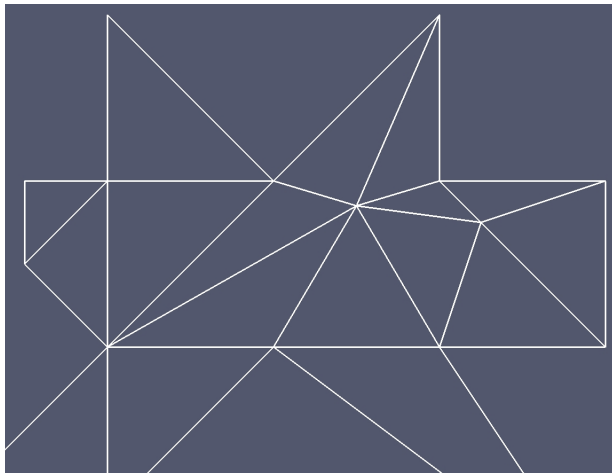
- des structures de données représentant des maillages 3D polyédriques :
  - demi-arêtes
  - cartes combinatoires
  - $\mathcal{G}$ -cartes
  - $n$ -cartes
- des méthodes de génération de maillages polyédriques pour des simulations en géosciences :
  - par résolution de problèmes d'optimisation
  - par des algorithmes de raffinement

- structure en demi-arêtes pour maillages bidimensionnels
- maillages polygonaux (Delaunay, Voronoï) exportés dans 3 formats (OBJ, PLY, XDMF), de domaines du plan, convexes ou non
- temps de calcul diminué grâce à la structure d'arbre quaternaire

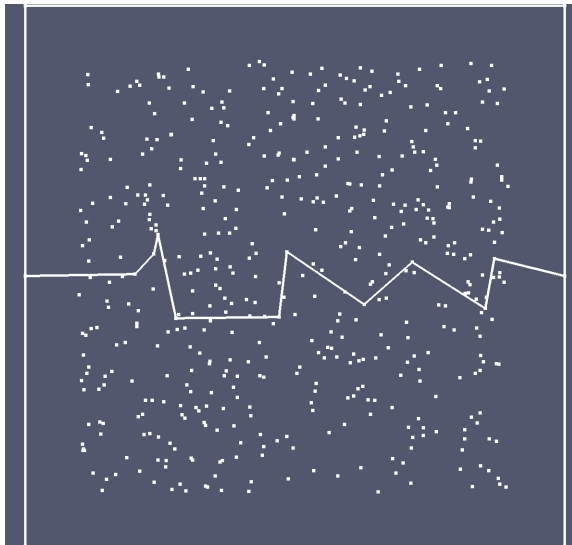
## Exemple de complexe linéaire par morceaux à mailler



## Triangulation de Delaunay contrainte correspondante



## Un autre complexe linéaire par morceaux



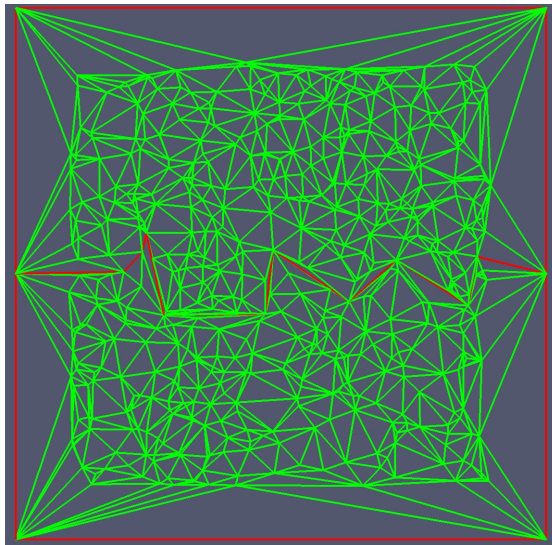
## Diagramme de Voronoï correspondant

ÉNERGIES NOUVELLES





## Triangulation de Delaunay correspondante



- différence entre théorie et pratique (arithmétique flottante)
- conventions disparates des logiciels de visualisations (Paraview, CloudCompare, MeshLab)
- existence de nombreux cas particuliers difficiles à couvrir avec des tests unitaires (intersections...)

Ce stage m'a permis de

- découvrir des concepts en génération de maillages, parfois pour les géosciences

Ce stage m'a permis de

- découvrir des concepts en génération de maillages, parfois pour les géosciences
- de préparer la thèse qui suit :

Ce stage m'a permis de

- découvrir des concepts en génération de maillages, parfois pour les géosciences
- de préparer la thèse qui suit :
  - difficultés algorithmiques

Ce stage m'a permis de

- découvrir des concepts en génération de maillages, parfois pour les géosciences
- de préparer la thèse qui suit :
  - difficultés algorithmiques
  - erreurs à ne pas reproduire (code, théorie)

Ce stage m'a permis de

- découvrir des concepts en génération de maillages, parfois pour les géosciences
- de préparer la thèse qui suit :
  - difficultés algorithmiques
  - erreurs à ne pas reproduire (code, théorie)
  - bibliographie

*Innovater les énergies*

Retrouvez-nous sur :

 [www.ifpenergiesnouvelles.fr](http://www.ifpenergiesnouvelles.fr)

 [@IFPENinnovation](https://twitter.com/IFPENinnovation)



## Bibliographie additionnelle

- [4] Guillaume Caumon, Bruno Lévy, Laurent Castanié, and Jean-Claude Paul.  
Visualization of grids conforming to geological structures : a topological approach.  
*Computers & Geosciences*, 31(6) :671 – 680, 2005.
- [5] Xin Feng, Yuanzhen Wang, Yanlin Weng, and Yiyong Tong.  
Compact combinatorial maps : A volume mesh data structure.  
*Graphical Models*, 75(3) :149 – 156, 2013.  
Computational Visual Media Conference 2012.
- [6] Michael Kremer, David Bommers, and Leif Kobbelt.  
OpenVolumeMesh - A Versatile Index-Based Data Structure for 3D Polytopal Complexes.  
In *21st International Meshing Roundtable*, Proceedings of the 21st International Meshing Roundtable, pages 531–548, San Jose, United States, October 2012. Springer.
- [7] François Lepage.  
*Génération de maillages tridimensionnels pour la simulation des phénomènes physiques en géosciences*.  
PhD thesis, INPL, Nancy, France, 2003.
- [8] Romain Merland.  
*Génération de grilles de type volumes finis : adaptation à un modèle structural, pétrophysique et dynamique*.  
Theses, Université de Lorraine, April 2013.
- [9] Thomas Viard, Claude Cavelius, Bradley Mallison, and Charles H. Sword.  
Data structure improvements for 3D polyhedral grids with application to unstructured discrete fracture models. .  
In *Proc. 32nd Gocad Meeting*, Nancy , 2012.

- [10] Anne-Laure Tertois and Jean-Laurent Mallet.  
Extension of the mathematical geochron framework to three-dimensional structural model restoration.  
*In 2019 Ring Meeting. ASGA, 2019.*
- [11] Martina Balestra, Sveva Corrado, Luca Aldega, Maurizio Gasparo Morticelli, Attilio Sulli, Jean-Luc Rudkiewicz, and William Sassi.  
Thermal and structural modeling of the Scillato wedge-top basin source-to-sink system : Insights into the Sicilian fold-and-thrust belt evolution (Italy).  
*GSA Bulletin*, 131(11-12) :1763–1782, 03 2019.
- [12] Anne-Laure Tertois, Romain Merland, Damien Foissard, and Jean-Laurent Mallet.  
Assessing impact of velocity uncertainty on structural models using geochron.  
*In 2020 RING Meeting. ASGA, 2020.*

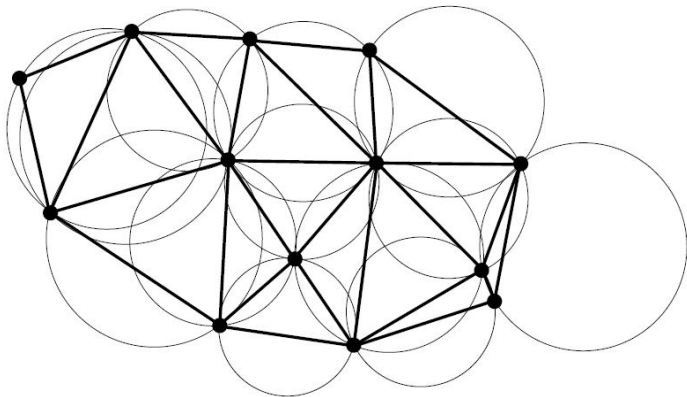


figure 2.3 de la source [1]

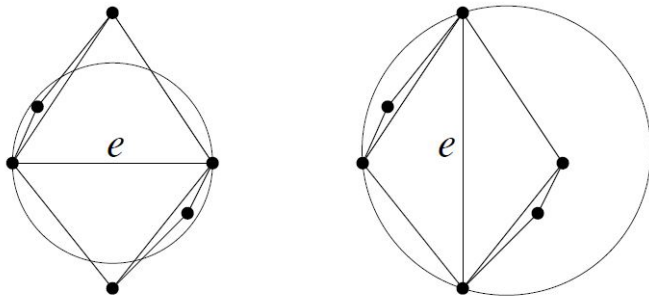


figure 2.7 de la source [1]