

Génération et adaptation de maillage en géométries complexes

Frédéric Alauzet

INRIA Saclay Ile-de-France - Projet Gamma - Palaiseau, France
Frederic.Alauzet@inria.fr

http://pages.saclay.inria.fr/frederic.alauzet/download/Cours0_AMS314.pdf
http://pages.saclay.inria.fr/frederic.alauzet/download/projet-AMS314_Partie1.pdf
<http://pages.saclay.inria.fr/frederic.alauzet/download/projet-AMS314.zip>

- ① 26/02 13h30-16h45 : Intro. + Cours 1 + Installation projet
- ② 29/02 13h30-16h45 : Projet Partie I
- ③ 04/03 13h30-16h45 : Cours 2 + Projet Parties I & II
- ④ 11/03 13h30-16h45 : Projet Partie II
- ⑤ 18/03 13h30-16h45 : Cours 3 + Projet Parties II & III
- ⑥ 25/03 13h30-16h45 : Partie III
- ⑦ 04/04 9h00-12h15 : Finalisation du Projet

Voulez vous décaler les cours à 14h ou 14h15 ?

Plan du Cours

Introduction au maillage et à la simulation numérique

Cours 1 : Algorithmes et base de données

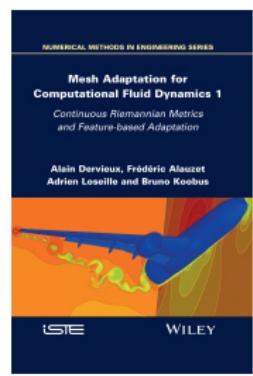
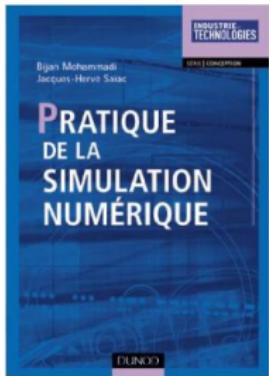
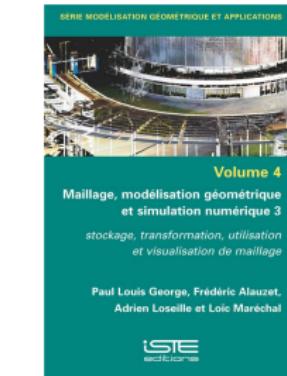
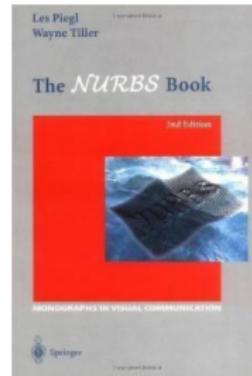
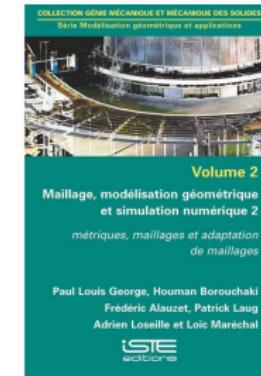
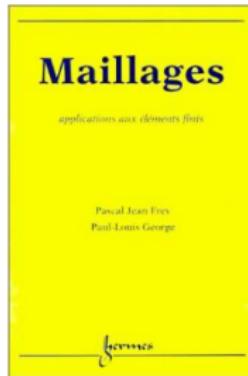
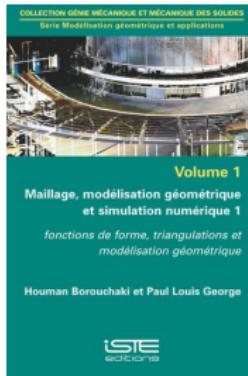
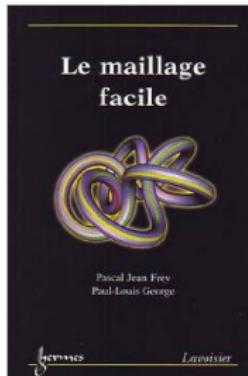
Cours 2 : Génération de maillage

Cours 3 : Adaptation de maillage

Introduction au maillage et à la simulation numérique

1. Le maillage, qu'est ce que c'est ?
2. Le maillage, à quoi ça sert ?
3. *Pipeline* du calcul scientifique
4. Exemples d'applications
 - Aéronautique : le Bang sonique
 - Aéronautique : avion en configuration de décollage
 - Turbomachine : un compresseur
 - Sécurité : explosion dans une ville
 - Découverte scientifique : étude du Soleil

Quelques references



Introduction

1. Le maillage, qu'est ce que c'est ?
2. Le maillage, à quoi ça sert ?
3. *Pipeline* du calcul scientifique
4. Exemples d'applications
 - Aéronautique : le Bang sonique
 - Aéronautique : avion en configuration de décollage
 - Turbomachine : un compresseur
 - Sécurité : explosion dans une ville

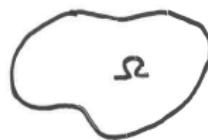
Continu ou discret

Un ensemble de variables peut être **discret** ou **continu**.

Un ensemble de variables **discret** contient un nombre fini de variables. Il est possible de les énumérer.

Un ensemble de variables **continu** peut prendre, en théorie, une infinité de valeur.

Continu



Discret



Pourquoi ?

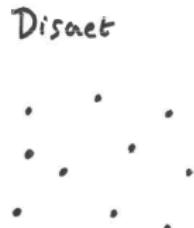
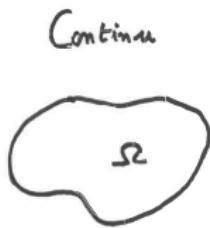


Continu ou discret

Un ensemble de variables peut être **discret** ou **continu**.

Un ensemble de variables **discret** contient un nombre fini de variables. Il est possible de les énumérer.

Un ensemble de variables **continu** peut prendre, en théorie, une infinité de valeur.



Pourquoi ?

On ne peut stocker qu'un nombre fini de données

DONC - en numérique - la donnée doit être discrète

Continu versus discret

Calcul de la température dans ce bâtiment : $\Delta T = f$



Je sais résoudre analytiquement (ça c'est des mathématiques):

- Solution analytique donc on connaît T partout

⇒ **Solution continue**

Continu versus discret

Calcul de la température dans ce bâtiment : $\Delta T = f$



Je ne sais pas résoudre analytiquement, je mets des capteurs thermiques (sondes)

- On connaît T en certains points (sondes)

⇒ Solution discrète

Comment représenter cette fonction température ?

Représentation Discrète d'une Fonction

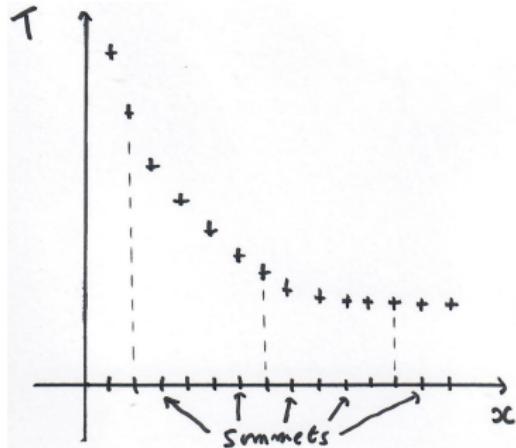
Calcul de la température sur une barre de métal: $\Delta T = f$



Représentation Discrète d'une Fonction

On connaît la valeur de la fonction $T(x)$ en certains sommets $\{x_i\}_i$

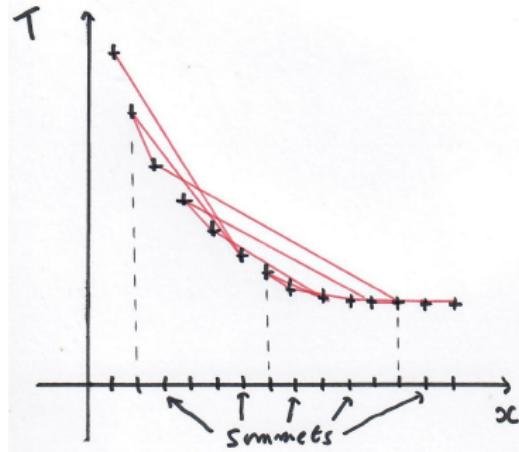
Chaque sommet représente un capteur thermique sur la barre



Représentation Discrète d'une Fonction

On connaît la valeur de la fonction $T(x)$ en certains sommets $\{x_i\}_i$

Puis-je "relier / connecter" ces sommets de manière aléatoire ?



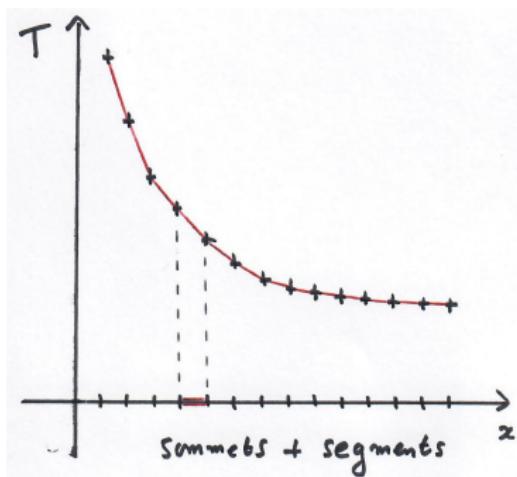
NON

Représentation Discrète d'une Fonction

On connaît la valeur de la fonction $T(x)$ en certains sommets $\{x_i\}_i$

On doit définir une **topologie** ou la **connectivité**

Ici 1D \implies connecte les sommets consécutivement



Vous venez de générer votre premier **MAILLAGE** en dimension 1 :
des sommets + des segments

Un maillage (2D), qu'est ce que c'est ?

Un maillage est un ensemble **fini** d'éléments de géométrie simple

En **deux dimensions** (c'est-à-dire dans le plan), un maillage est composé de:

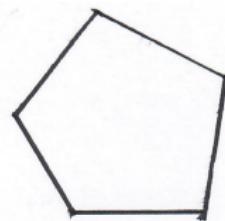
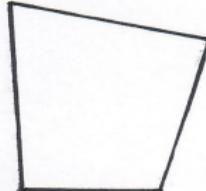
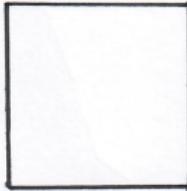
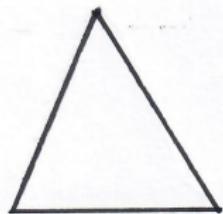
?

Un maillage (2D), qu'est ce que c'est ?

Un maillage est un ensemble **fini** d'éléments de géométrie simple

En **deux dimensions** (c'est-à-dire dans le plan), un maillage est composé de:

- Triangles
- Carrés
- Quadrilatères
- Polygones
- Segments (sur le bord / la frontière)



Un maillage (2D), qu'est ce que c'est ?

Un maillage est un ensemble **fini** d'éléments de géométrie simple

L'union de ces éléments remplit une région donnée qui est dans un [plan](#). On peut voir cela comme un pavage du plan composé d'élément de géométrie simple.

Exemples dans la nature :

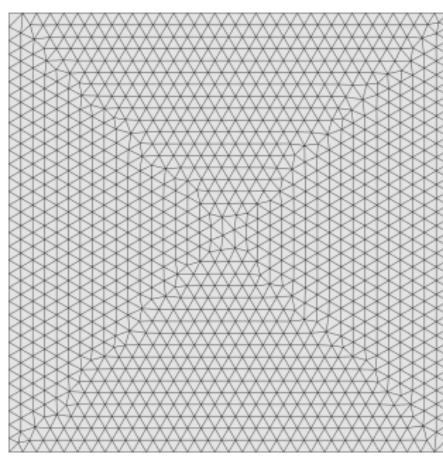
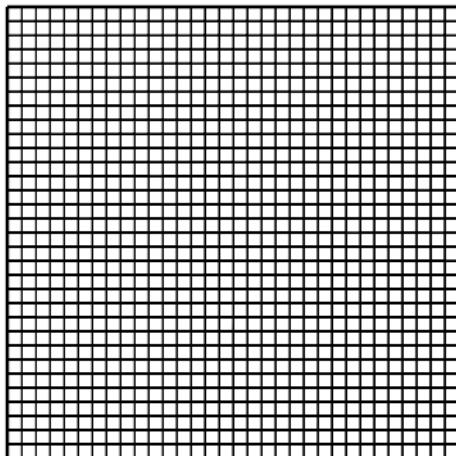


Un maillage (2D), qu'est ce que c'est ?

Un maillage est un ensemble **fini** d'éléments de géométrie simple

L'union de ces éléments remplit une région donnée qui est dans un [plan](#). On peut voir cela comme un pavage du plan composé d'élément de géométrie simple.

Exemples de maillage d'un domaine carré :

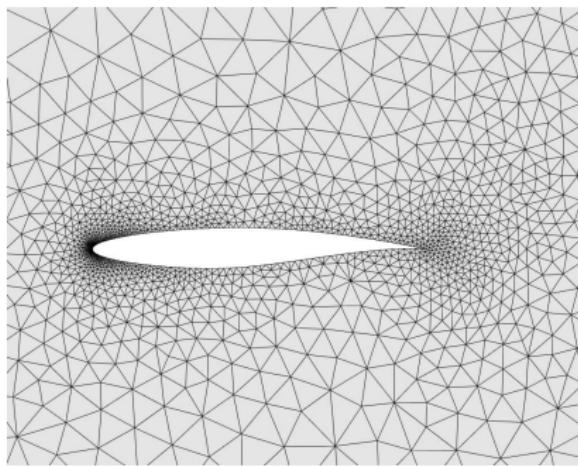
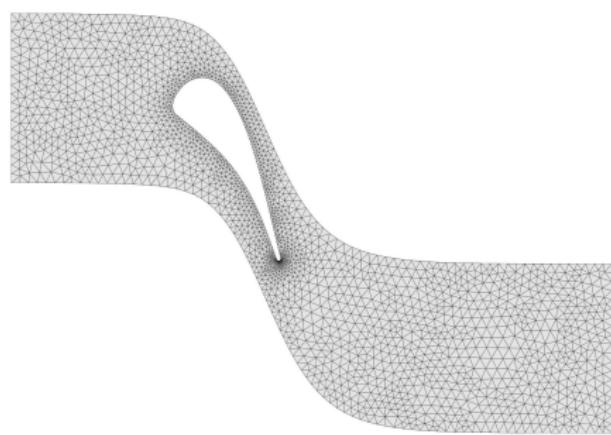


Un maillage (2D), qu'est ce que c'est ?

Un maillage est un ensemble **fini** d'éléments de géométrie simple

L'union de ces éléments remplit une région donnée qui est dans un [plan](#). On peut voir cela comme un pavage du plan composé d'élément de géométrie simple.

Exemples de maillage pour la simulation numérique :



Un maillage (3D), qu'est ce que c'est ?

Un maillage est un ensemble **fini** d'éléments de géométrie simple

En **trois dimensions** (c'est-à-dire dans l'espace), un maillage est composé de:

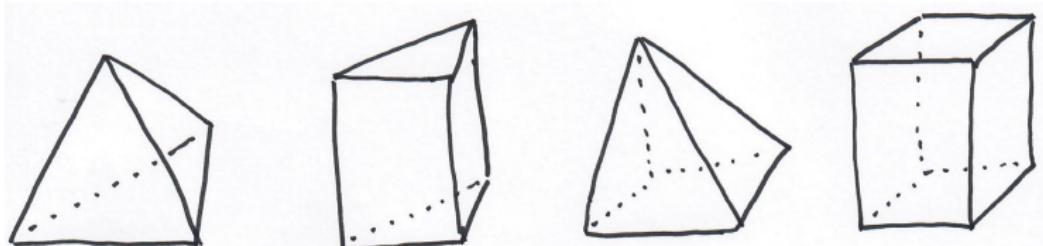
?

Un maillage (3D), qu'est ce que c'est ?

Un maillage est un ensemble **fini** d'éléments de géométrie simple

En **trois dimensions** (c'est-à-dire dans l'espace), un maillage est composé de:

- Tétraèdres
- Prismes
- Pyramides
- Hexaèdres
- Polyèdres
- Triangles (sur le bord)
- Quadrilatères (sur le bord)
- Polygones (sur le bord)

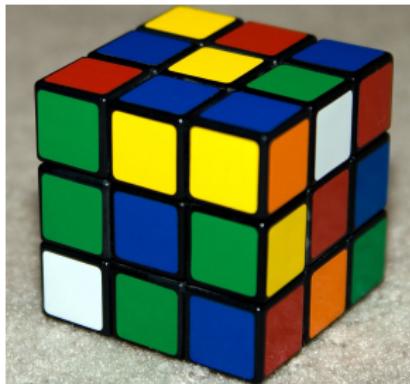


Un maillage (3D), qu'est ce que c'est ?

Un maillage est un ensemble **fini** d'éléments de géométrie simple

L'union de ces éléments remplit un **volume** qui est défini par une **surface** dans l'espace.

Exemples dans la nature :

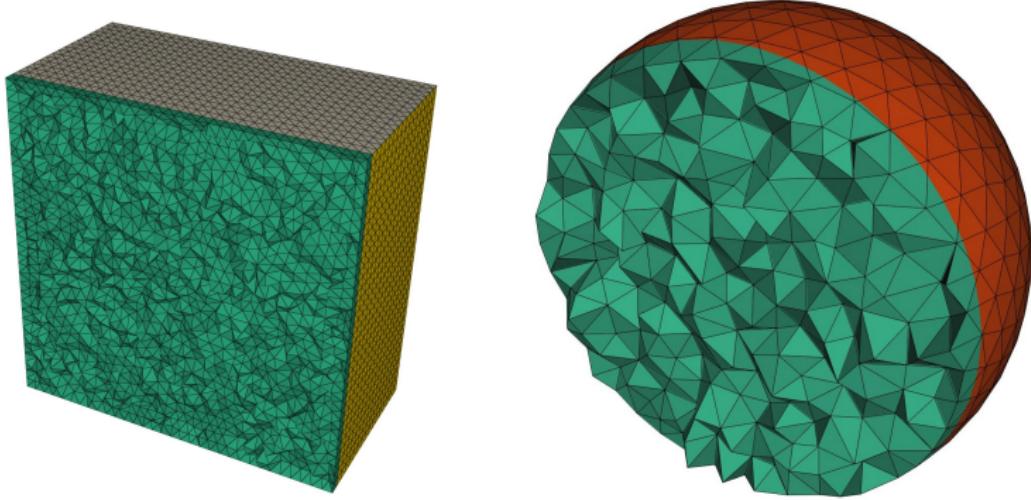


Un maillage (3D), qu'est ce que c'est ?

Un maillage est un ensemble **fini** d'éléments de géométrie simple

L'union de ces éléments remplit un **volume** qui est défini par une **surface** dans l'espace.

Exemple de maillage d'un domaine cubique et d'un domaine sphérique :

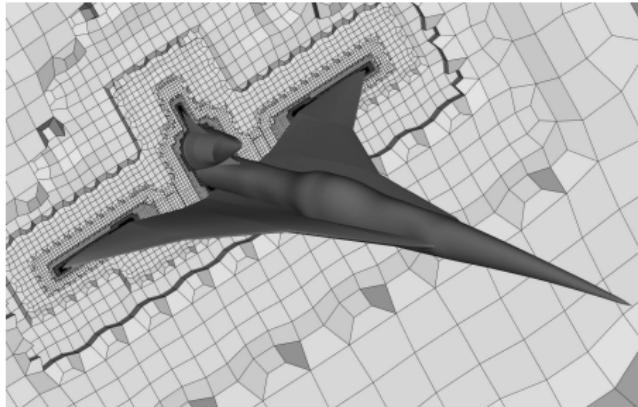
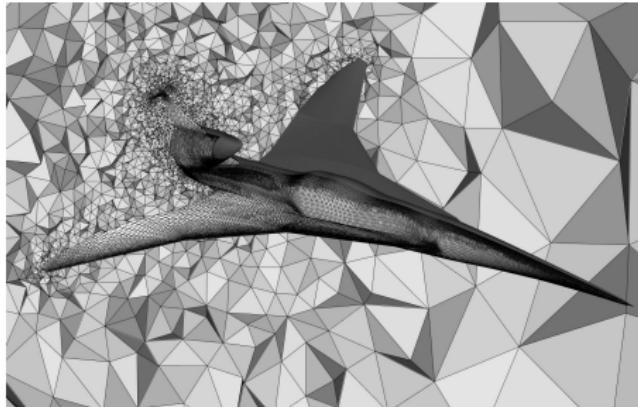


Un maillage (3D), qu'est ce que c'est ?

Un maillage est un ensemble **fini** d'éléments de géométrie simple

L'union de ces éléments remplit un **volume** qui est défini par une **surface** dans l'espace.

Exemple de maillage pour la simulation numérique :



Représentation d'un objet

Ainsi, un maillage permet de représenter un objet, avec un nombre fini d'éléments

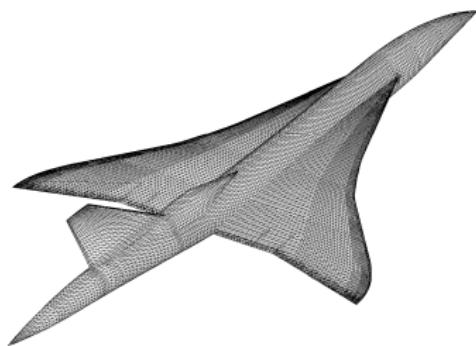
⇒ manipulable par un ordinateur



Représentation d'un objet

Ainsi, un maillage permet de représenter un objet, avec un nombre fini d'éléments

⇒ manipulable par un ordinateur



Mathématiquement, on dit qu'un **maillage** est une **discrétisation spatiale** d'un milieu continu

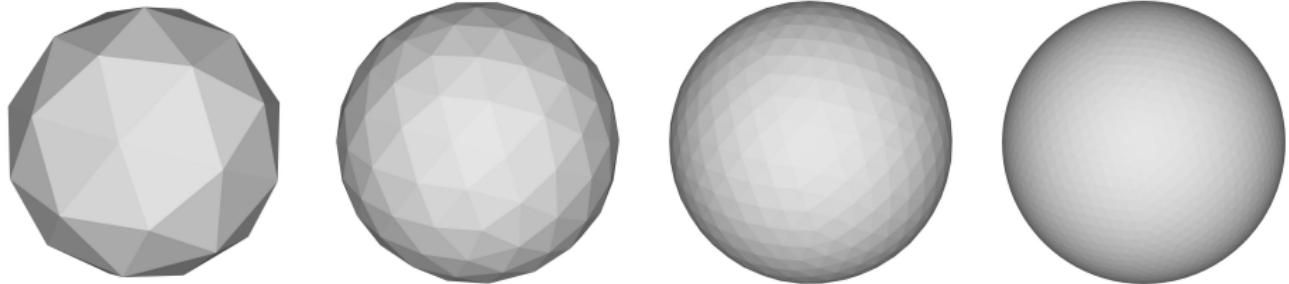
Représentation d'un objet

Plus on utilise de facettes, plus la représentation est fidèle



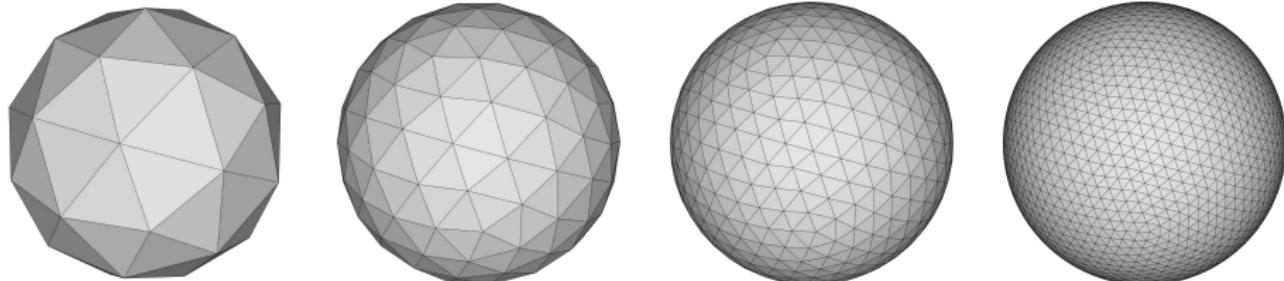
Représentation d'un objet

Plus on utilise de facettes, plus la représentation est fidèle



Représentation d'un objet

Plus on utilise de facettes, plus la représentation est fidèle



Mais il s'agit aussi d'en **limiter** le nombre pour ne pas aboutir à une représentation trop lourde

On reparlera de ce point un peu plus loin dans la cours

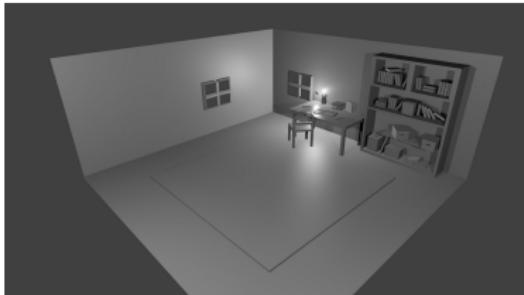
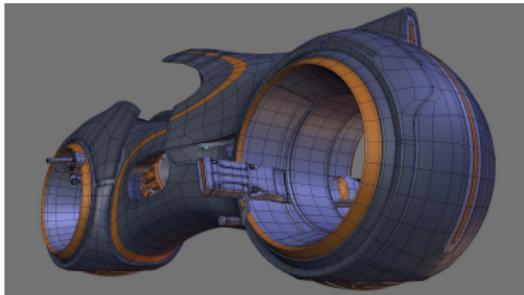
L'objectif de ce cours est de vous initier au maillage et de vous faire découvrir les algorithmes permettant de générer ces découpages de manière automatique

Introduction

1. Le maillage, qu'est ce que c'est ?
2. **Le maillage, à quoi ça sert ?**
3. *Pipeline* du calcul scientifique
4. Exemples d'applications
 - Aéronautique : le Bang sonique
 - Aéronautique : avion en configuration de décollage
 - Turbomachine : un compresseur
 - Sécurité : explosion dans une ville

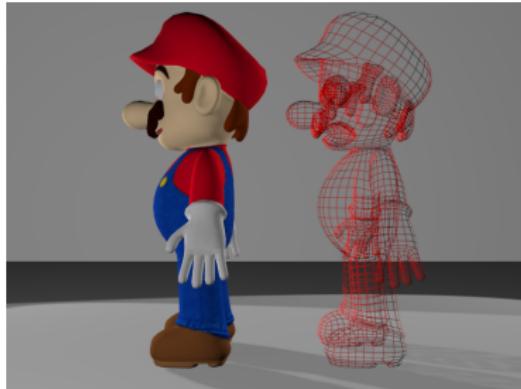
Le maillage, à quoi ça sert ?

Graphique : images de synthèse, rendu de scène, ...



Le maillage, à quoi ça sert ?

Les jeux vidéos

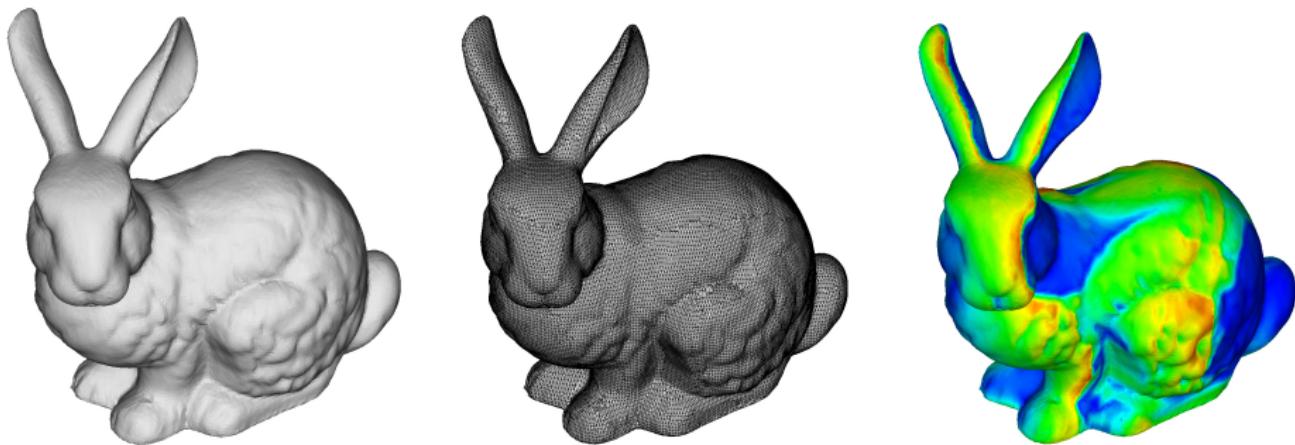


Le maillage, à quoi ça sert ?

La simulation numérique : **simuler** grâce à un **ordinateur** des tests grandeur nature

Pour cela, nous devons représenter l'objet étudié à l'aide d'un **maillage**

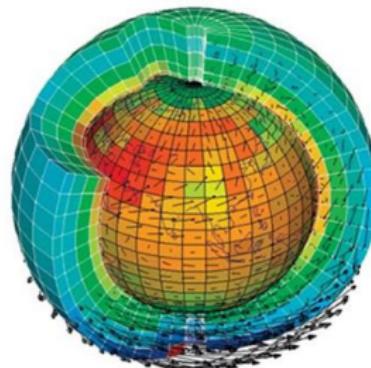
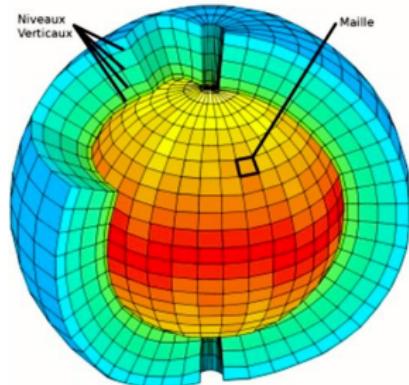
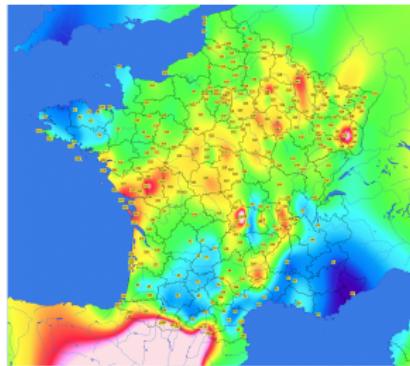
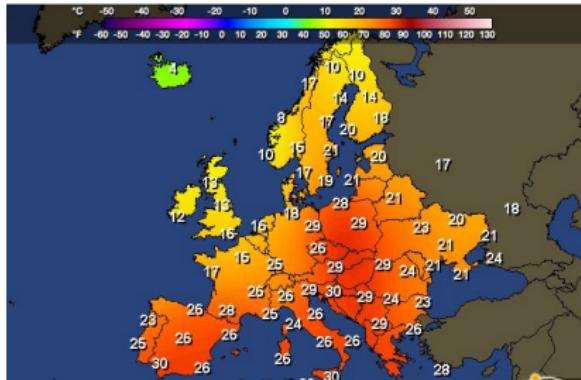
Les méthodes de calcul (Différence Finis - Eléments Finis - Volumes Finis - ...) sur ordinateur utilisent le découpage du domaine



Après cet exemple typique de calcul en mécanique des fluides, je vais vous montrer un exemple de simulation numérique que tout le monde voit tous les jours

Le maillage, à quoi ça sert ?

La prédition météo



Introduction

1. Le maillage, qu'est ce que c'est ?
2. Le maillage, à quoi ça sert ?
3. *Pipeline du calcul scientifique*
4. Exemples d'applications
 - Aéronautique : le Bang sonique
 - Aéronautique : avion en configuration de décollage
 - Turbomachine : un compresseur
 - Sécurité : explosion dans une ville

Calcul scientifique

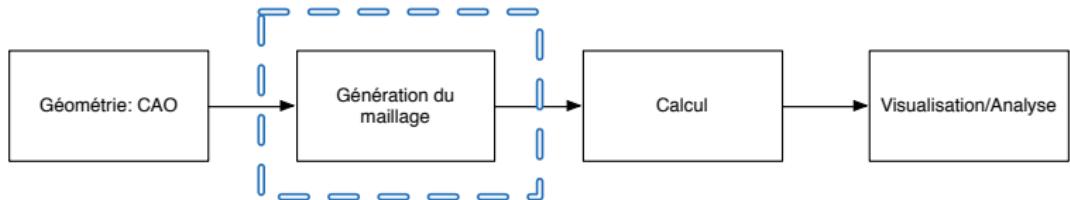
- Simulation numérique (sur ordinateur) des phénomènes de la physique, chimie, biologie, et sciences appliquées en général

Pourquoi ?

- Évaluer en avance la qualité/ le design d'un produit : portance, traînée, vibration, bruit, ...
- Réduire le coût des expérimentations : soufflerie, model réduit, ...
- Expérimentations impossibles : bio-médical, nucléaire, ...
- Tester beaucoup plus de designs
- Puissance de calcul : 1000 éléments finis en 1983, 10^9 en 2010, ...



Processus de calcul

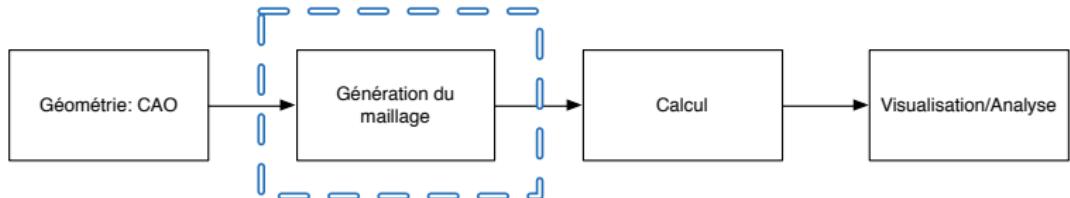


Exemple

- Supersonic car (BLOODHOUND SSC): un concept

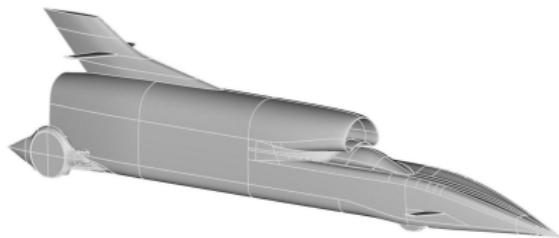


Processus de calcul

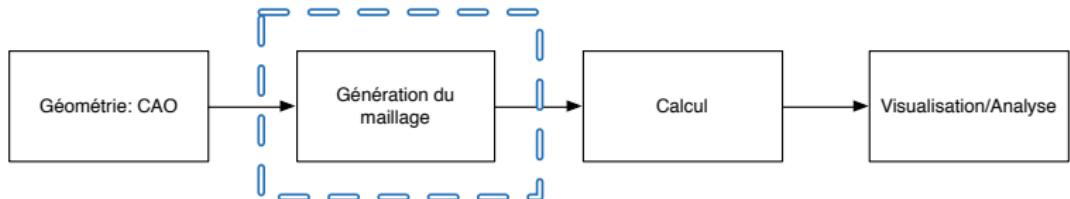


Exemple

- Supersonic car : (une) CAO

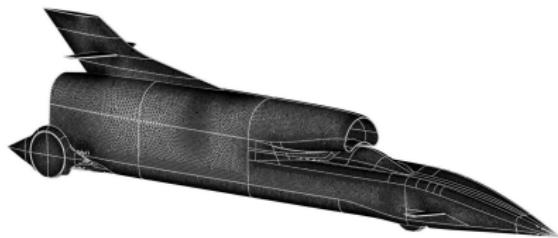


Processus de calcul

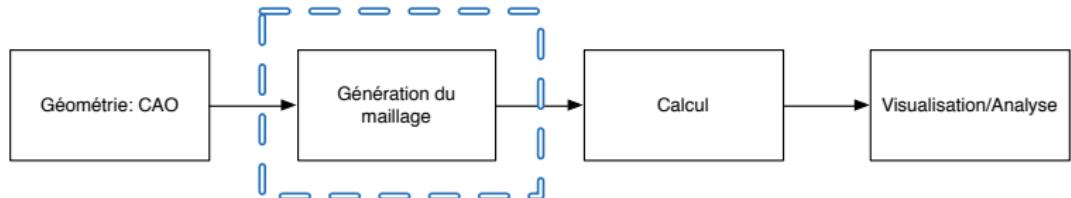


Exemple

- Supersonic car : (un) maillage de surface

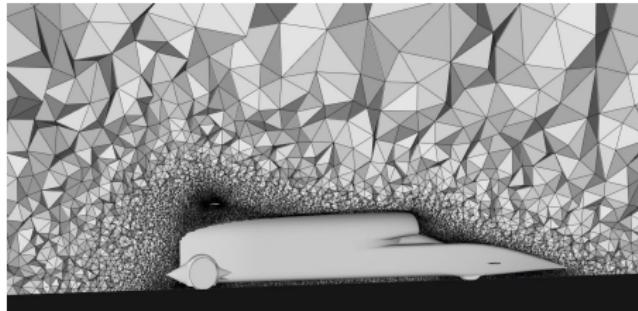


Processus de calcul

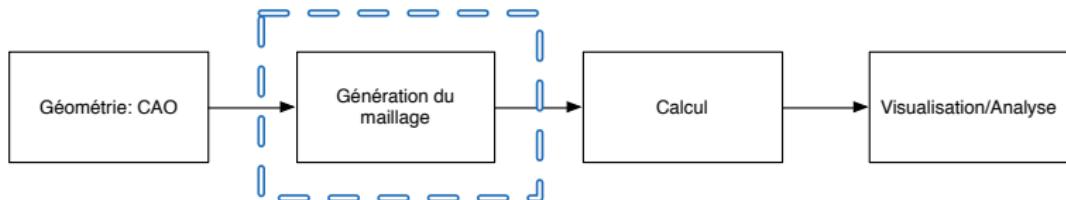


Exemple

- Supersonic car : (un) maillage de volume

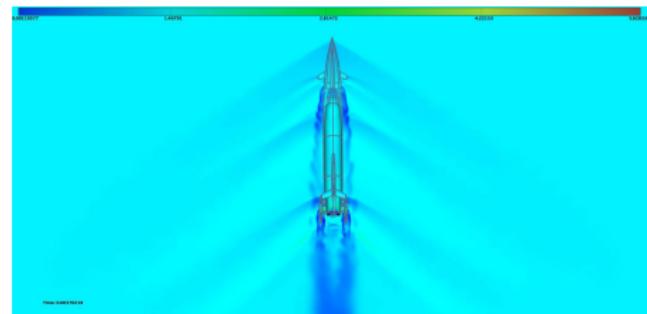
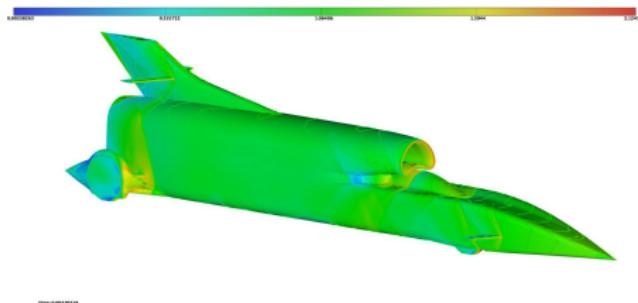


Processus de calcul



Exemple

- Supersonic car : (une) solution numérique



Introduction

1. Le maillage, qu'est ce que c'est ?
2. Le maillage, à quoi ça sert ?
3. *Pipeline* du calcul scientifique
4. Exemples d'applications
 - Aéronautique : le Bang sonique
 - Aéronautique : avion en configuration de décollage
 - Turbomachine : un compresseur
 - Sécurité : explosion dans une ville
 - Découverte scientifique : étude du Soleil