



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

De la CAO à la simulation numérique : problématique du maillage hexaédrique

12 mars 2020

Franck Ledoux

avec la participation de :

Flavien Boussuge,

Eric Brière de l'Isle,

Simon Caldéran (thèse),

Cédric Chevalier,

Nicolas Le Goff,

Sébastien Morais,

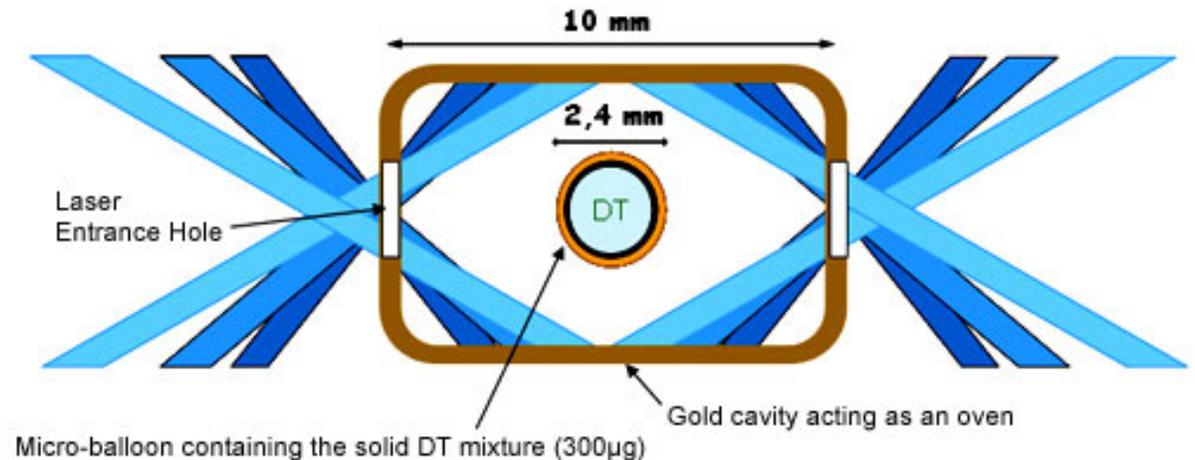
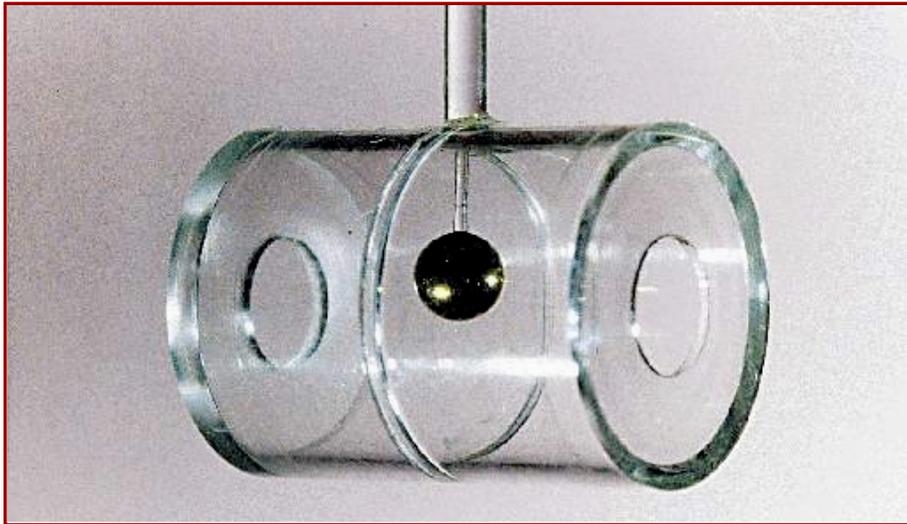
Charles Pignerol,

François Protais (thèse),

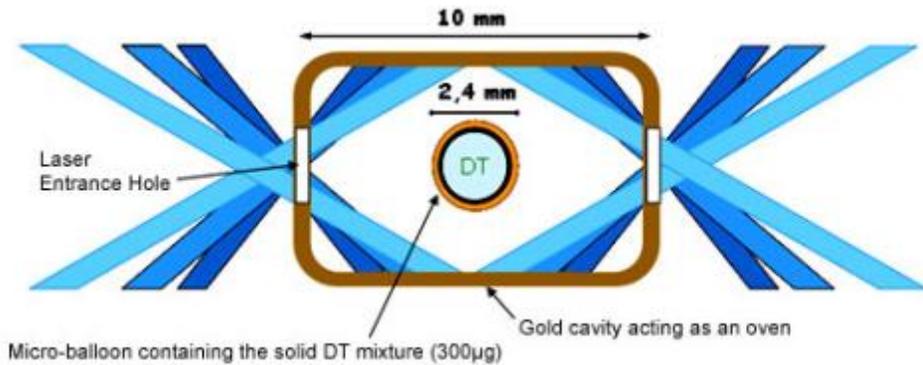
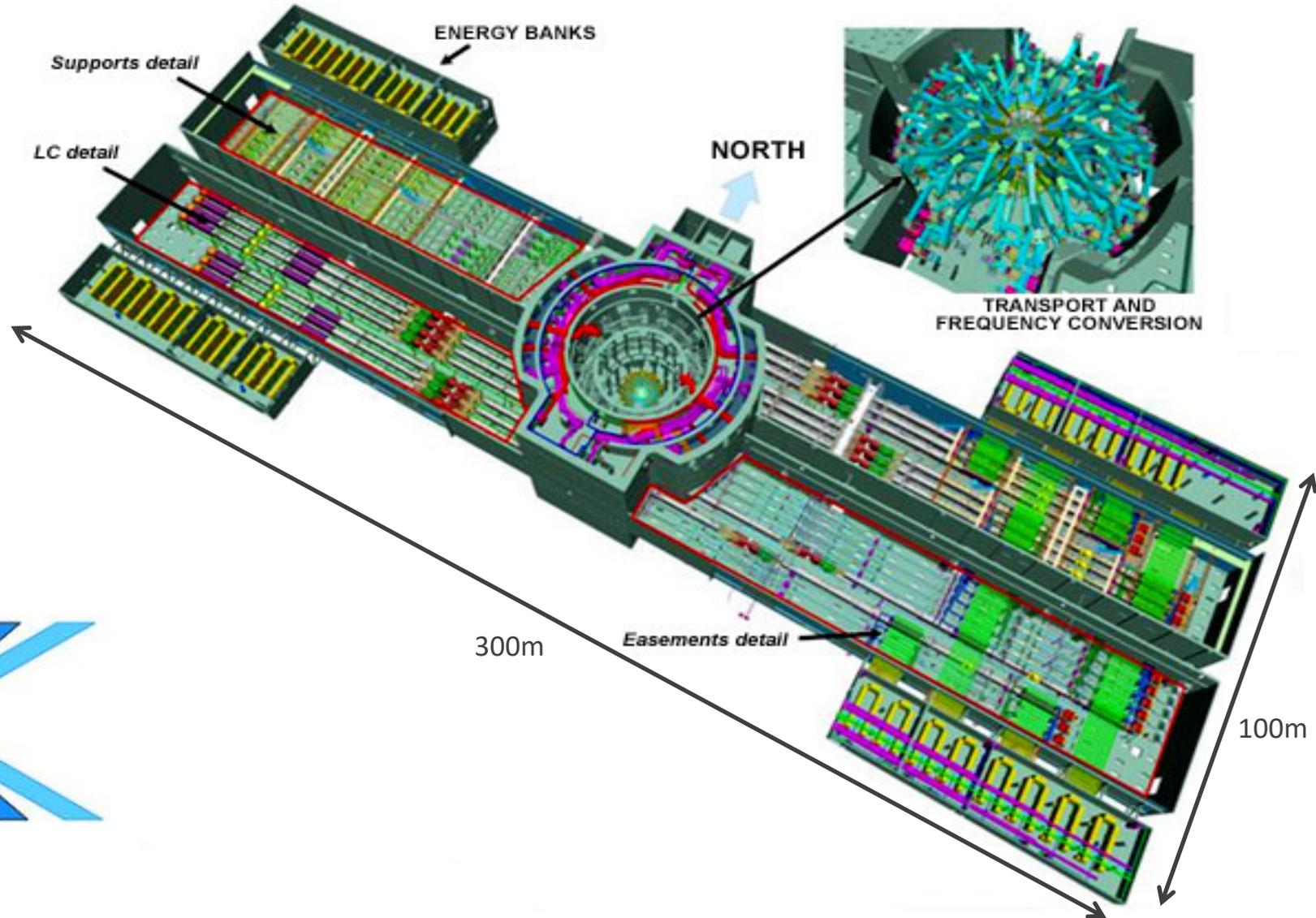
Ana-Maria Vintescu (post-doc)

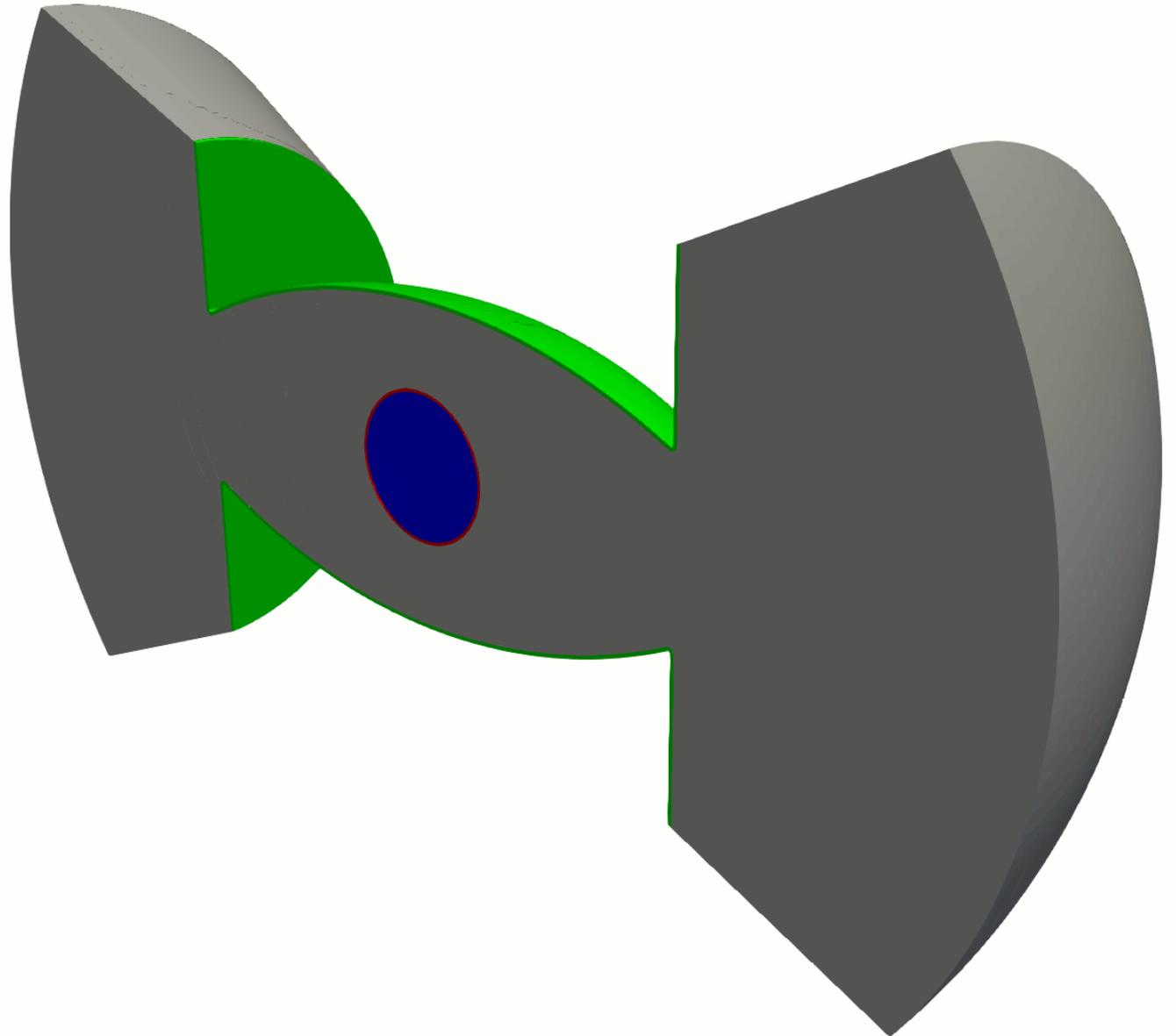
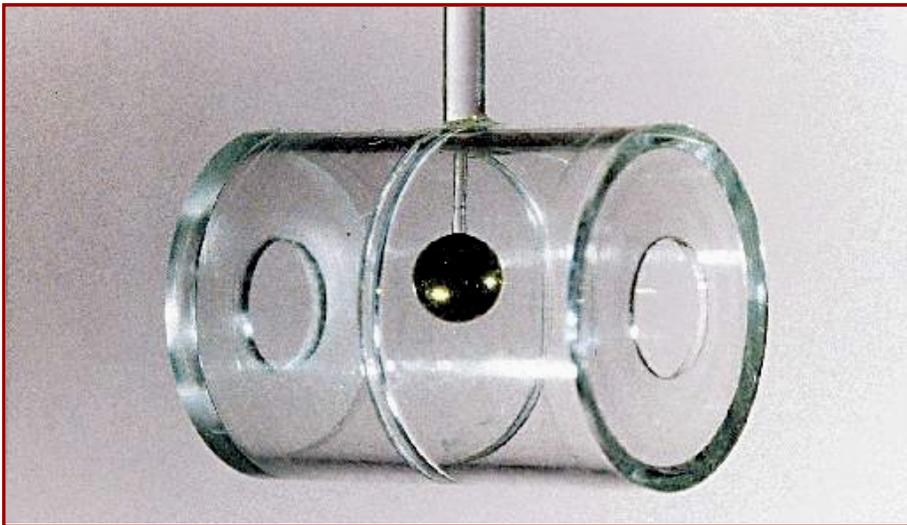
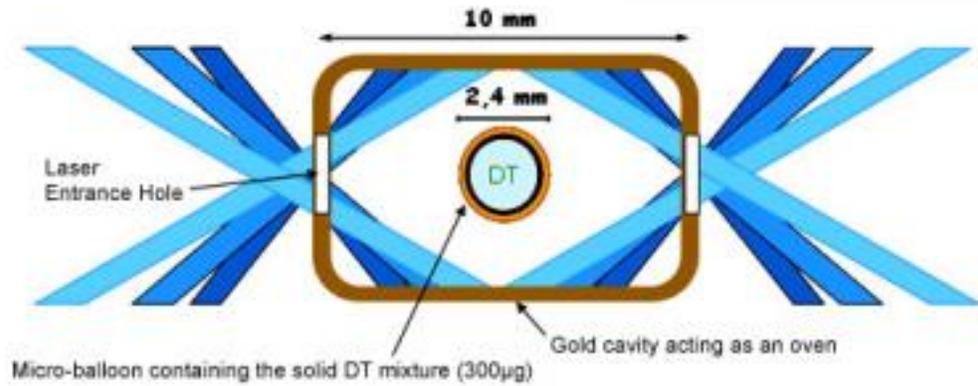
Objectif : Atteindre la fusion par confinement inertiel par le biais d'une attaque indirecte avec allumage d'une cible central

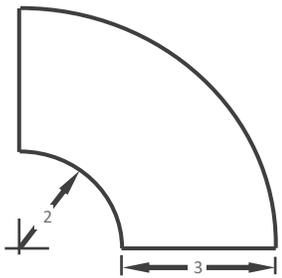
- Le principe est de produire des réactions de fusion au sein d'un "mélange" Deuterium-Tritium contenu dans une microcapsule à l'aide de lasers de puissance
- On obtient ainsi un plasma très dense mais sur une très courte période de temps.



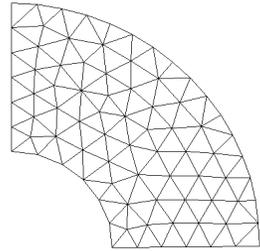
Objectif : Atteindre la fusion par confinement inertiel par le biais d'un attaque indirect avec allumage d'une cible central



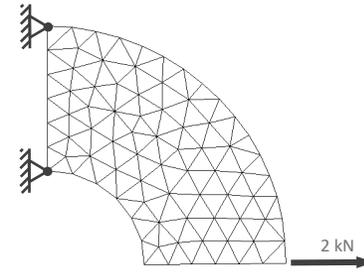




Definition du modèle



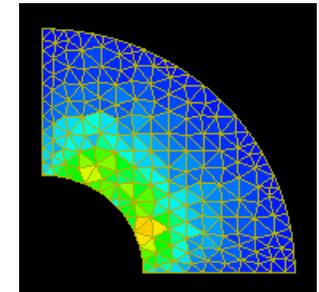
Maillage



Ajout d'informations physiques
(conditions au bord, conditions
limites, densité, pression,
matériau, etc.)

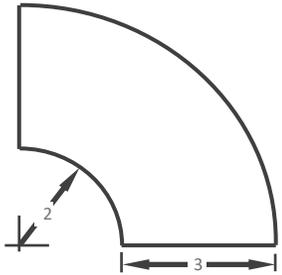


Exécution de la simulation
numérique
(peut durer plusieurs heures, jours
voire semaines)



Visualisation et analyse

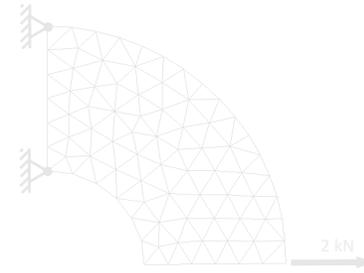
Processus itératif répété de nombreuses
fois par un ingénieur/physicien



Definition du modèle

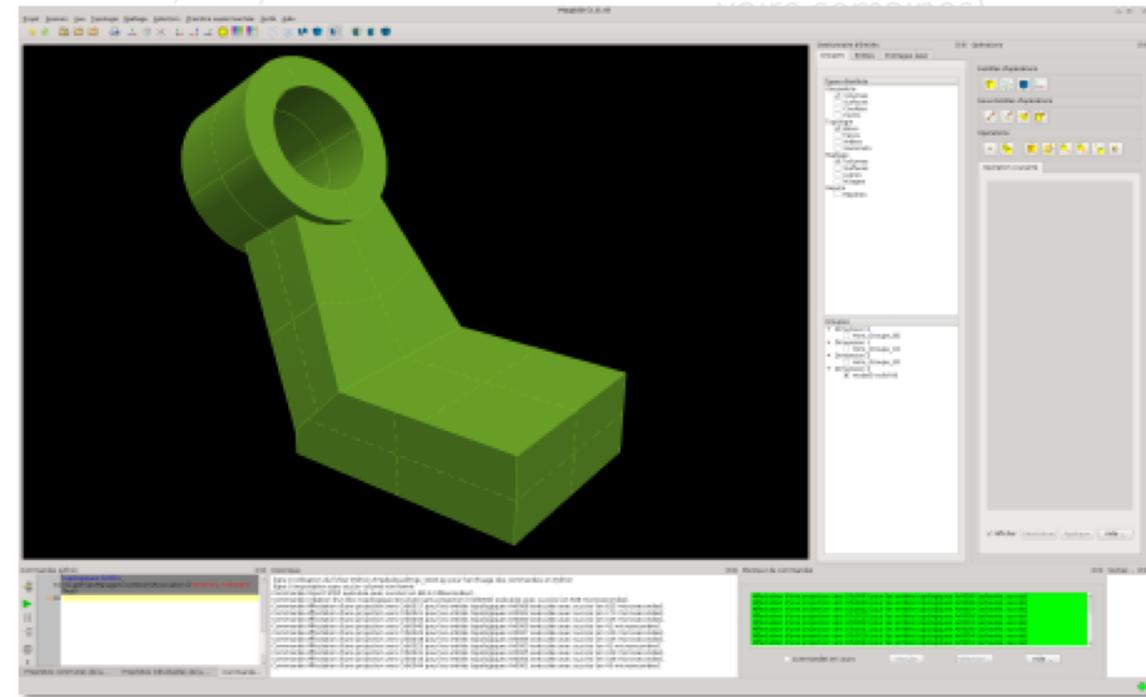
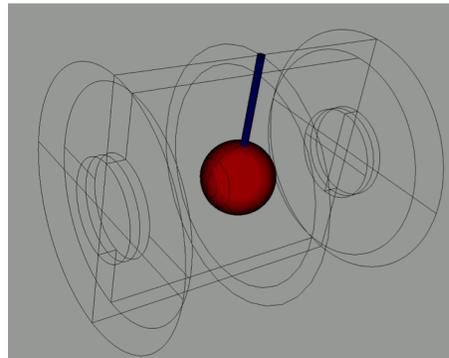
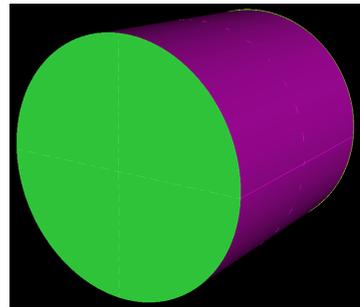


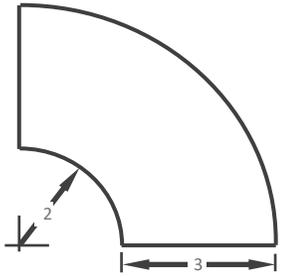
Maillage

Ajout d'informations physiques
(conditions au bord, conditions limites, densité, pression, matériau, etc.)Exécution de la simulation numérique
(peut durer plusieurs heures, jours voire semaines)

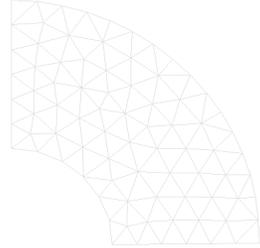
Computer-Aided Engineering (CAE)

- ▶ Primitives de base,
- ▶ Opérations booléennes, assemblages
- ▶ Sketch 2D et rotations, extrusions
- ▶ Scripting Python, IHM, client-serveur,...

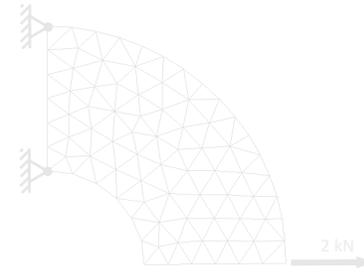




Definition du modèle



Maillage



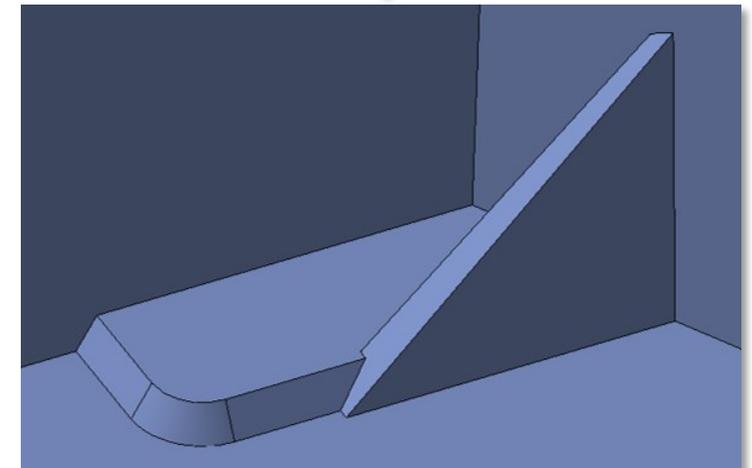
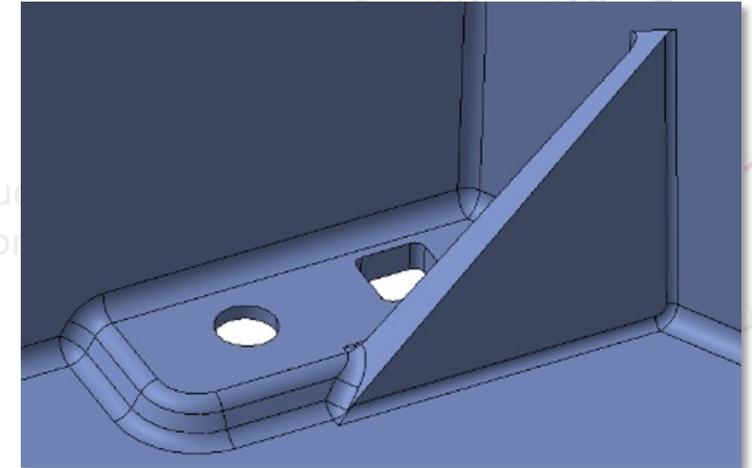
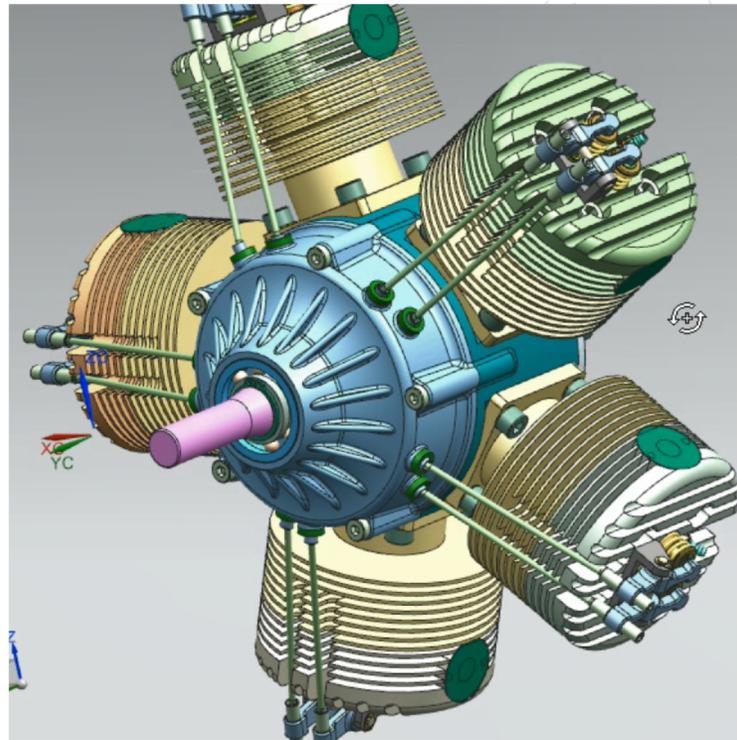
Ajout d'informations physiques
(conditions au bord, conditions
limites, densité, pression, ...)

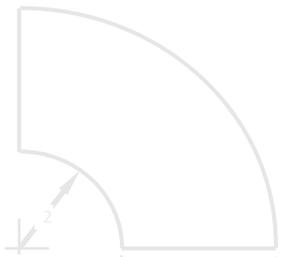
Computer-Aided Engineering (CAE)

- ▶ Primitives de base
- ▶ Opérations booléennes, assemblages
- ▶ Sketch 2D et rotations, extrusions
- ▶ Scripting Python, IHM, client-serveur, ...

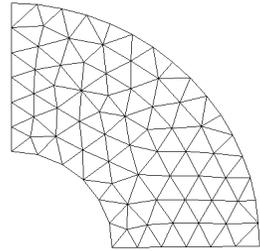
Computer-Aided Design (CAD)

- ▶ CAD → CAE: Simplification

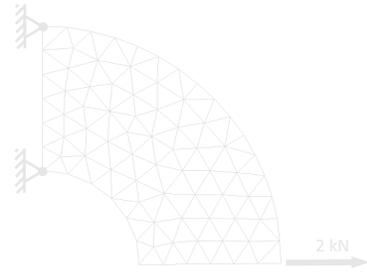




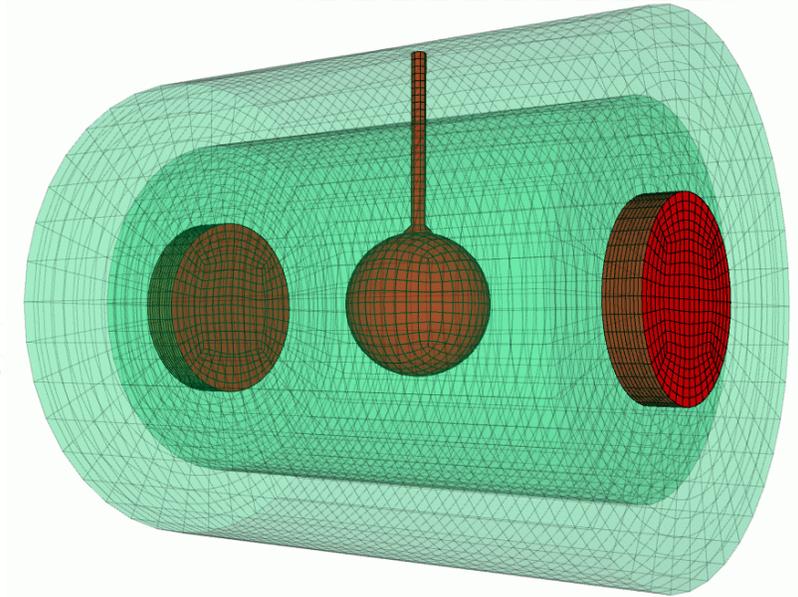
Definition du modèle



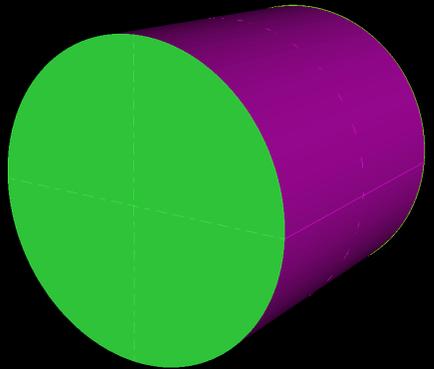
Maillage



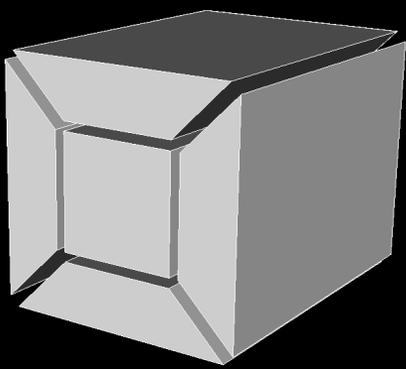
Adding physical information
(boundary conditions, density,
materials, etc.)
condition, matériau, etc.)



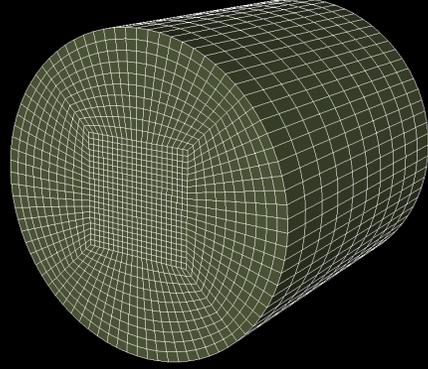
Pour nous, maillage = maillage hexaédrique structuré par blocs



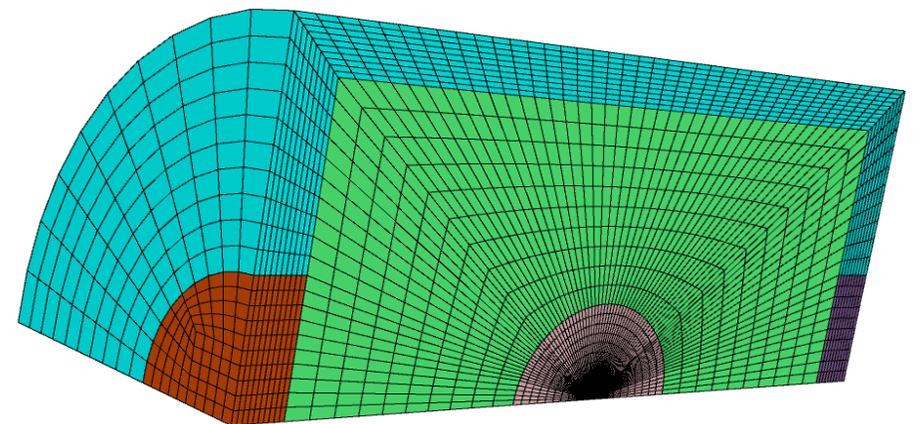
GEOMETRIE

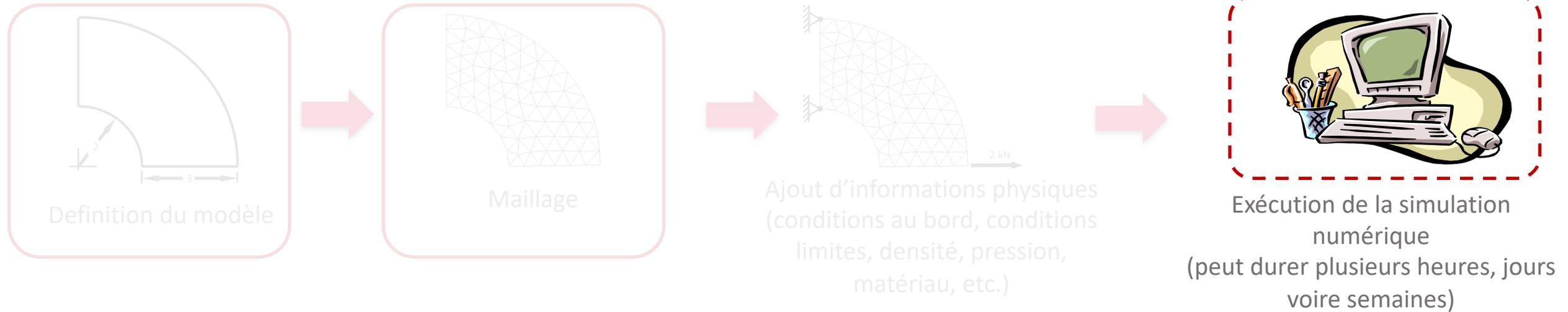


TOPOLOGIE



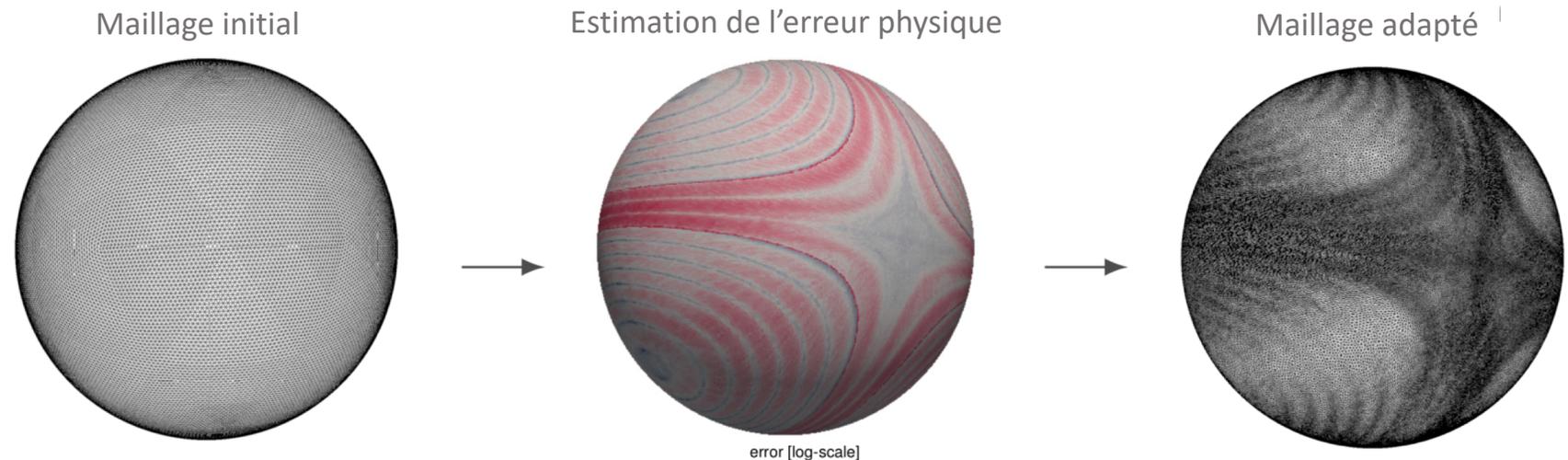
MAILLAGE

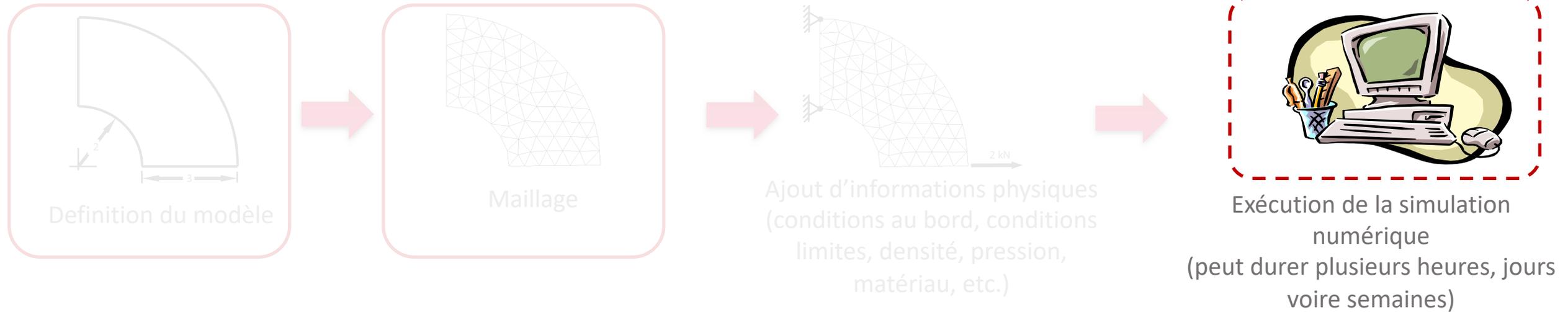




Maillage parallèle (par blocs facile)

- Adaptation de maillages contrôlée par la physique (simplicial) – Thèse H. Rakotoarivelo dirigée par F. Pommereau (IBISC) -2014 à 2018



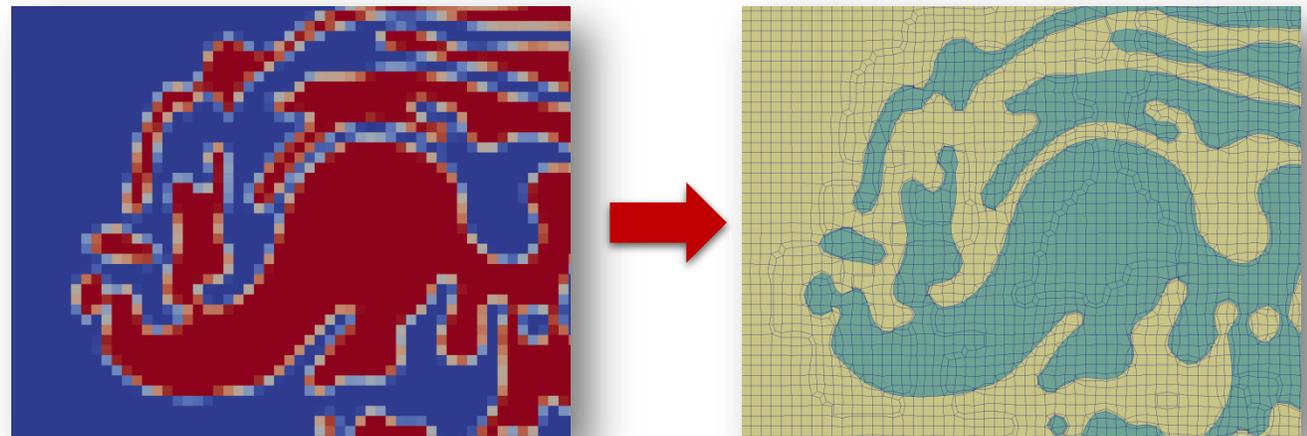


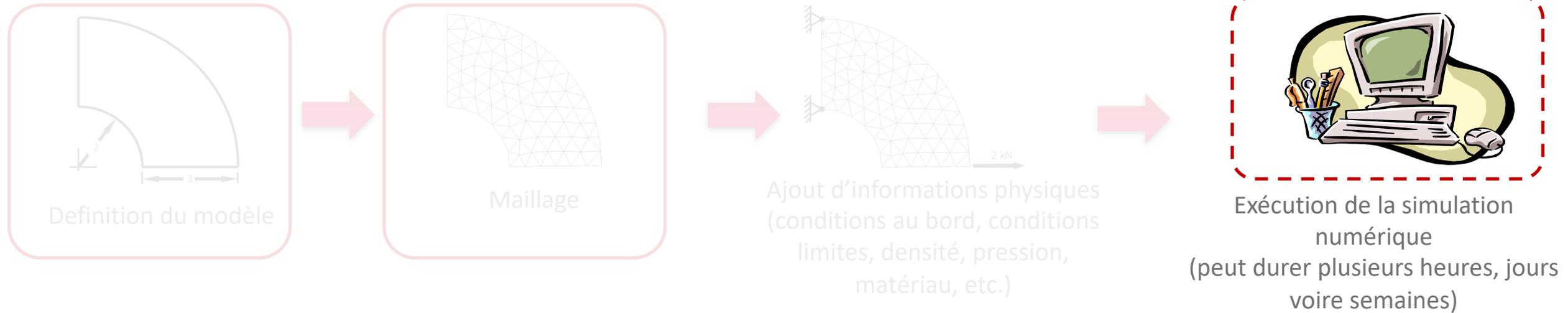
Maillage parallèle (par blocs facile)

- Adaptation de maillages contrôlée par la physique (simplicial) – Thèse H. Rakotoarivelo dirigée par F. Pommereau (IBISC) -2014 à 2018

Inter-codes – Thèse N. Le Goff dirigée par J.-Ch. Janodet (IBISC) -2017 à 2020

- Parallélisme concurrent puis distribué
- Reconstruction de maillages





Maillage parallèle (par blocs facile)

- ▶ Adaptation de maillages contrôlée par la physique (simplicial) – Thèse H. Rakotoarivelo dirigée par F. Pommereau (IBISC) -2014 à 2018

Inter-codes – Thèse N. Le Goff dirigée par J.-Ch. Janodet (IBISC) -2017 à 2020

- ▶ Parallélisme concurrent puis distribué
- ▶ Reconstruction de maillages

Partitionnement de maillage

- ▶ Sous contraintes mémoire – Thèse S. Morais dirigée par E. Angel (IBISC) et encadrée par D. Regnault-2013 à 2016
- ▶ Multicritères

► Maillage

- Problématique du maillage hexaédrique
- Comment mailler?
 - En pratique avec nos outils
 - Quelles approches R&D possibles?
- Utilisation des champs d'orientations
 - Maillage hexa-dominant
 - Tracé robuste de séparatrices 2D
 - Approche interactive
- Vers de polycubes robustes

► Inter-codes

- Reconstruction d'interfaces

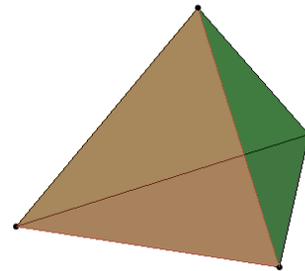
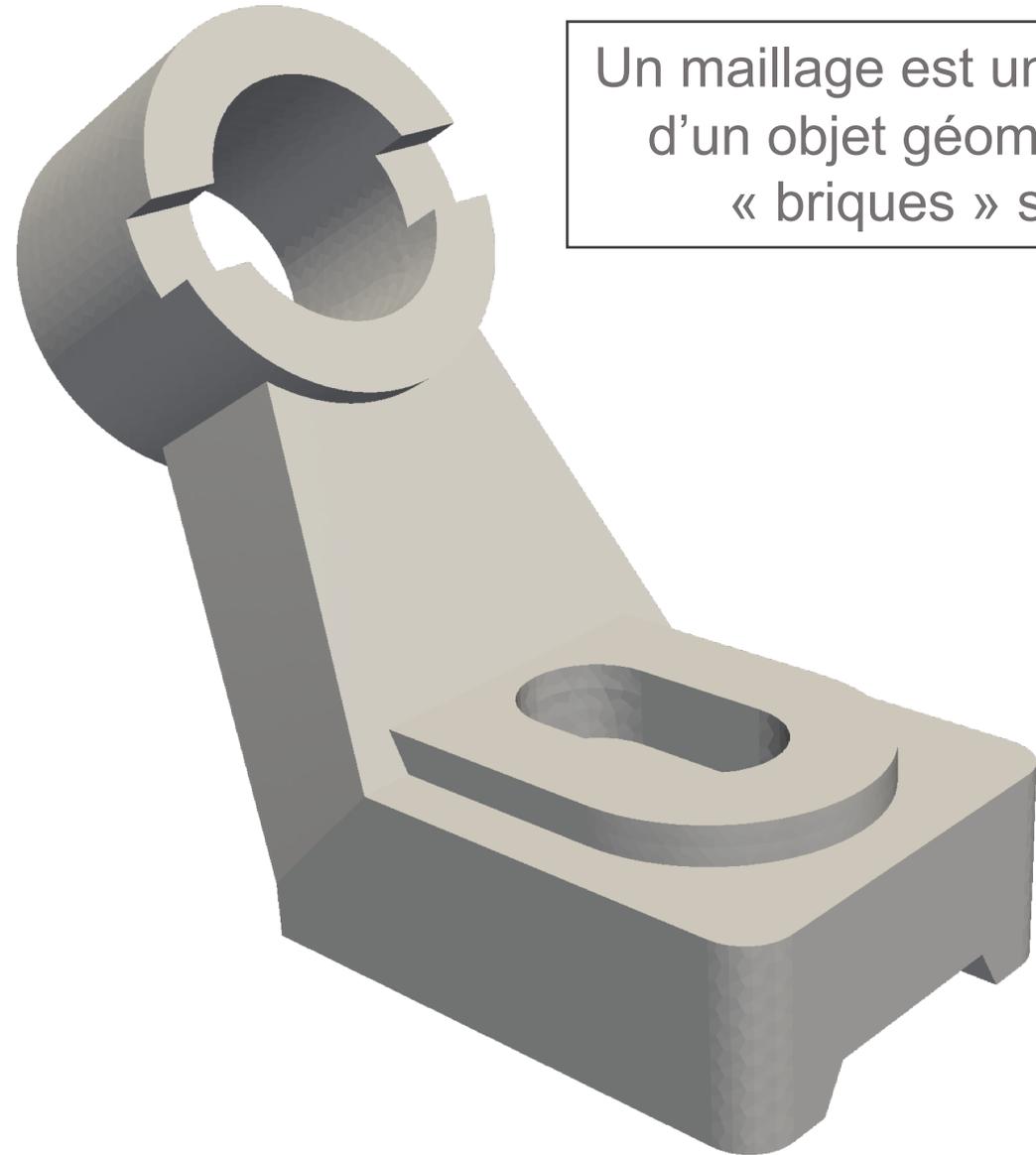
► Modélisation géométrique

- De la CAO à la CAE
- De la géométrie au maillage

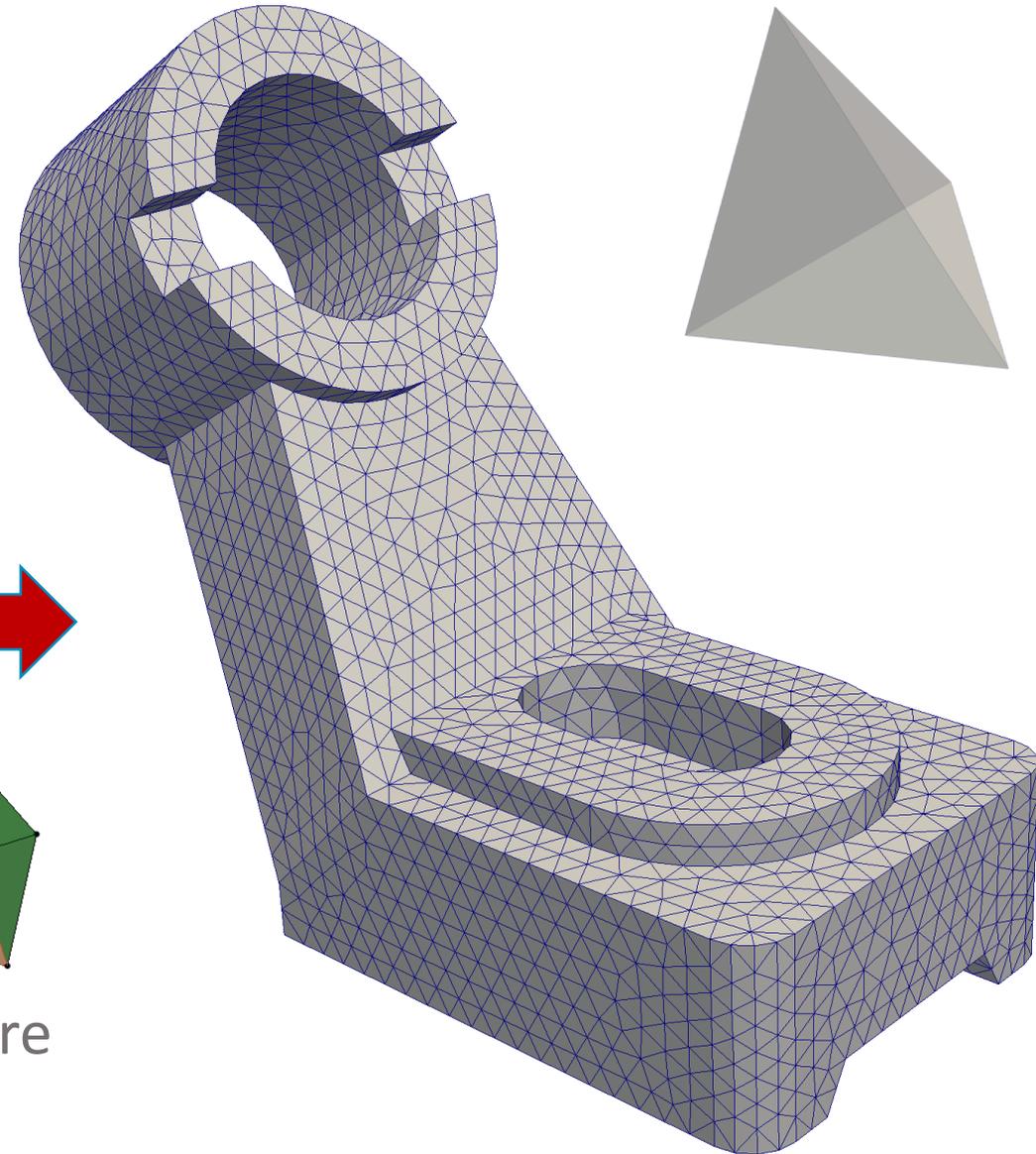
Maillage

- ▶ **Problématique du maillage hexaédrique**
- ▶ Comment mailler?
- ▶ Utilisation des champs d'orientations
- ▶ Vers des polycubes robustes

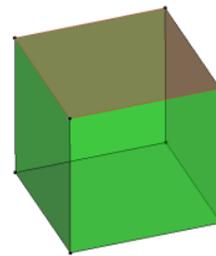
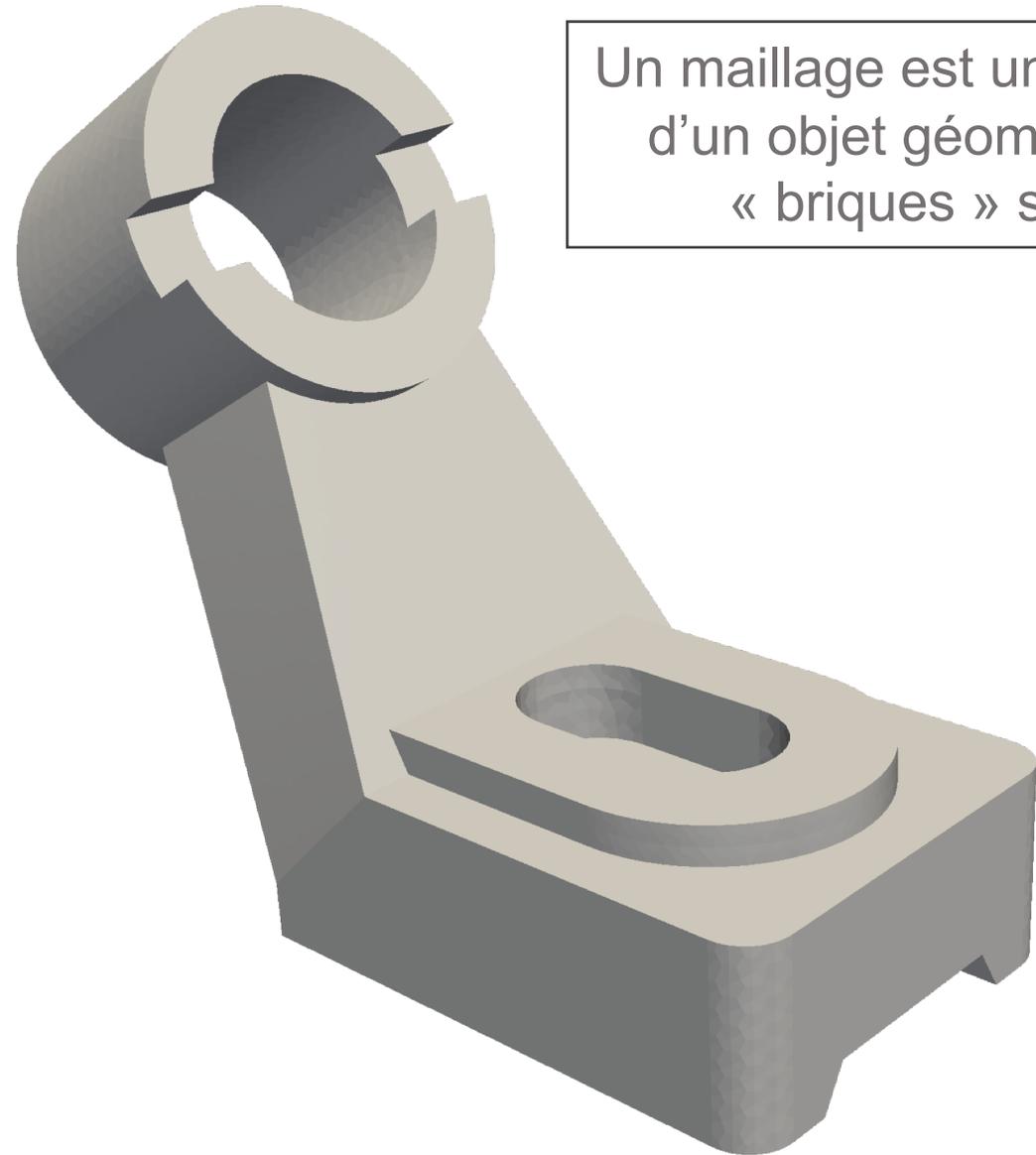
Un maillage est un découpage
d'un objet géométrique en
« briques » simples



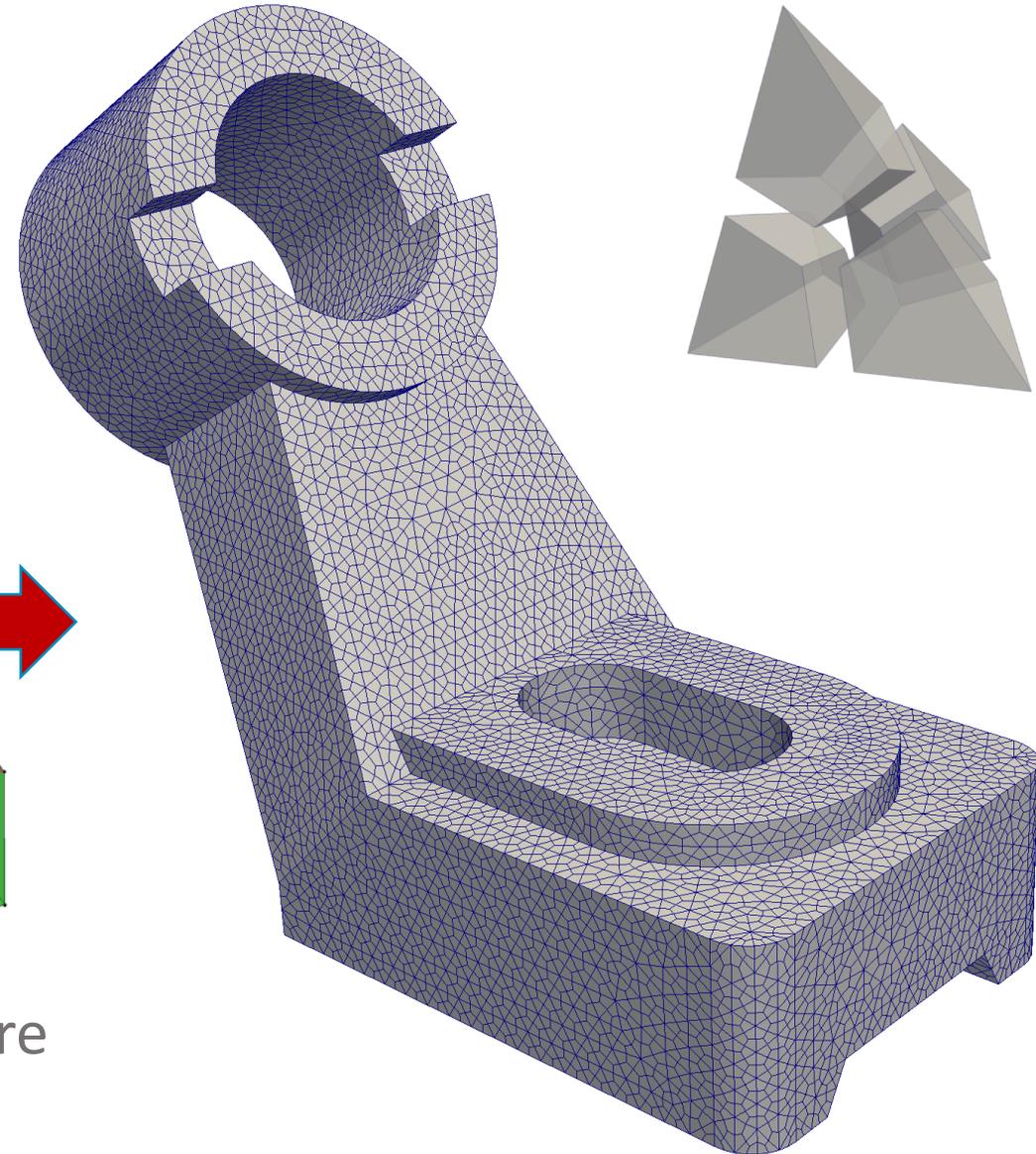
tétraèdre



Un maillage est un découpage d'un objet géométrique en « briques » simples

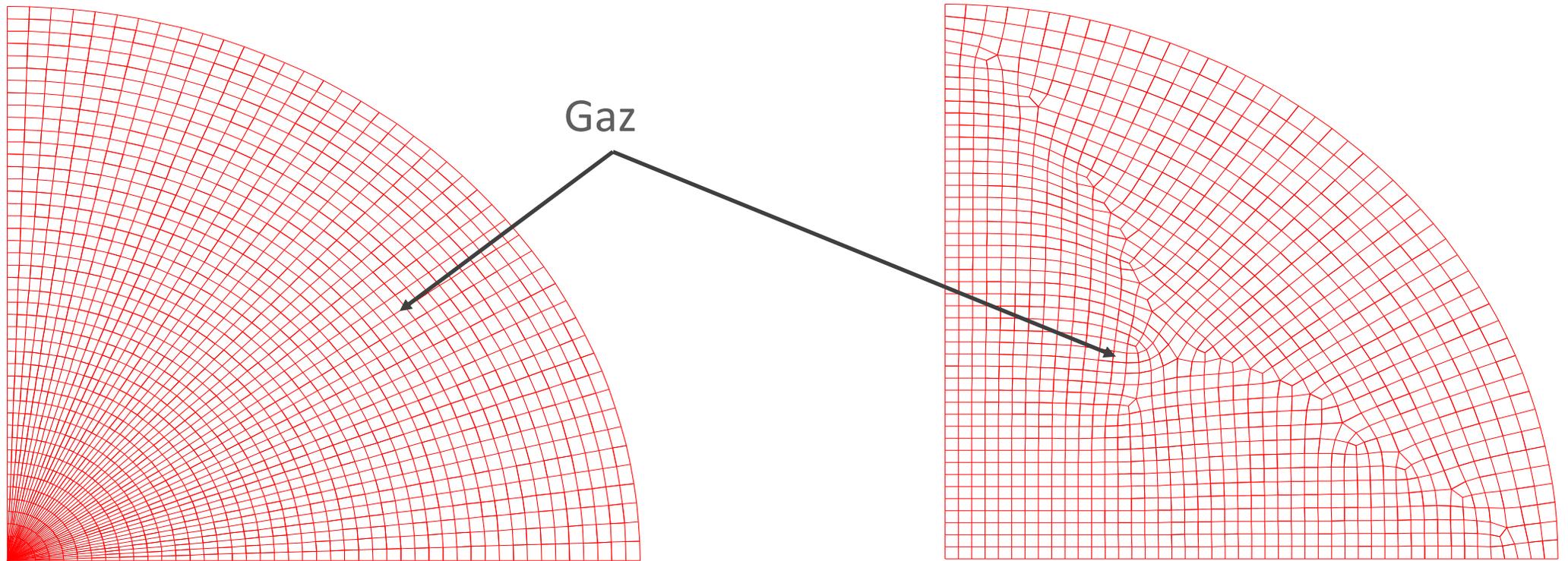


hexaèdre



Propagation d'une onde de choc sphérique depuis une source d'énergie ponctuelle (centre du disque)

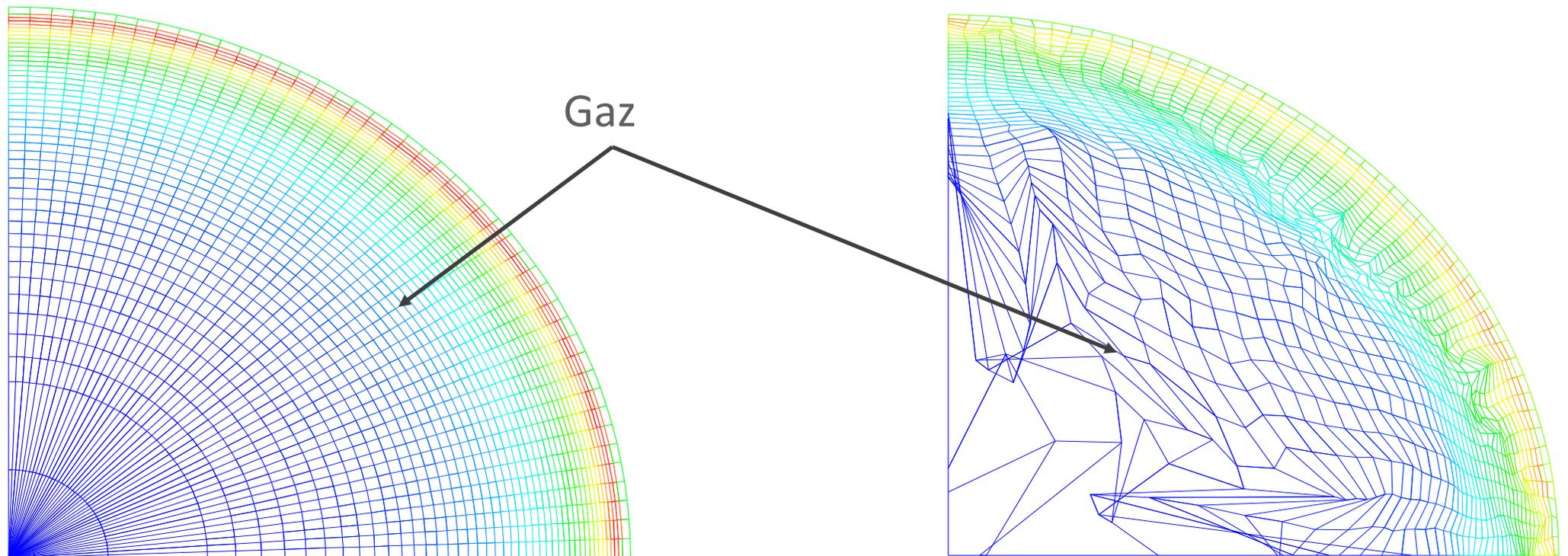
Deux maillages quadrangulaires du même domaine



Propagation d'une onde de choc sphérique depuis une source d'énergie ponctuelle (centre du disque)

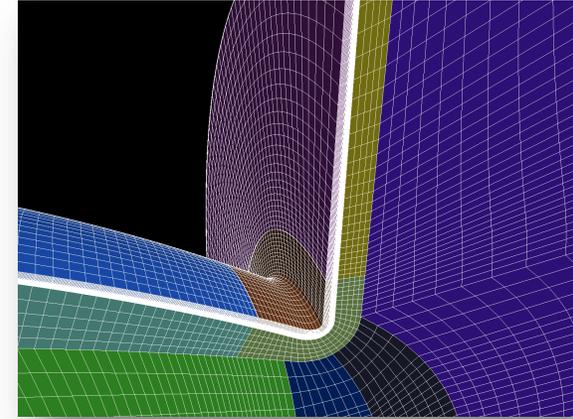
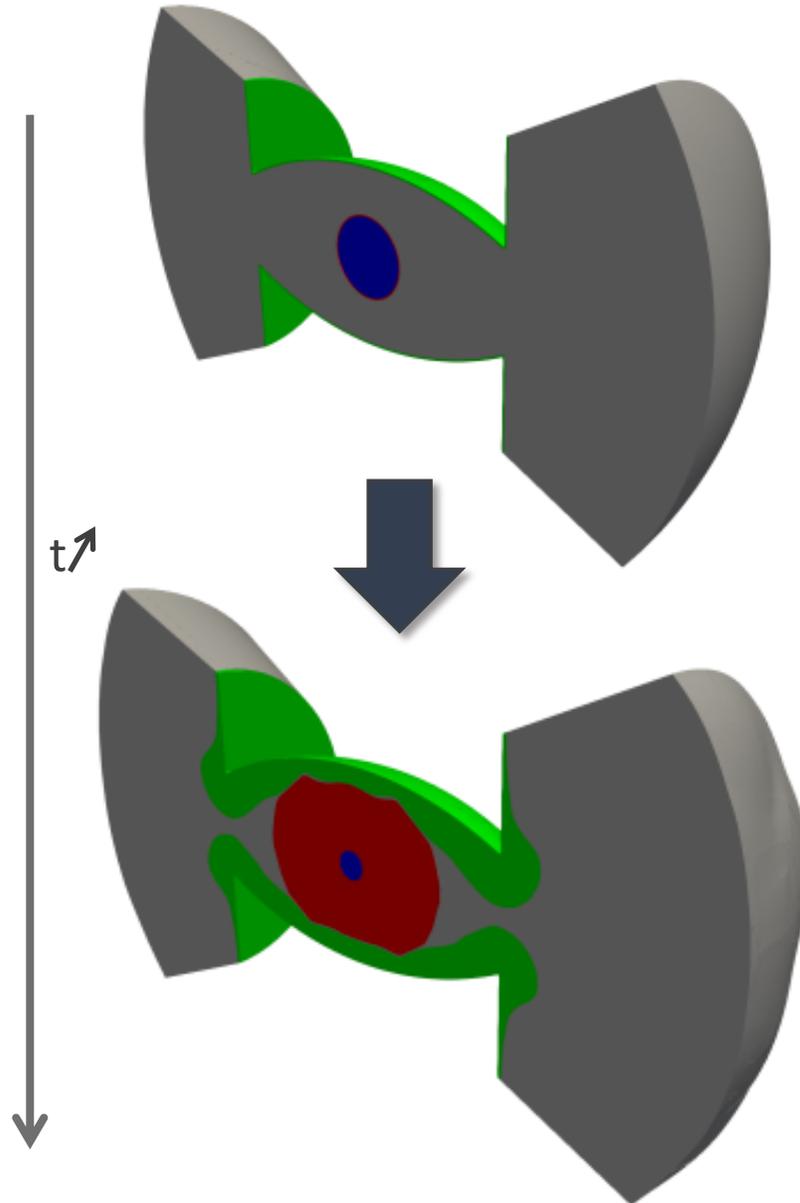
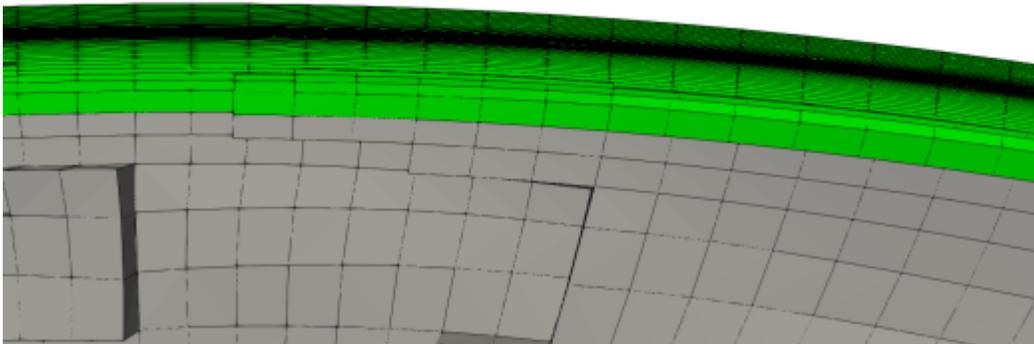
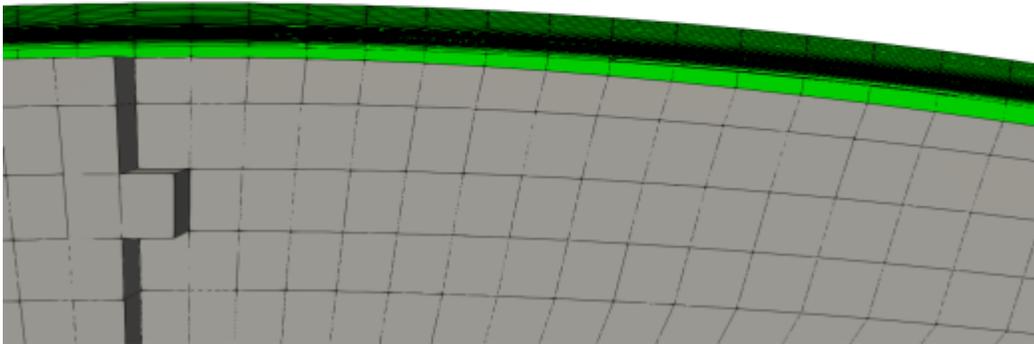
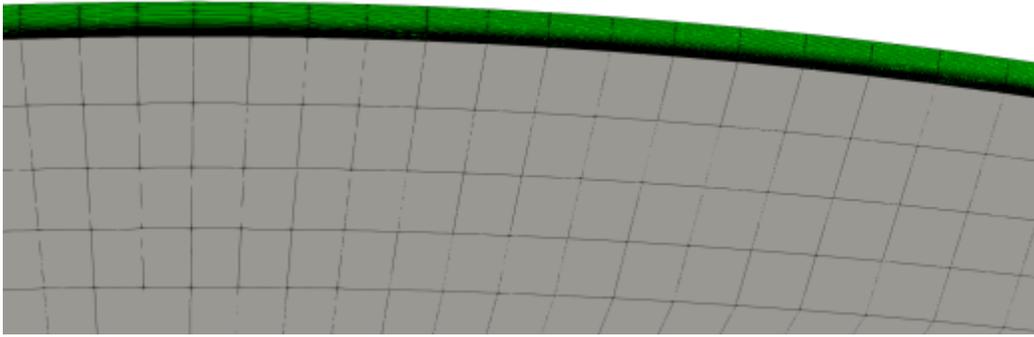
Deux maillages quadrangulaire du même domaine

Utilisation d'une stratégie Lagrangienne (maillage mobile)



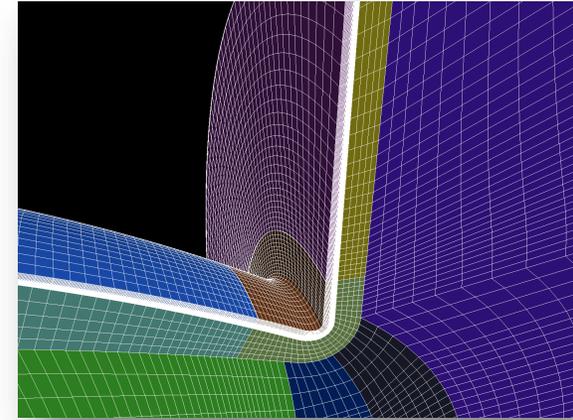
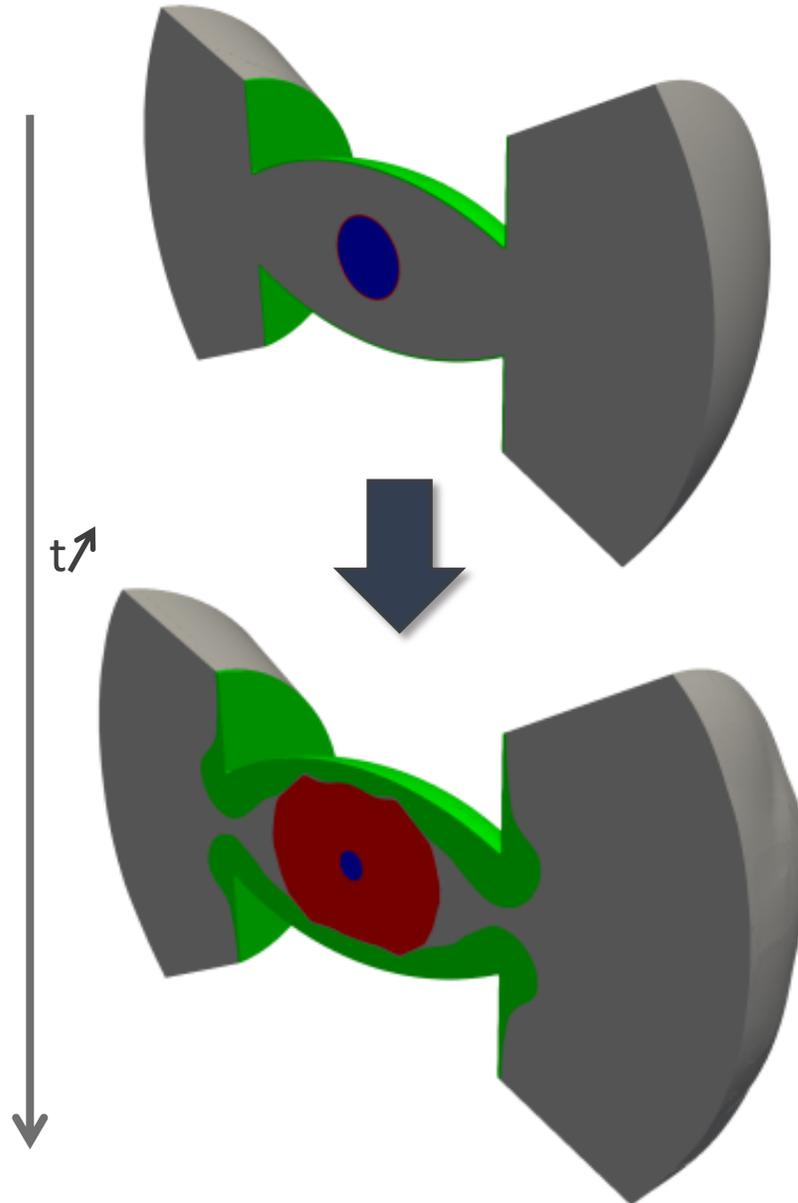
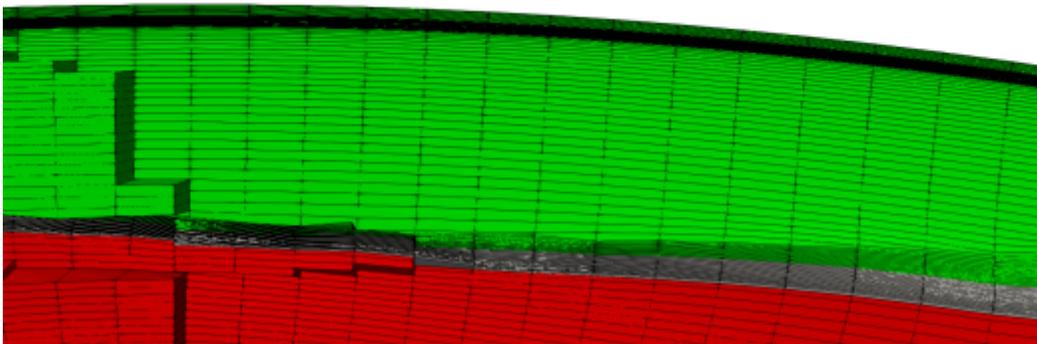
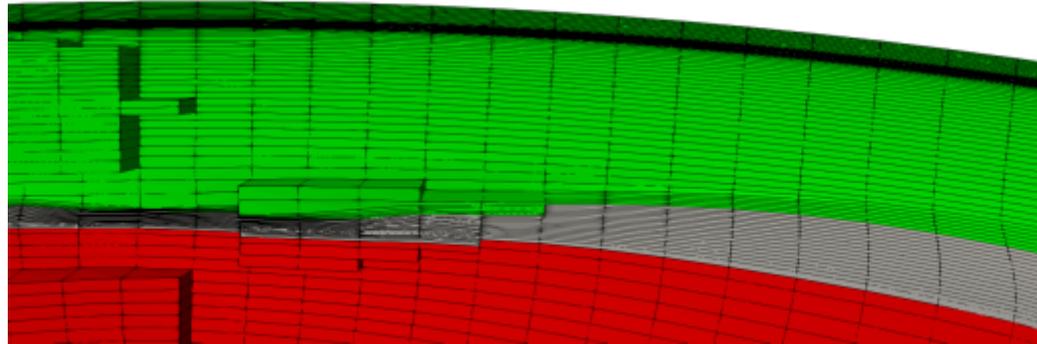
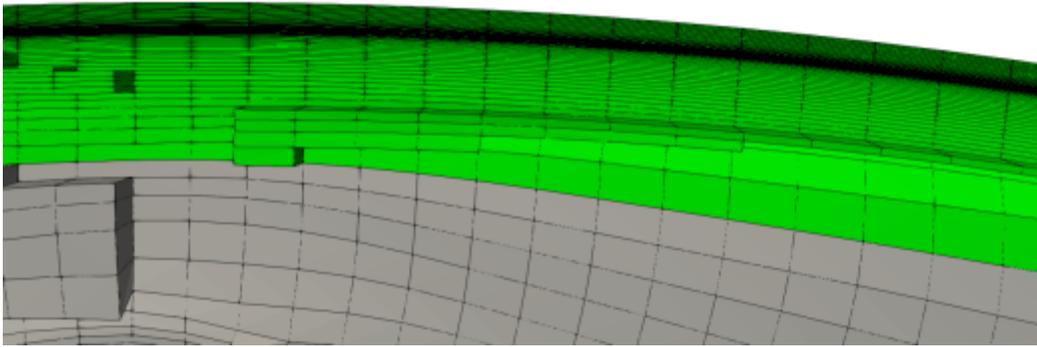
Qu'est-ce qu'un « bon » maillage ?

Exemple réaliste – cavité Laser Mégajoule



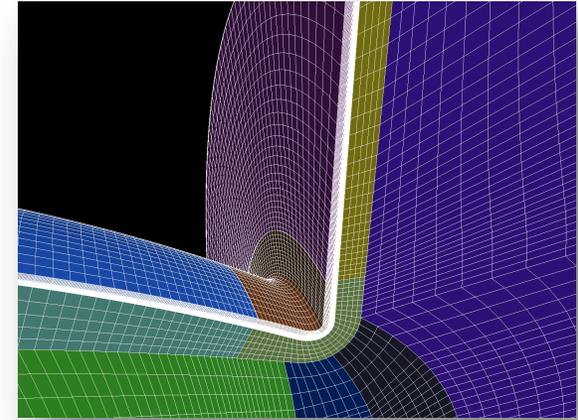
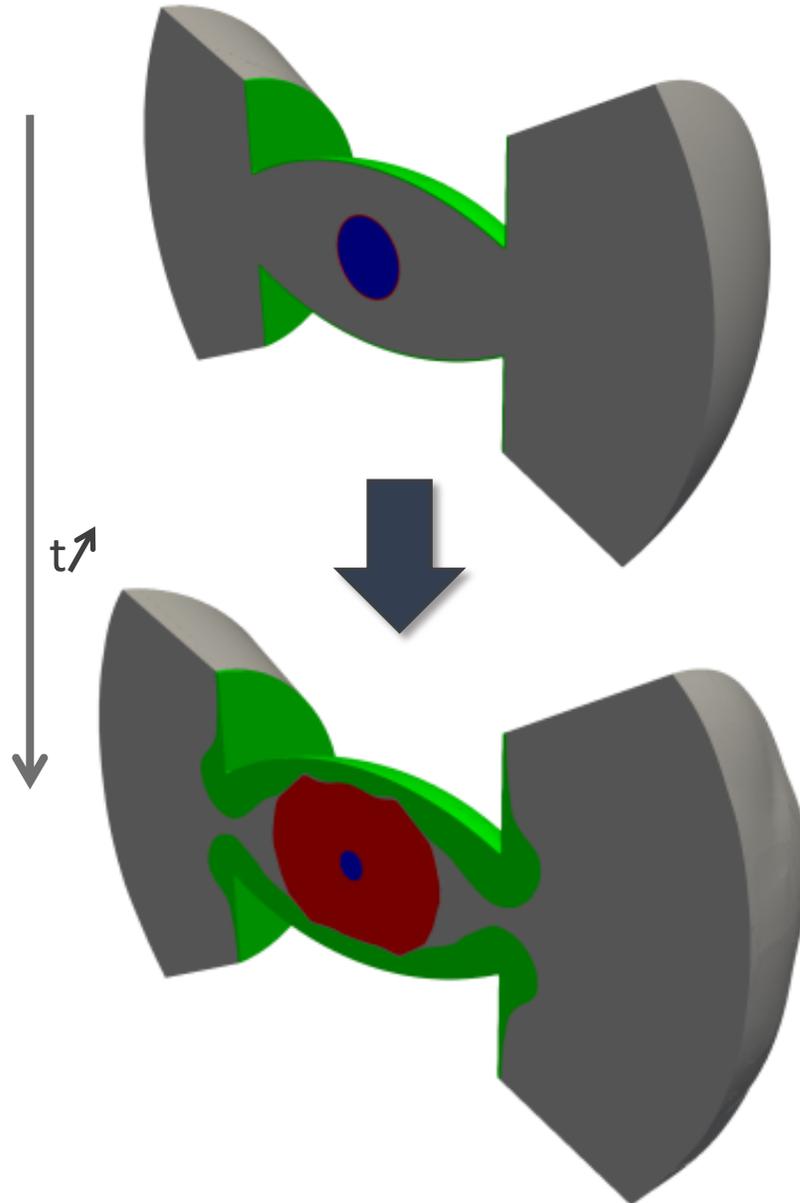
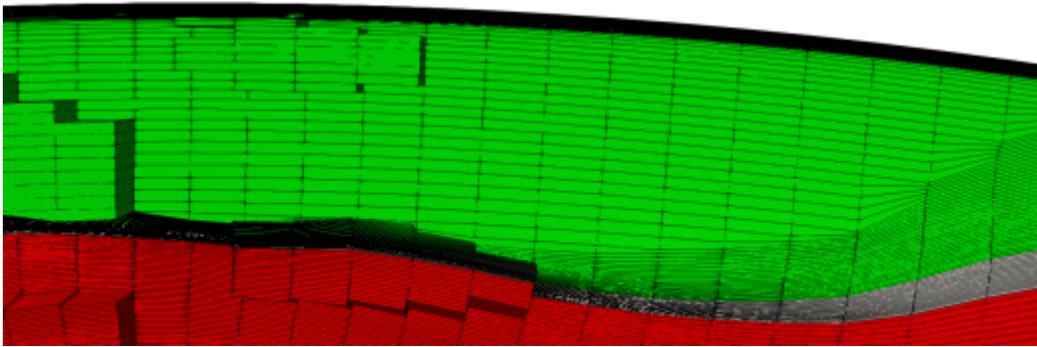
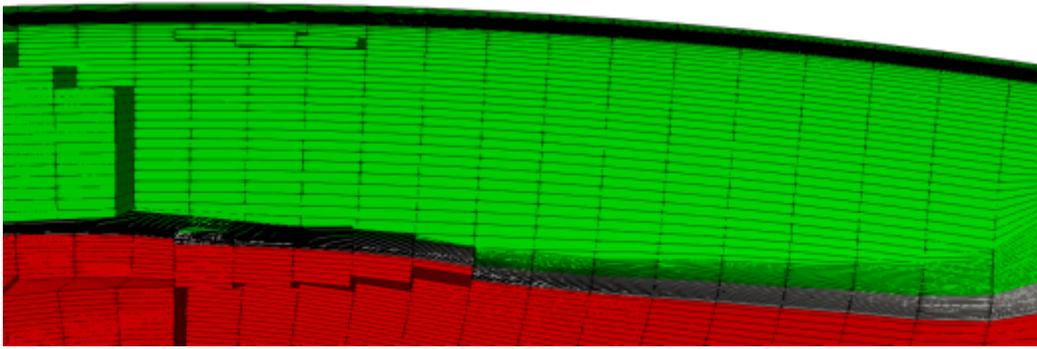
Qu'est-ce qu'un « bon » maillage ?

Exemple réaliste – cavité Laser Mégajoule



Qu'est-ce qu'un « bon » maillage ?

Exemple réaliste – cavité Laser Mégajoule



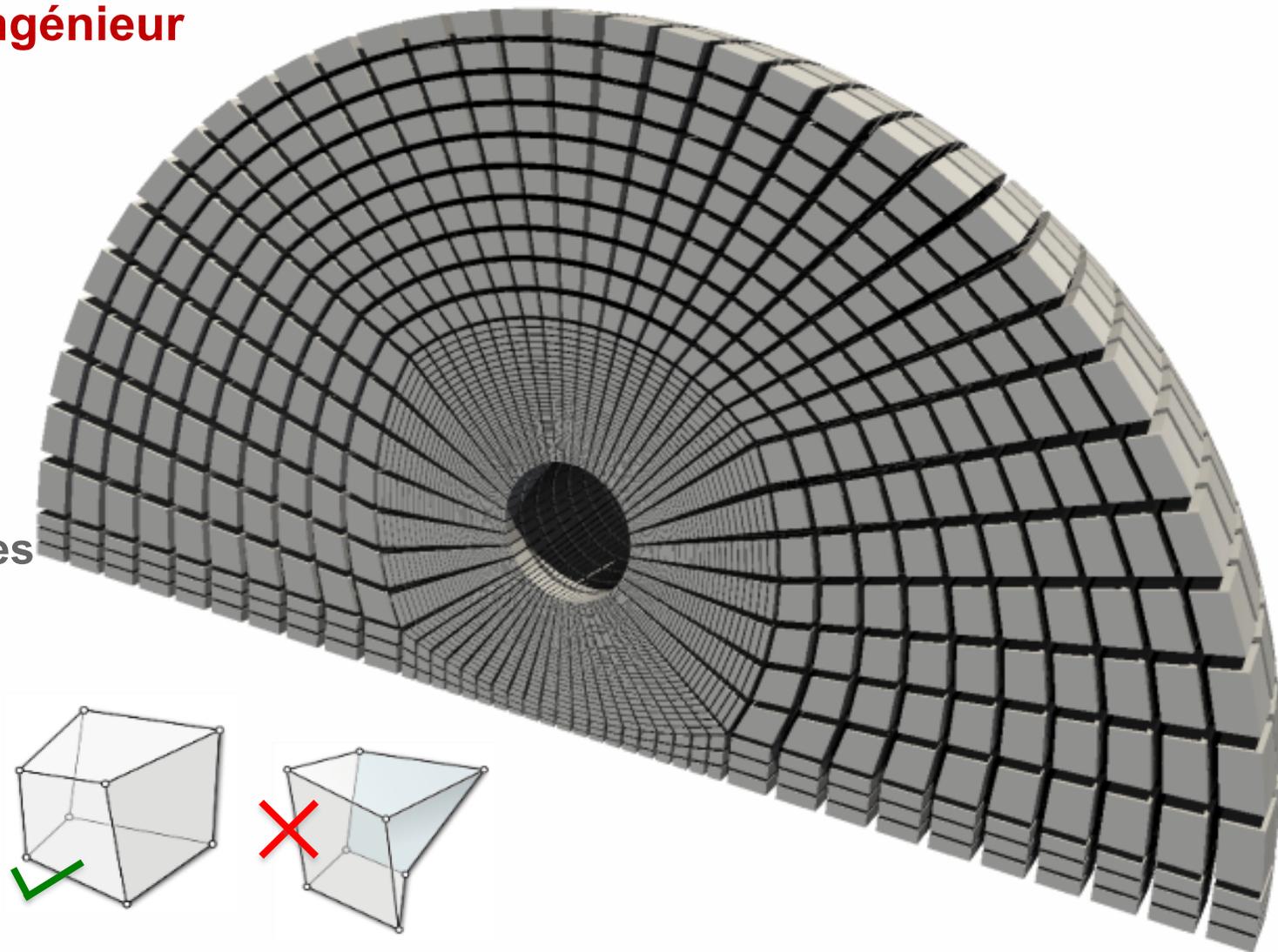
Le maillage est un paramètre pour l'ingénieur

■ Dépend de la simulation à effectuer

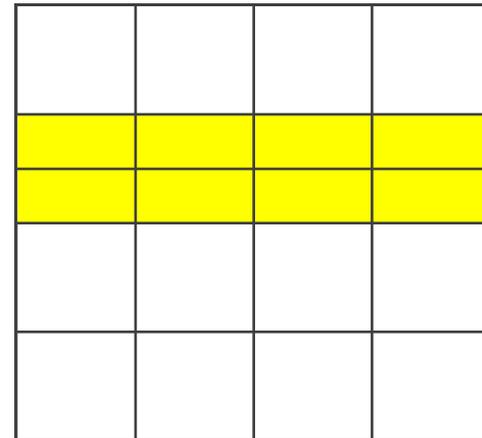
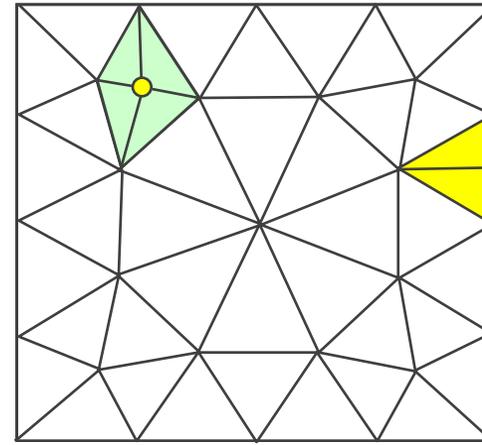
- Critères physiques
- Critères numériques

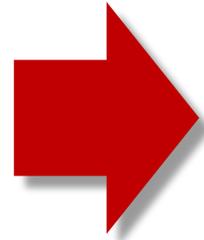
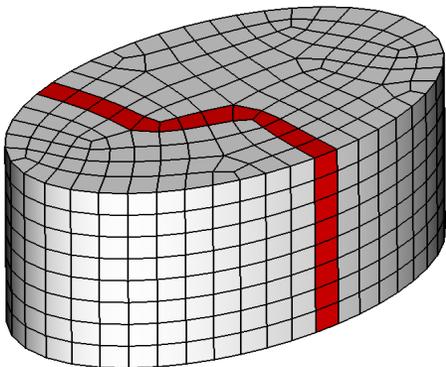
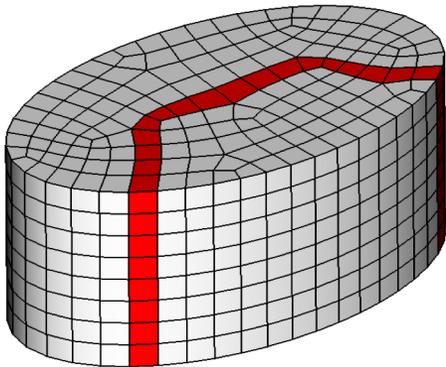
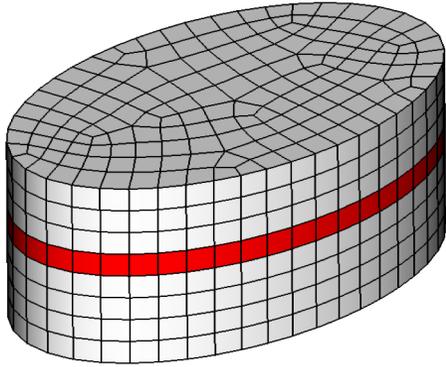
■ Caractéristiques géométriques usuelles

- Structure
- Alignement le long du bord
- Faible distorsion des cellules
- Contrôle de la taille des éléments

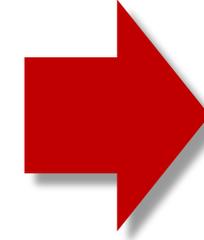
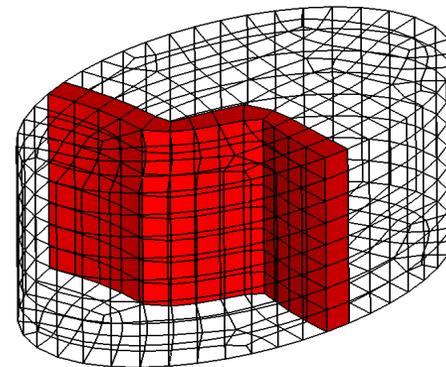
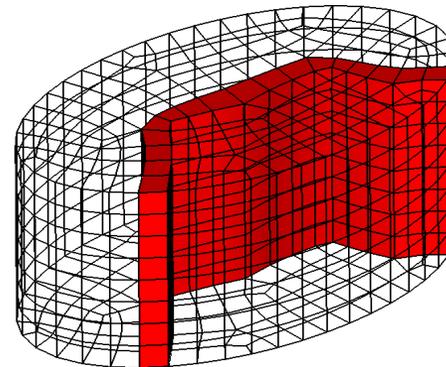
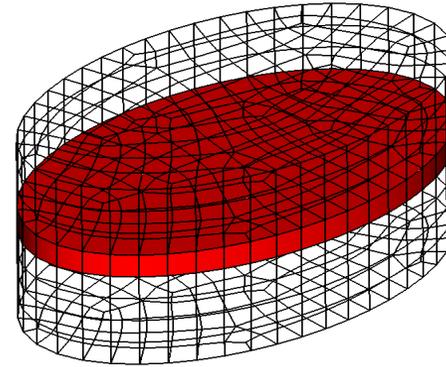


- ▶ Les maillages triangulaires et tétraédriques peuvent être facilement modifiés localement
- ▶ Au contraire, pour conserver un maillage quadrangulaire ou hexaédrique conforme, des changements locaux sont répercutés globalement
 - Opérations effectuées sur les feuillets ou couches de mailles

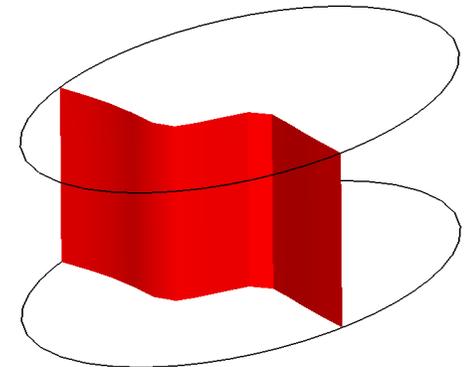
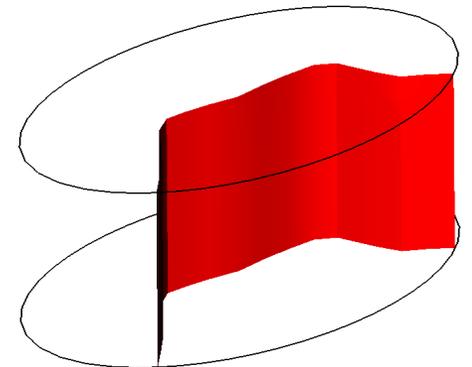
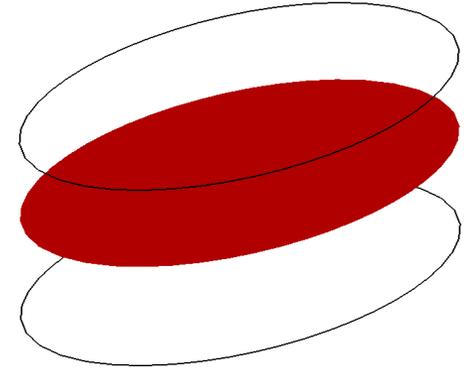




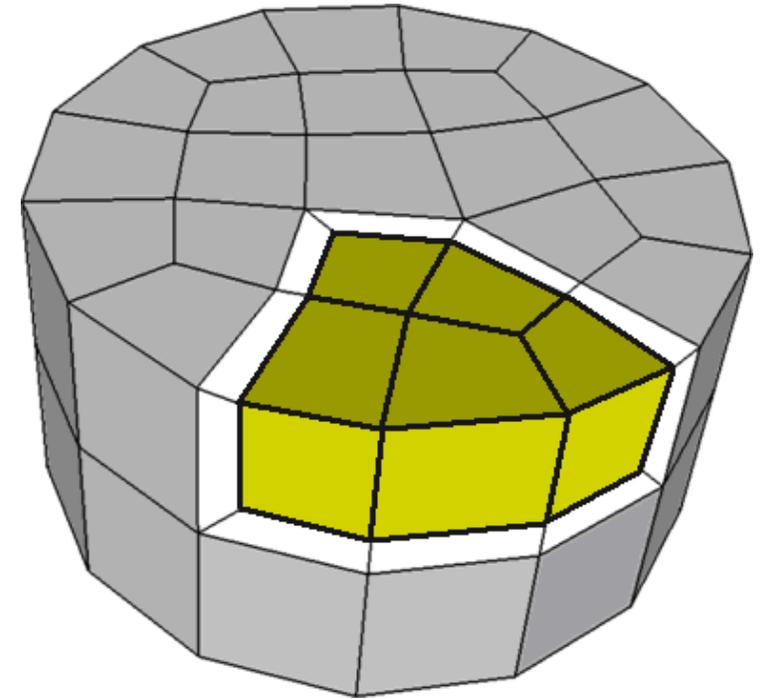
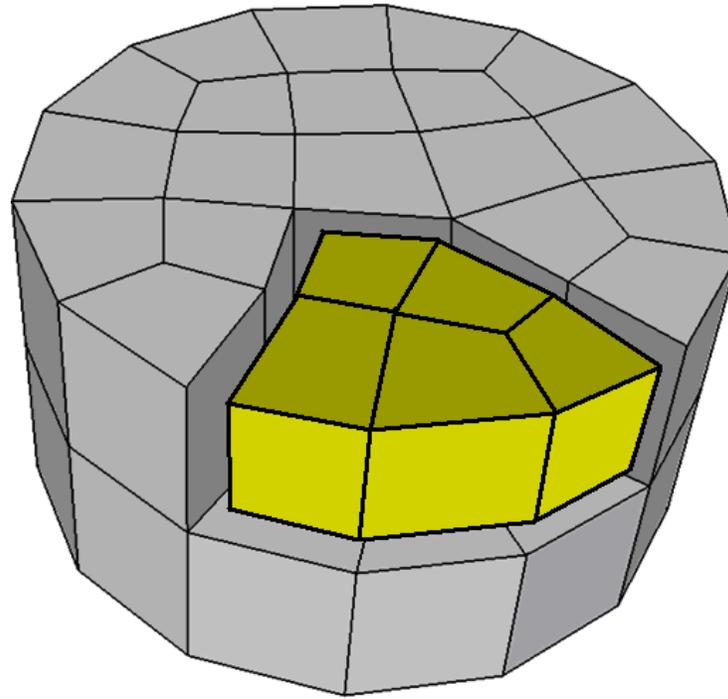
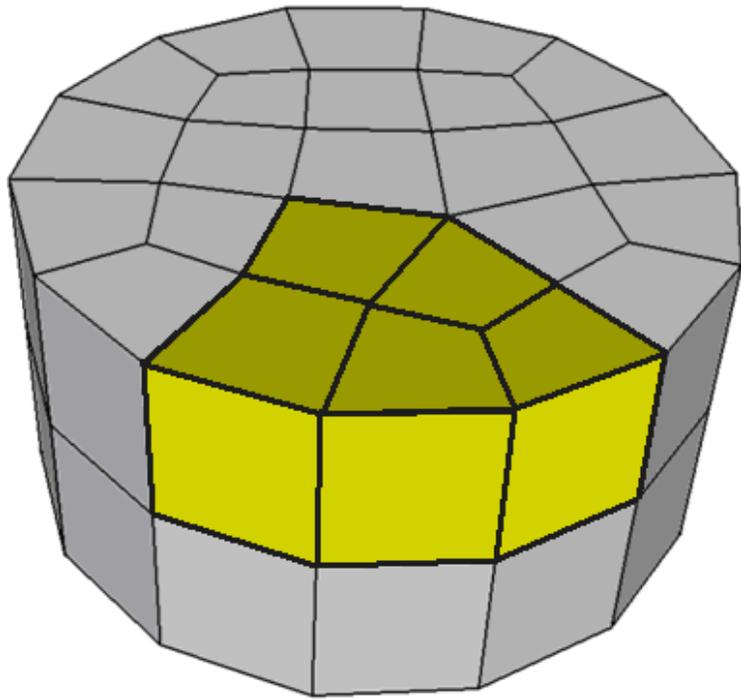
Couches d'hexaèdres
ou
feuillelet primal



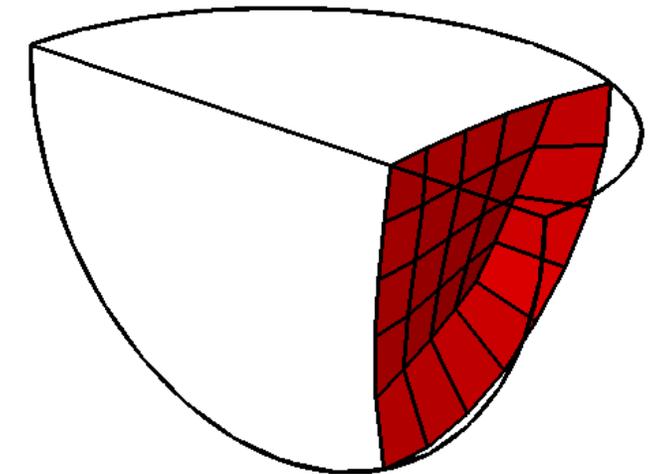
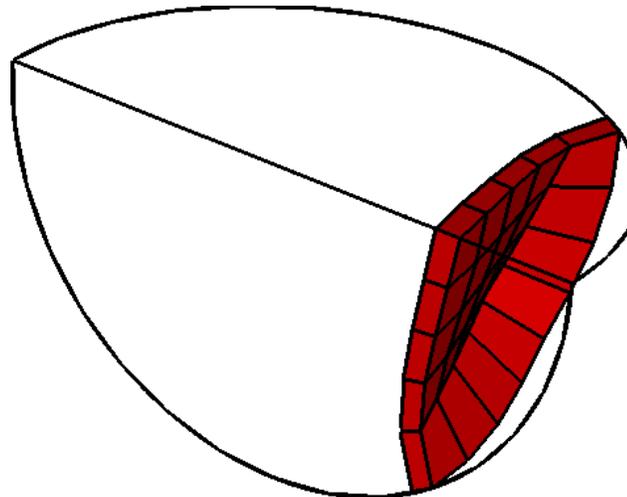
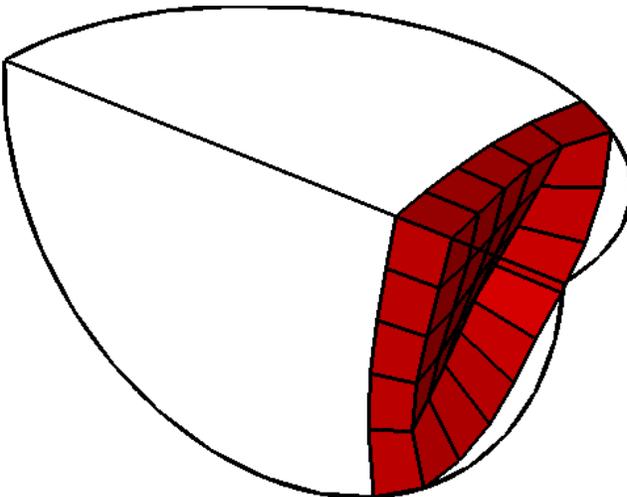
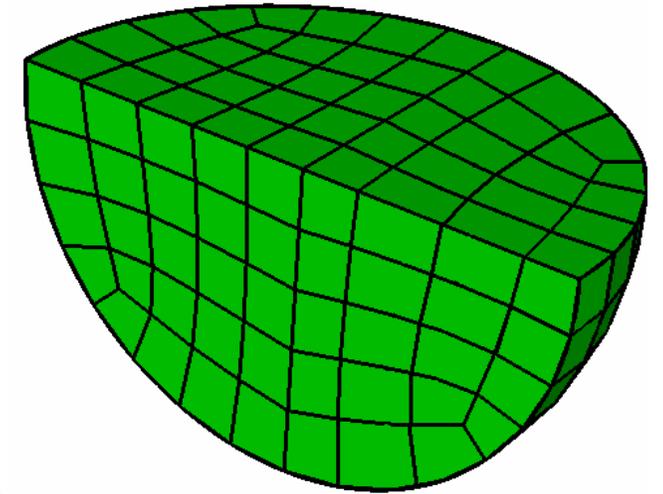
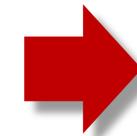
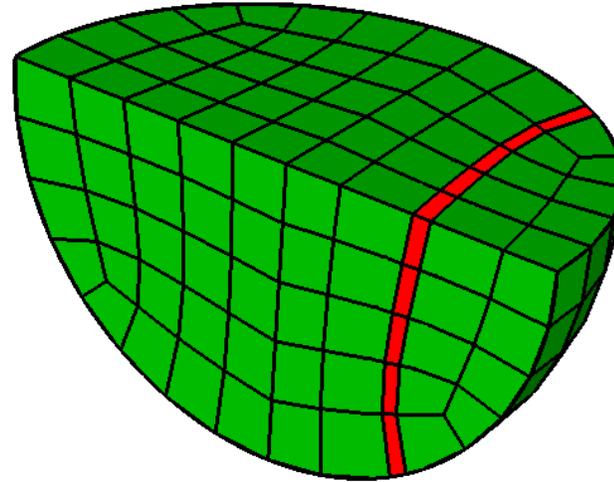
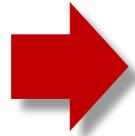
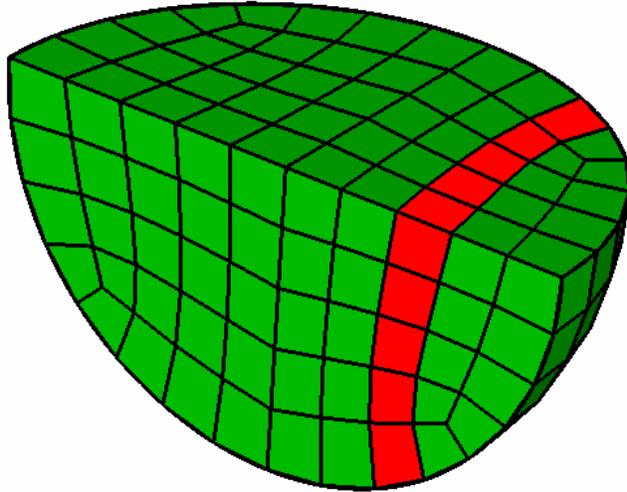
Feuillelet
dual



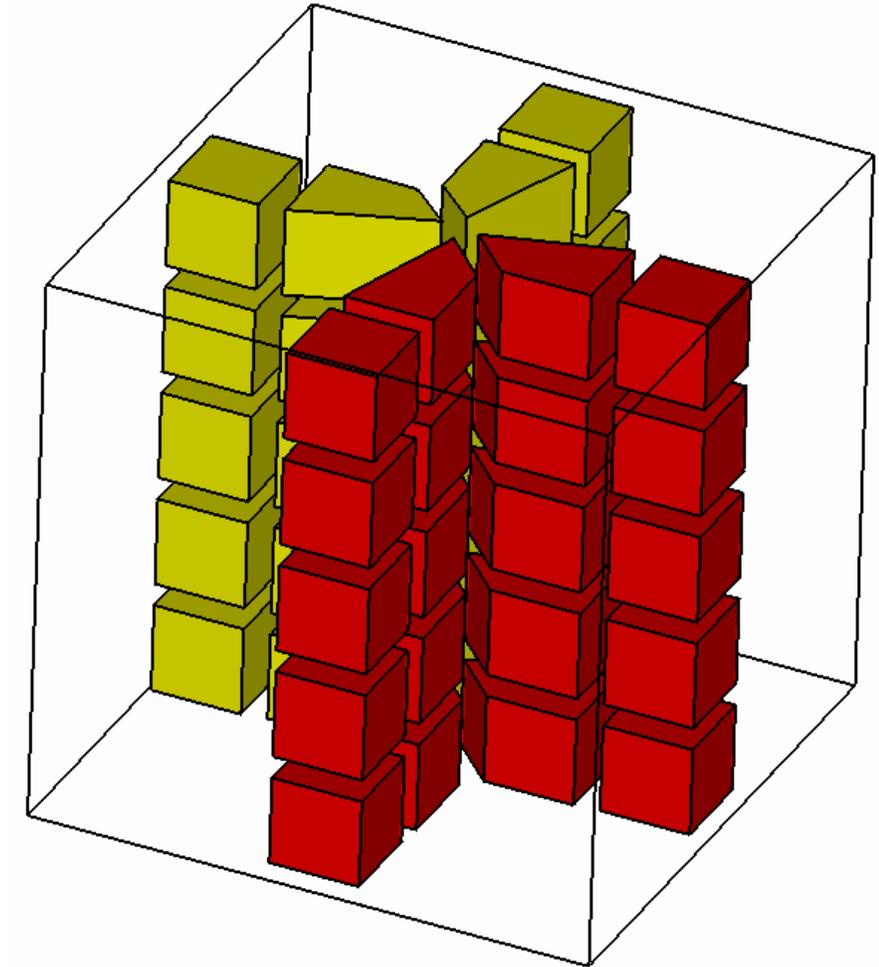
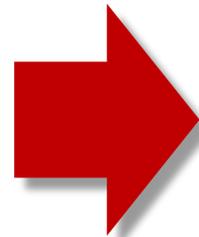
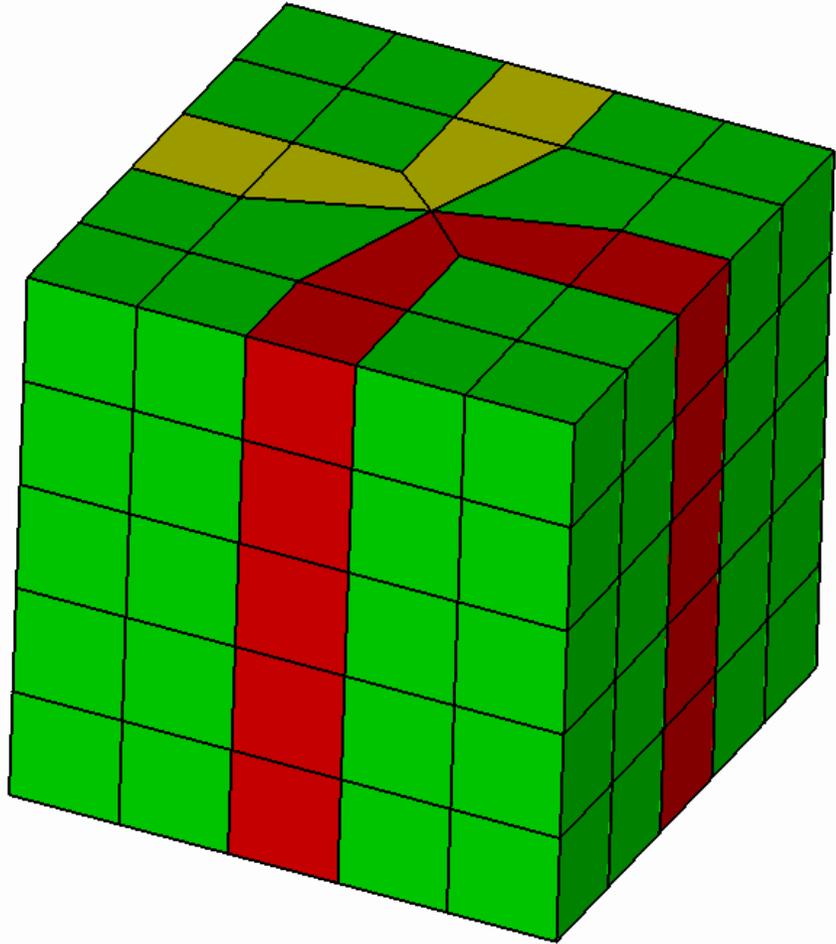
► Insertion d'une couche de mailles (pillowing)



► Suppression d'une couche de mailles

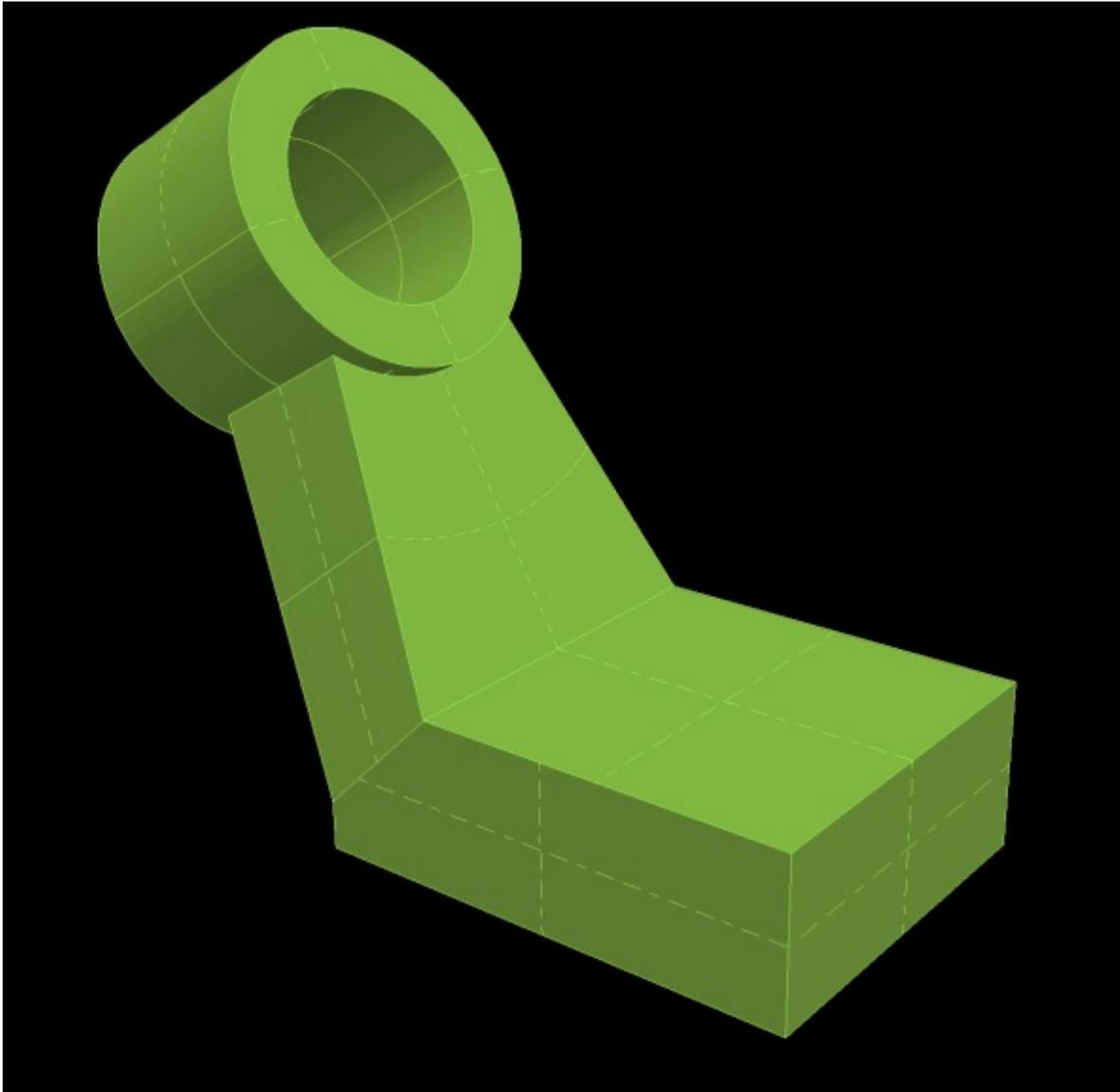


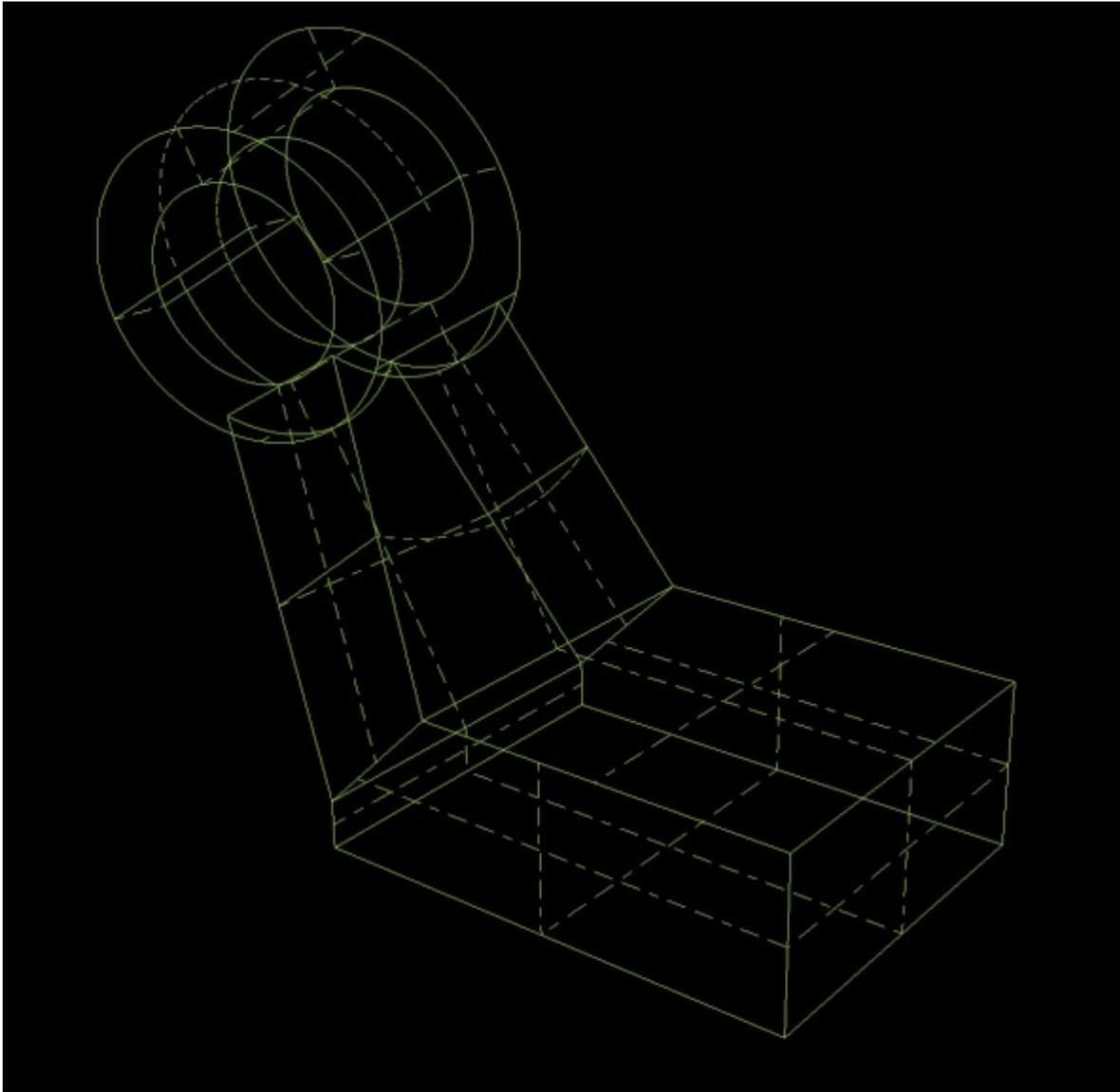
► Suppression d'une colonne de mailles

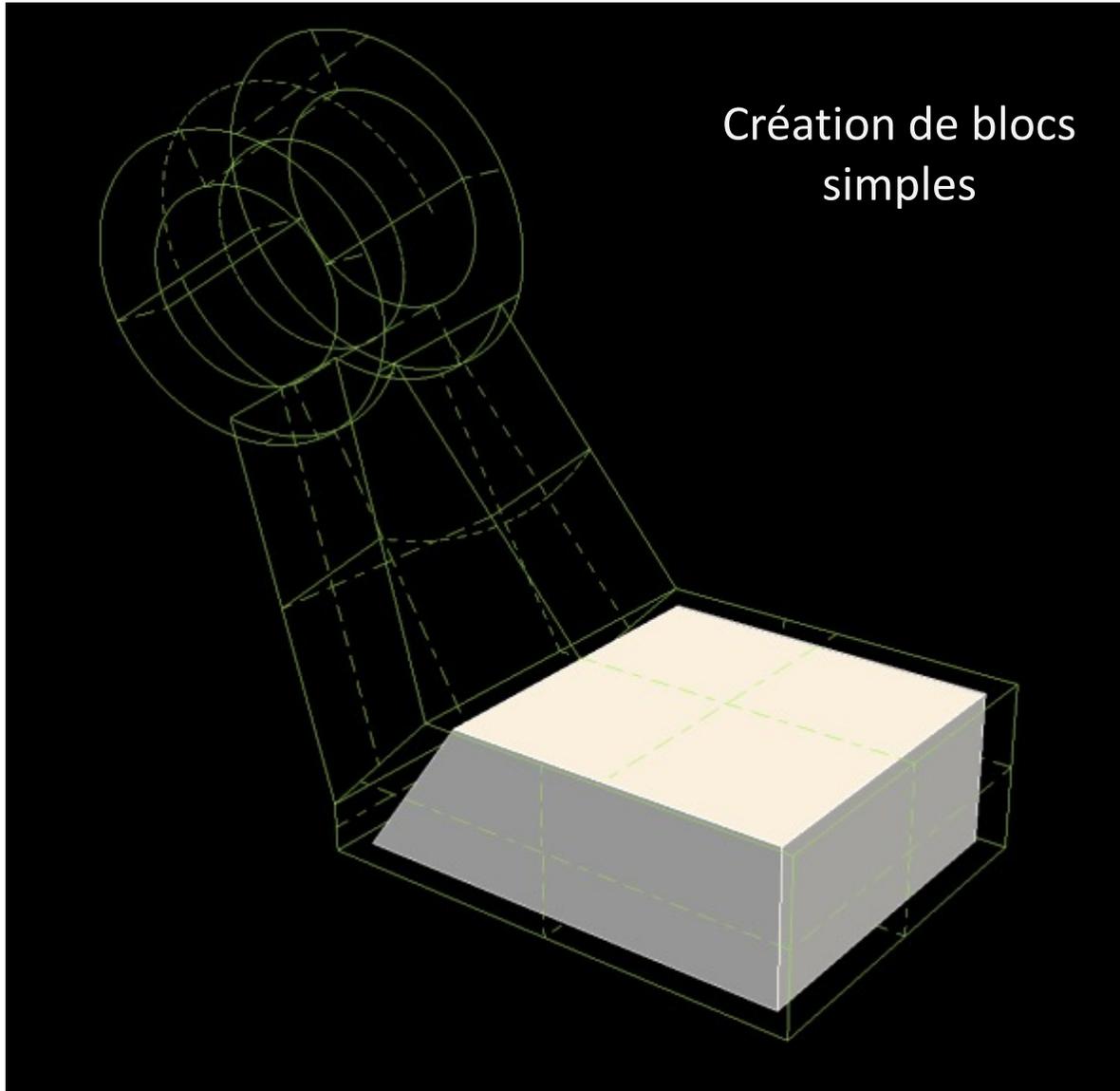


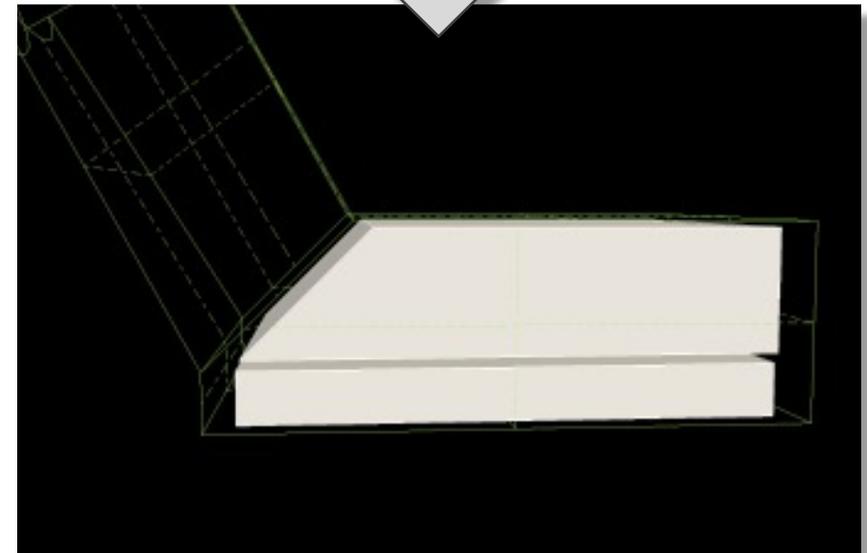
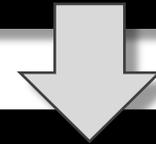
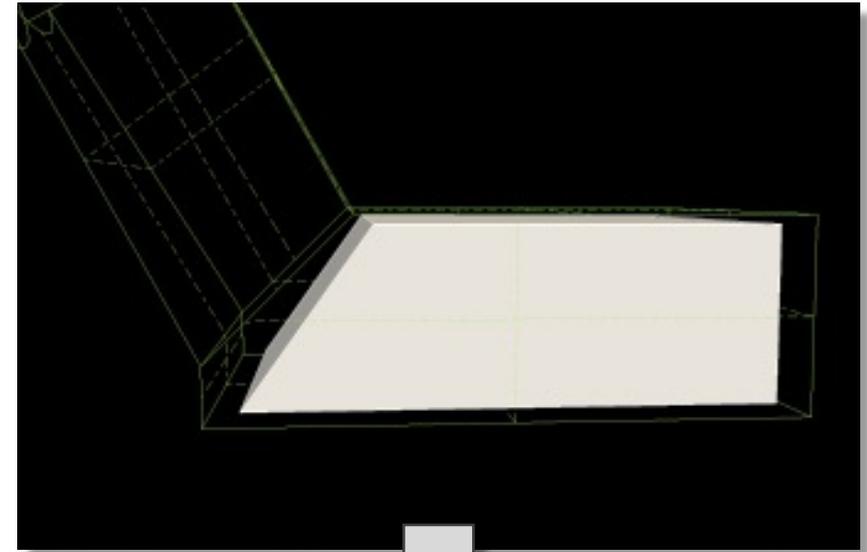
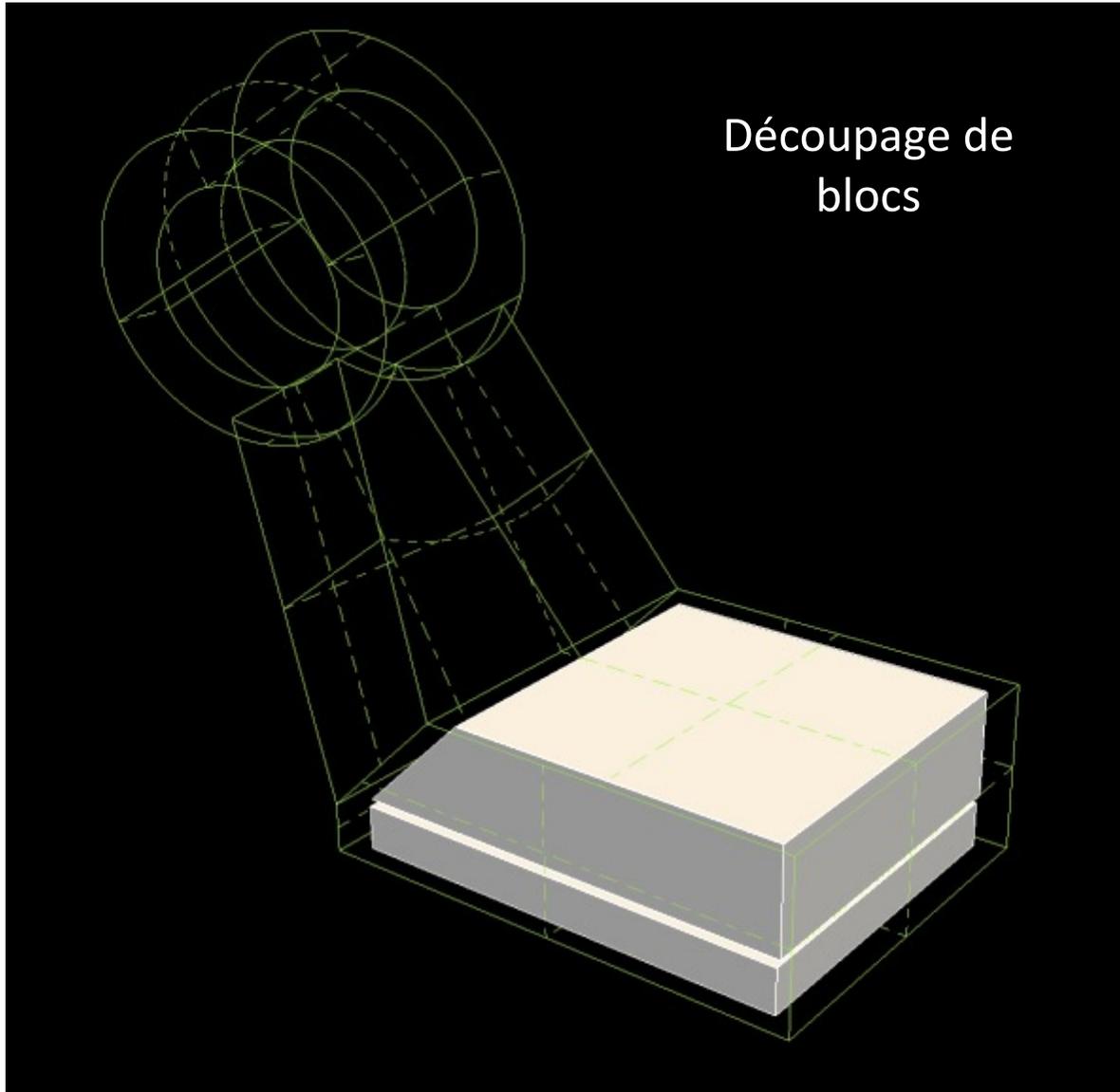
Maillage

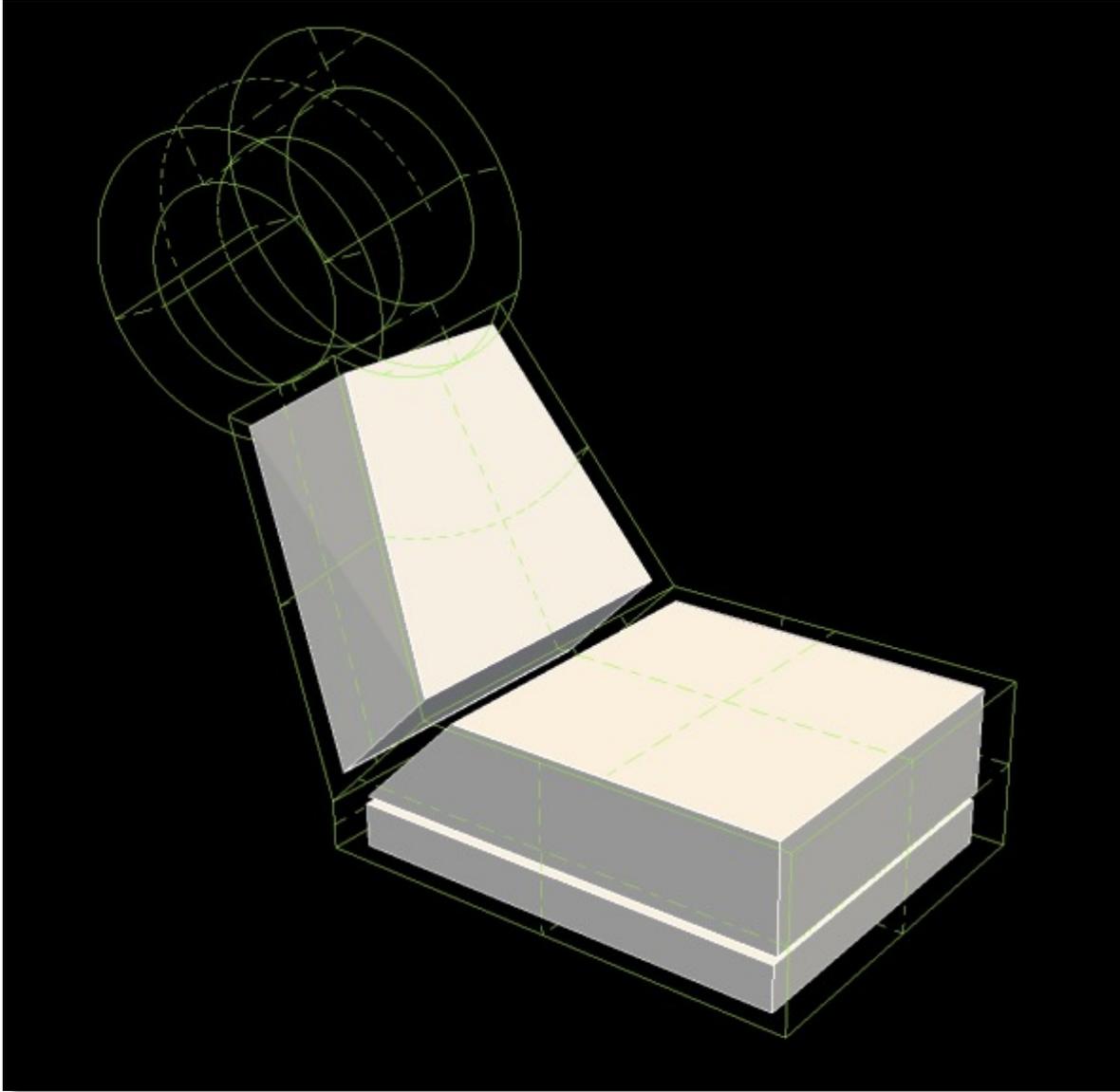
- ▶ Problématique du maillage hexaédrique
- ▶ **Comment mailler?**
- ▶ Utilisation des champs d'orientations
- ▶ Vers des polycubes robustes

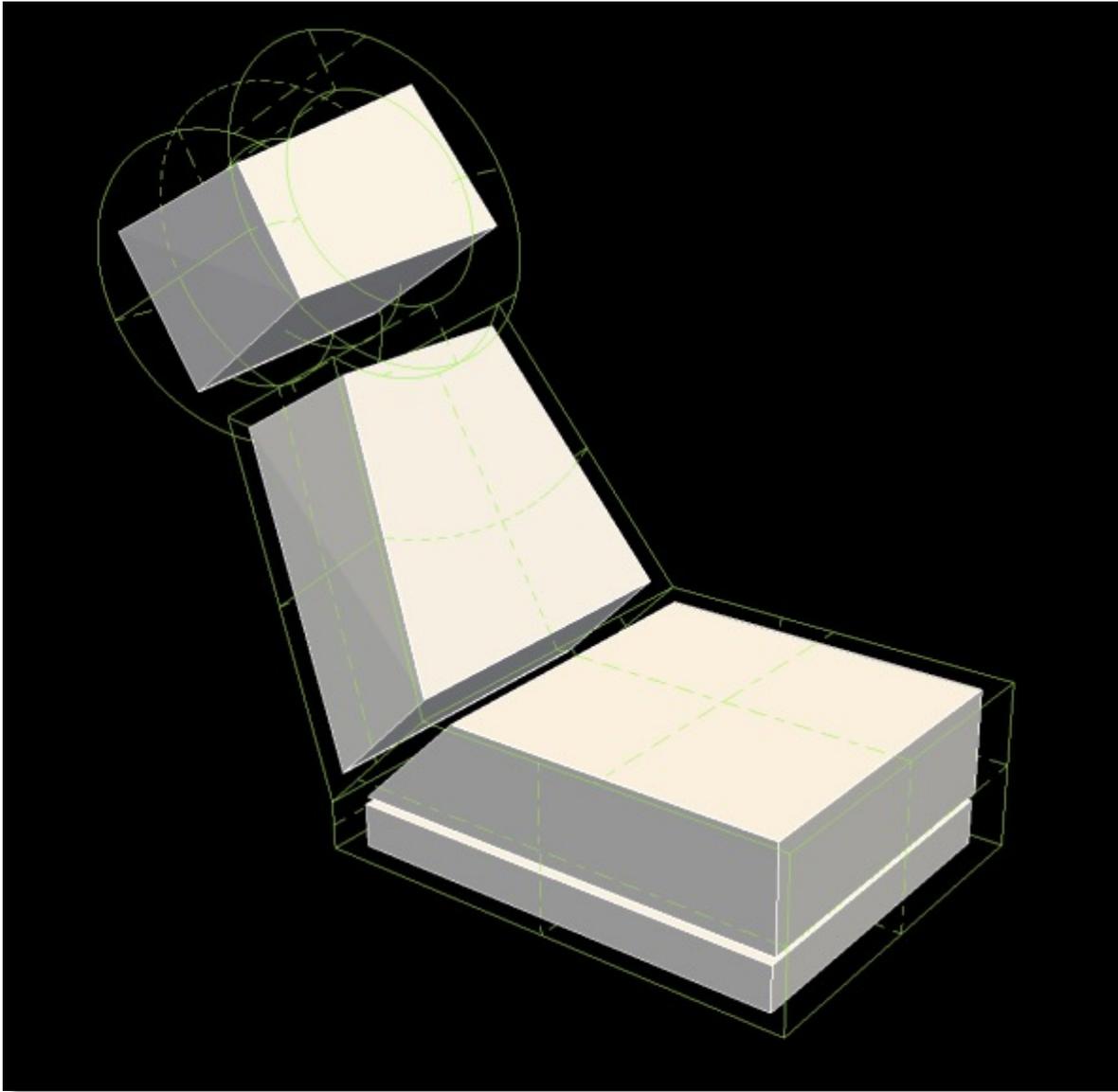


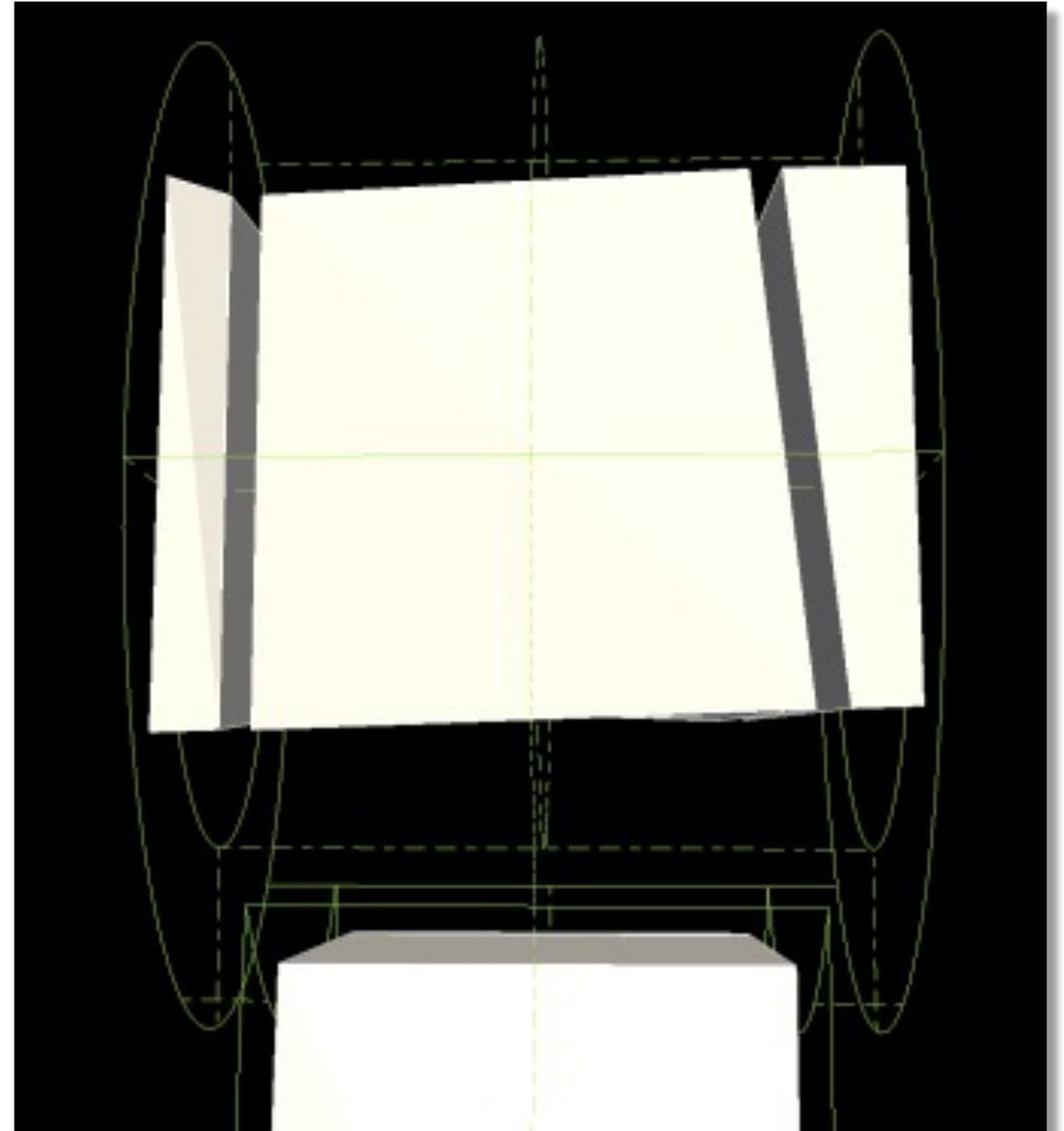
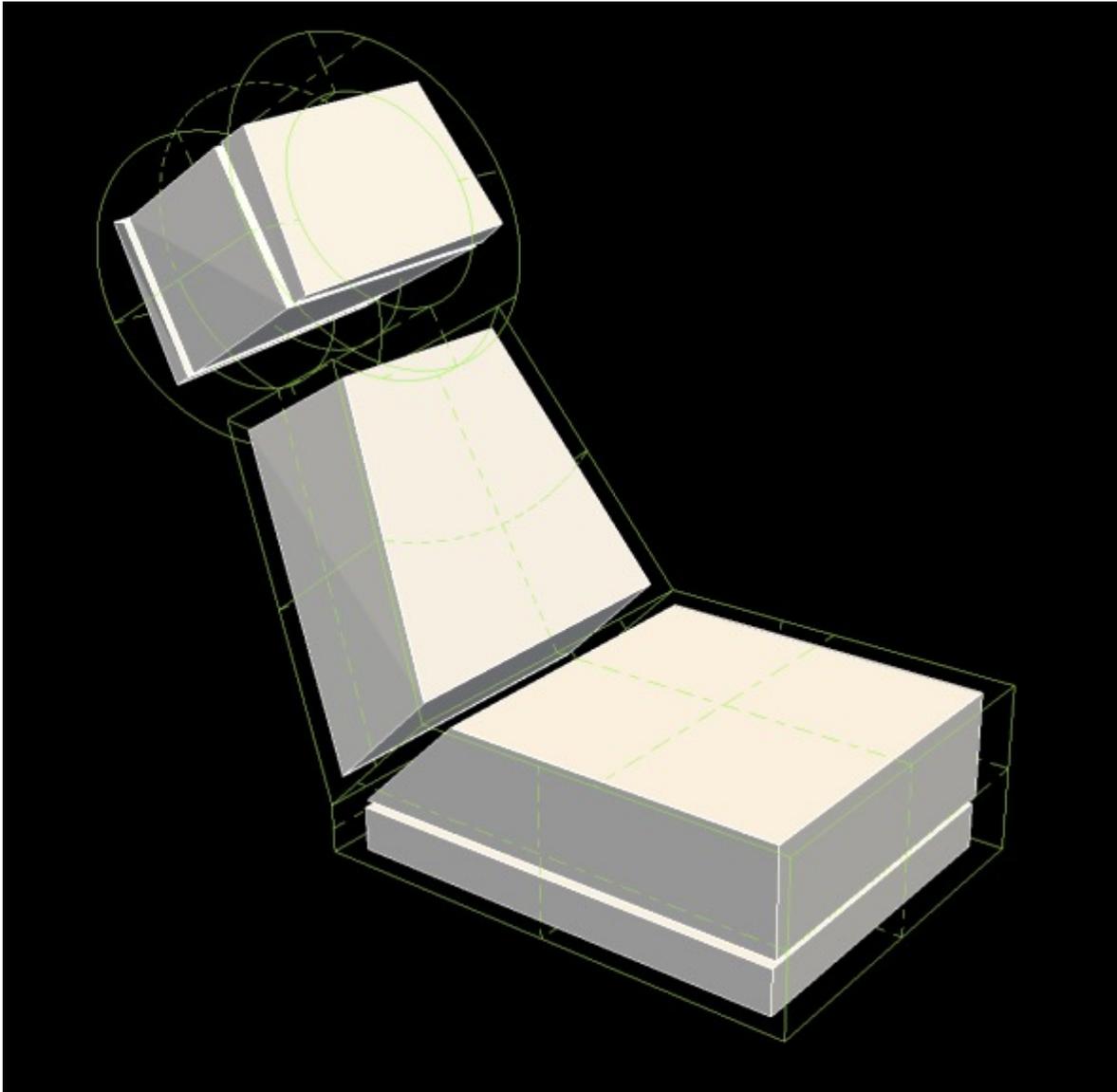


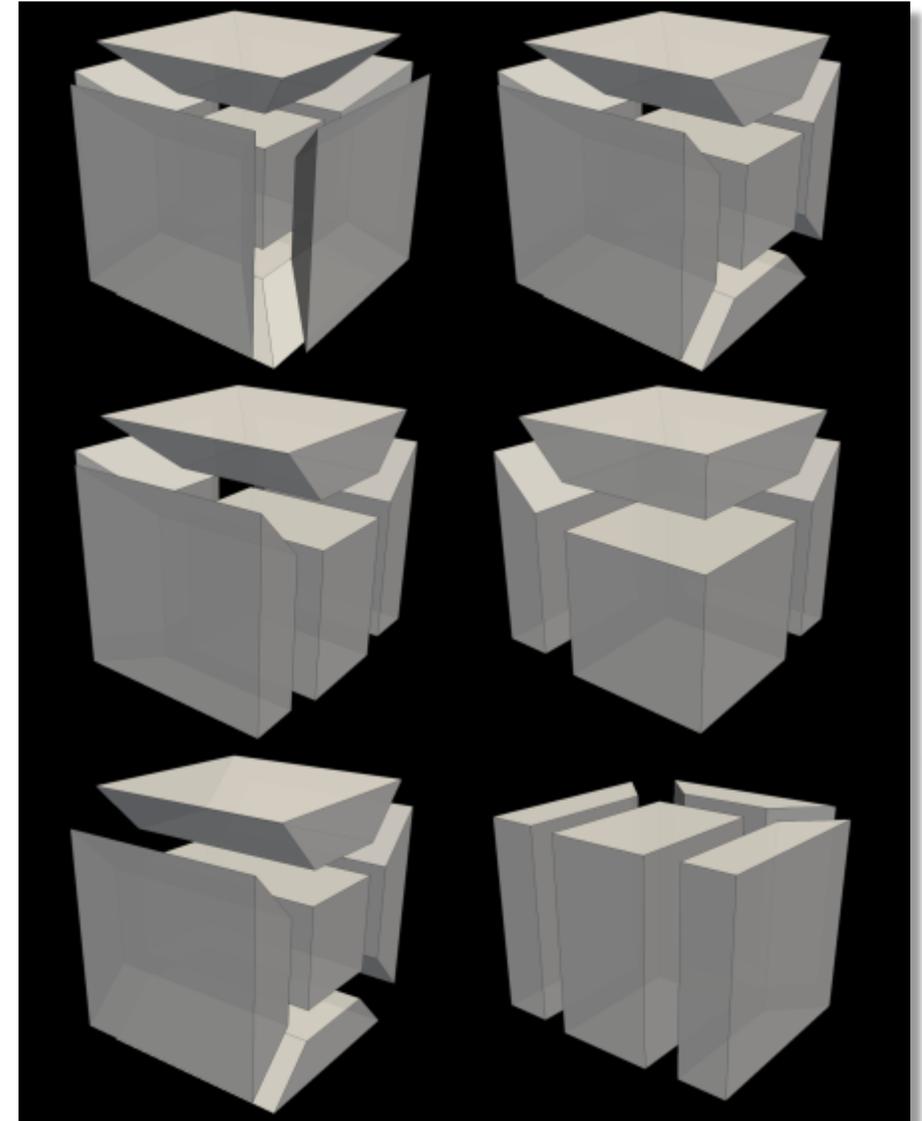
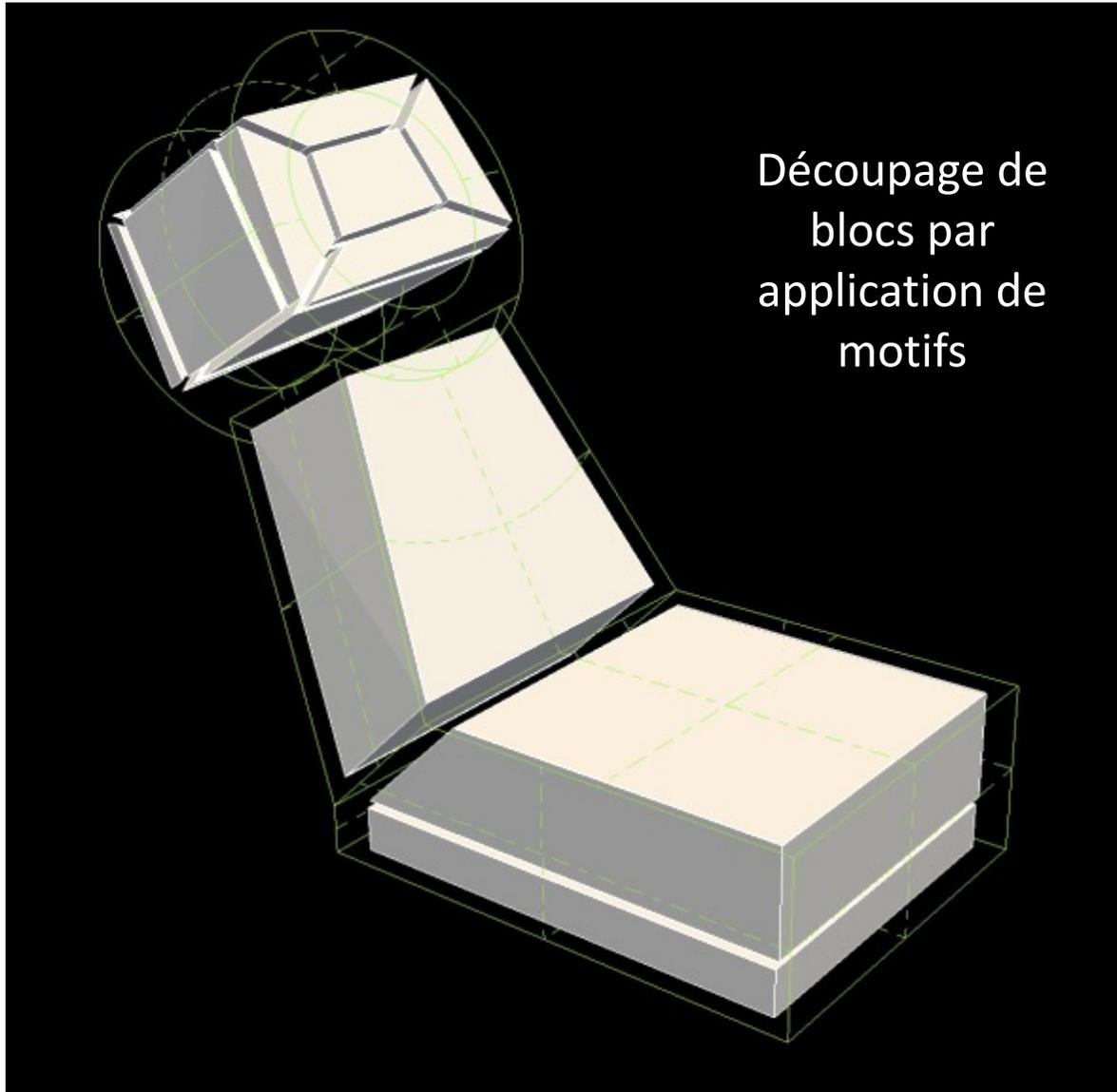


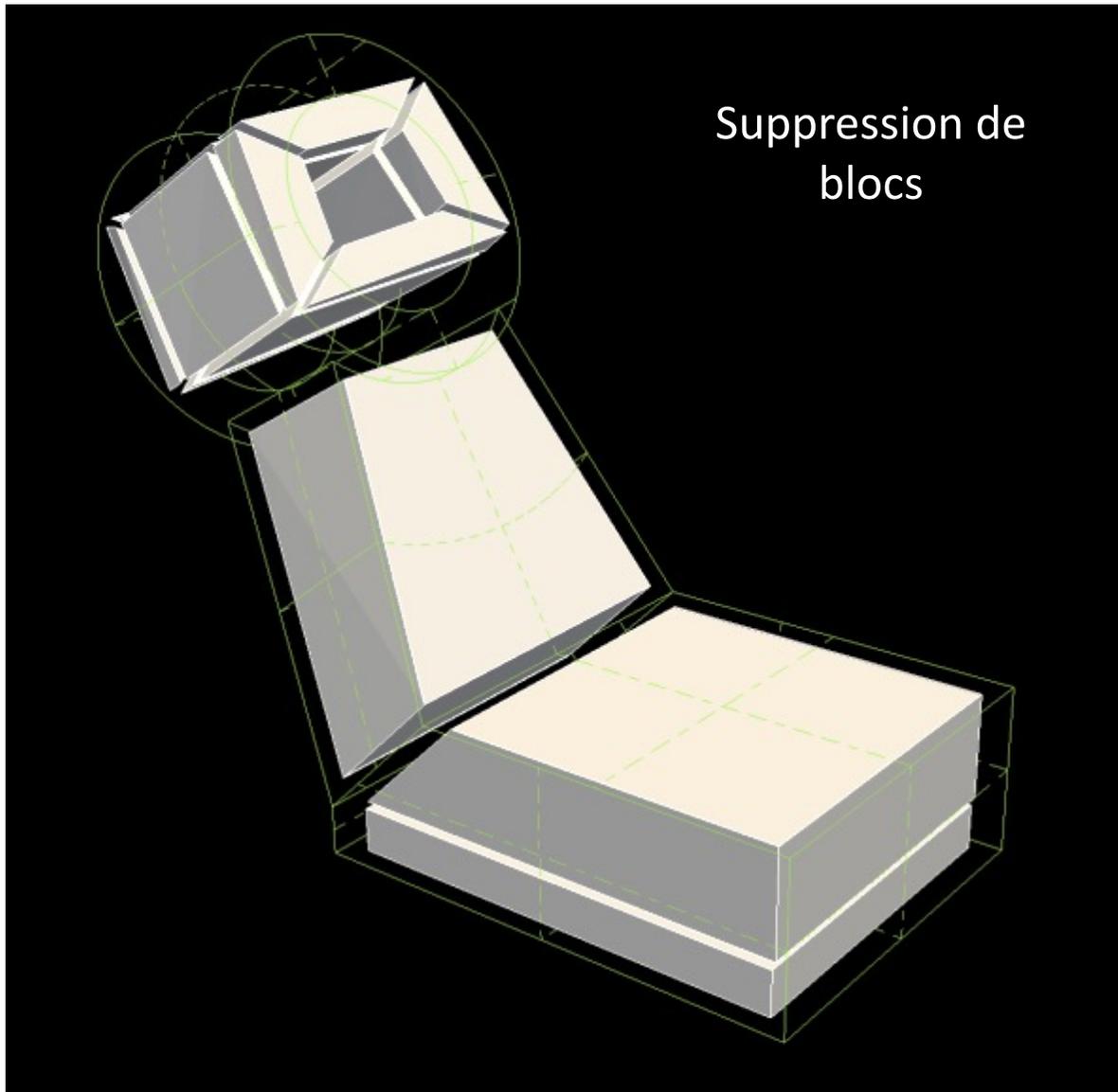


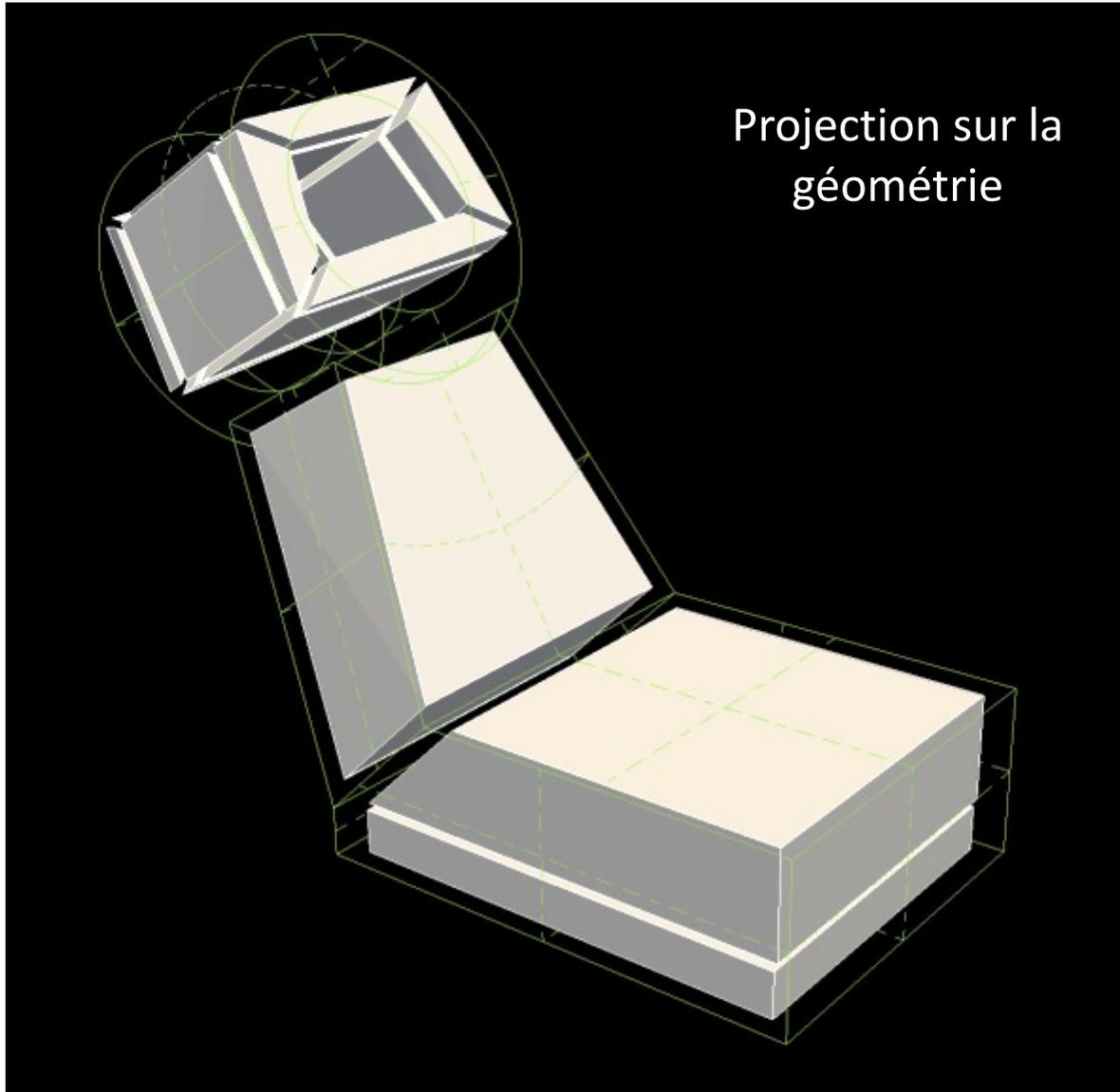




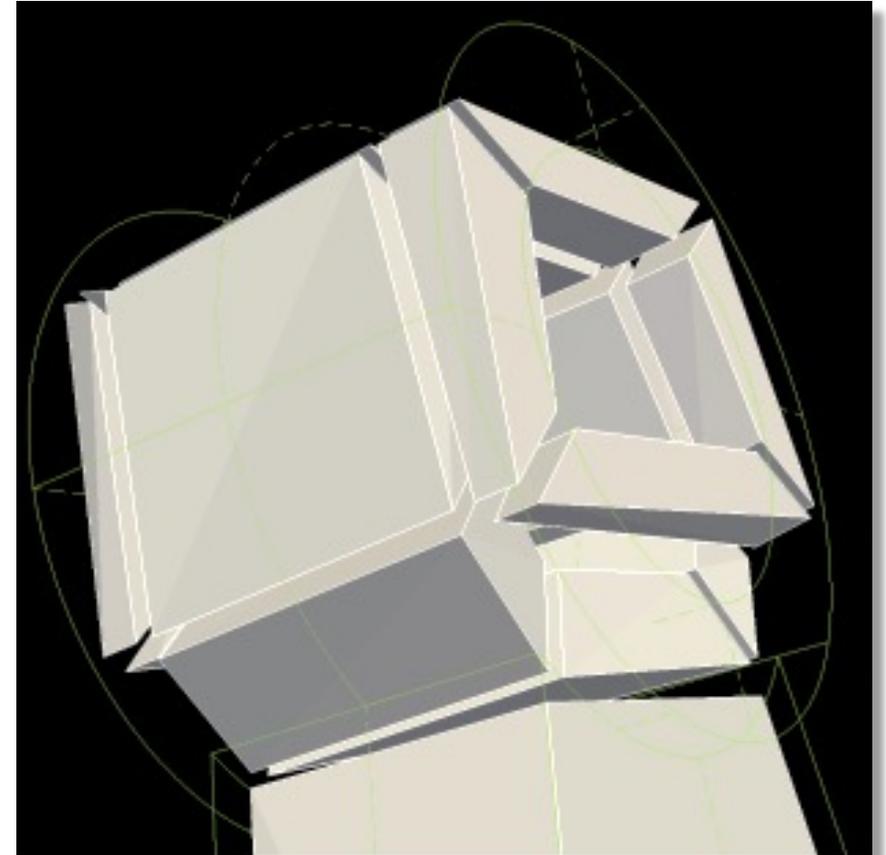


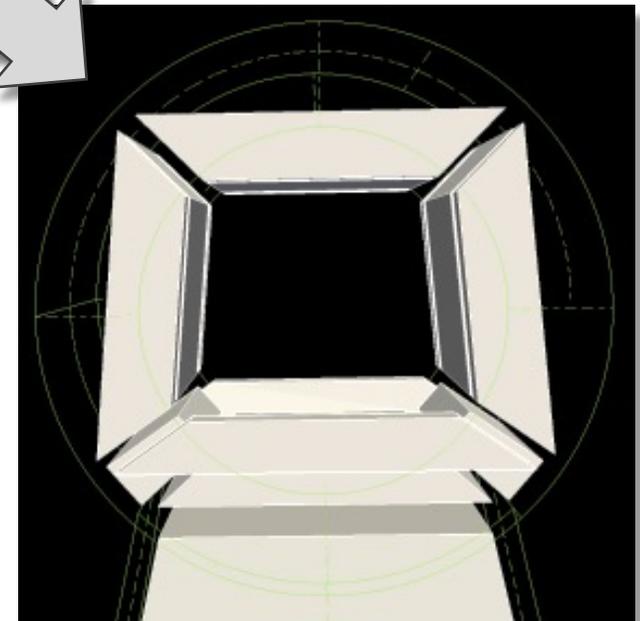
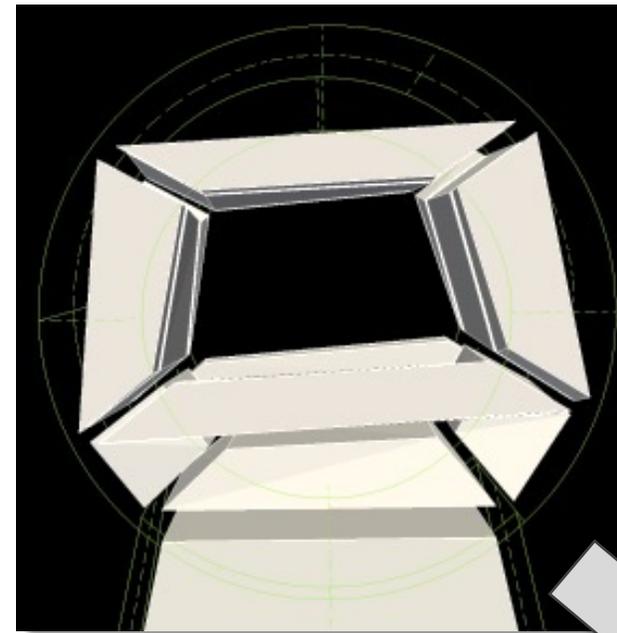
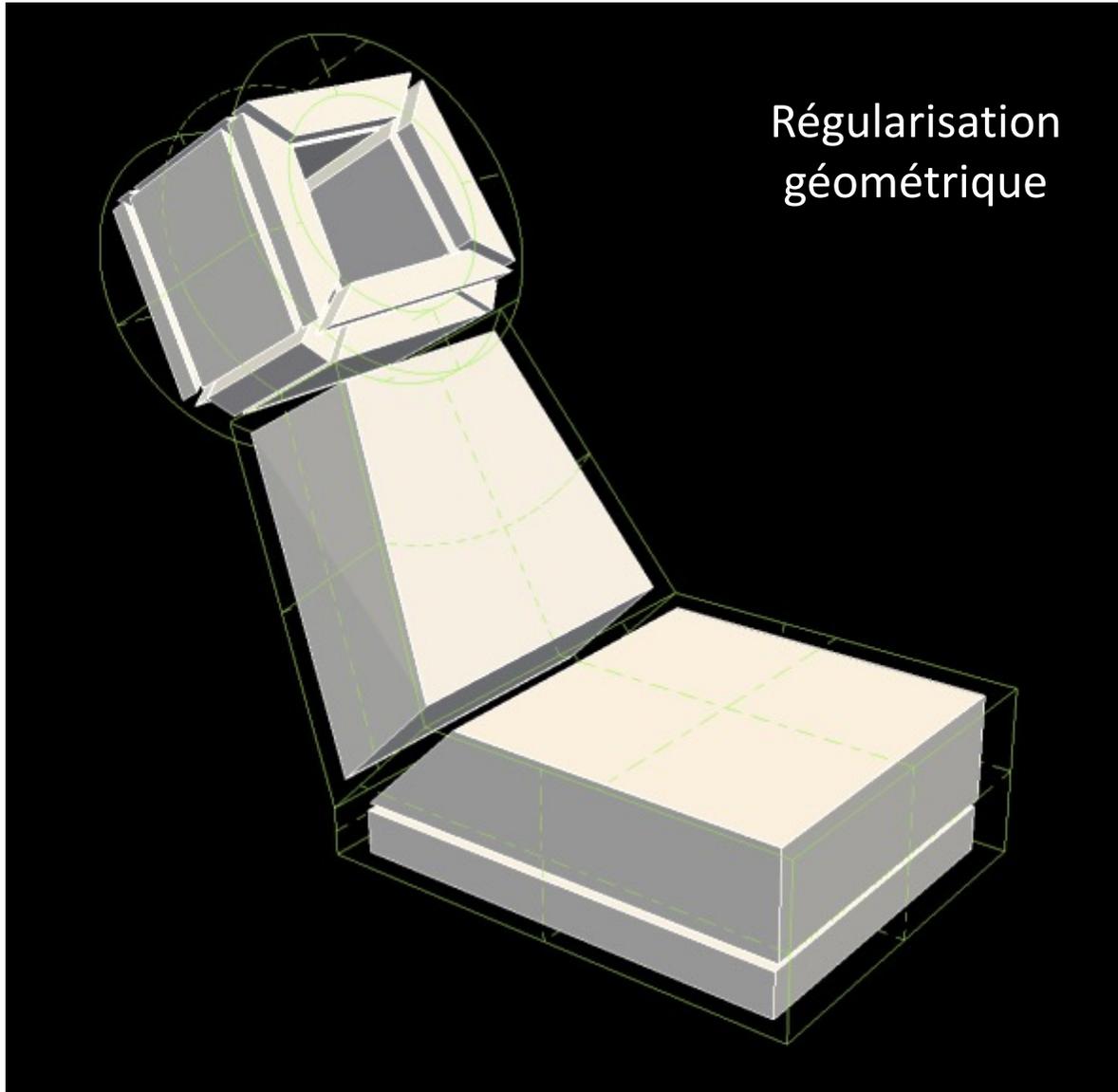


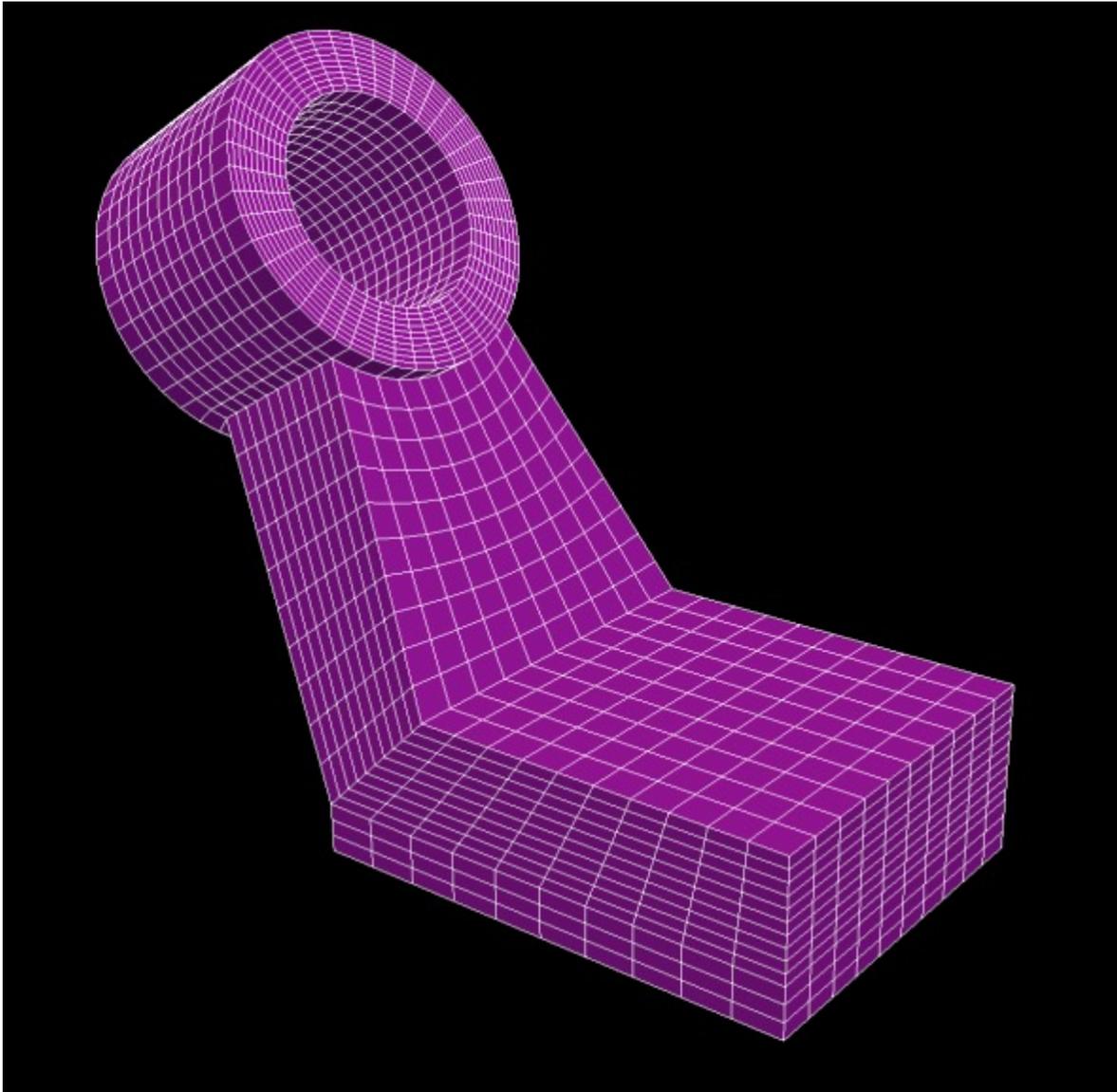




- Collage et découpage non conforme



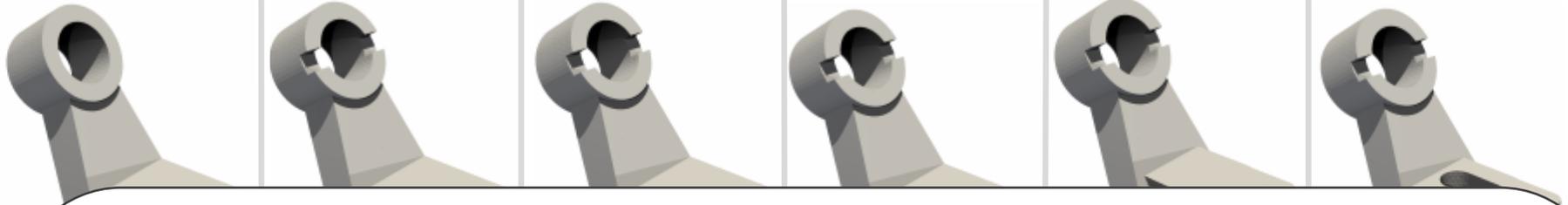




Et enfin maillage après paramétrage

- taille,
- contraintes,
- progression géométrique,...

GEOMETRIE



Tâche très chronophage

- Travail d'assistance et de formation des utilisateurs
- Aide à la réalisation de maillages
- Ajout permanent de nouvelles fonctionnalités

TOPOLOGIE

|Blocs|

Peut-on automatiser des étapes ?

Temps de création

15 mins

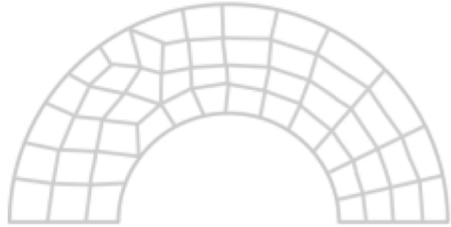
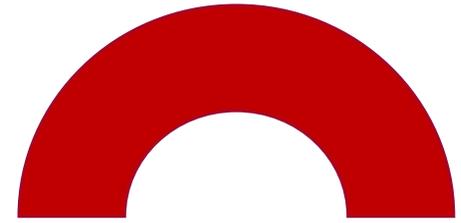
25 mins

30 mins

1 heure

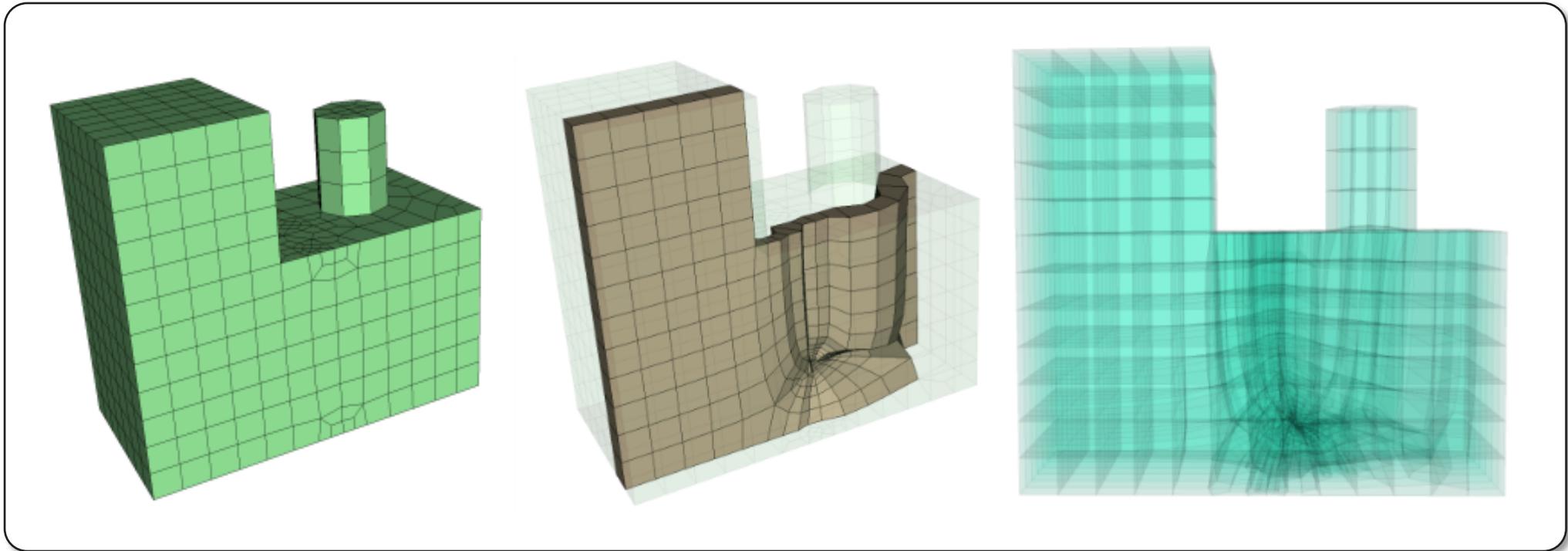
1.5 heure

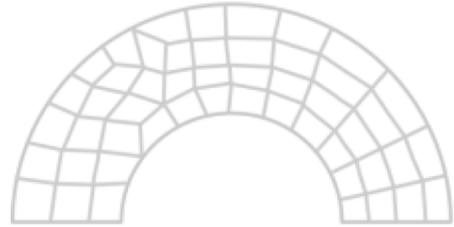
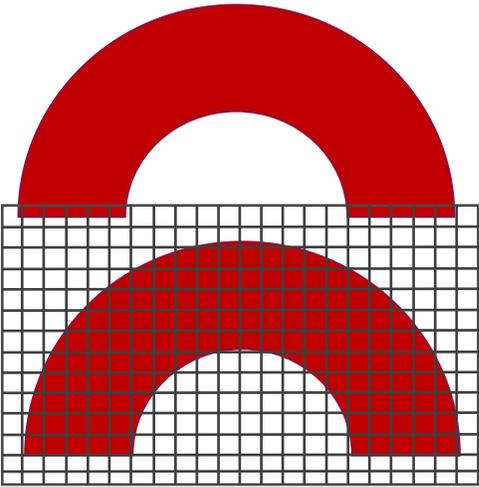
2 heures



Approche frontale

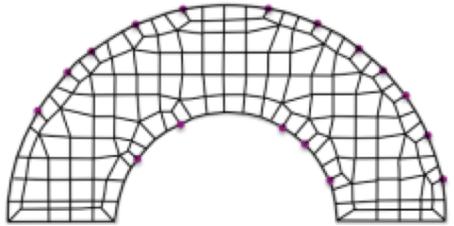
- ▶ Problème sur-contraint
- ▶ Basé sur des décisions locales





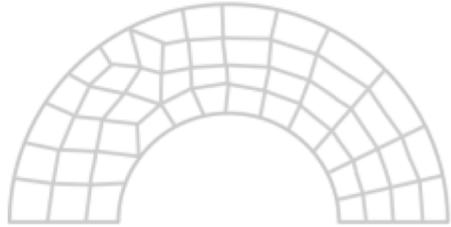
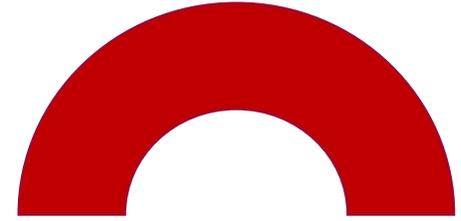
Approche frontale

- ▶ Problème sur-contraint
- ▶ Basé sur des décisions locales



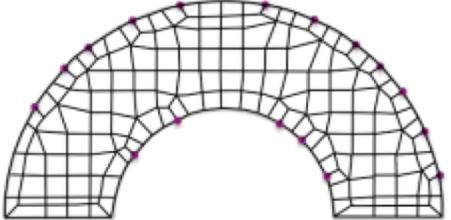
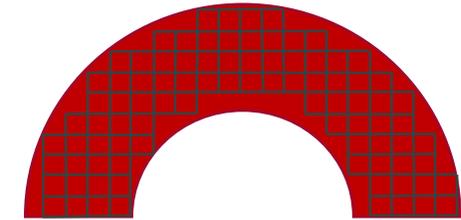
Intersection de grilles

- ▶ Discrétisation d'un grille
- ▶ Mauvaise qualité des éléments



Approche frontale

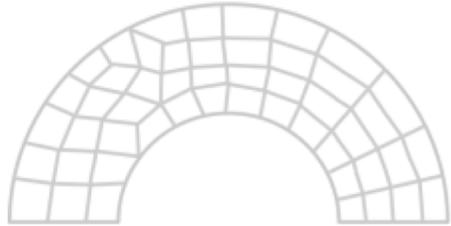
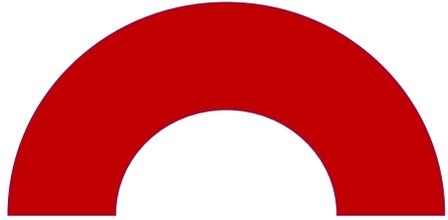
- ▶ Problème sur-contraint
- ▶ Basé sur des décisions locales



Intersection de grilles

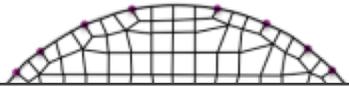
- ▶ Discrétisation d'un grille
- ▶ Mauvaise qualité des éléments

Quelle stratégie de maillage adopter ?



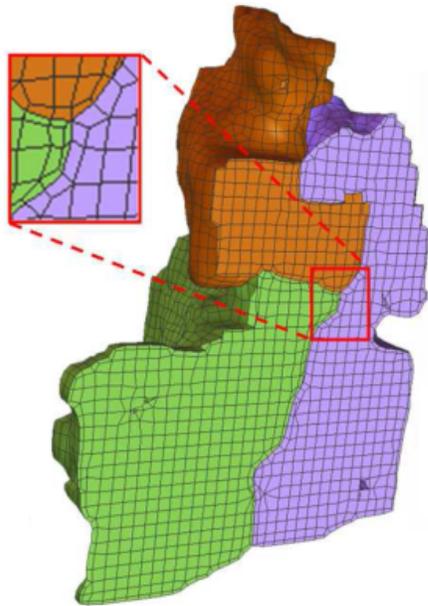
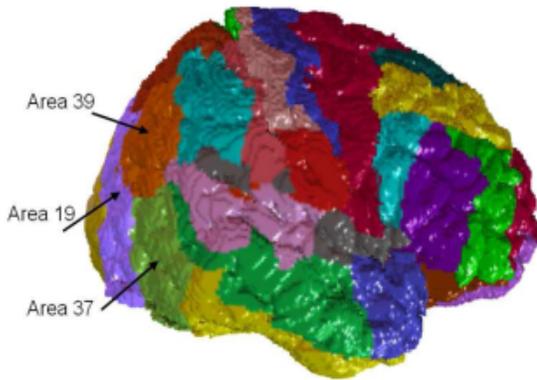
Approche frontale

- ▶ Problème sur-contraint
- ▶ Basé sur des décisions locales

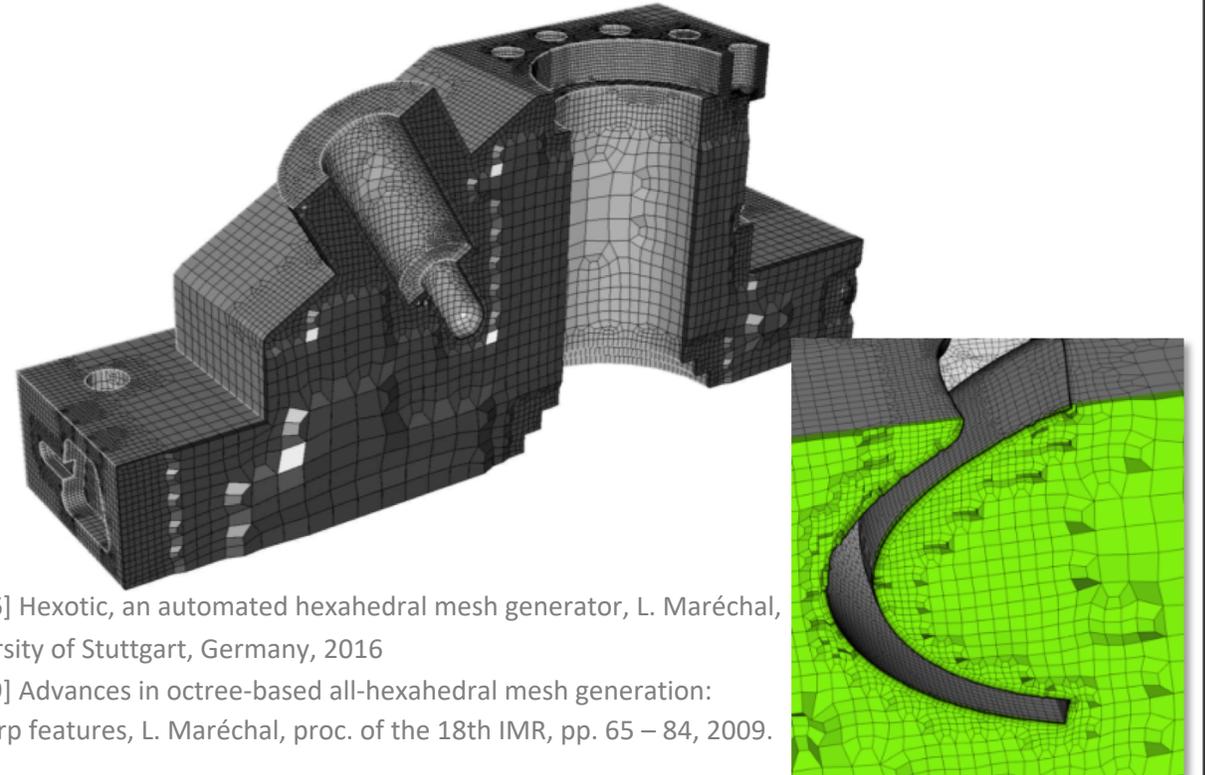


Intersection de grilles

Données médicales sans arêtes vives

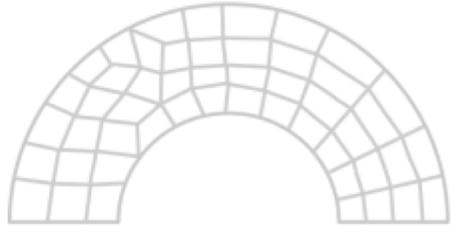
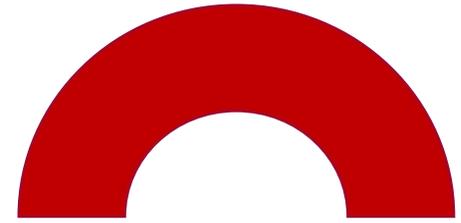


Zhang Y, Hughes TJR, Bajaj CL. Automatic 3D Mesh Generation for a Domain with Multiple Materials. *Proceedings 16th International Meshing Roundtable*, Seattle, WA, 2007; 367-386, DOI: 10.1007/978-3-540-75103-8.



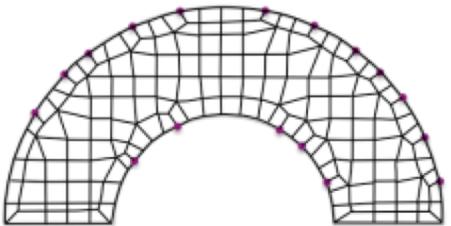
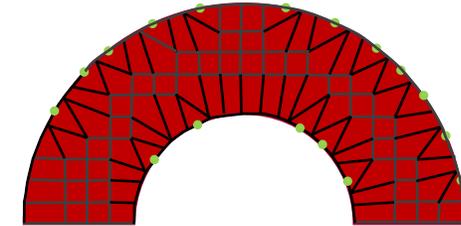
[MARÉCHAL 16] Hexotic, an automated hexahedral mesh generator, L. Maréchal, talk at University of Stuttgart, Germany, 2016

[MARÉCHAL 09] Advances in octree-based all-hexahedral mesh generation: Handling sharp features, L. Maréchal, proc. of the 18th IMR, pp. 65 – 84, 2009.



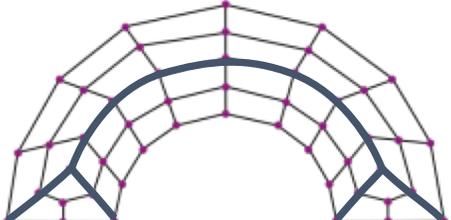
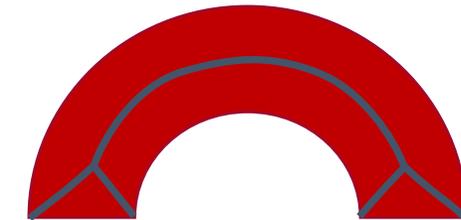
Approche frontale

- ▶ Problème sur-contraint
- ▶ Basé sur des décisions locales



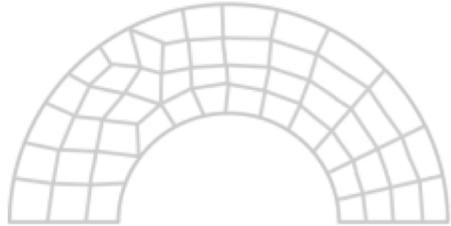
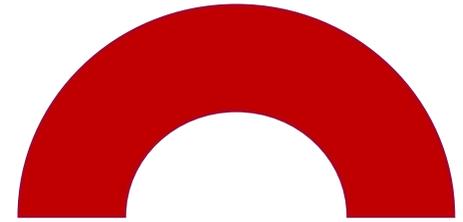
Intersection de grilles

- ▶ Discrétisation d'un grille
- ▶ Mauvaise qualité des éléments



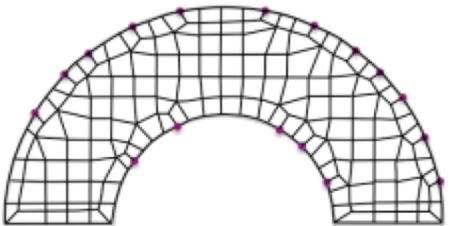
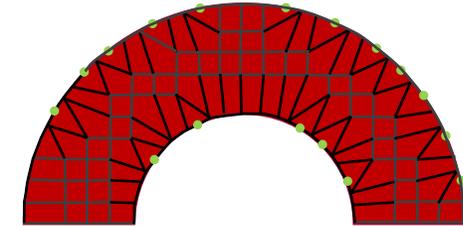
Axe médian

- ▶ Décomposition du domaine
- ▶ Pas orienté hexaèdre



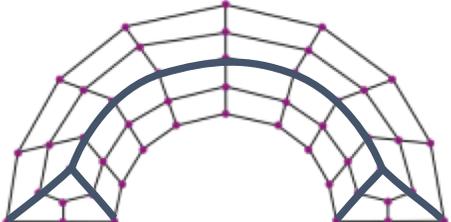
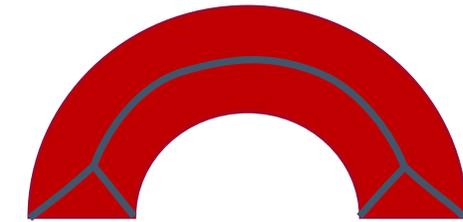
Approche frontale

- ▶ Problème sur-contraint
- ▶ Basé sur des décisions locales



Intersection de grilles

- ▶ Discrétisation d'un grille
- ▶ Mauvaise qualité des éléments



Axe médian

- ▶ Décomposition du domaine
- ▶ Pas orienté hexaèdre

Champ d'orientations

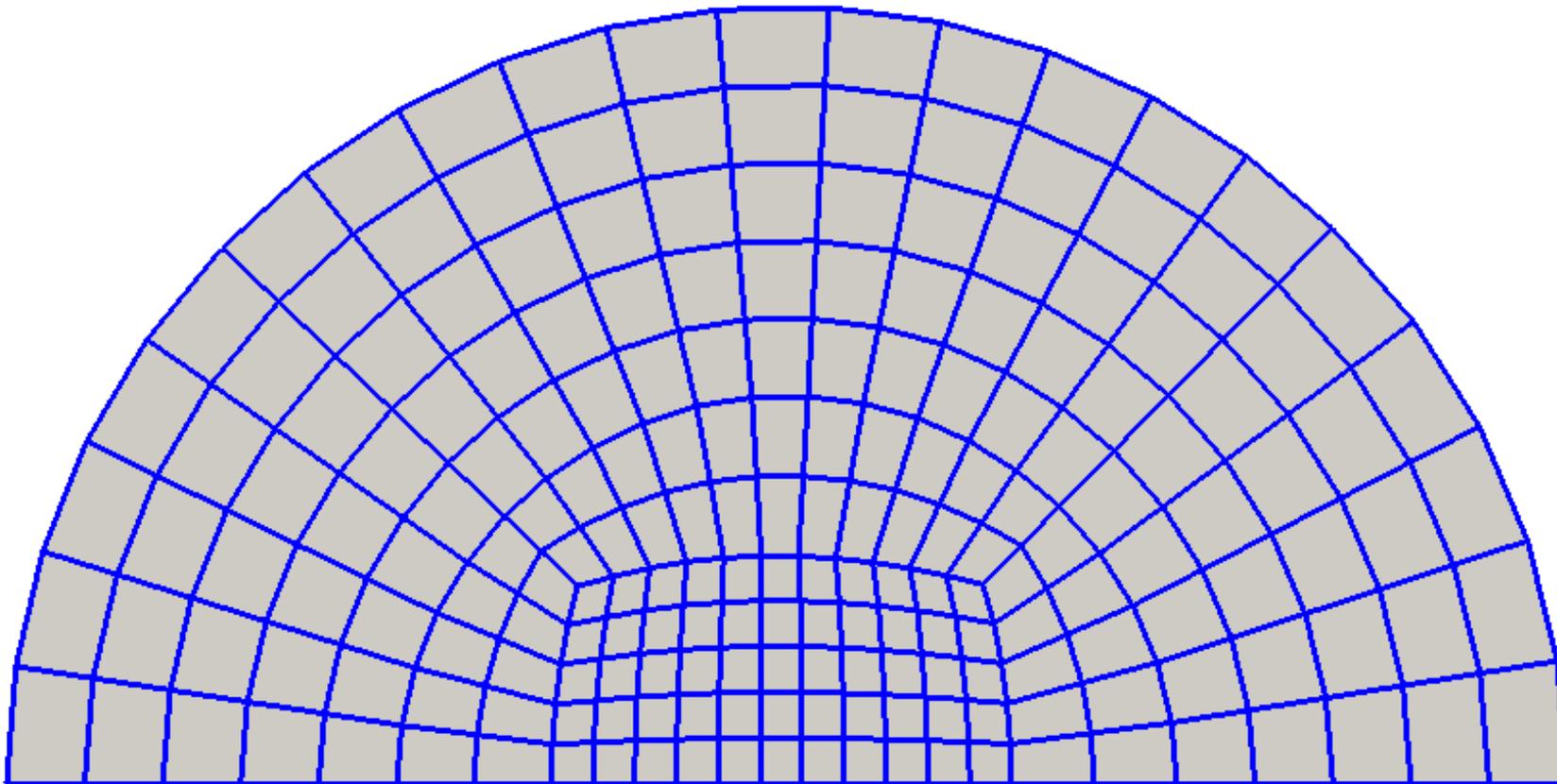
- ▶ Propagation d'informations du bord du domaine vers l'intérieur
- ▶ Adapté à l'hexaédrique



Quelle stratégie de maillage adopter ?

Approche frontale

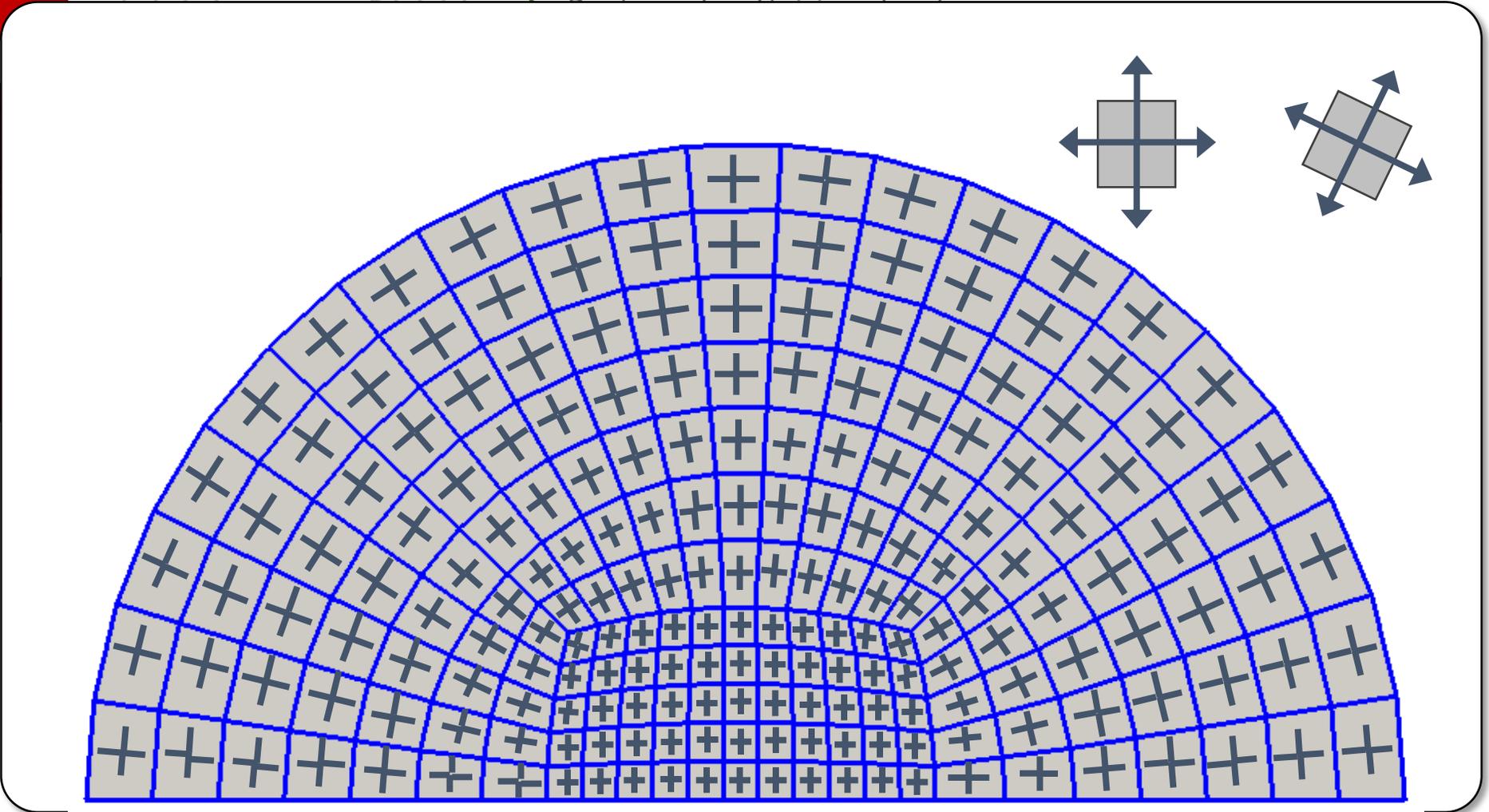
- Problème sur-contraint



Quelle stratégie de maillage adopter ?

Approche frontale

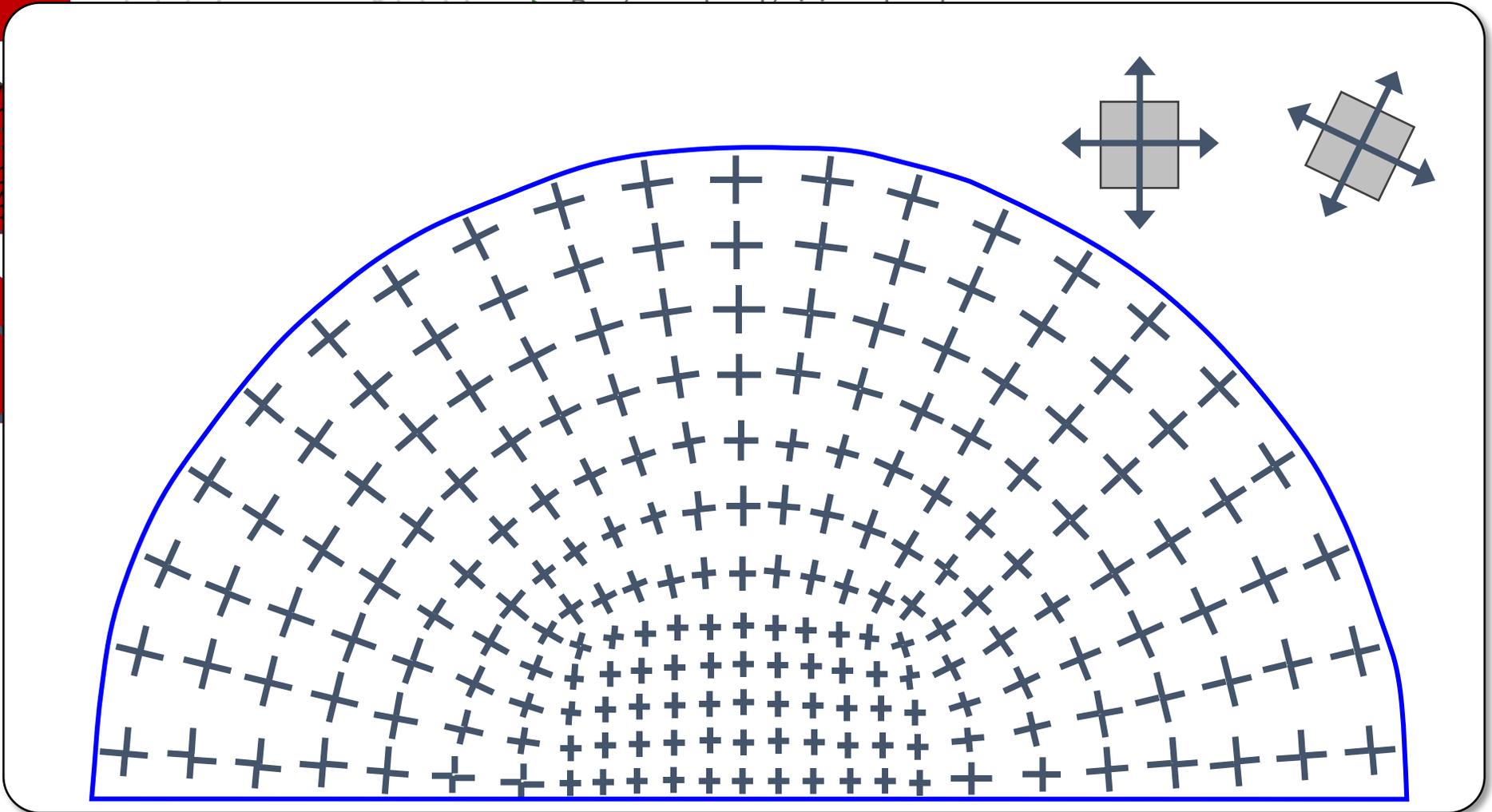
- Problème sur-contraint



Quelle stratégie de maillage adopter ?

Approche frontale

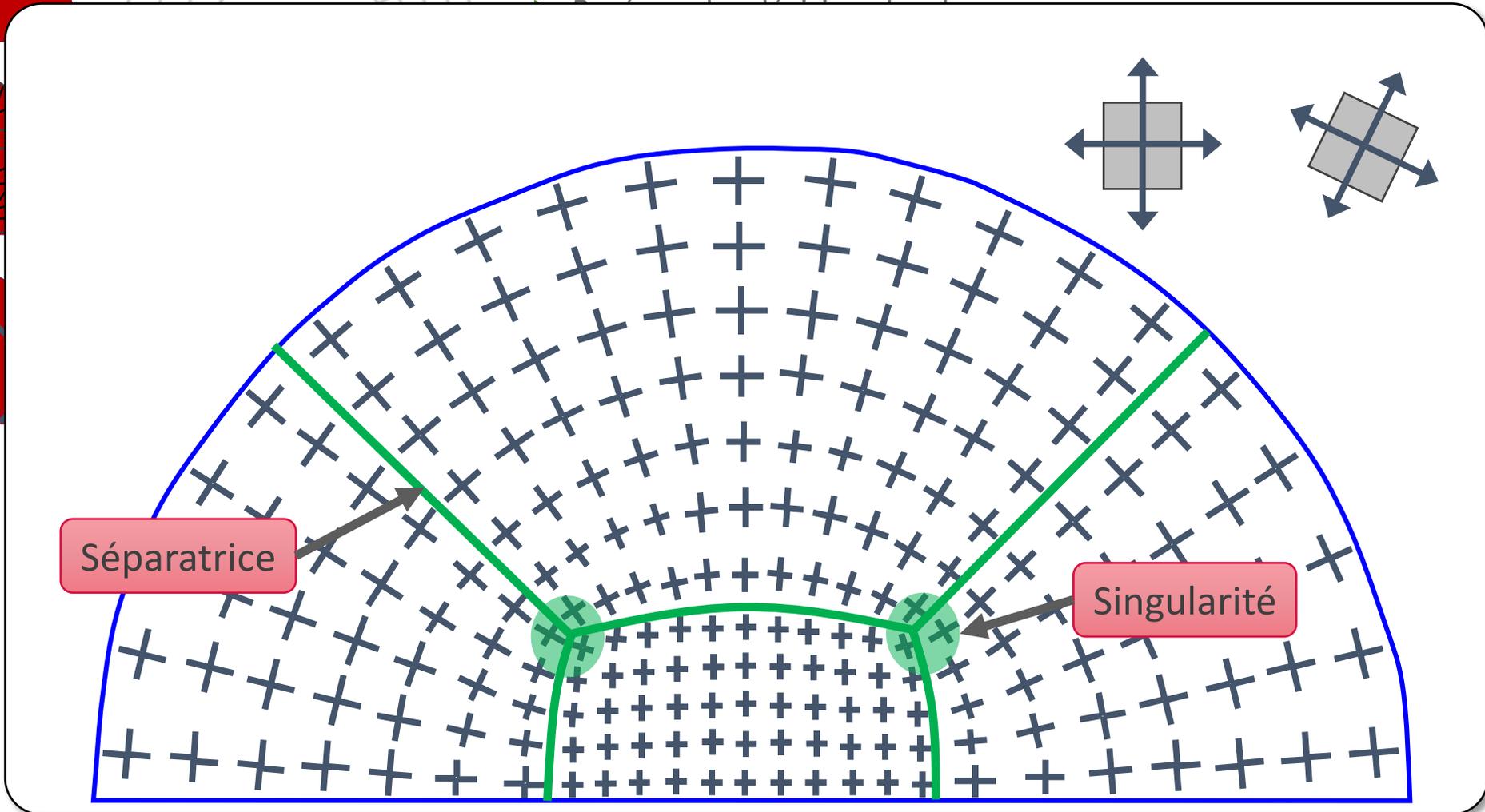
- Problème sur-contraint



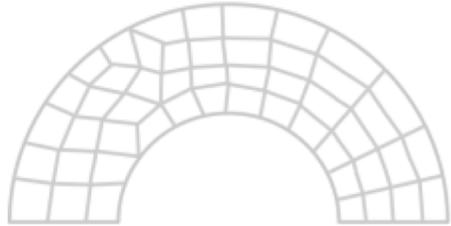
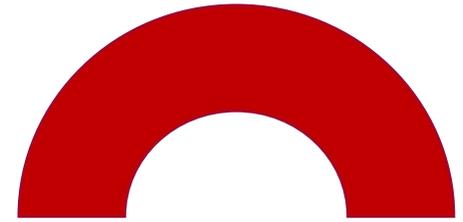
Quelle stratégie de maillage adopter ?

Approche frontale

- Problème sur-contraint

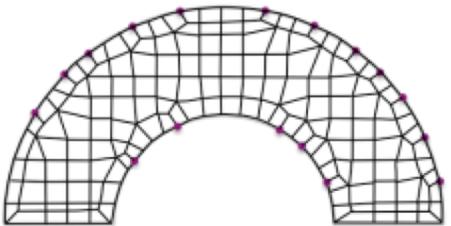
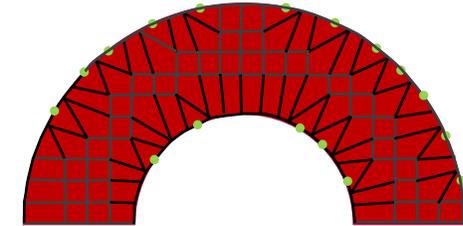


Quelle stratégie de maillage adopter ?



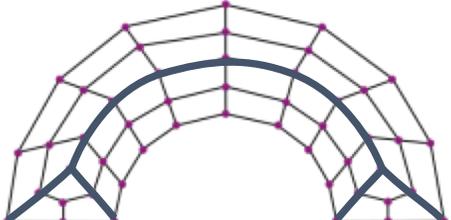
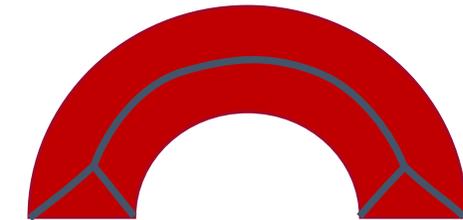
Approche frontale

- ▶ Problème sur-contraint
- ▶ Basé sur des décisions locales



Intersection de grilles

- ▶ Discrétisation d'un grille
- ▶ Mauvaise qualité des éléments



Axe médian

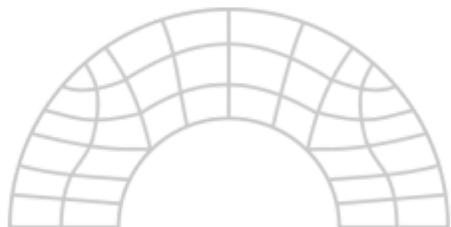
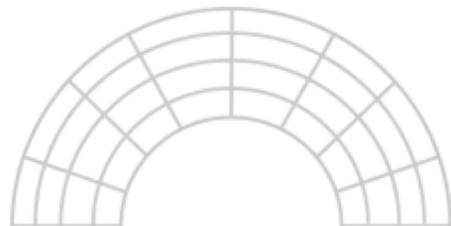
- ▶ Décomposition du domaine
- ▶ Pas orienté hexaèdre

Champ d'orientations

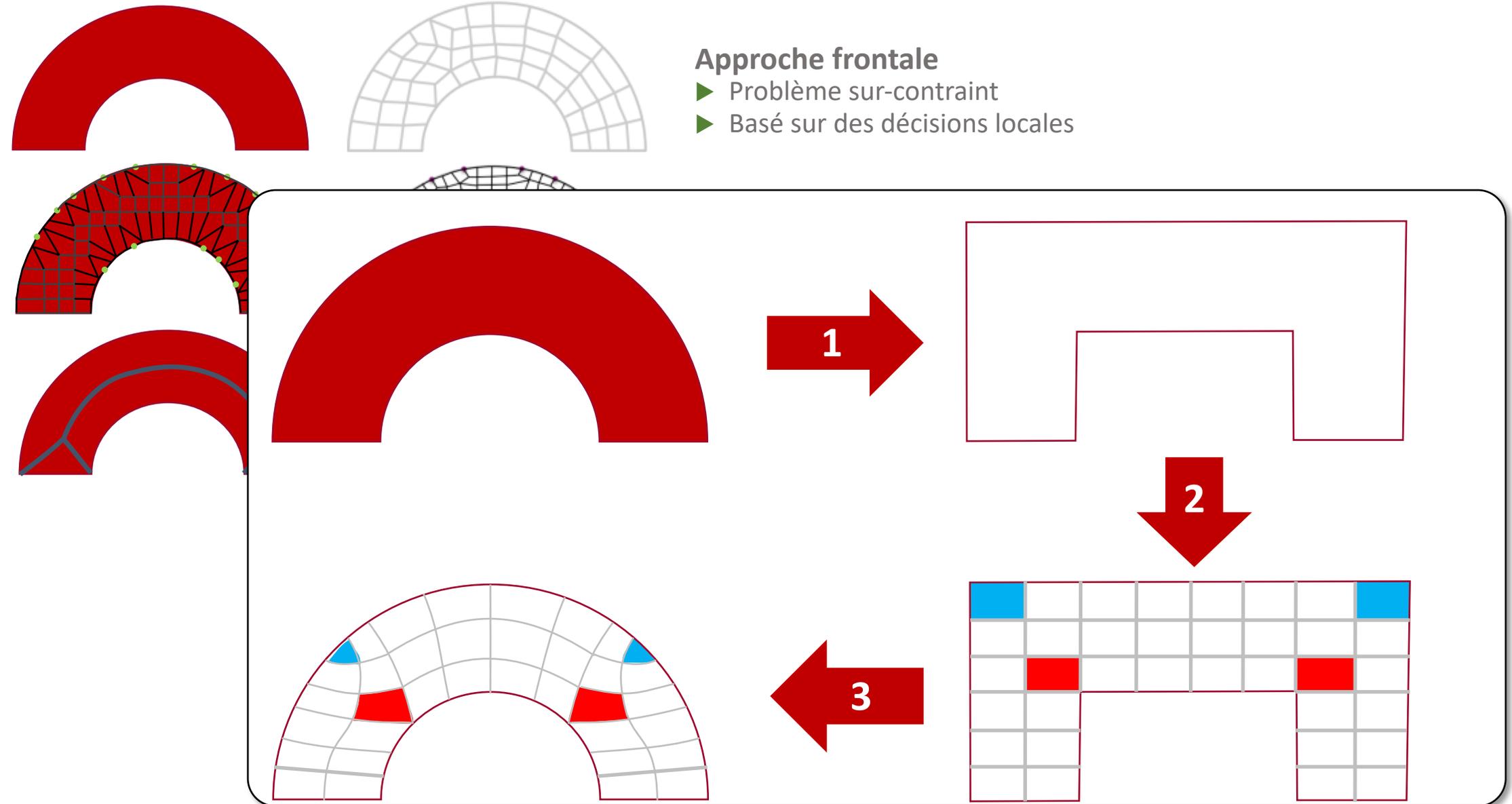
- ▶ Propagation d'informations du bord du domaine vers l'intérieur
- ▶ Adapté à l'hexaédrique

Idéalisation cartésienne

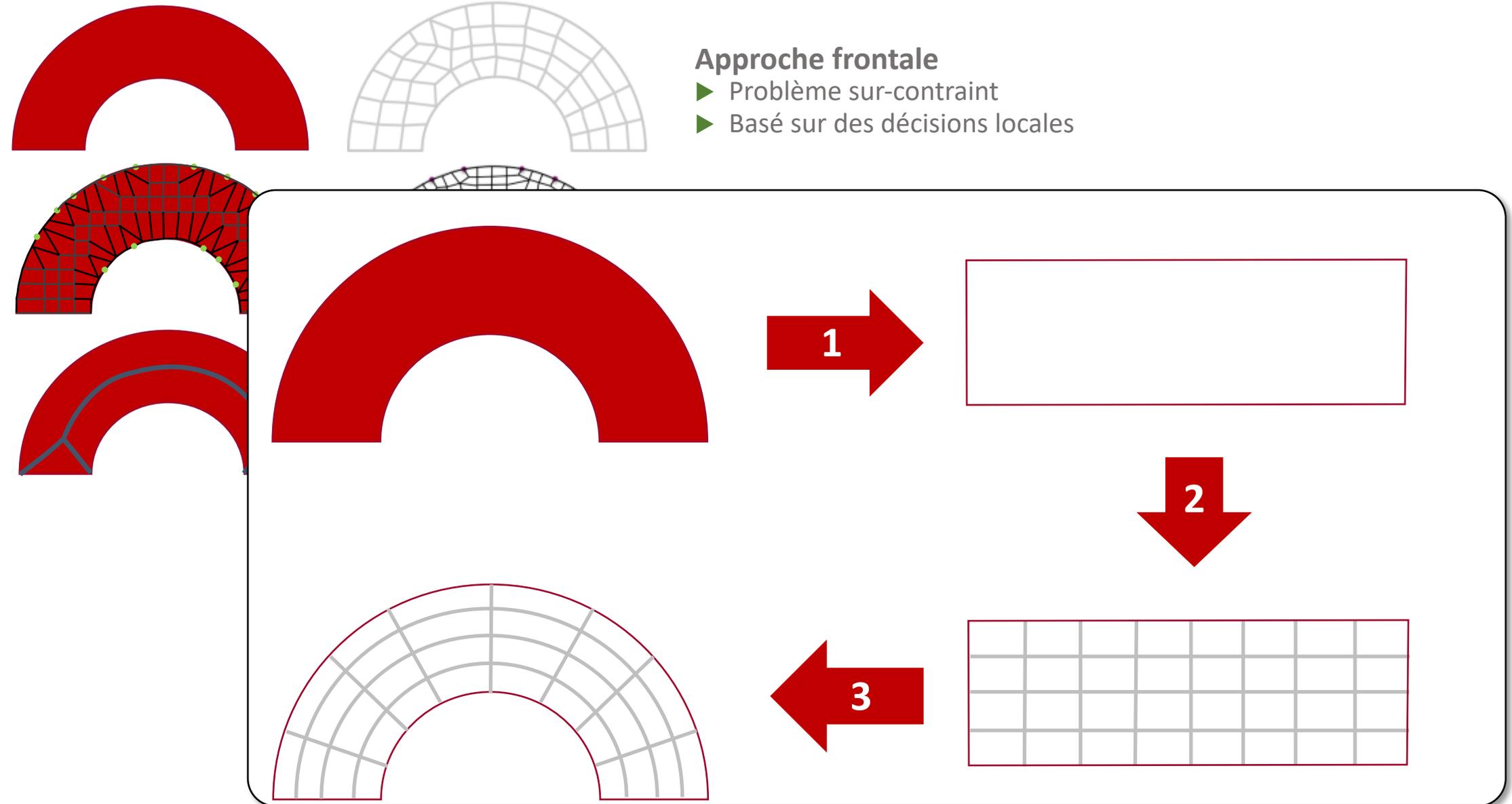
- ▶ On transforme le domaine
- ▶ Pas de singularité interne



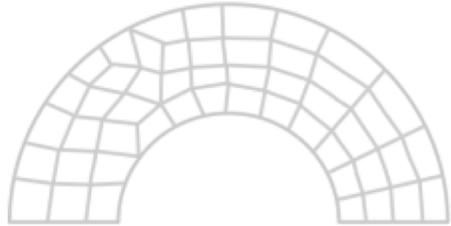
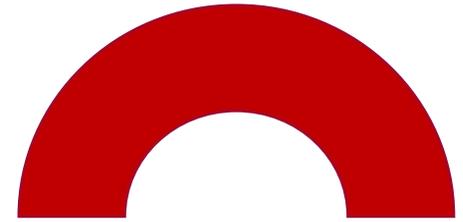
Quelle stratégie de maillage adopter ?



Quelle stratégie de maillage adopter ?



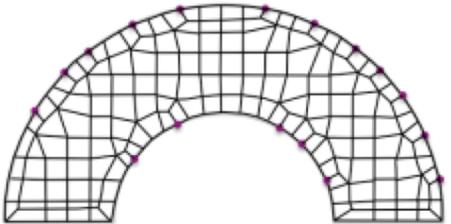
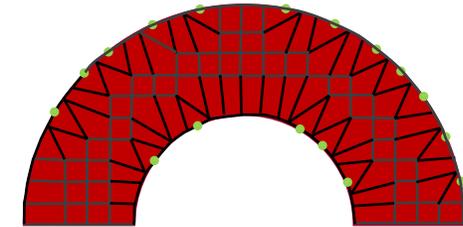
Quelle stratégie de maillage adopter ?



Approche frontale

- ▶ Problème sur-contraint
- ▶ Basé sur des décisions locales

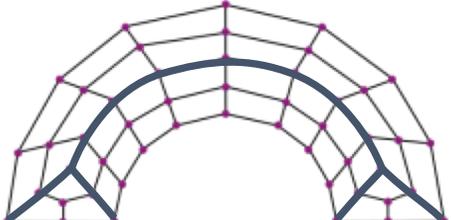
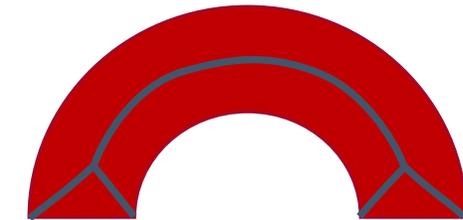
Discrétisation du domaine



Intersection de grilles

- ▶ Discrétisation d'une grille
- ▶ Mauvaise qualité des éléments

Discrétisation d'une grille
autour du domaine



Axe médian

- ▶ Décomposition du domaine
- ▶ Pas orienté hexaèdre

Décomposition du domaine



Champ d'orientations

- ▶ Propagation d'informations du bord du domaine vers l'intérieur
- ▶ Adapté à l'hexaédrique

Discrétisation d'une
déformation du domaine

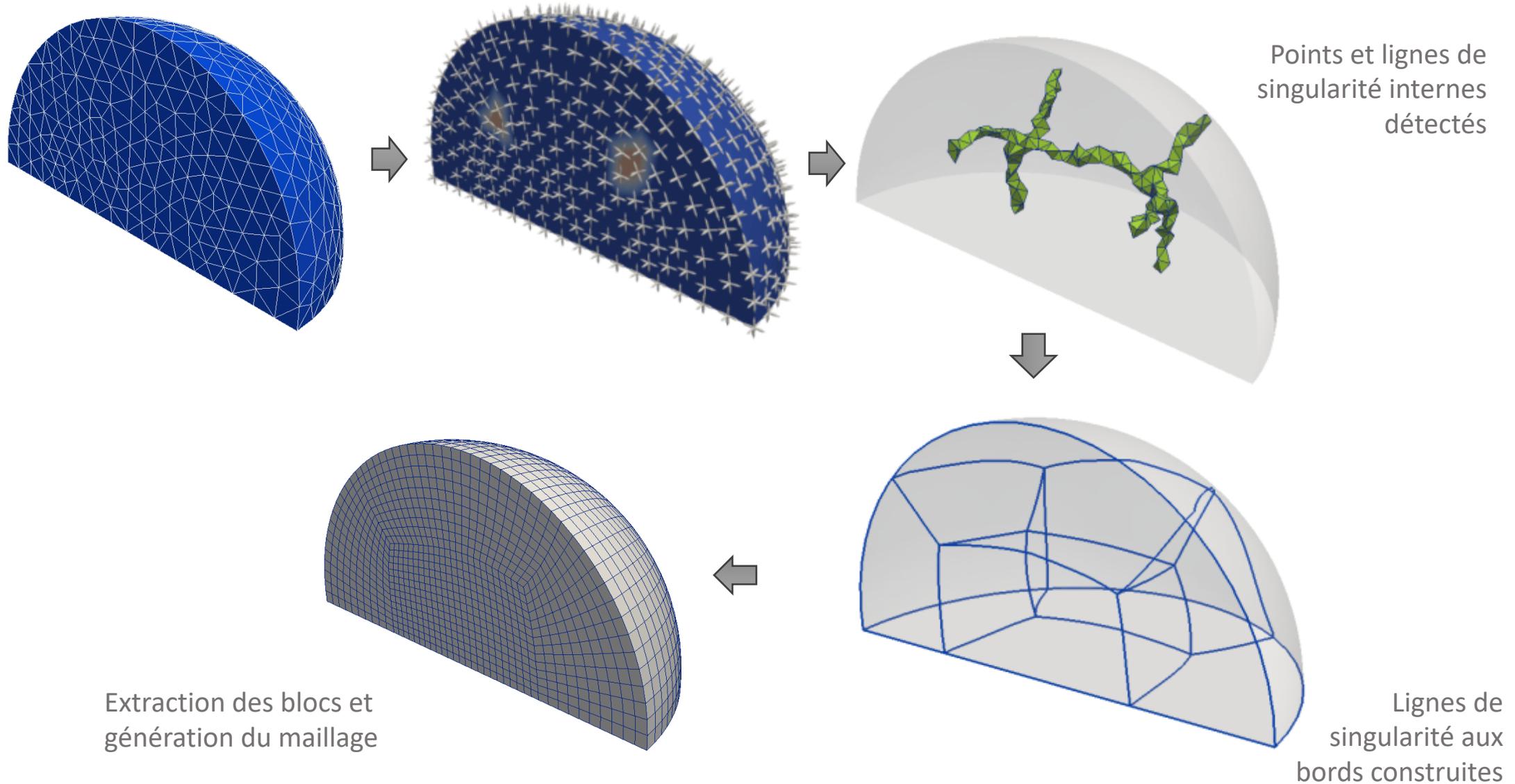


Idéalisation cartésienne

- ▶ On transforme le domaine
- ▶ Pas de singularité interne

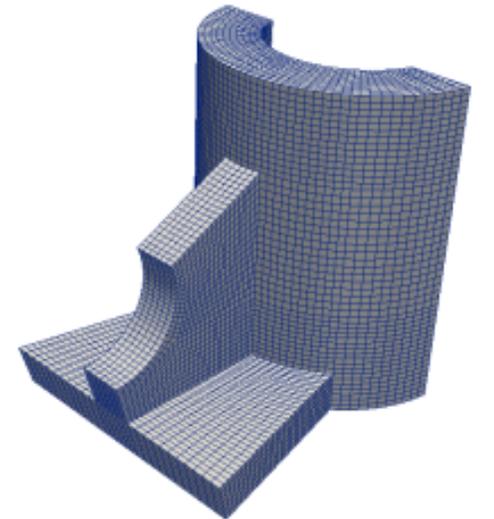
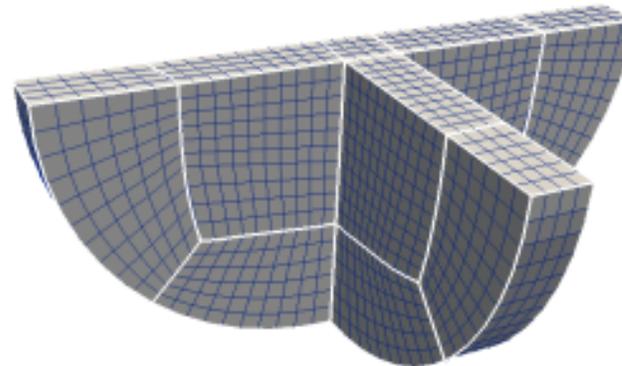
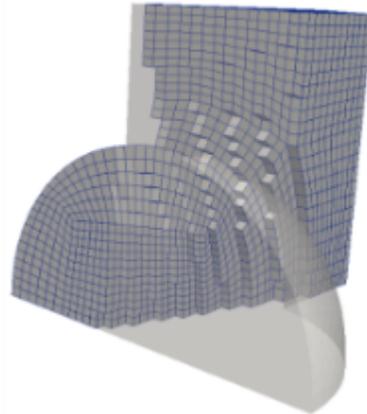
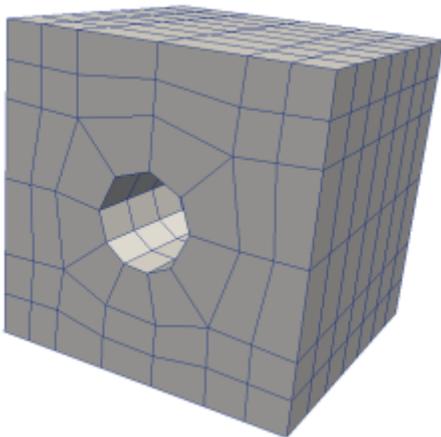
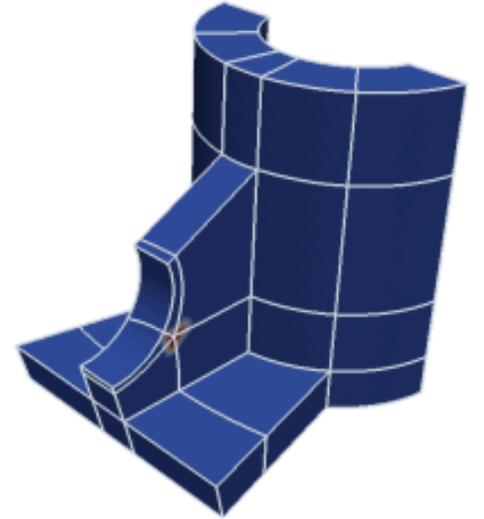
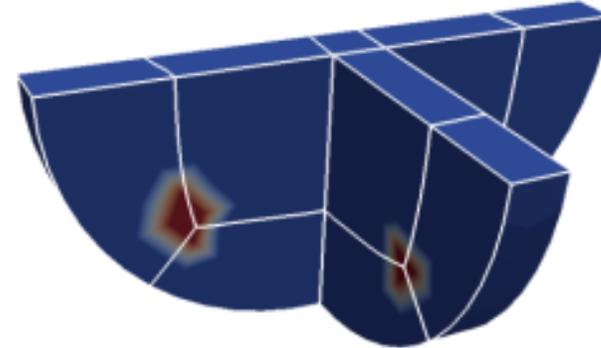
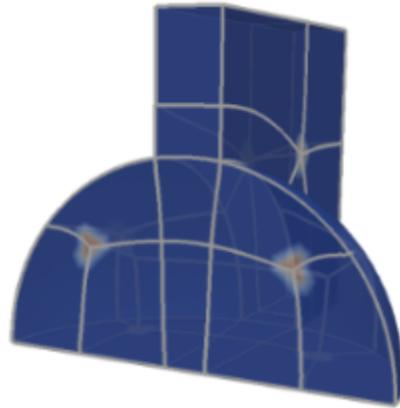
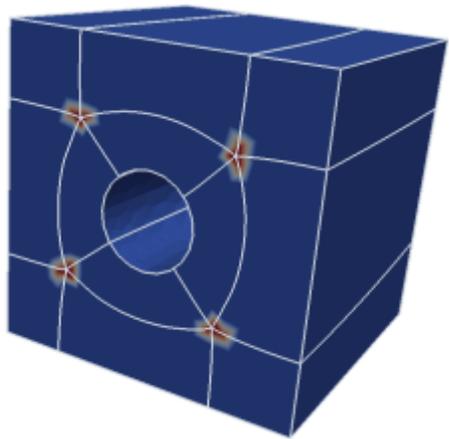
Maillage

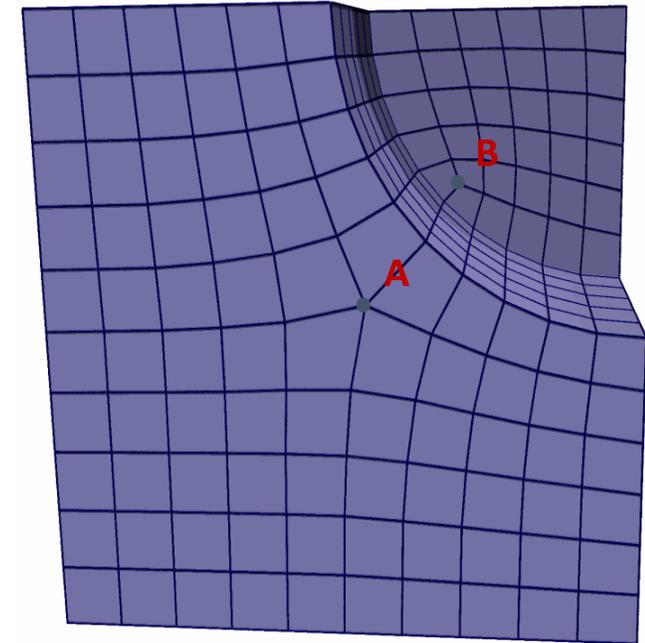
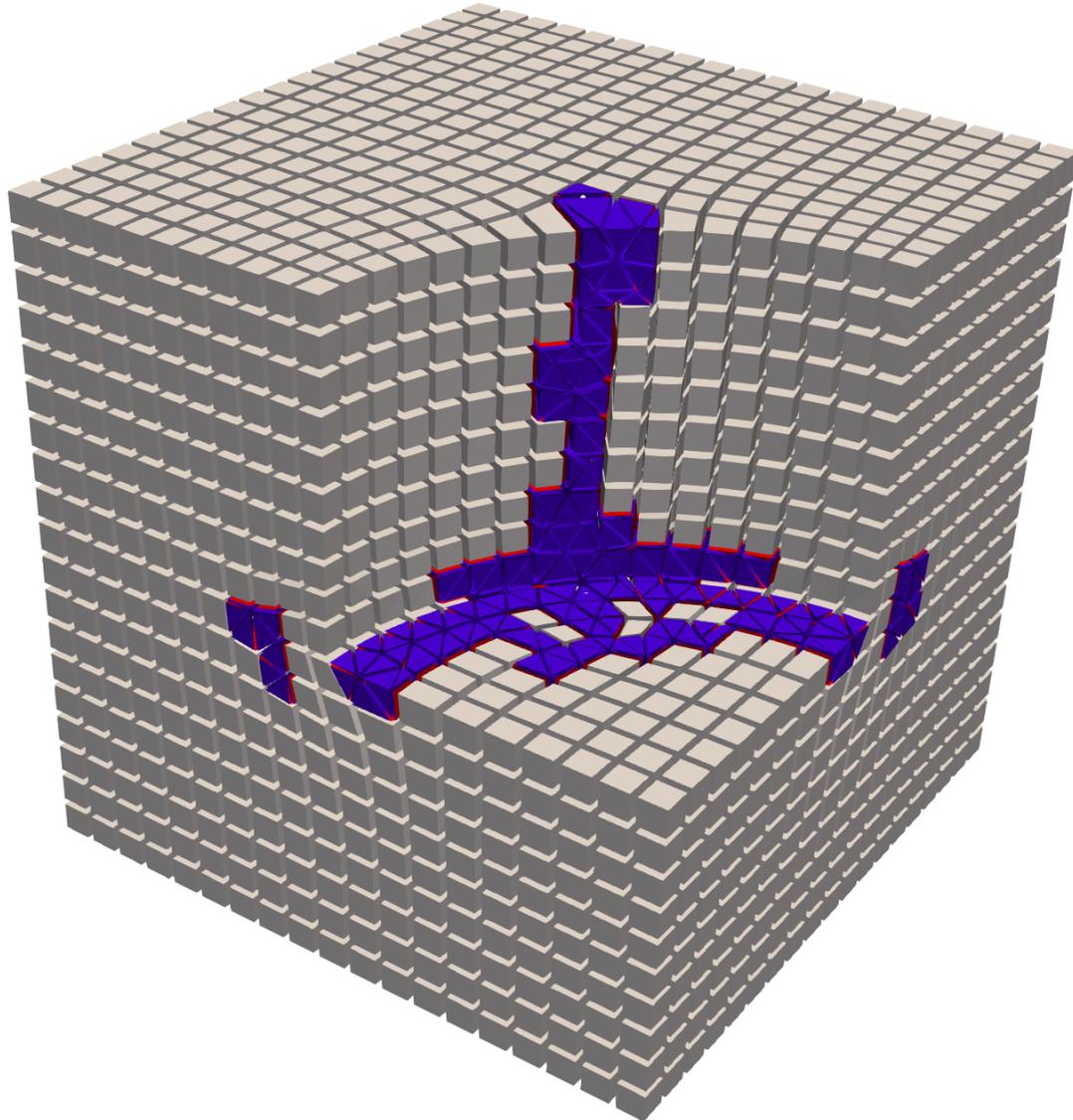
- ▶ Problématique du maillage hexaédrique
- ▶ Comment mailler?
- ▶ **Utilisation des champs d'orientations**
- ▶ Vers des polycubes robustes



- Pas de garantie théorique d'obtenir un découpage en blocs structurés
- Difficulté de tracer la décomposition en blocs

→ Gère uniquement certains modèles simples en 3D





Ligne de singularités
dans le champ
d'orientations

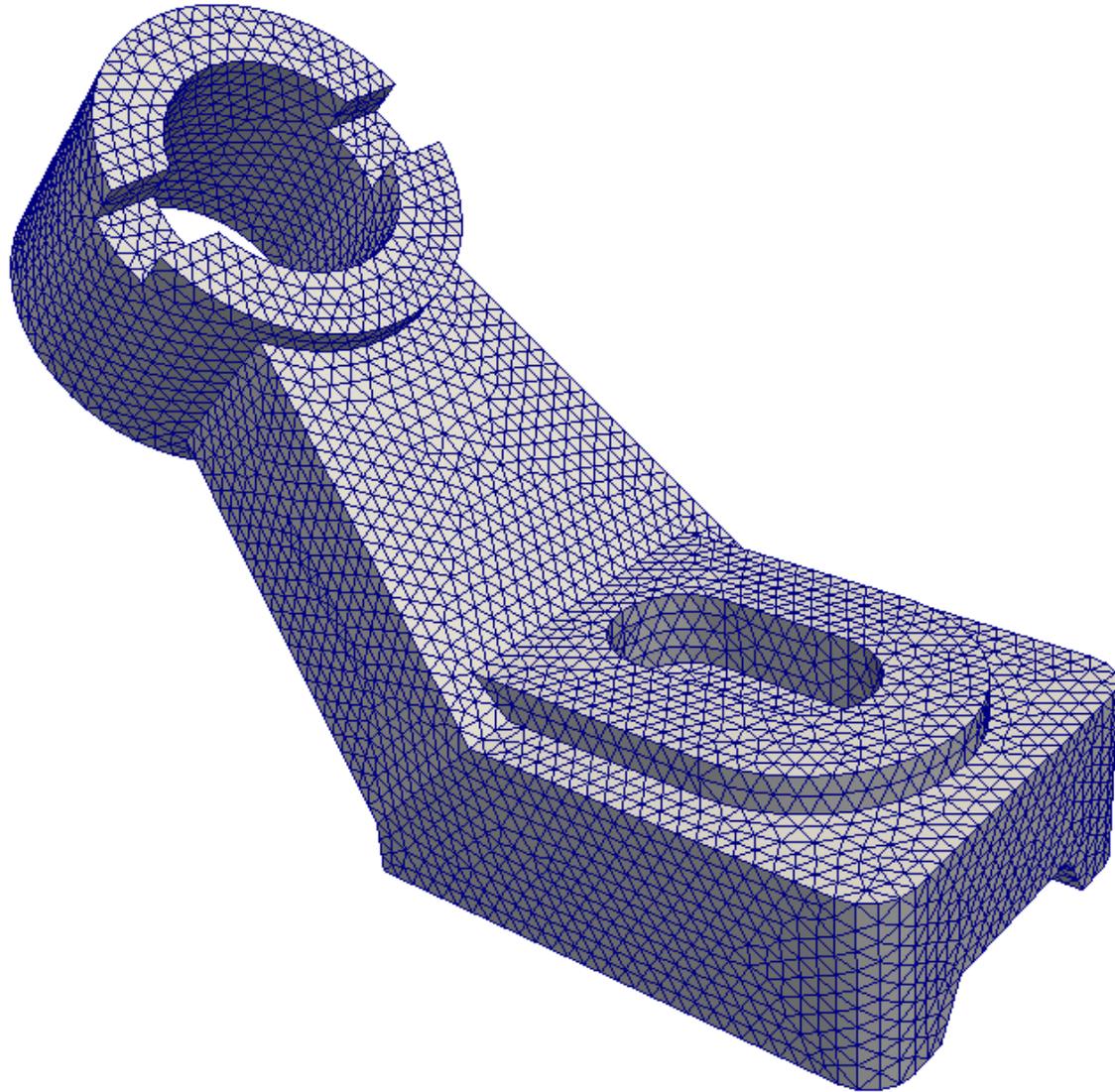
Maillage

Utilisation des champs d'orientations

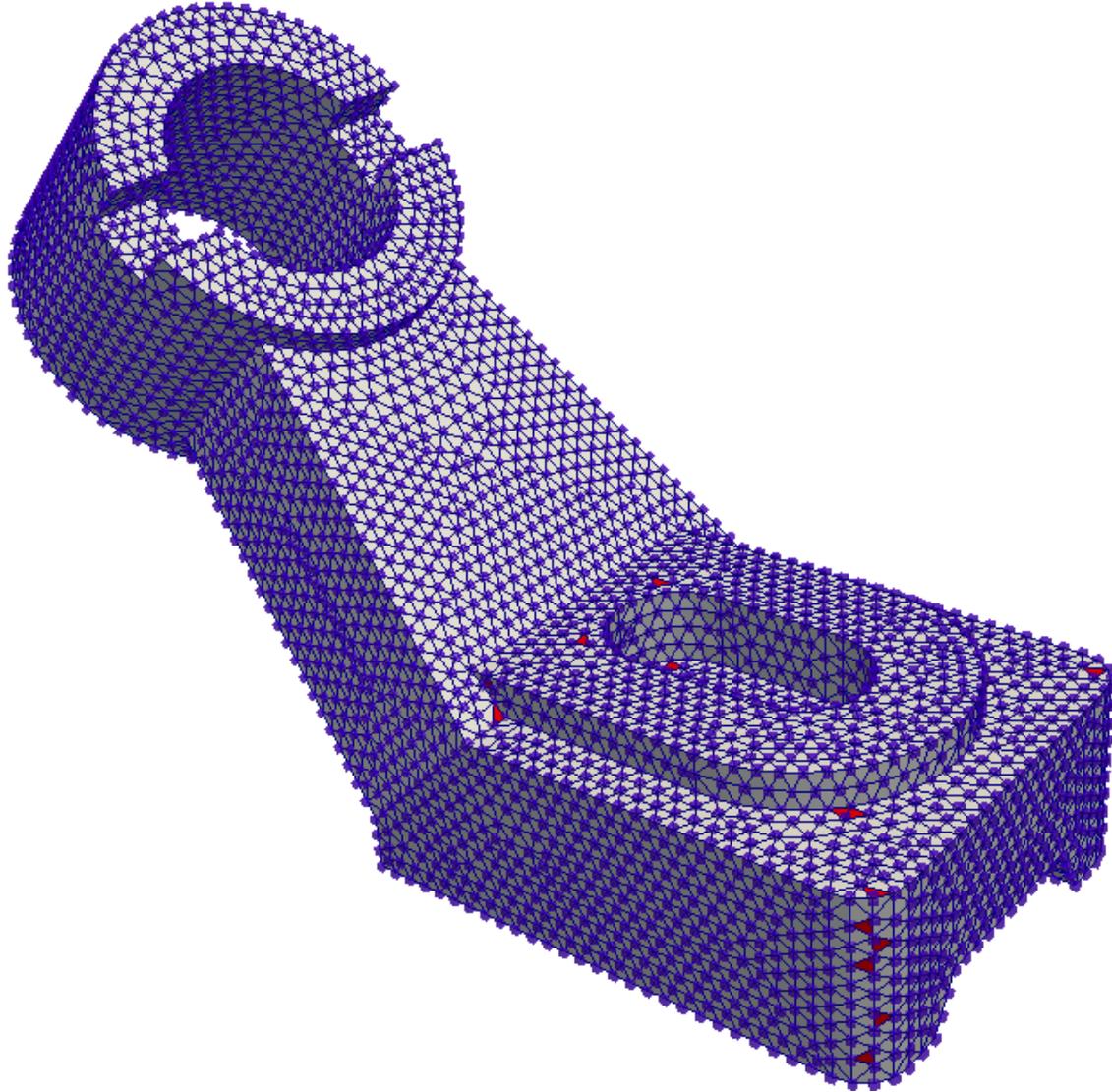
Maillage à dominante hexaédrique

Travaux initiés en 2015 avec LLNL, CA, USA et l'INRIA Grand Est

Sofiane Benzait, thèse débutée en Jan. 2020, dirigée par A. Loseille (INRIA Saclay, équipe Gamma)

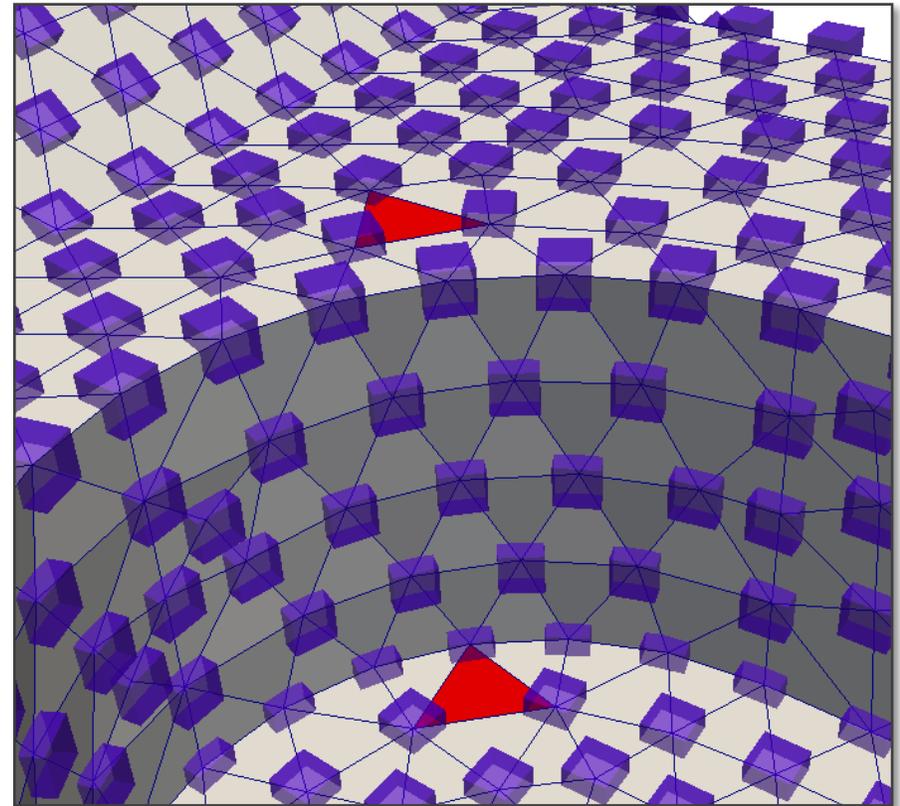


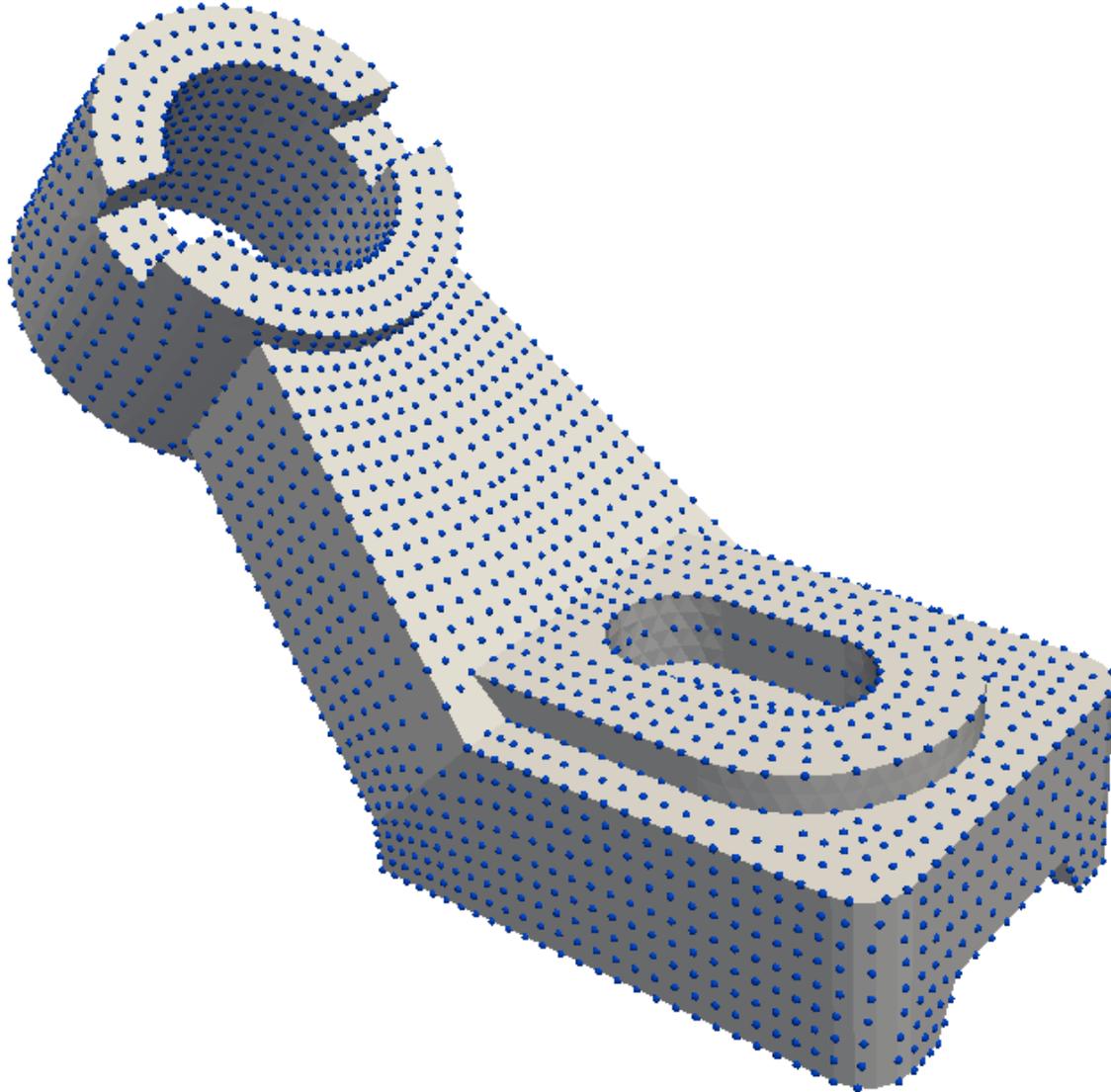
Données : un maillage tétraédrique



Données : un maillage tétraédrique

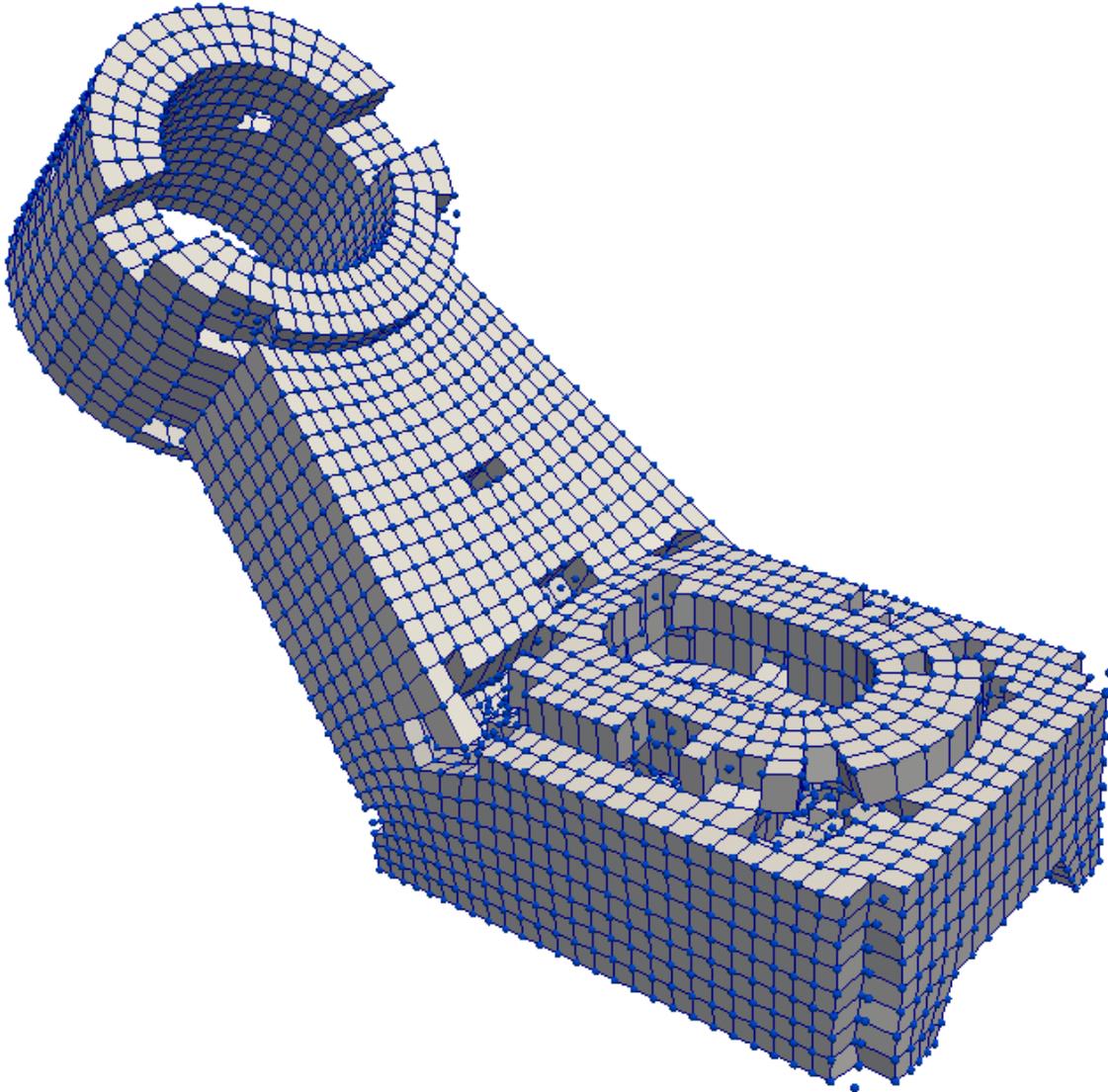
► Etape 1 – Génération du champ d'orientations





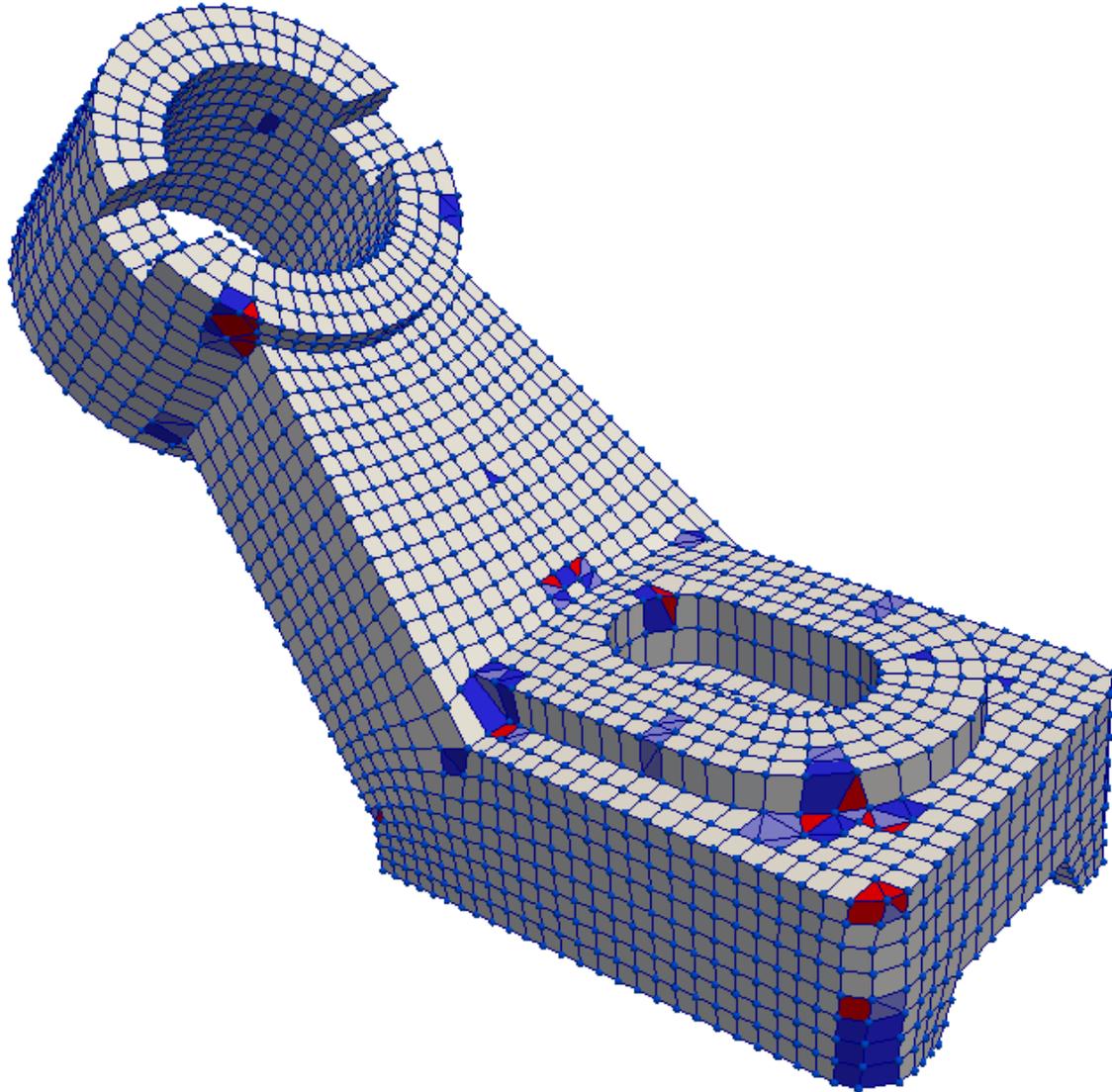
Données : un maillage tétraédrique

- ▶ Etape 1 – **Génération du champ d'orientations**
- ▶ Etape 2 – **Génération des points**
 - A partir d'une paramétrisation déduite de l'étape 1



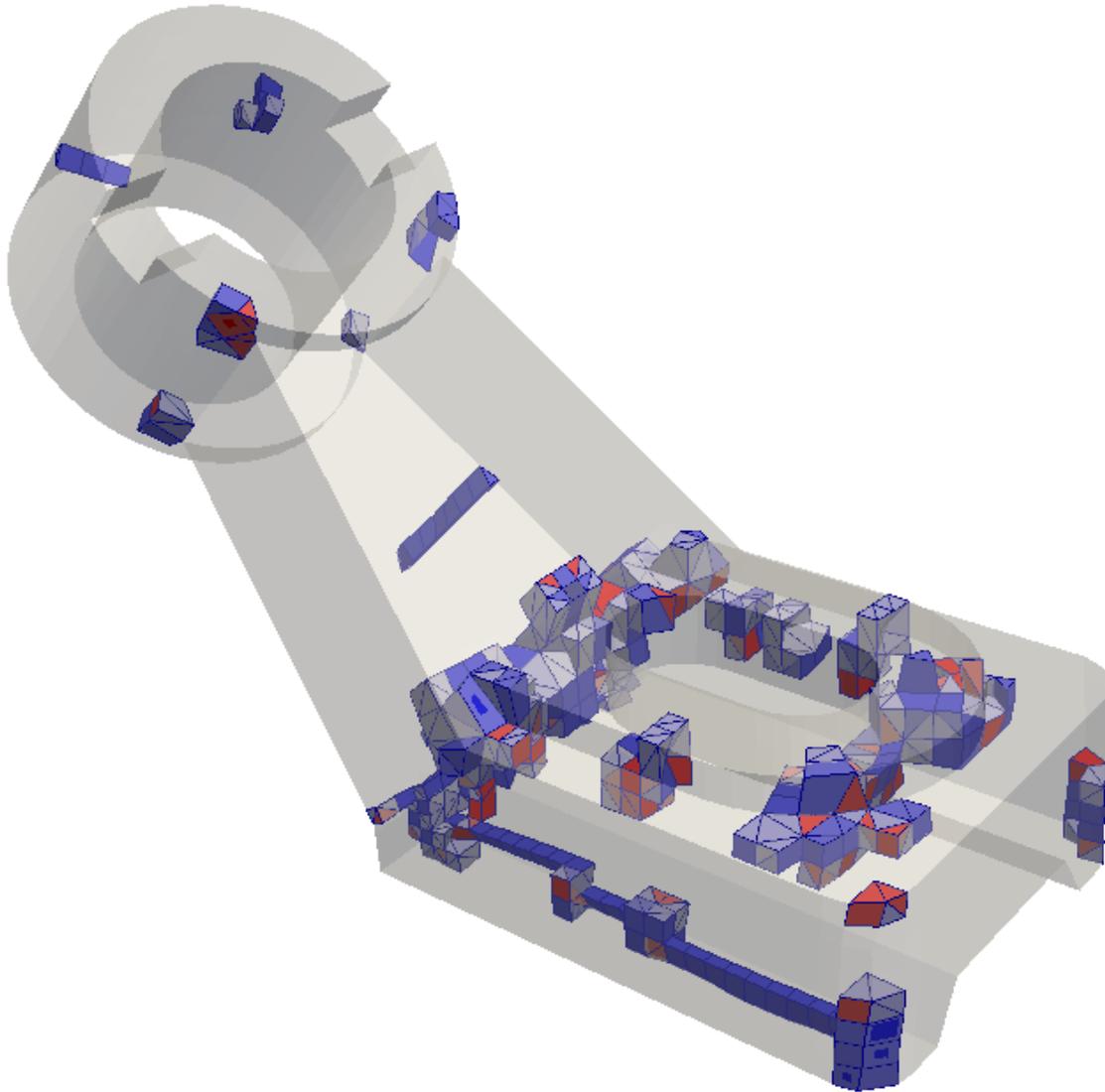
Données : un maillage tétraédrique

- ▶ Etape 1 – **Génération du champ d'orientations**
- ▶ Etape 2 – **Génération des points**
 - A partir d'une paramétrisation déduite de l'étape 1
- ▶ Etape 3 – **Génération des cellules**
 - Hexaèdres stables là où la paramétrisation est bien définie



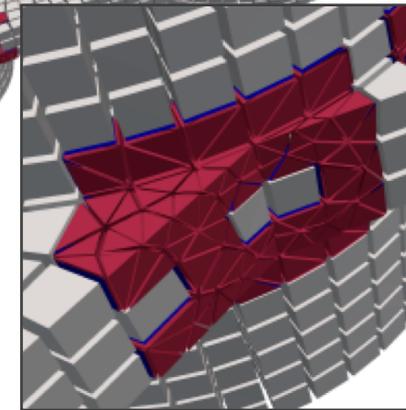
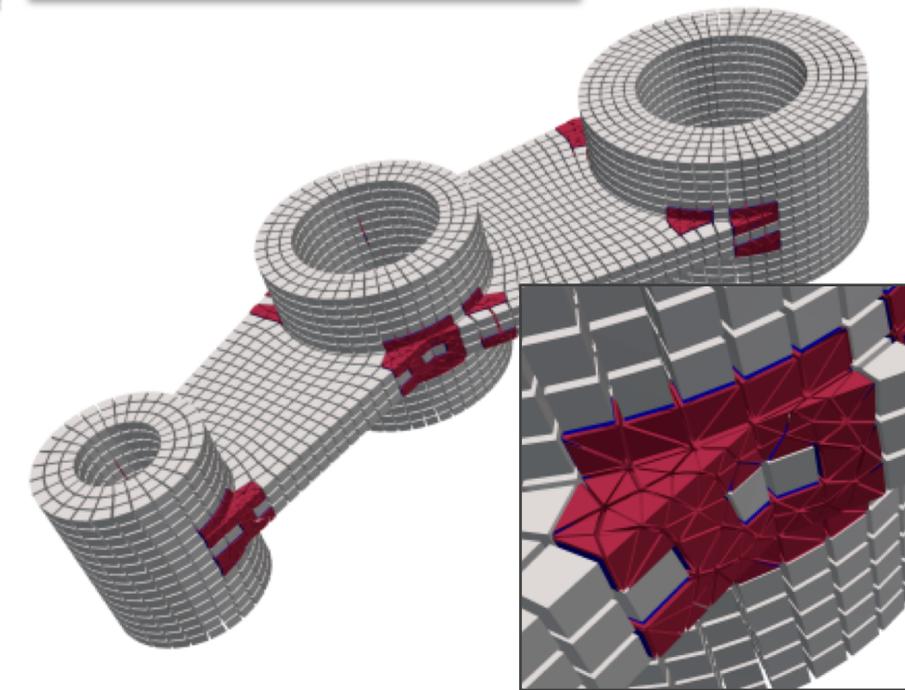
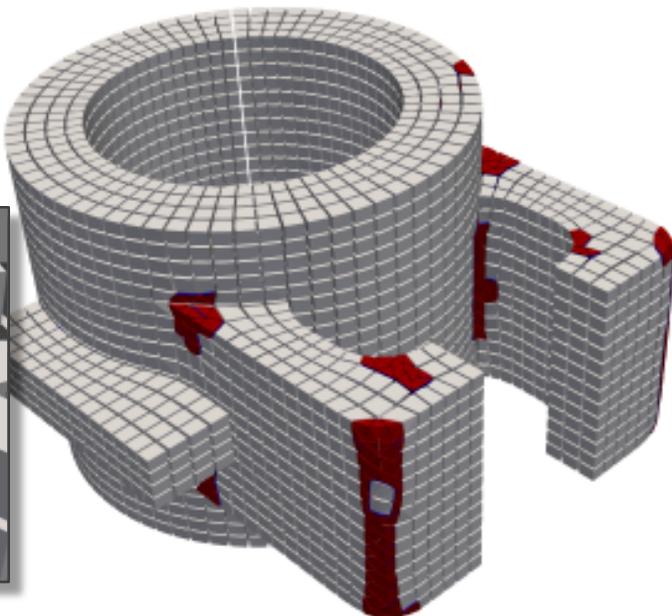
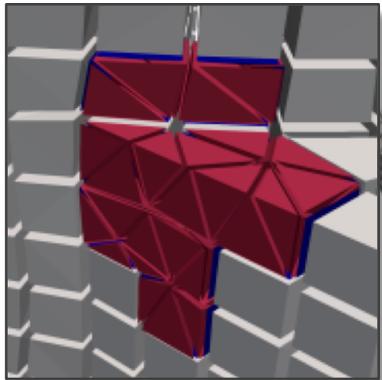
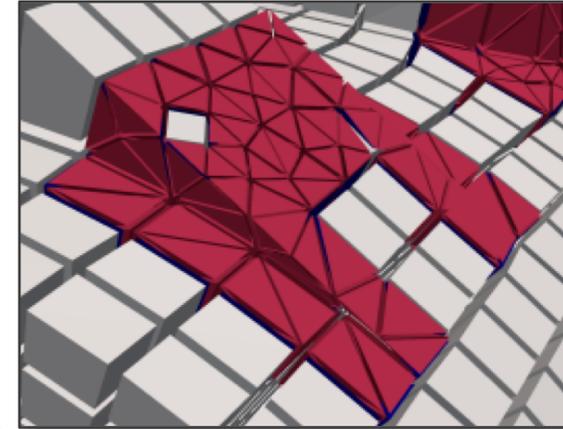
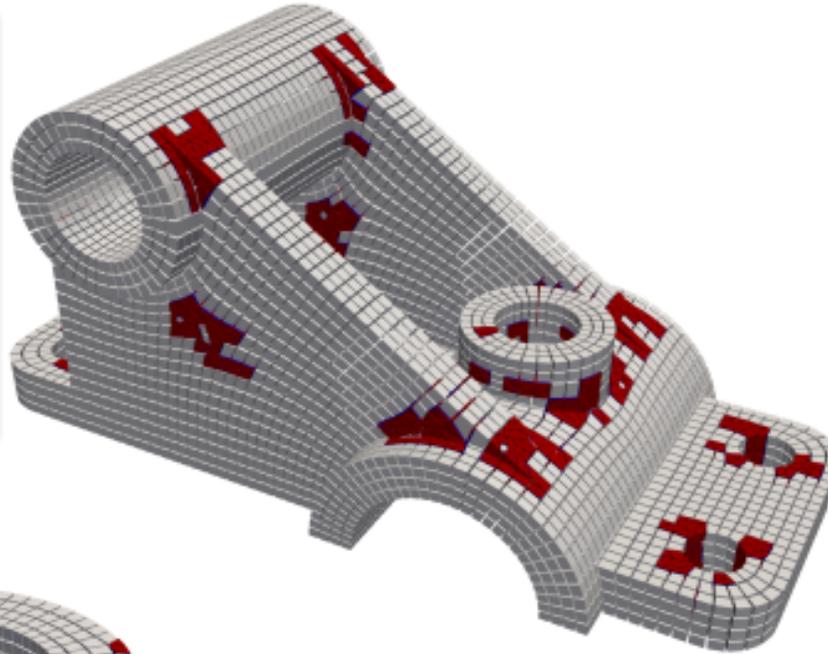
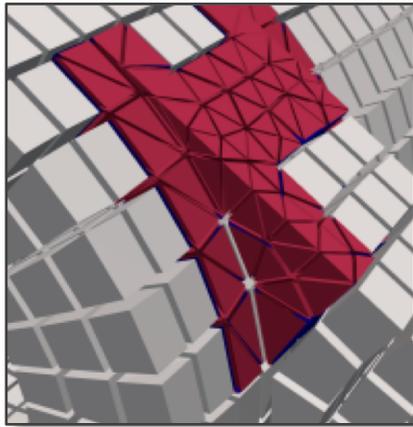
Données : un maillage tétraédrique

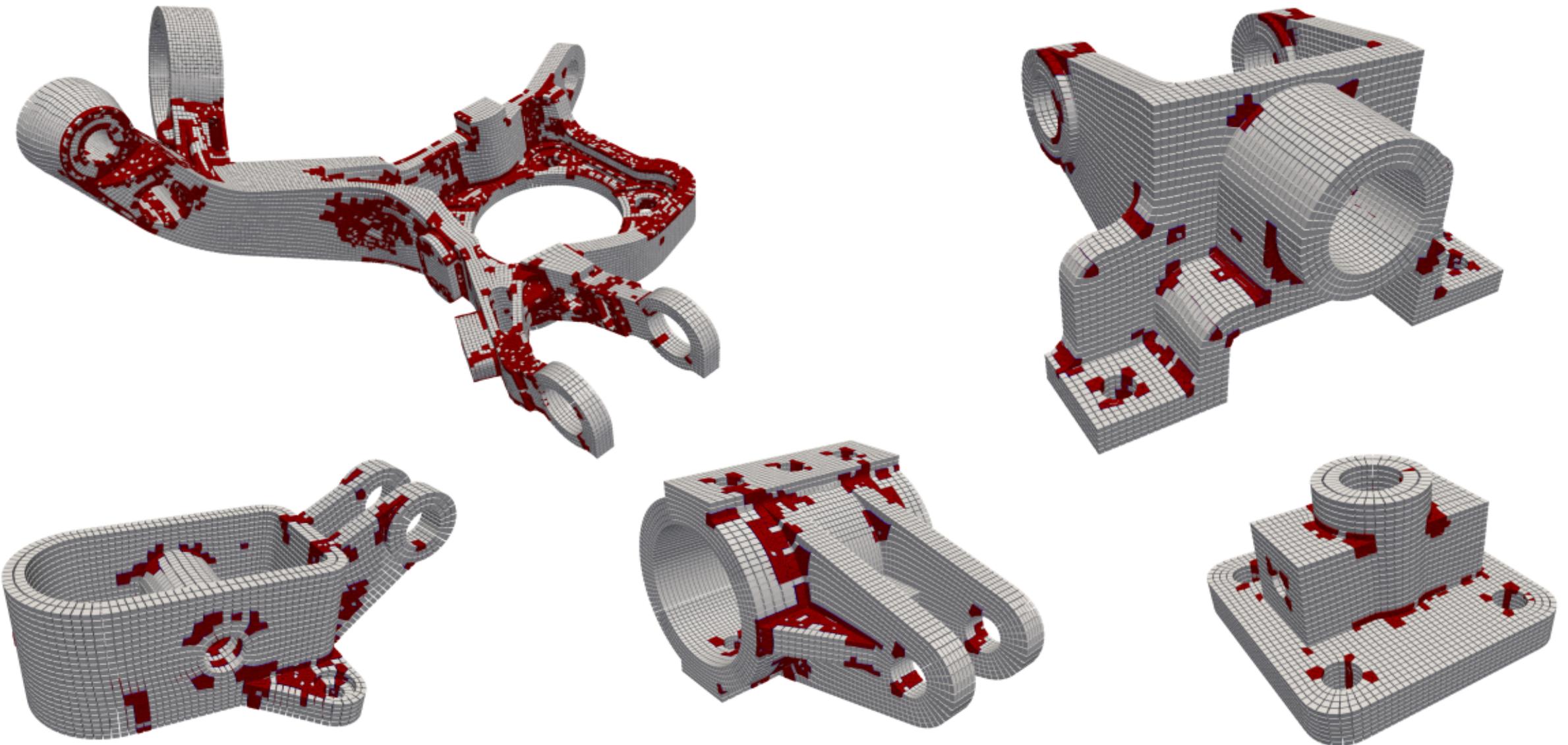
- ▶ Etape 1 – **Génération du champ d'orientations**
- ▶ Etape 2 – **Génération des points**
 - A partir d'une paramétrisation déduite de l'étape 1
- ▶ Etape 3 – **Génération des cellules**
 - Hexaèdres stables là où la paramétrisation est bien définie puis
 - Hexaèdres, tétraèdres, prismes et pyramides pour remplir



Données : un maillage tétraédrique

- ▶ Etape 1 – **Génération du champ d'orientations**
- ▶ Etape 2 – **Génération des points**
 - A partir d'une paramétrisation déduite de l'étape 1
- ▶ Etape 3 – **Génération des cellules**
 - Hexaèdres stables là où la paramétrisation est bien définie puis
 - Hexaèdres, tétraèdres, prismes et pyramides pour remplir





Maillage

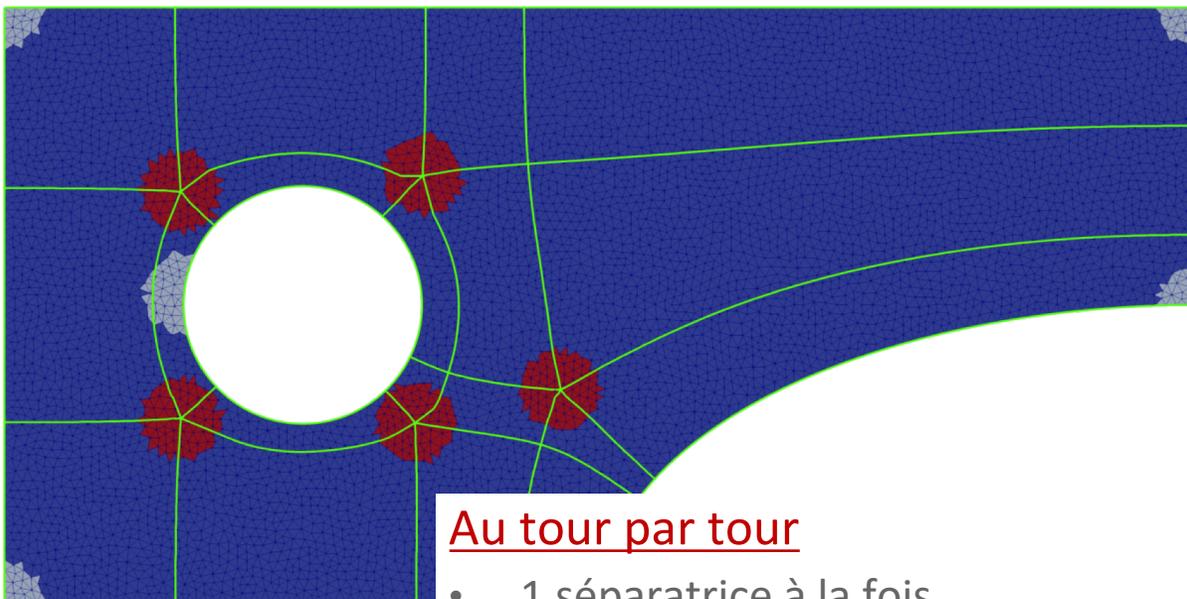
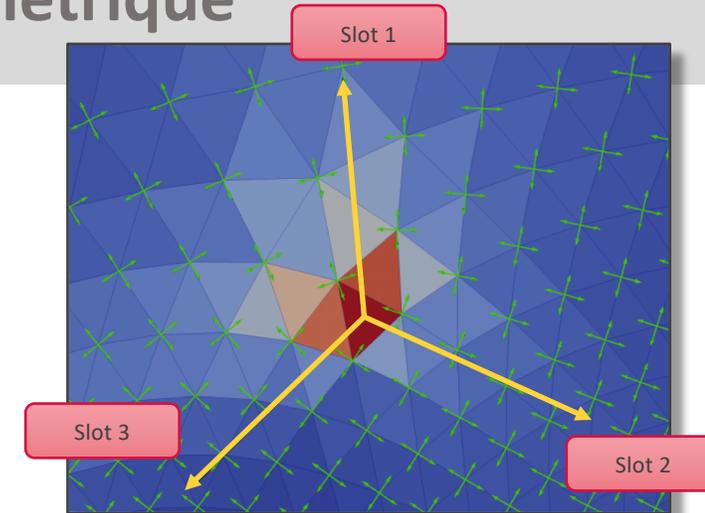
Utilisation des champs d'orientations

Tracé robuste de séparatrices en 2D

Ana-Maria Vintescu – post-doc de janvier 2019 à janvier 2020 sur un projet transverse avec le CEA/DEN

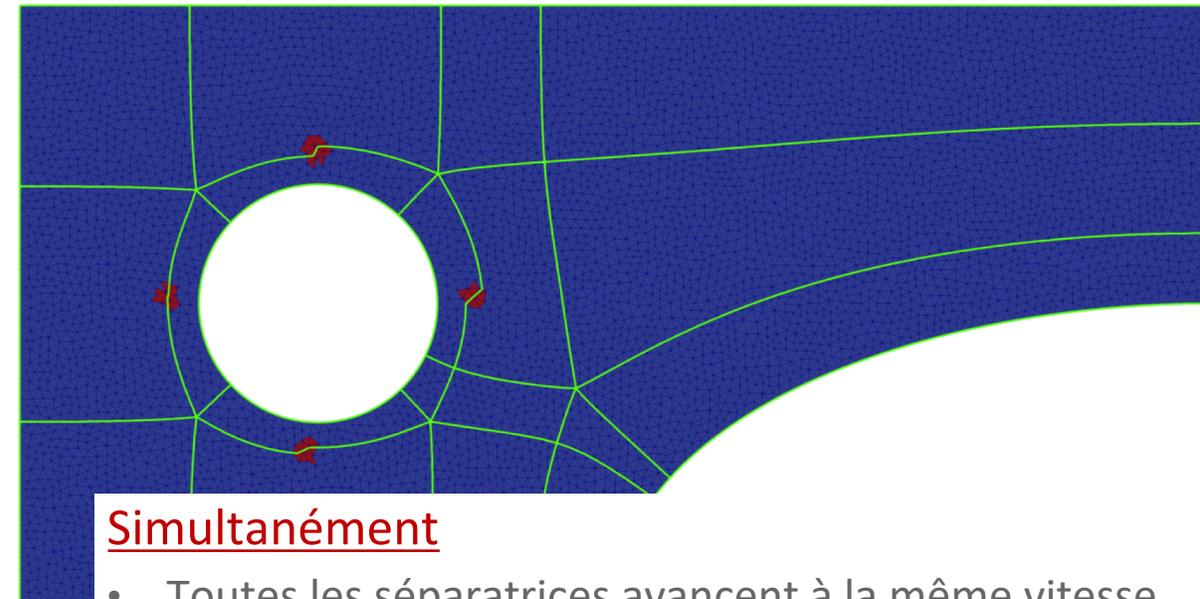
- Détecter les singularités 3/5 et créer les **slots** respectifs (singularités du champs et non-convexité au bord)
- Créer les séparatrices qui connectent les slots

► Propagation en suivant la géométrie du champ



Au tour par tour

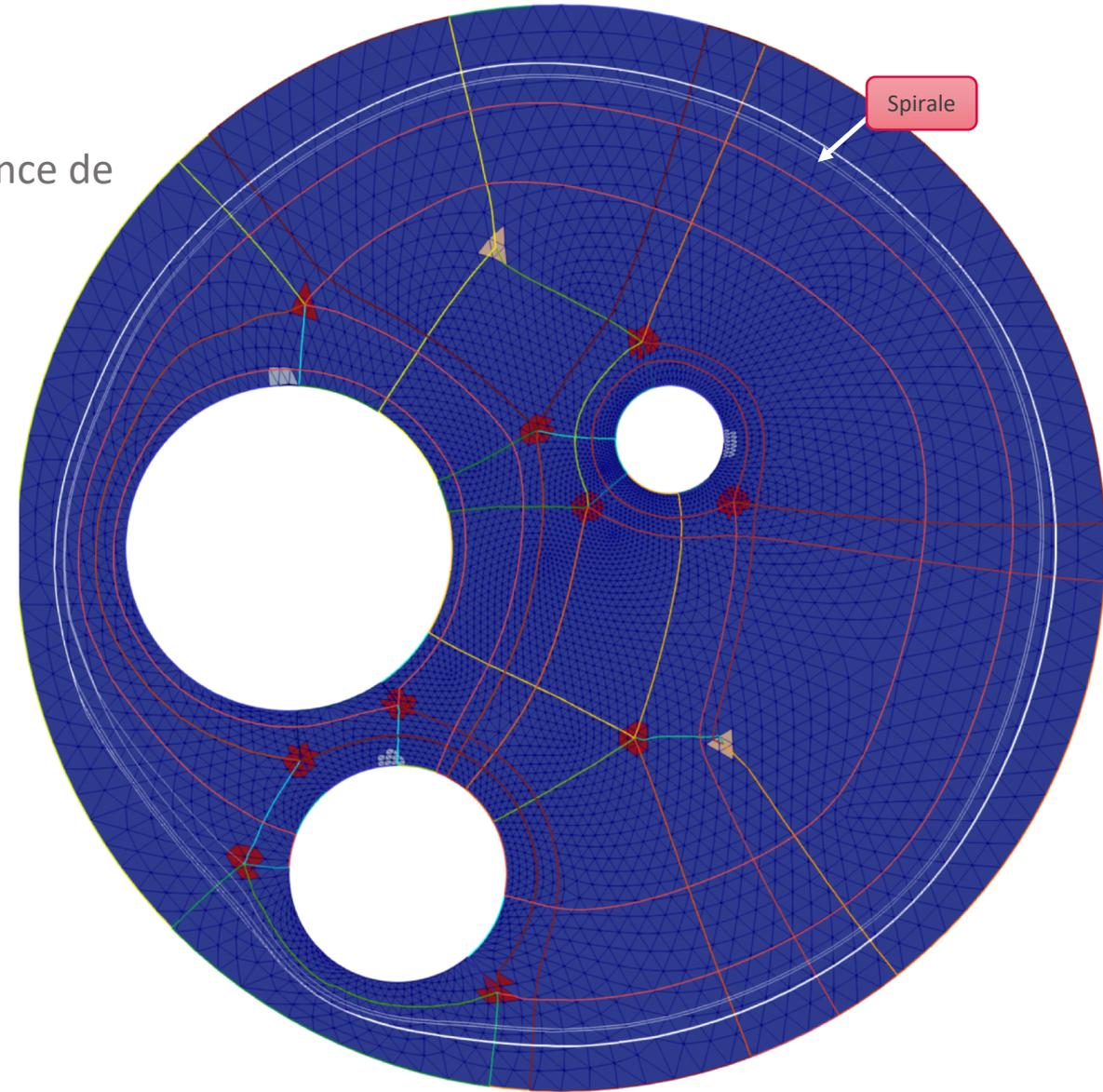
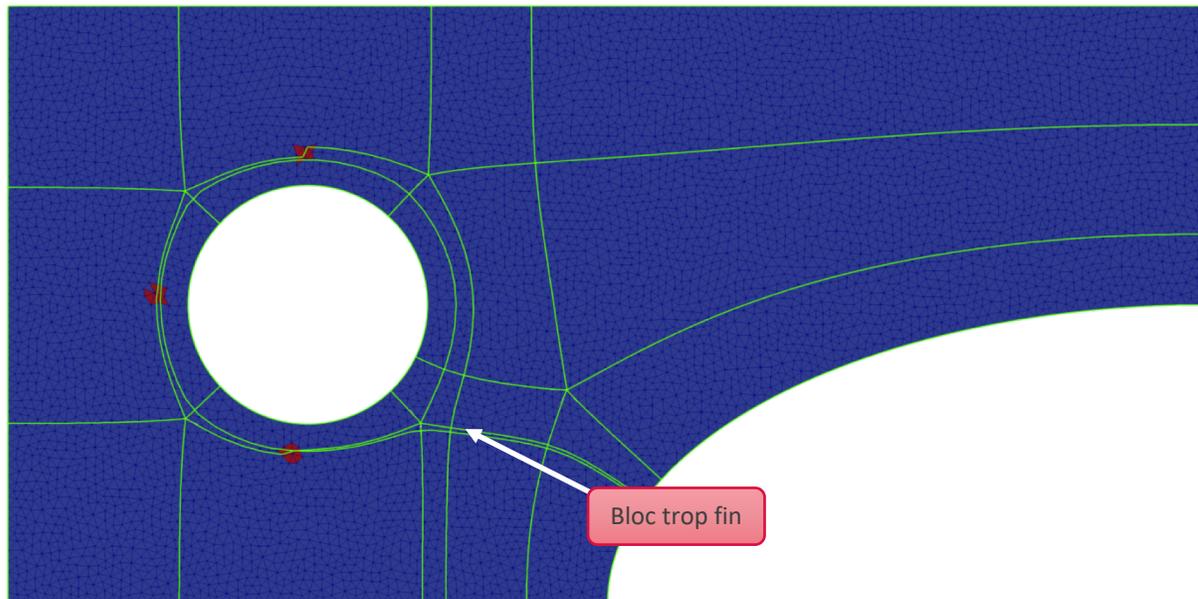
- 1 séparatrice à la fois
- **Balle de protection** pour les sing.
- Intégration de Heun



Simultanément

- Toutes les séparatrices avancent à la même vitesse
- **Distance de connexion** orthogonale
- Intégration RK4

- Impact important de:
 - La résolution du maillage triangulaire
 - Des paramètres géométriques (balle de protection et distance de connexion)
- Erreur d'interpolation plus importante au voisinage des singularités
- Spirales infinies possibles
- Génération de blocs très/trop fins

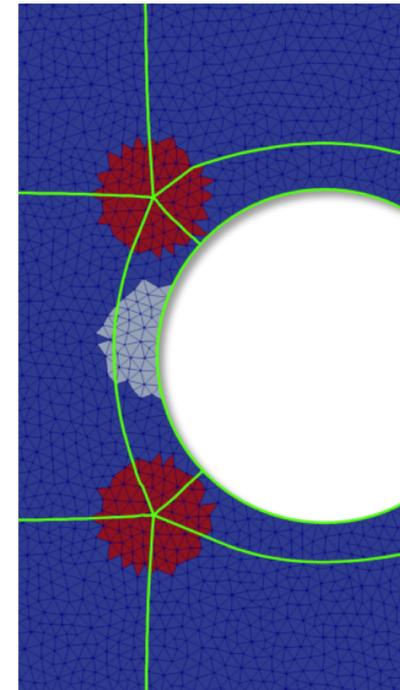
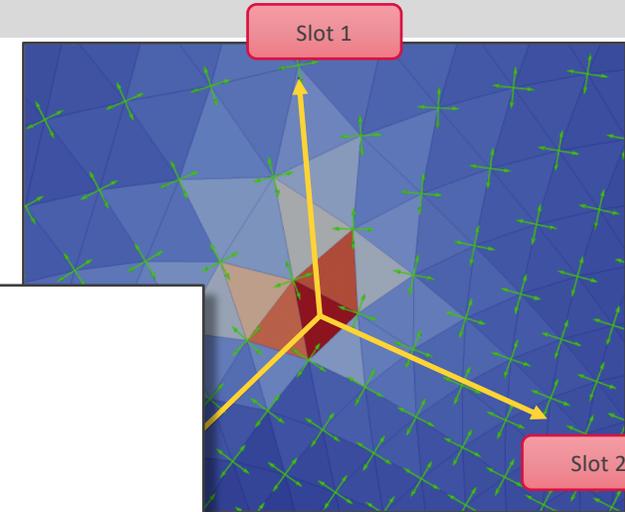
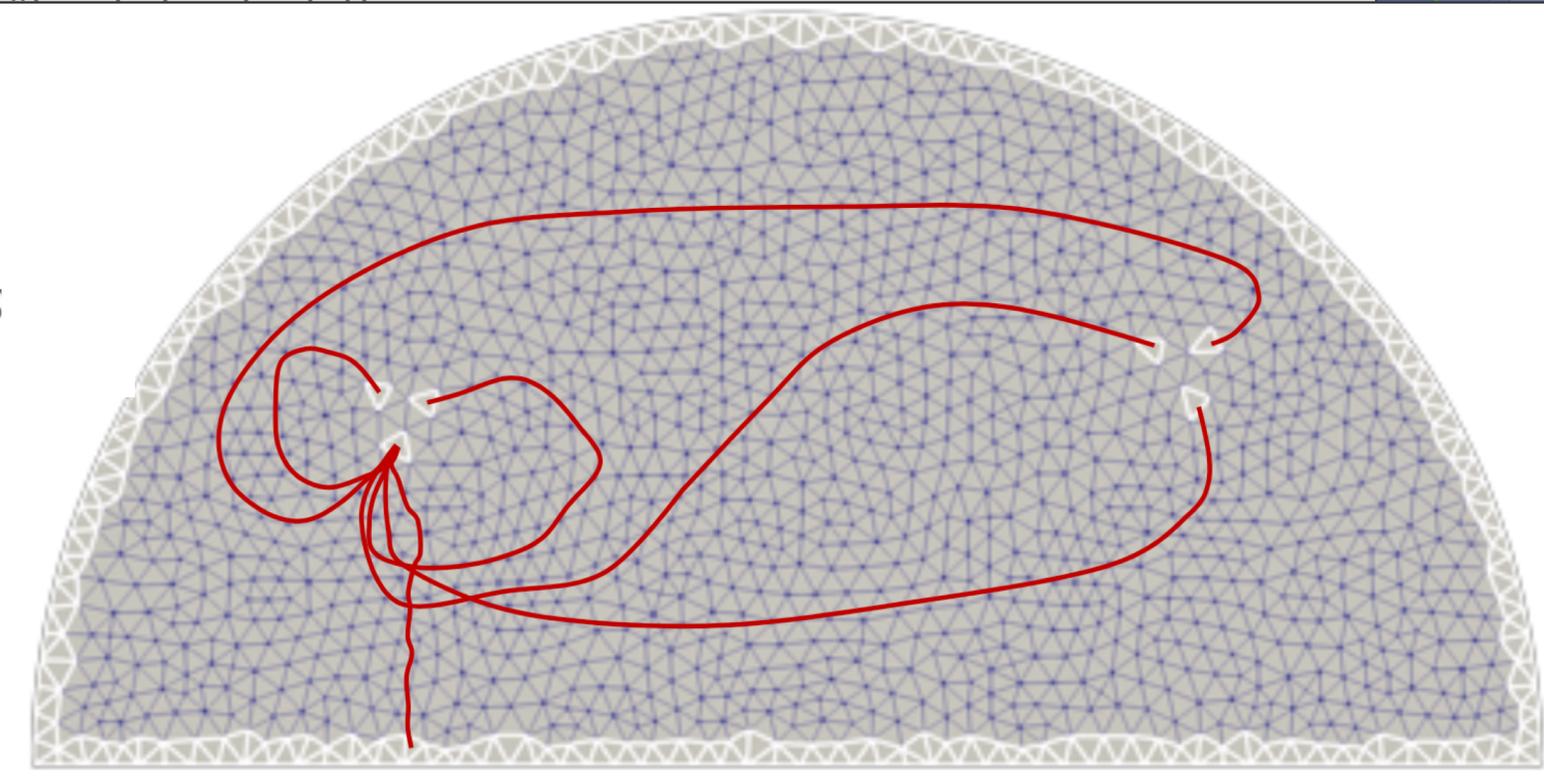


► Algorithme de Dijkstra sur un dual du maillage triangulaire

- But : calculer le plus court chemin de chaque slot vers tous les autres ainsi que vers les bord (a priori, les bords sont des obstacles)
- On génère ainsi un arbre de Steiner E = des plus courts chemins

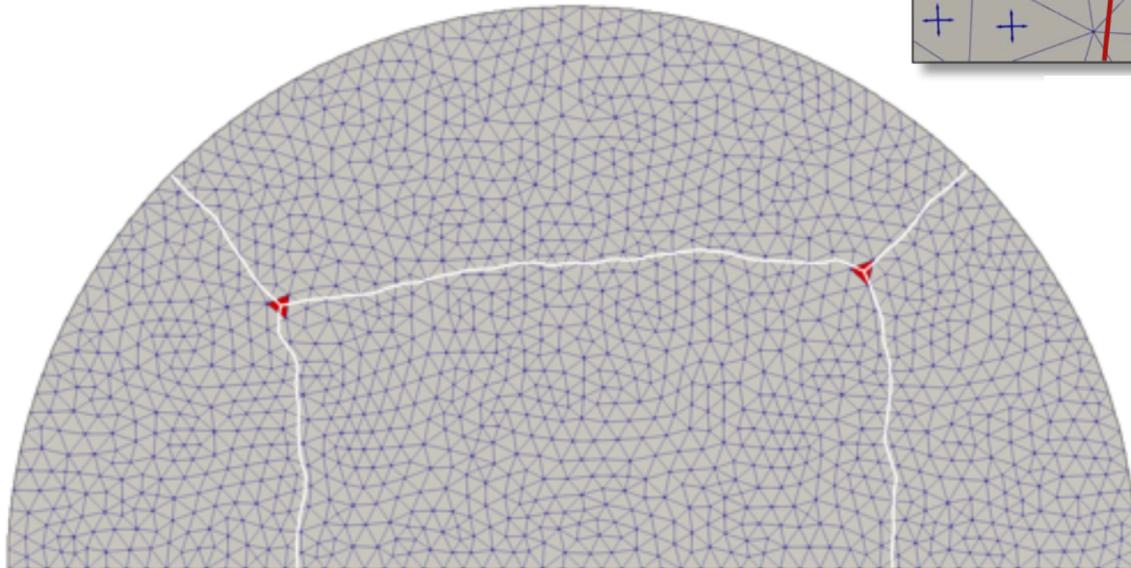
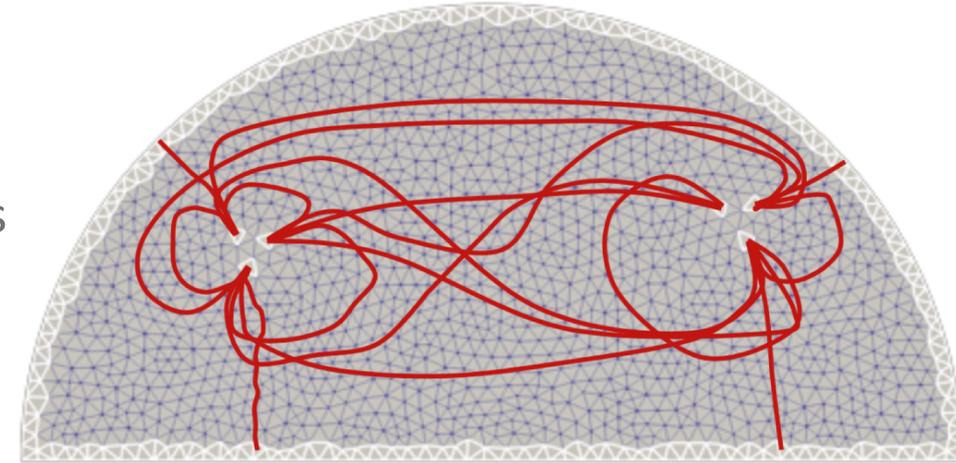
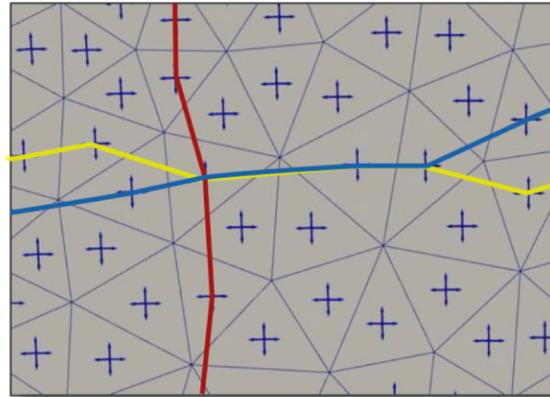
$$\omega_{\angle}(c_i, c_j)$$

- α_i et α_j caractérisent les orientations
- c_i dépend de l'arête
- $\omega_{\angle}(c_i, c_j) = 1$ si $\angle(c_i, c_j) < \pi$
- $\omega_{\angle}(c_i, c_j) = \infty$ sinon



► Extraction du graphe de singularités

- On doit conserver exactement une arête par slot **2**
- De préférence les arêtes correspondant aux chemins les plus courts → **fonction objective**
- Sous certaines contraintes **3**



variable entière p_i

$$\min \sum_i \omega_i p_i$$

s. c.

$$\forall i \in I, p_i \in \{0; 1\}$$

$$\forall s \in \text{slots}, \sum_{e \in \text{Adj}(s)} e = 1$$

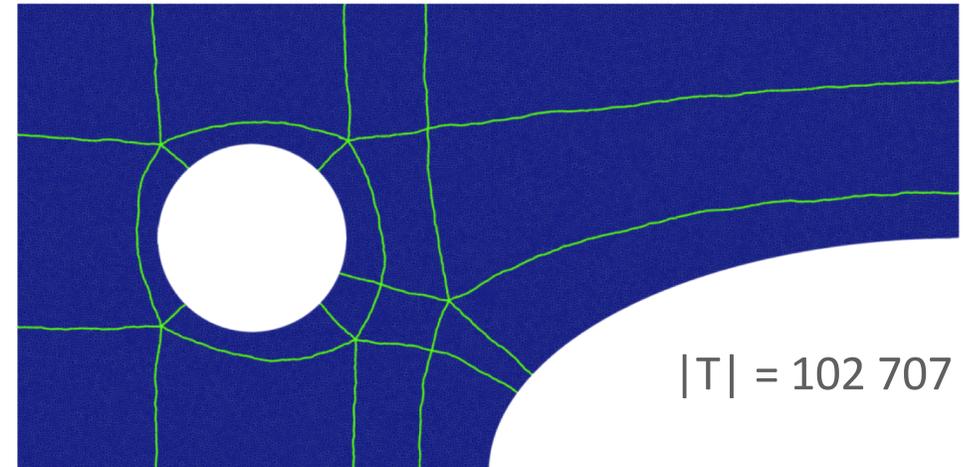
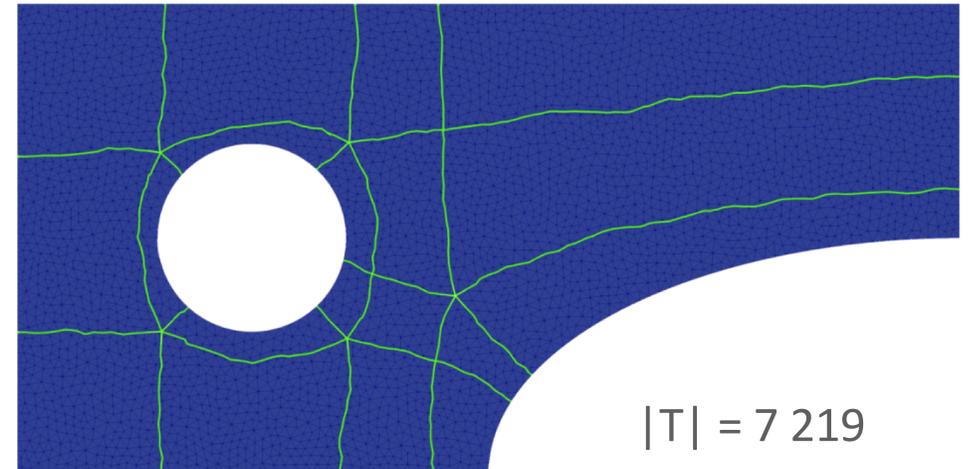
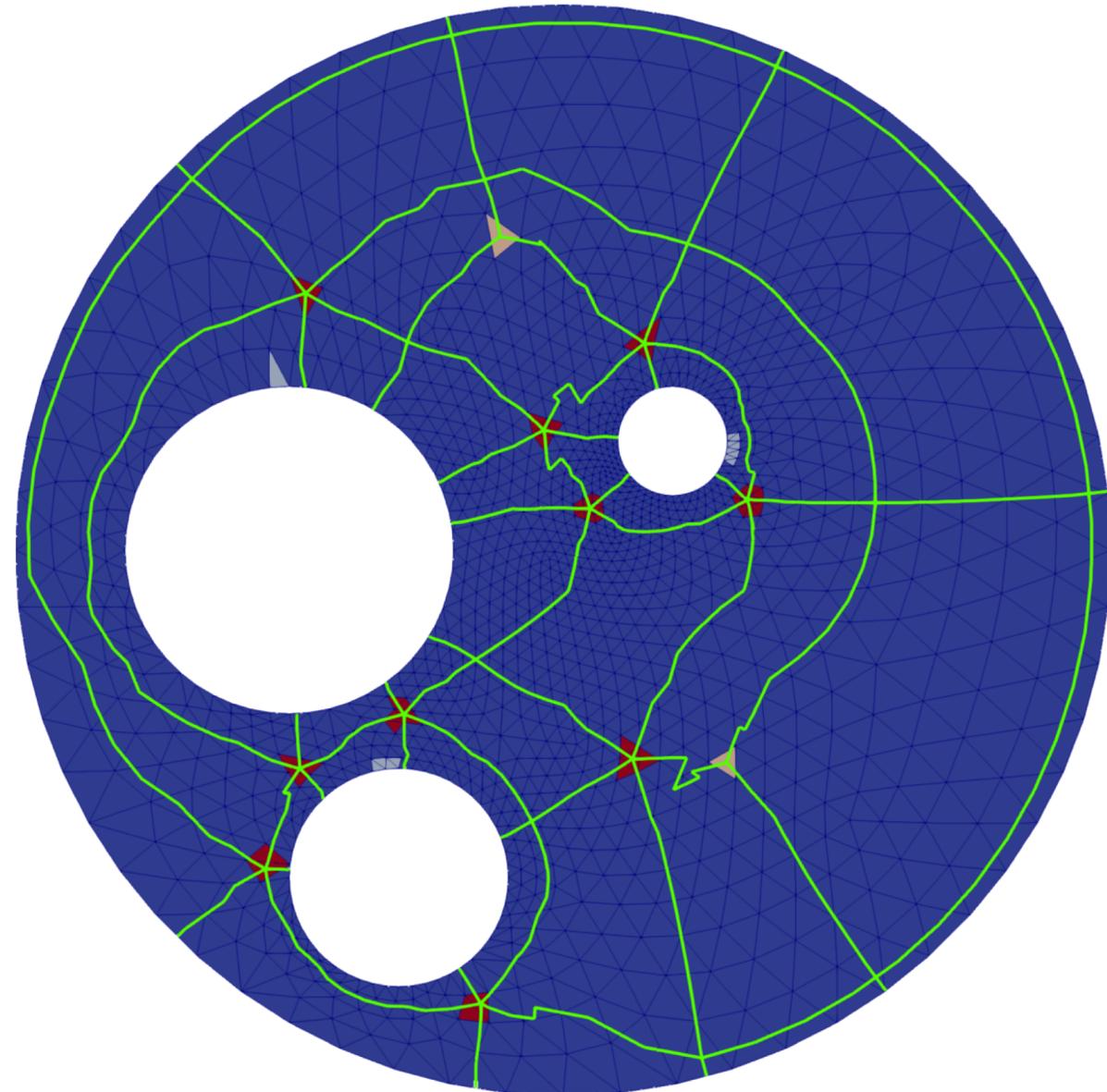
$$\forall (p_i, p_j) \in C, p_i + p_j \leq 1$$

Bénéfices

- Aucune spirale (intrinsèque)
- Précision accrue avec la discrétisation du maillage

Inconvénient

- Beaucoup plus cher

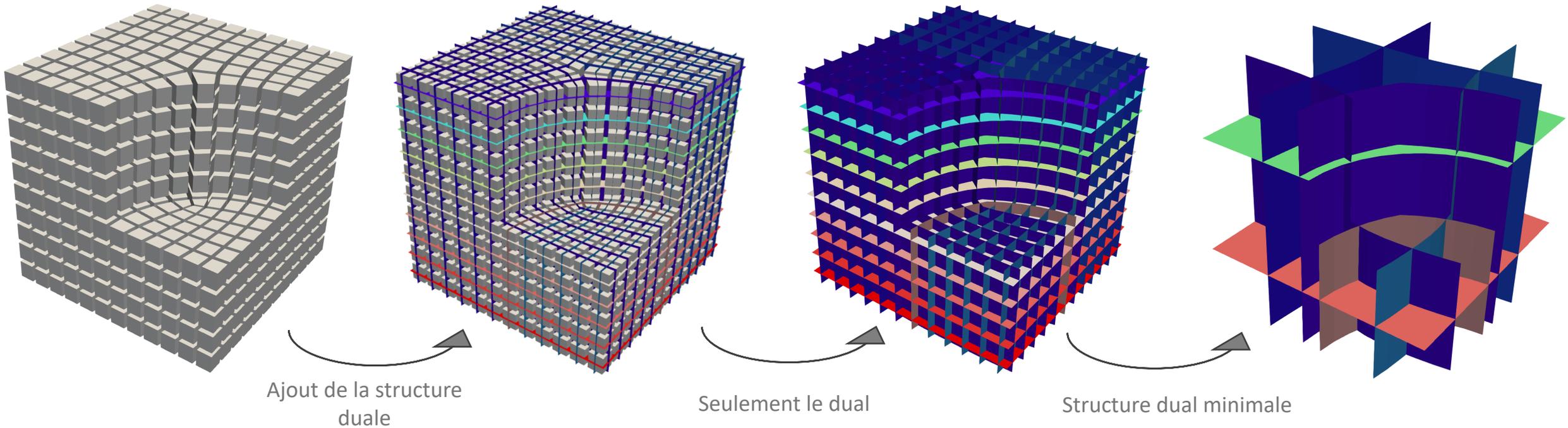


Maillage

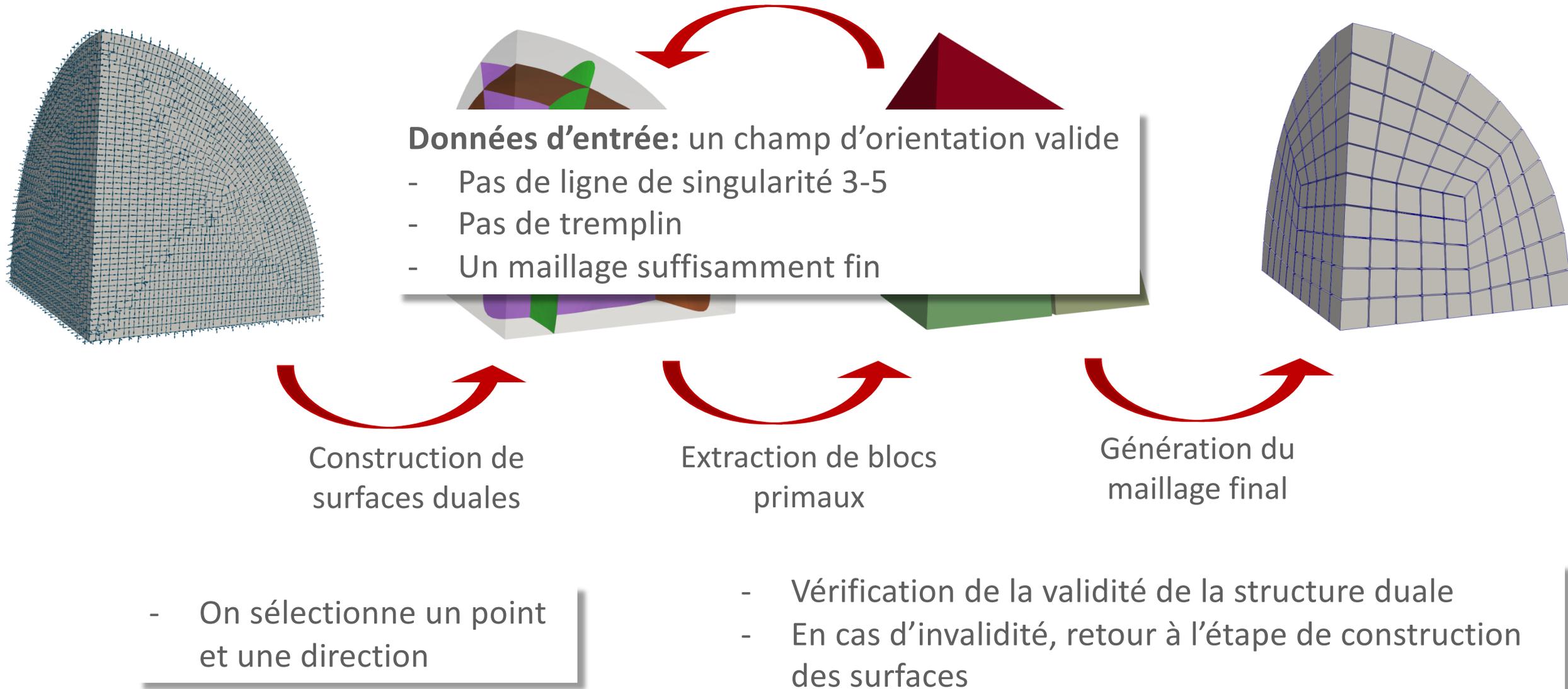
Utilisation des champs d'orientations

Approche interactive

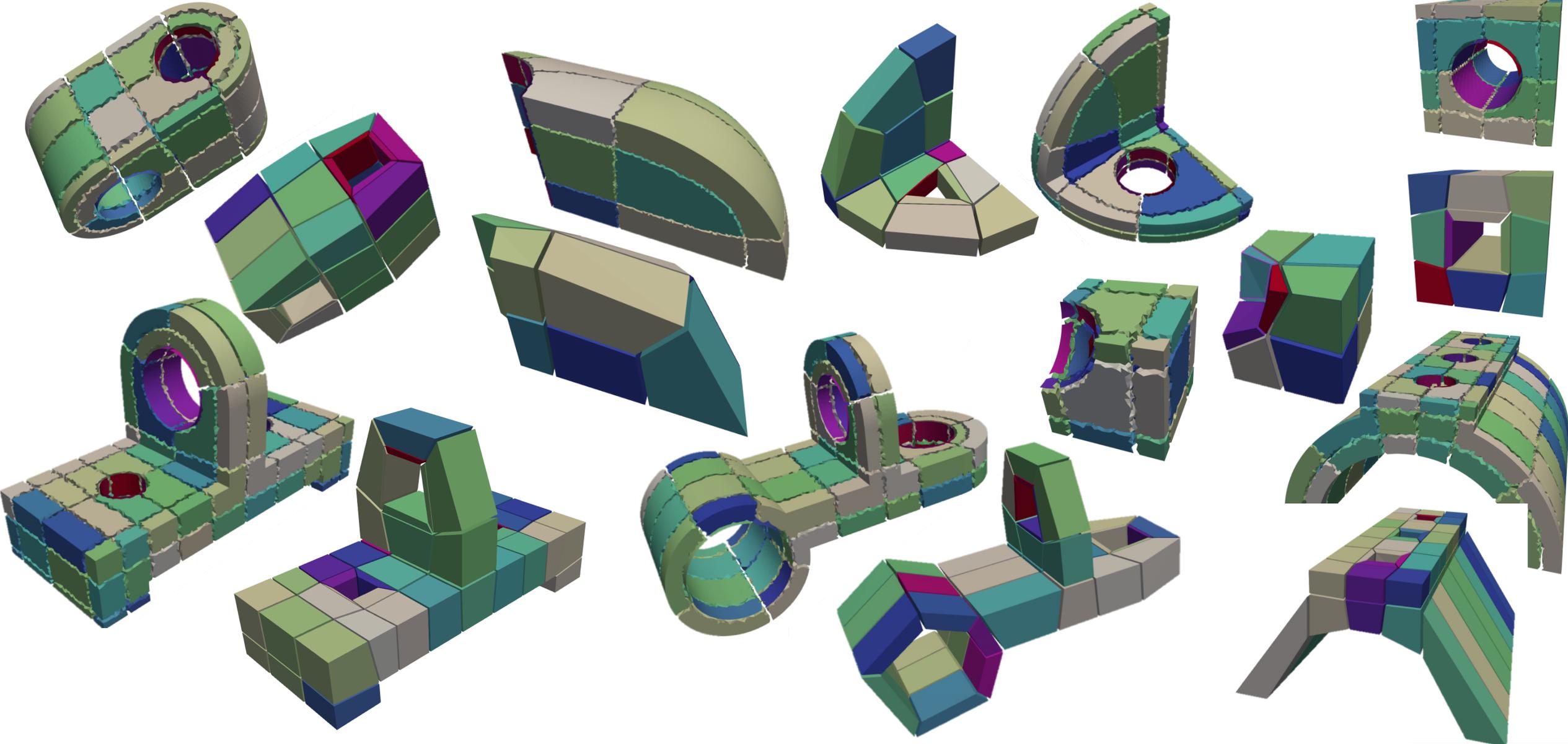
Simon Caldéran – thèse débutée en novembre 2018, dirigée par G. Hutzler



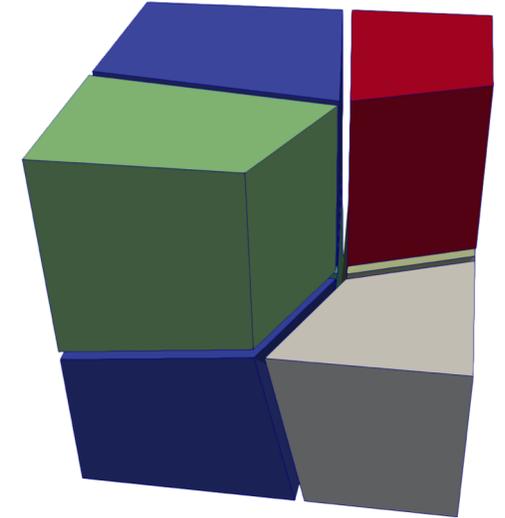
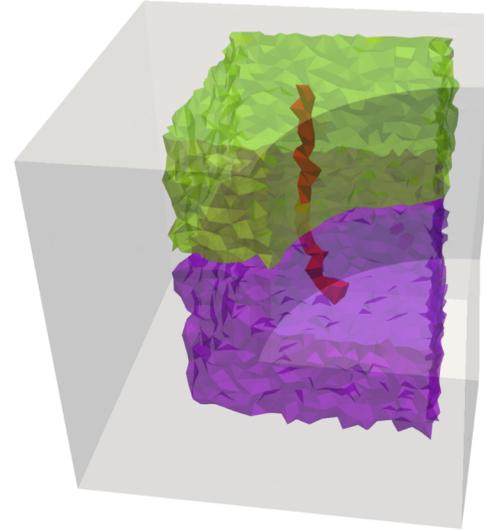
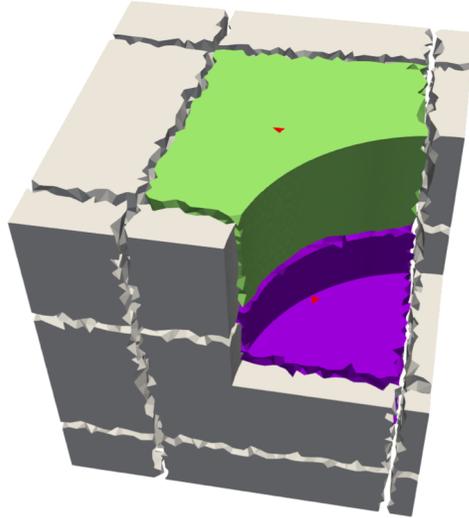
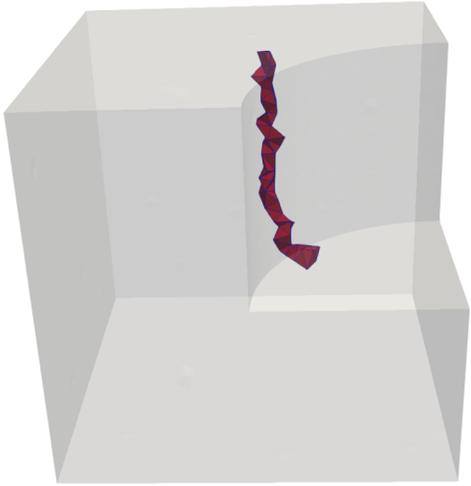
Le dual d'un maillage hexaédrique est un arrangement simple de surfaces



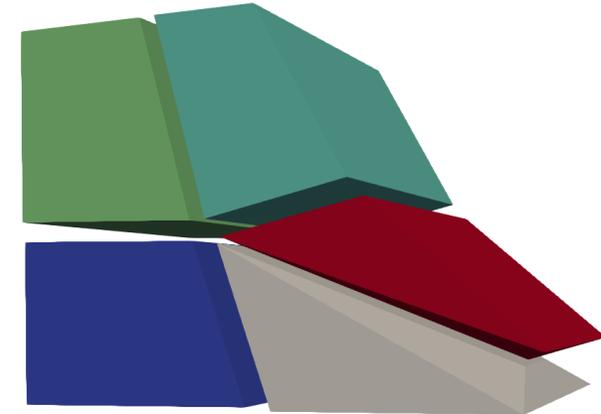
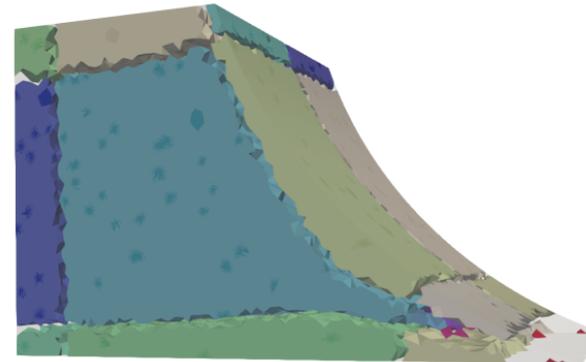
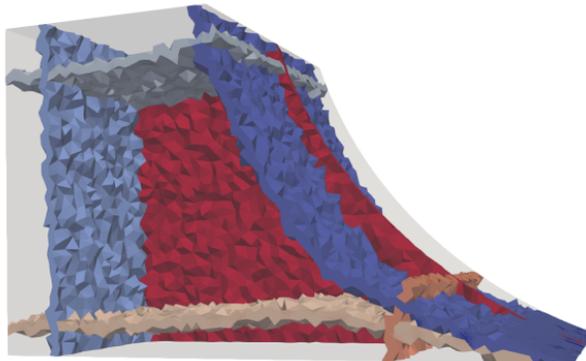
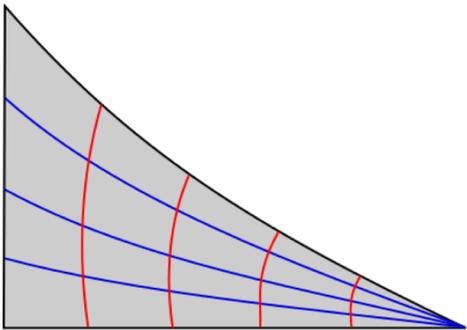
 **INSERER VIDEO**



- ▶ Lignes 3-5: fonctionnel en relaxant des contraintes dans de nombreux cas



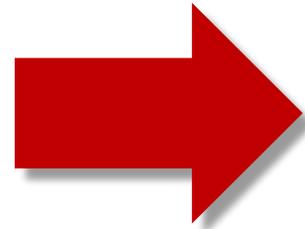
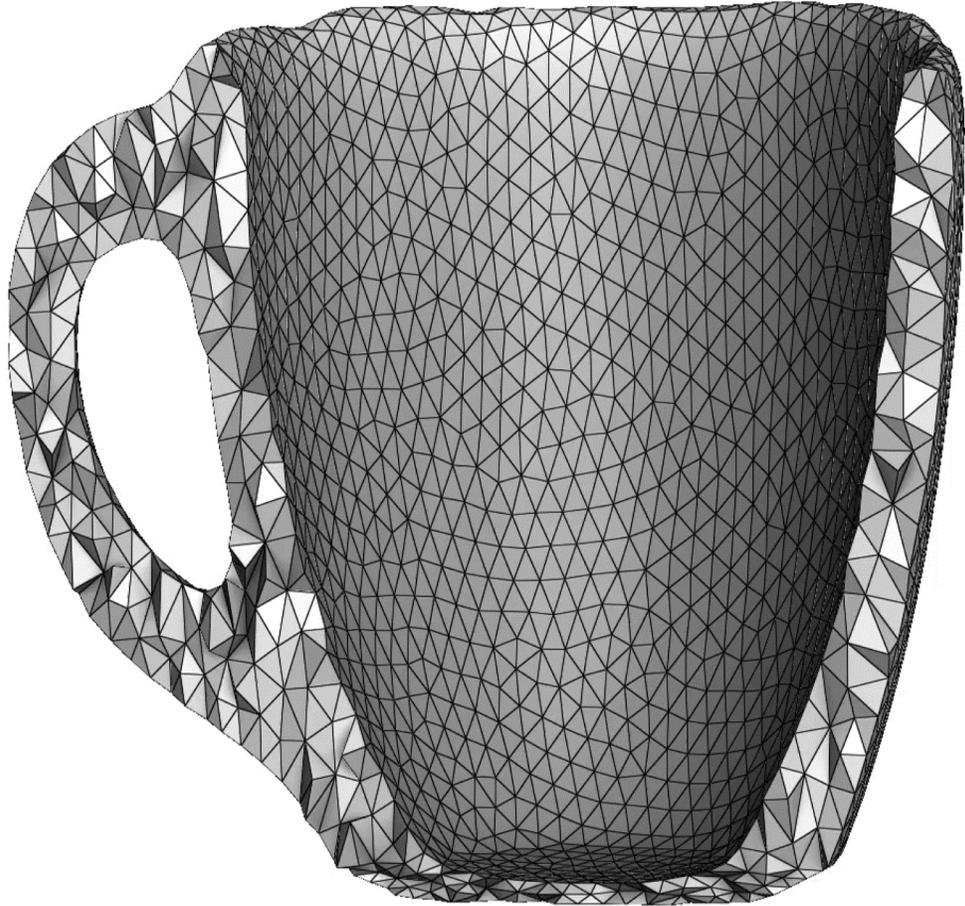
- ▶ Zones de tremplins → **A travailler**



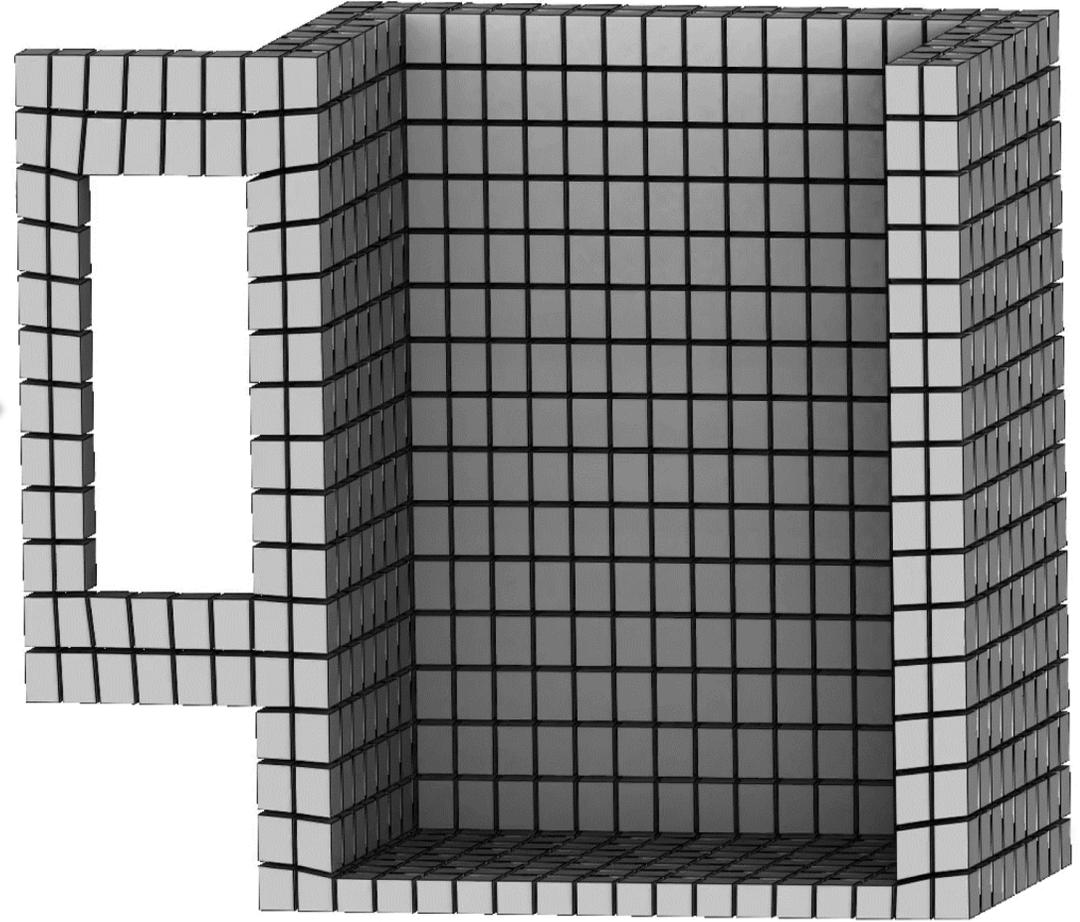
Maillage

Vers de polycubes robustes

Francois Protais – thèse débutée en octobre 2019 dirigée par D. Sokolov (INRIA Grand Est, équipe PIXEL).



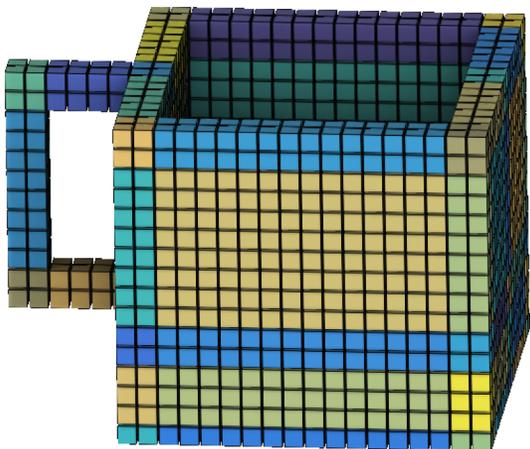
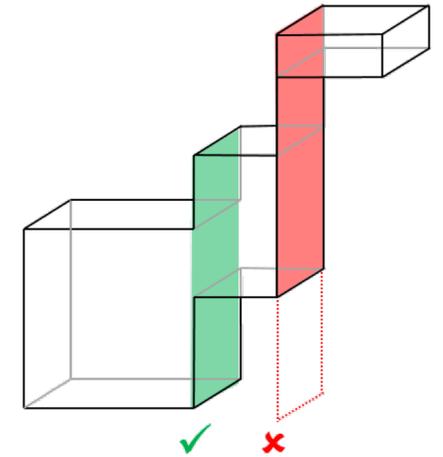
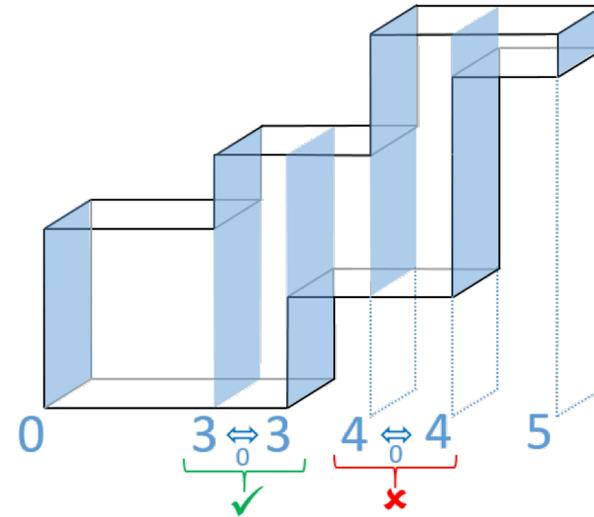
« Facile »
de créer
des cubes



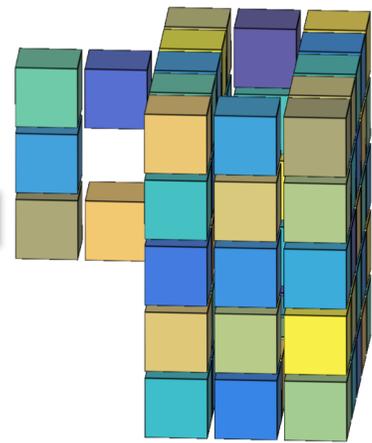
$$E = \sum_{\eta} \sum_{(i,j)} \#links^{\eta}(i,j) \left| |\eta_i^f - \eta_j^f| - |\eta_i^o - \eta_j^o| \right|$$

Minimize $E(\{\eta_i^f\})$
 subject to [C1] and [C2]
 and $\eta_i^f \in \mathbb{N} \quad \forall i$

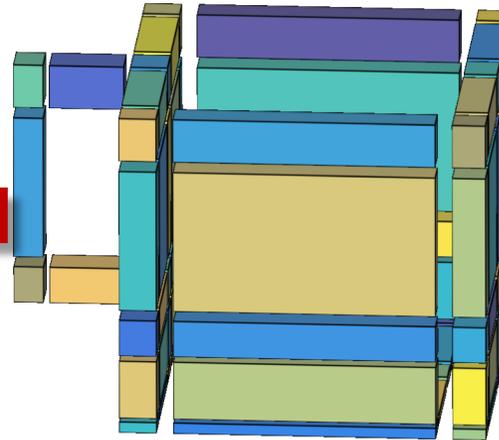
- [C1] On conserve une relation d'ordre faible
 [C2] « On ne doit pas écraser l'intérieur »



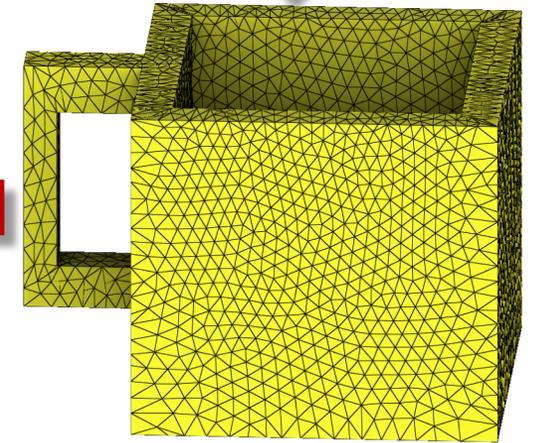
Résolution de contraintes



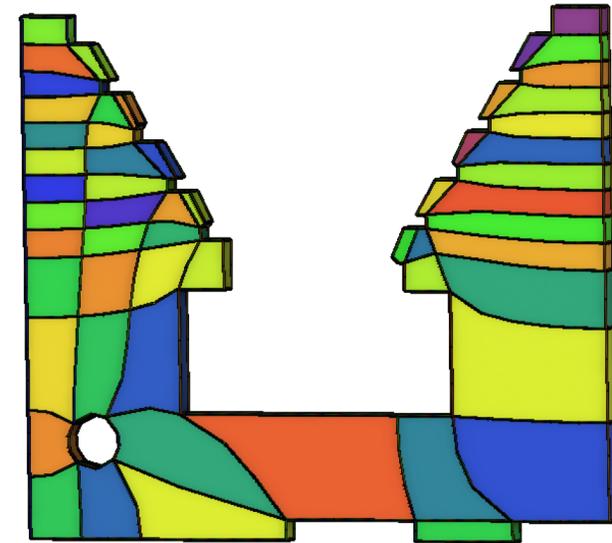
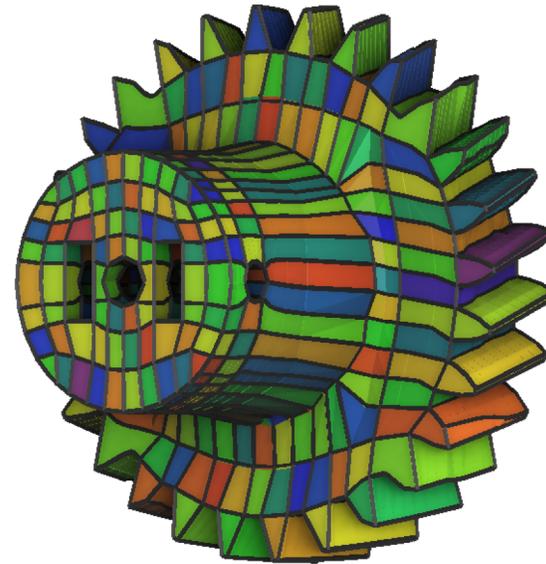
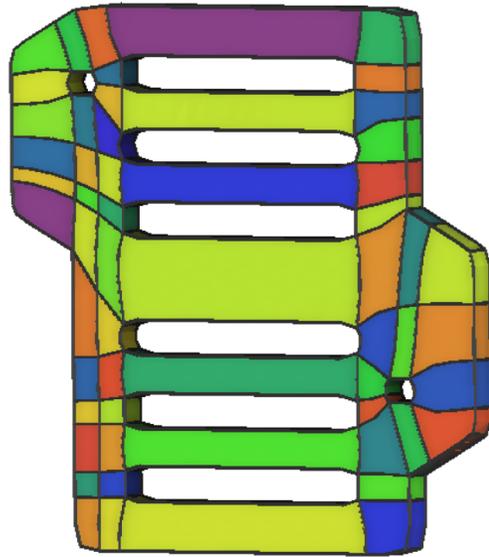
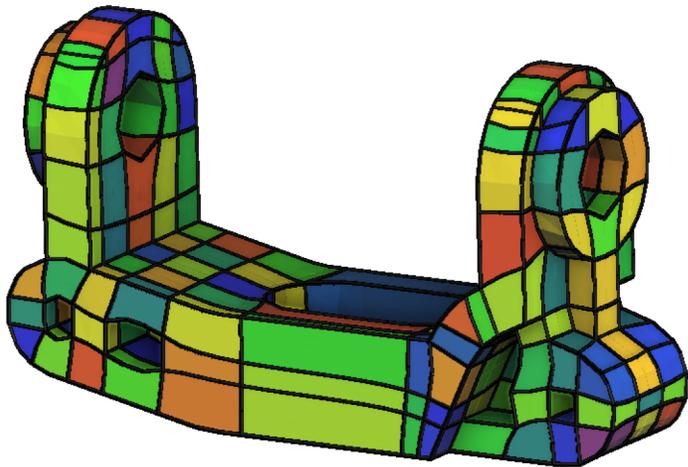
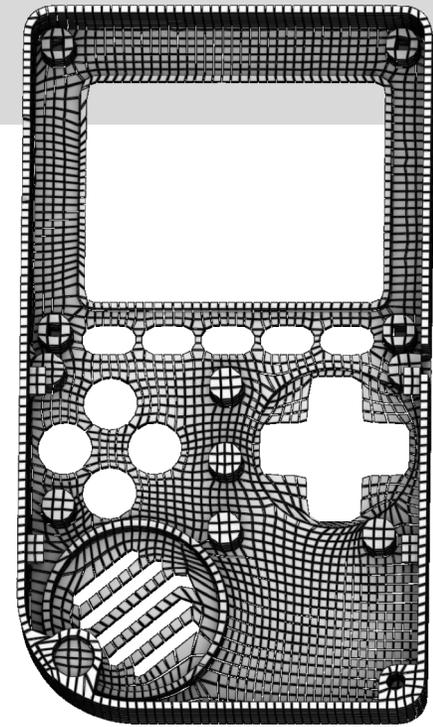
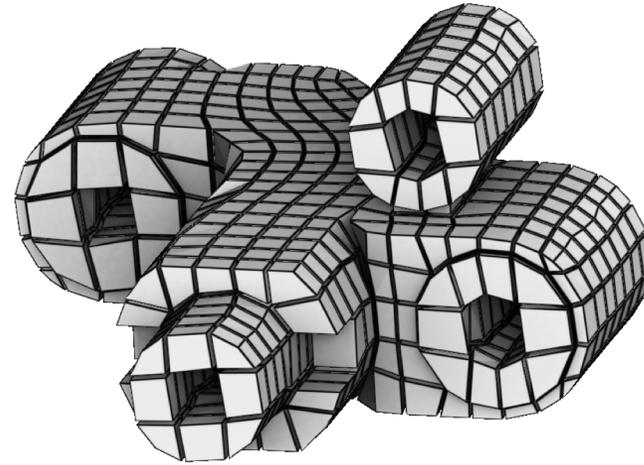
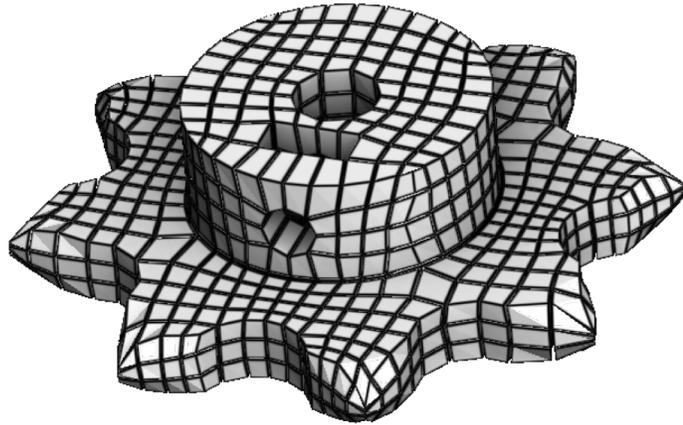
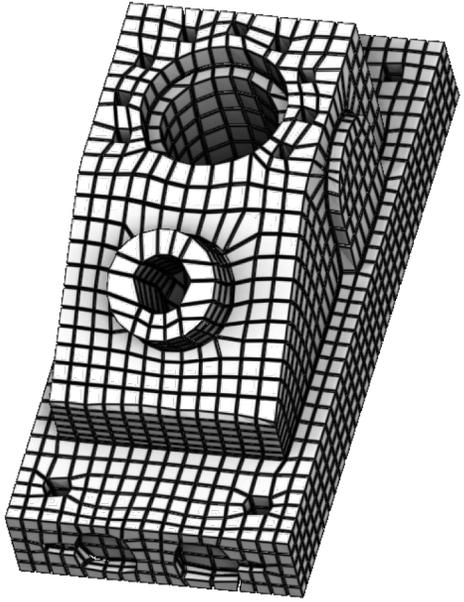
Projection **entière** avec relation d'ordre forte



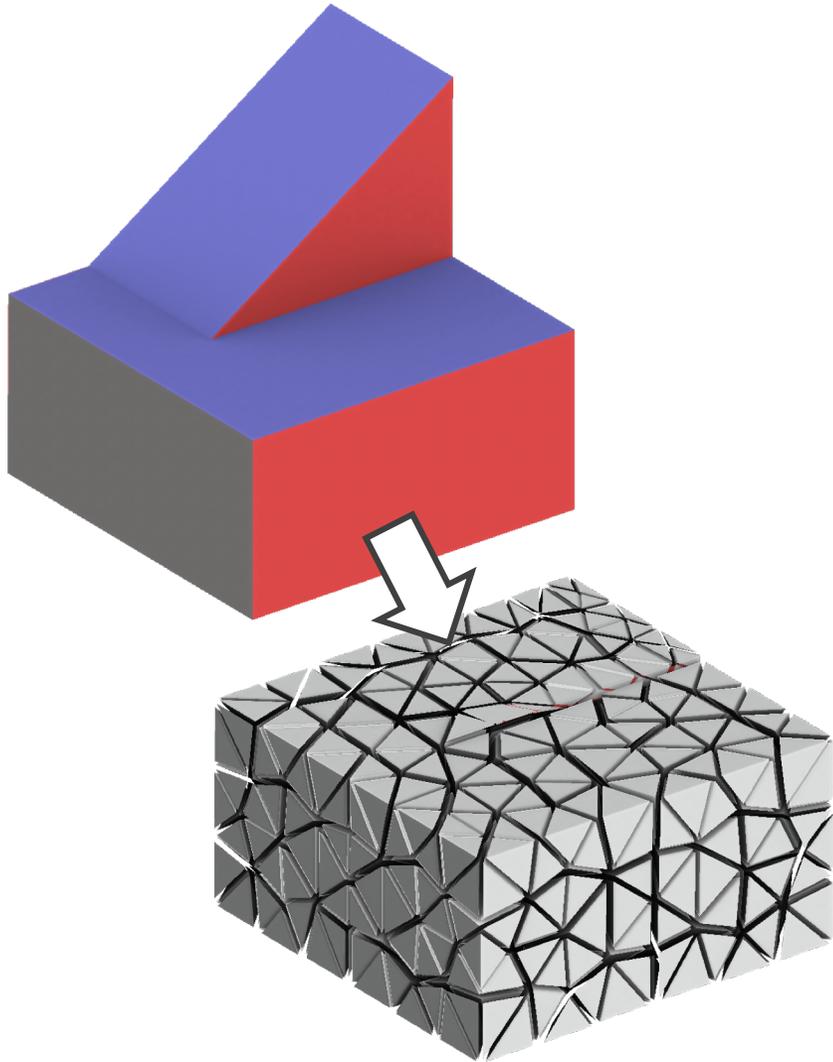
Découpage selon iso-valeurs réelles



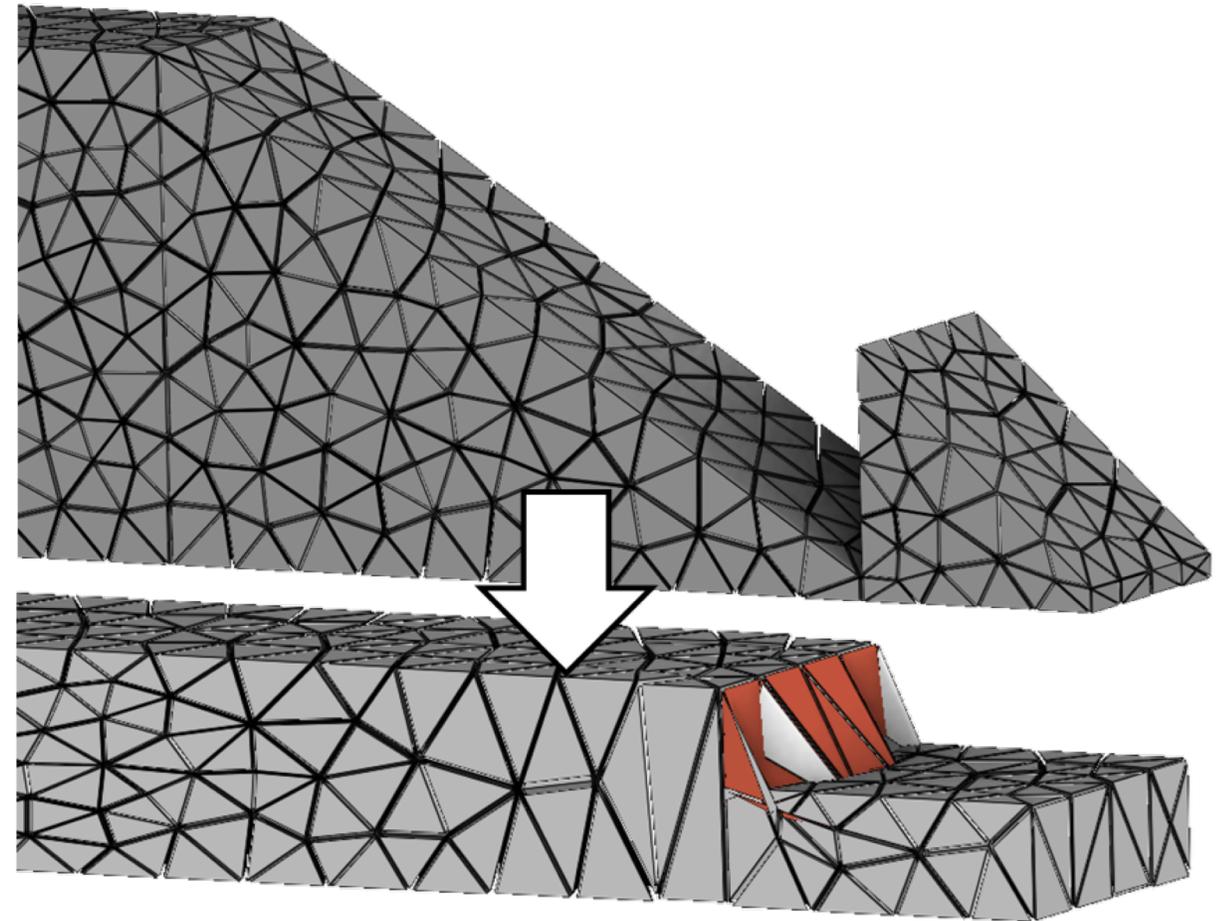
Chaque bord est constant en u, v et/ou w avec u, v et w des **réels**



Ecrasement des trempins



Retournement dû à une mauvaise assignation initiale



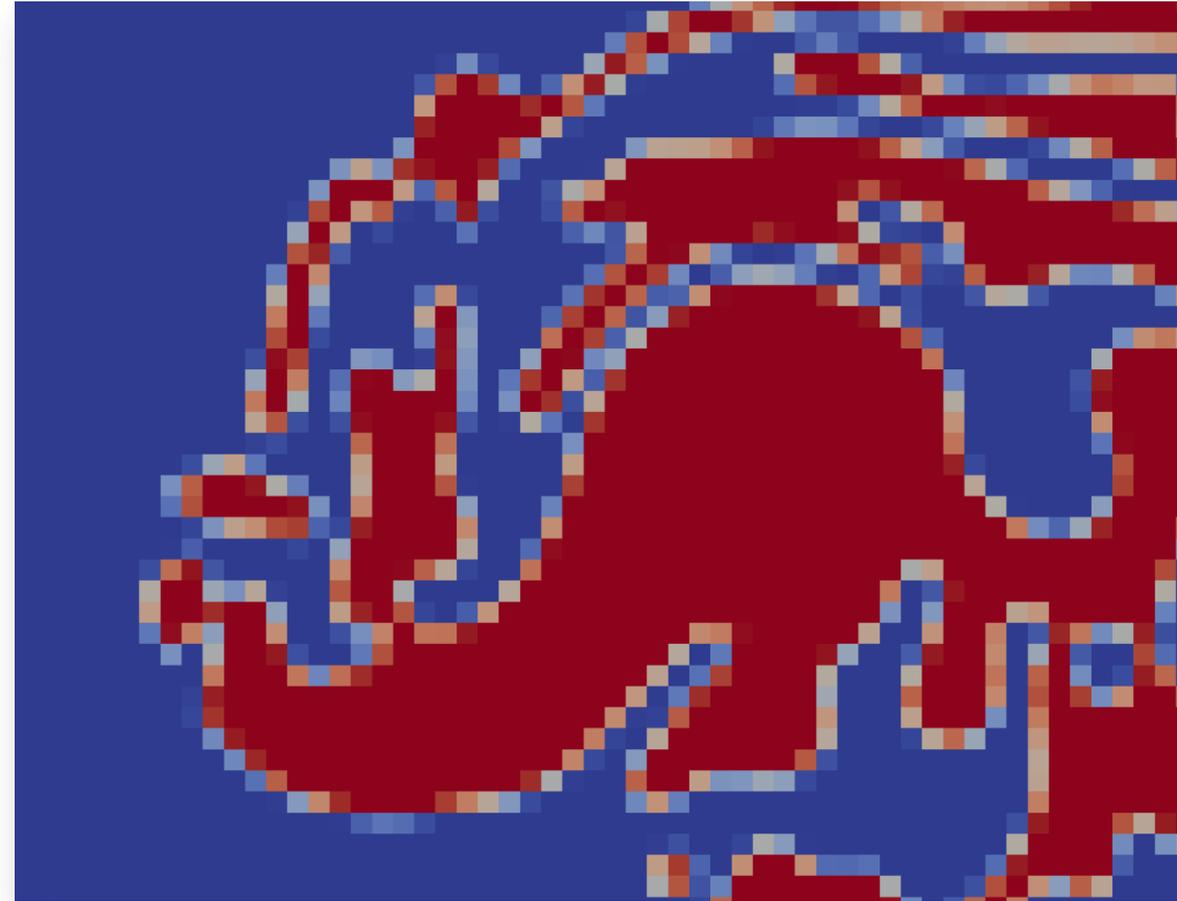
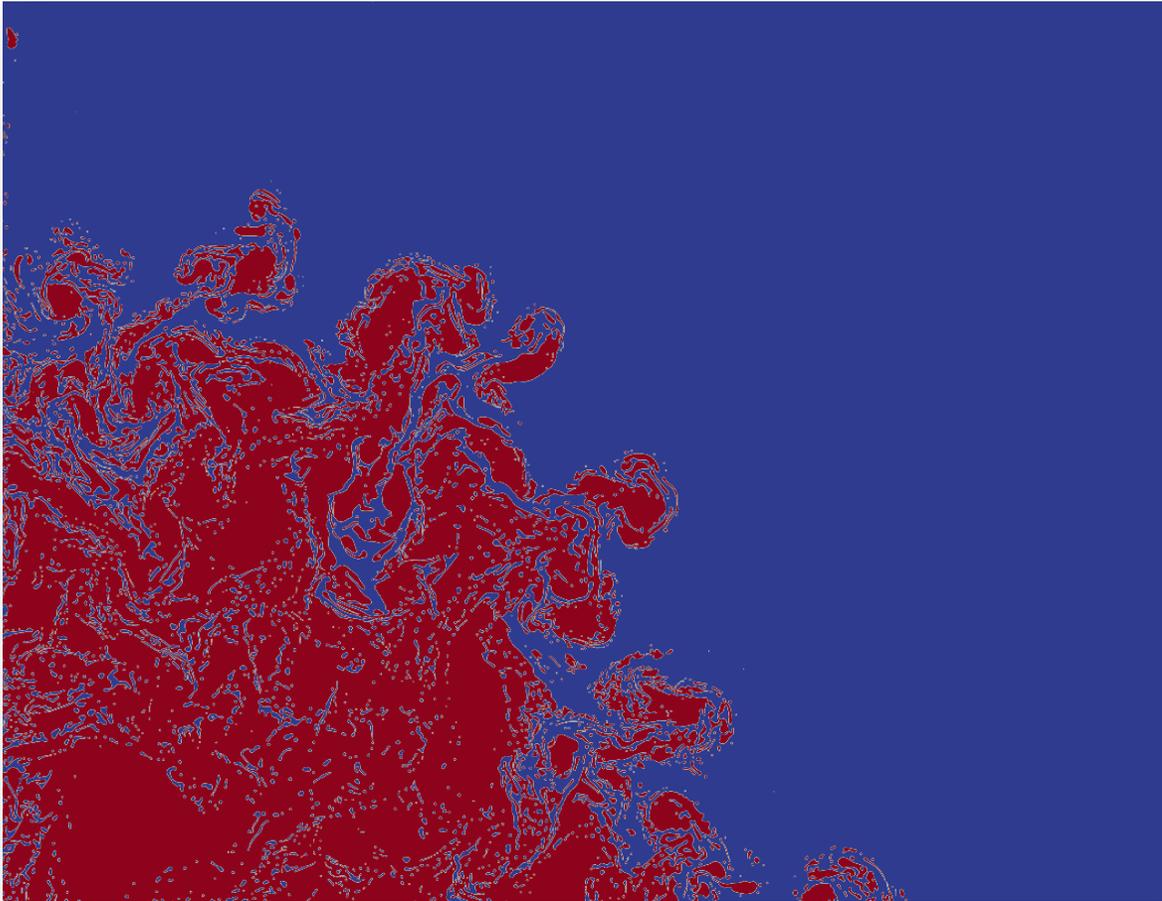
En cours de calcul

► Inter-codes

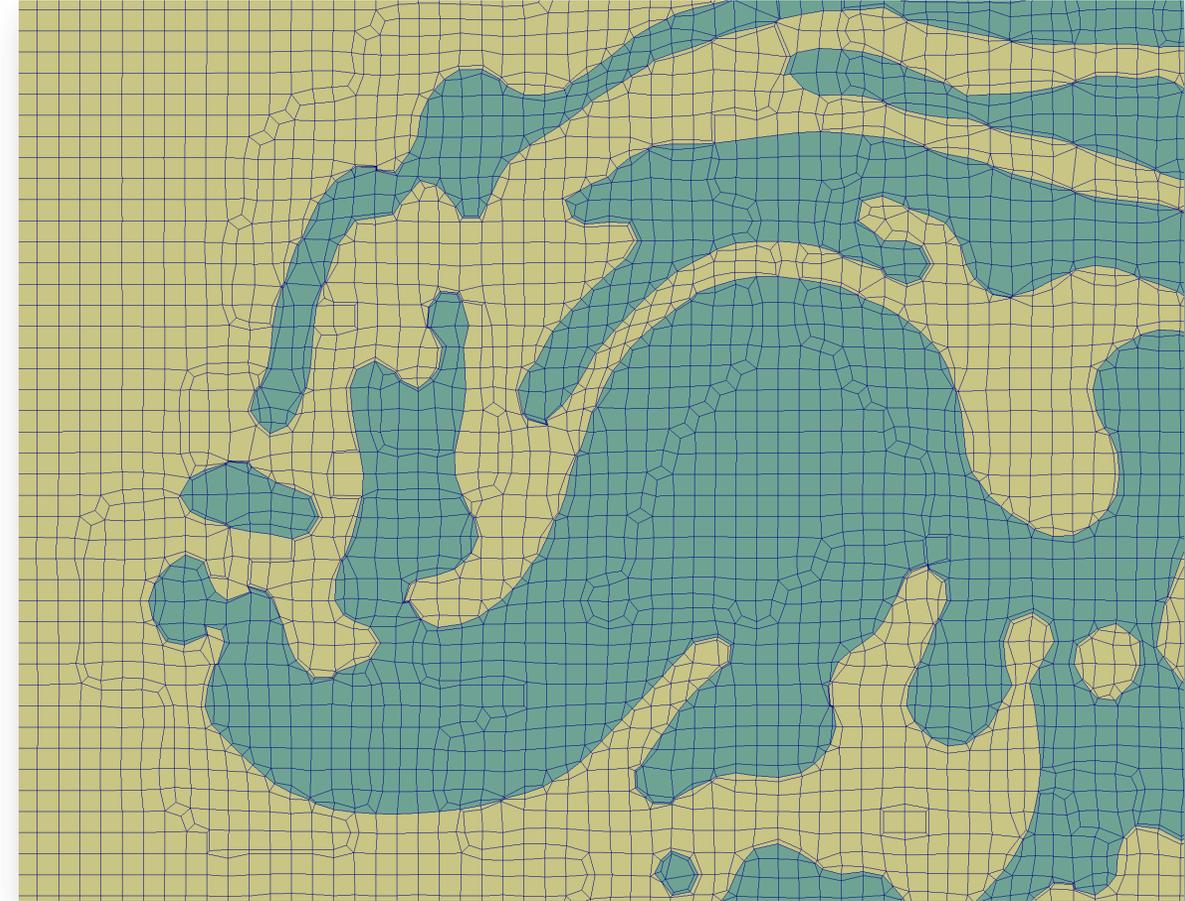
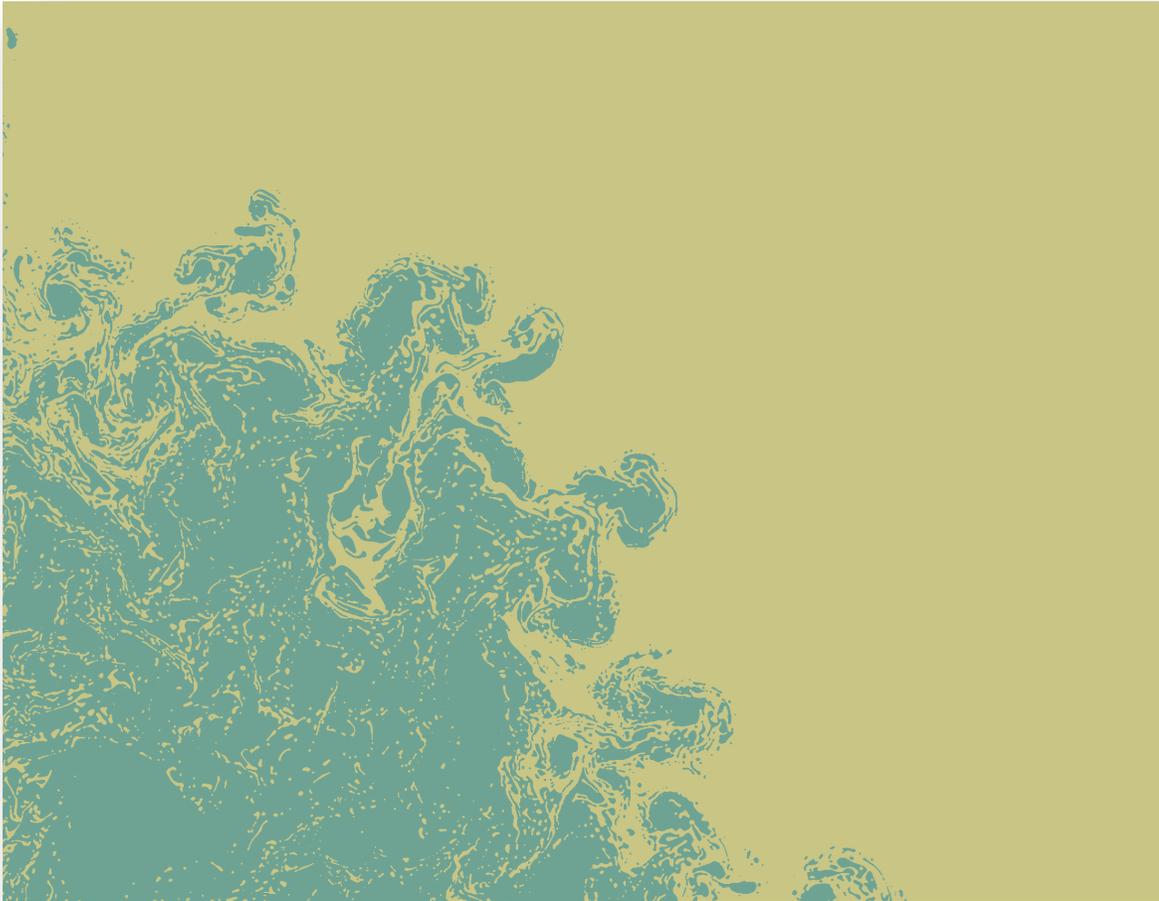
- Reconstruction d'interface

Nicolas Le Goff – thèse débutée en Sept. 2018 et dirigée par J.-Ch. Janodet

- Passage d'un maillage Eulérien (structuré fixe, maille mixtes)



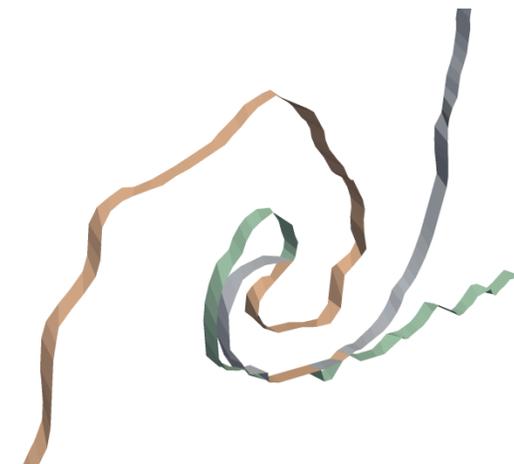
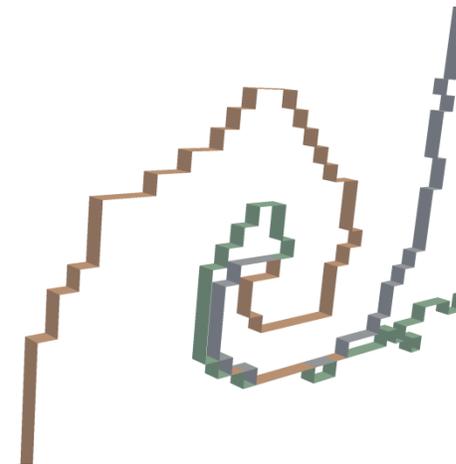
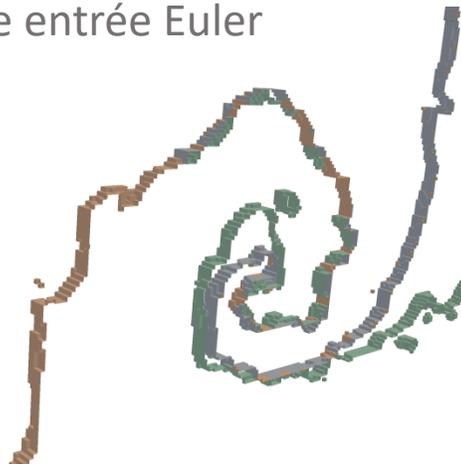
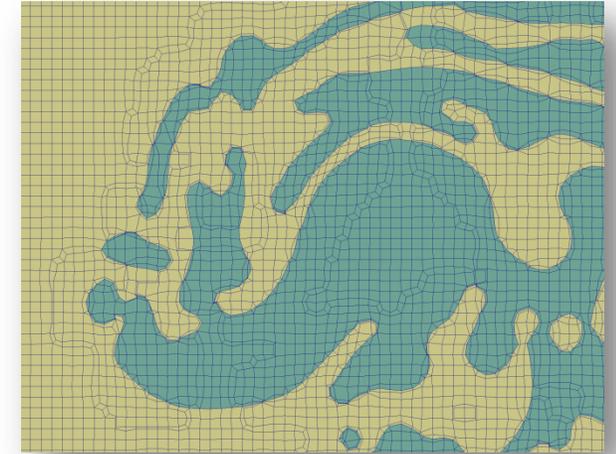
- ▶ Passage d'un maillage Eulérien (structuré fixe, maille mixtes)
- ▶ A un maillage Lagrangien (non structuré, mailles pures)



- ▶ Passage d'un maillage Eulérien (structuré fixe, maille mixtes)
- ▶ A un maillage Lagrangien (non structuré, mailles pures)

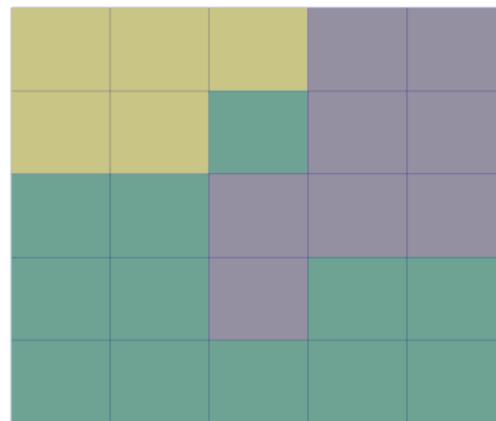
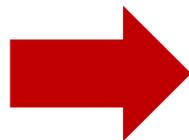
Caractéristiques de l'approche

- ▶ En sortie de code Eulérien → centaines de millions, milliards de mailles → **parallèle**
- ▶ Doit permettre de :
 - préserver les volumes de matériaux (**conservatif**)
 - Sélectionner des matériaux à conserver avec des degrés de priorité
 - Permettre d'éliminer des « éjectas » de matière
 - D'obtenir une **nouvelle géométrie** ... et encore mieux un **maillage utilisable** par code (**contrôle de sa qualité**)
- ▶ Fonctionnel en 2D et 3D, non limité à une entrée Euler

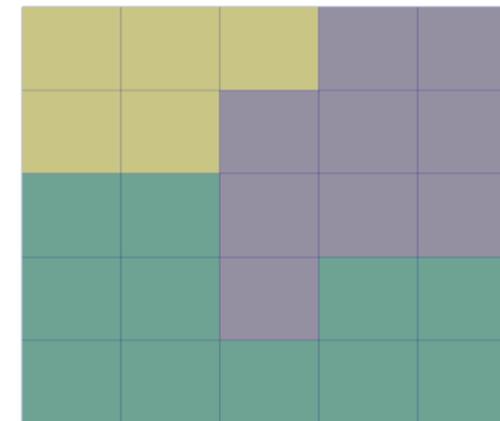
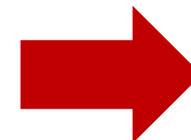


1.0	1.0	1.0	0.2 0.8	1.0
1.0	0.2 0.8	0.6 0.15 0.25	1.0	1.0
1.0	1.0	0.4 0.6	1.0	1.0
1.0	1.0	0.2 0.8	0.9 0.1	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Affectation
de matériaux



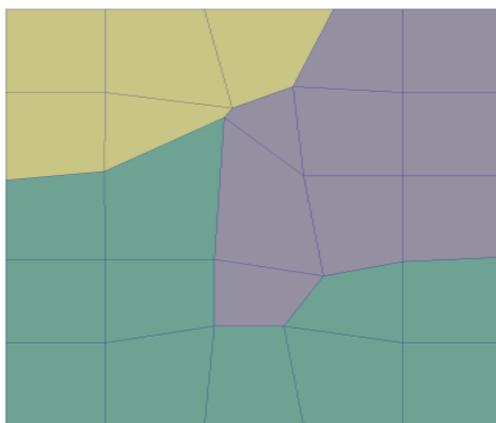
[Correction de
l'affectation]



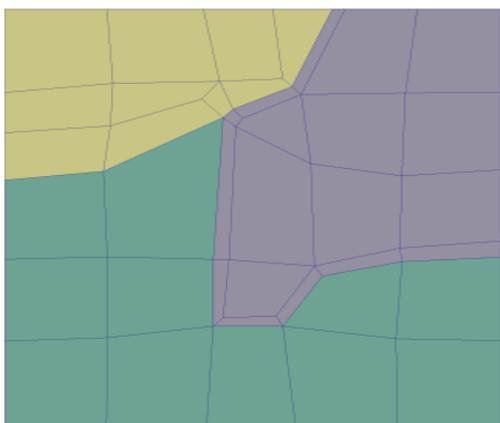
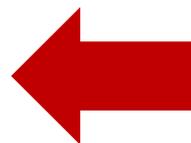
Extraction d'une
géométrie



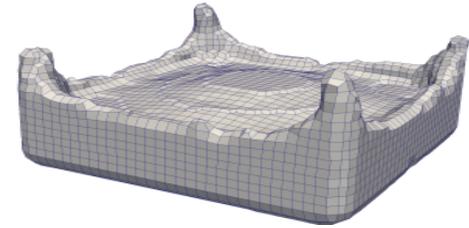
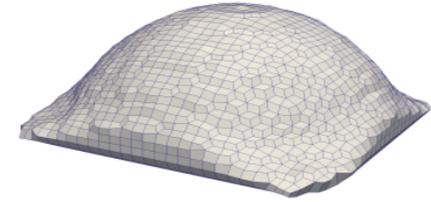
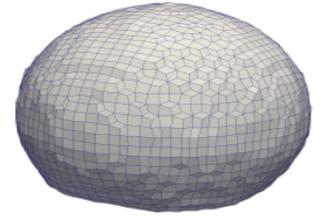
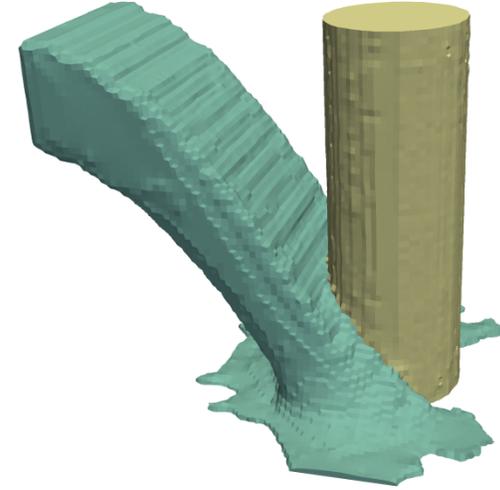
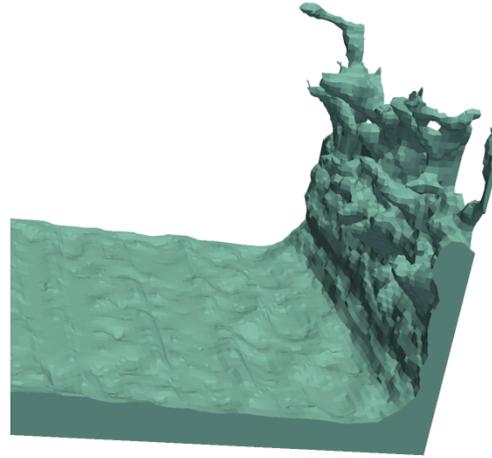
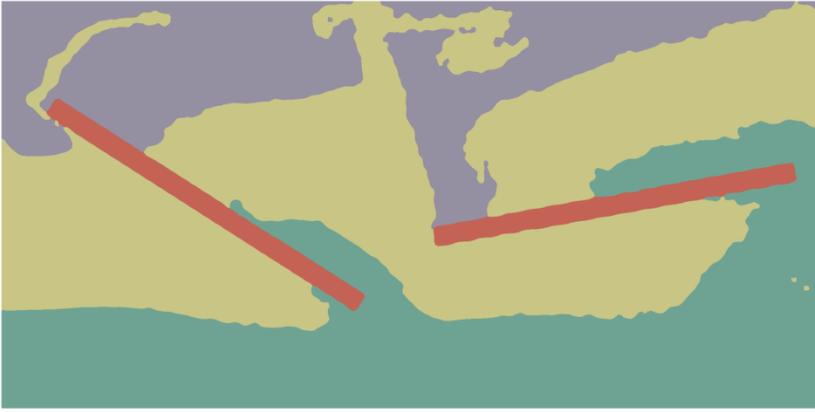
Déplacement
contrôlé



Insertion **locale**
de couches

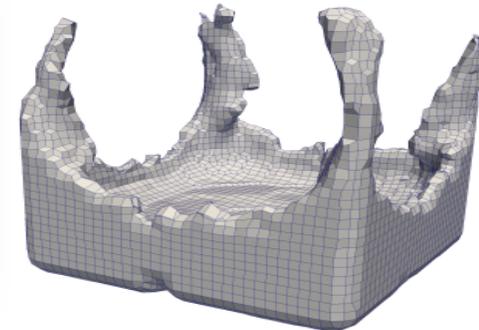
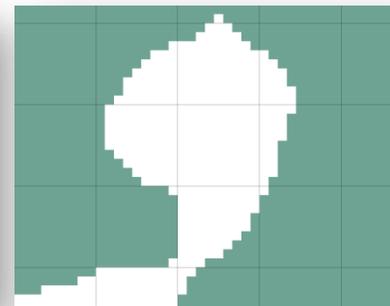
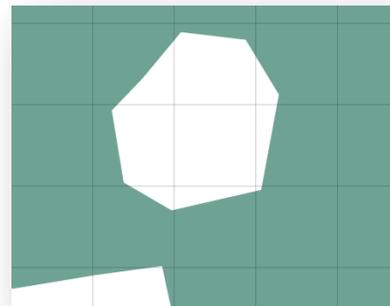
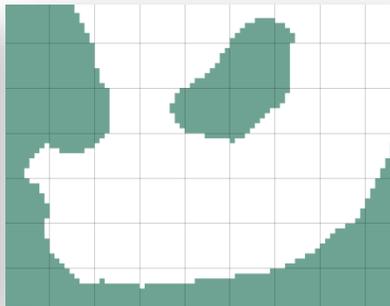
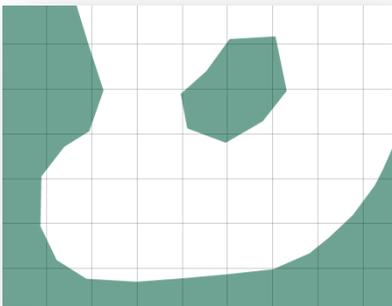


- Pipeline fonctionnel en 2D et 3D avec contrôle de la qualité



- Reste des questionnements sur la reconstruction du modèle géométrique

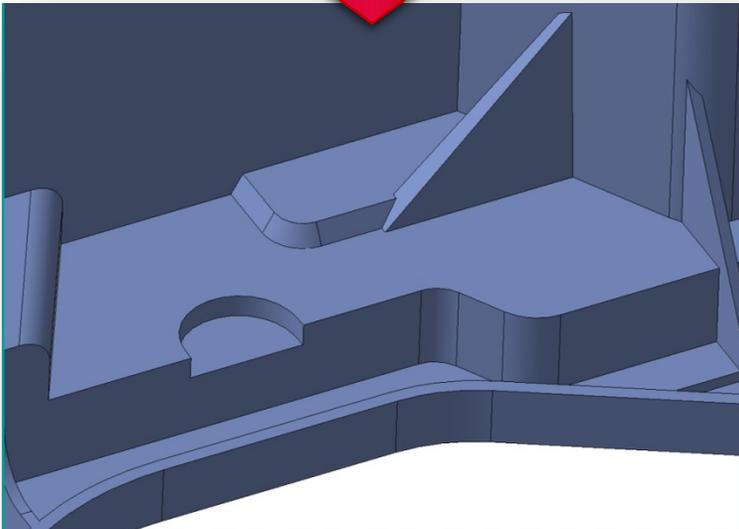
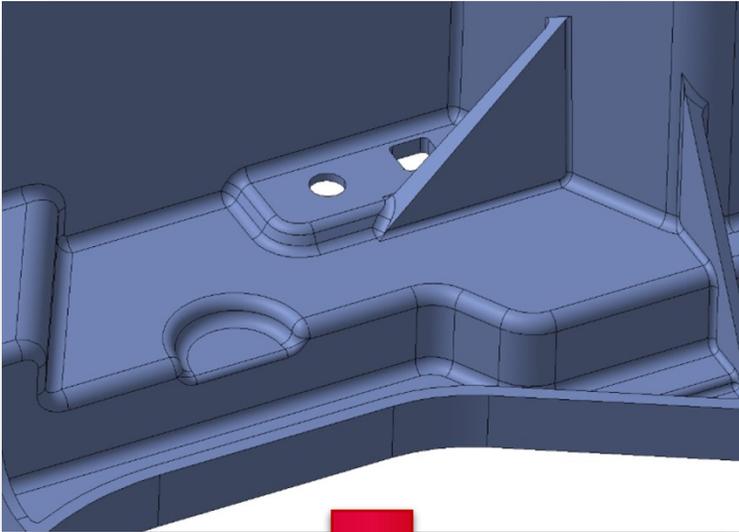
- Trop discrétisé, à simplifier
- Gestion de la taille des données reconstruites / à la discrétisation du maillage d'entrée



Modélisation géométrique

- ▶ De la CAO à la CAE
- ▶ De la géométrie au maillage

Nouvelle activité – Contributeur principal Flavien Boussuge arrivé en Nov. 2019

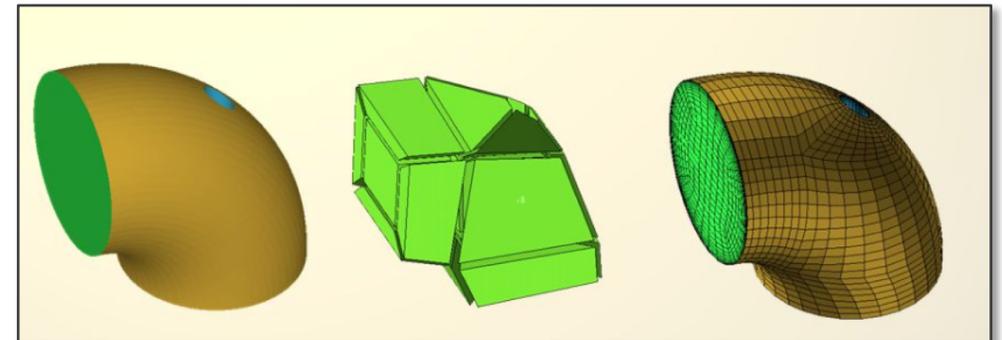


Problématique générale

- ▶ Identifier automatiquement des sous-parties d'un modèle B-Rep
- ▶ Vérifier qu'une (sous-)partie correspond à une (sous-)partie d'une modèle dans une base de données

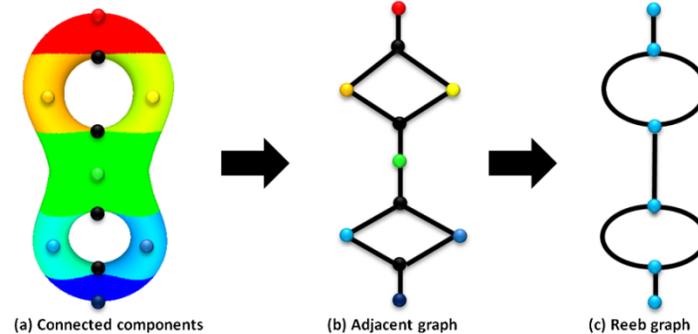
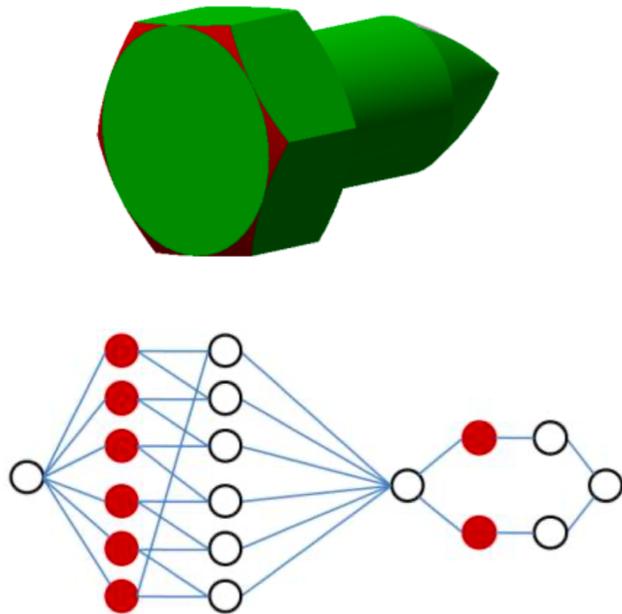
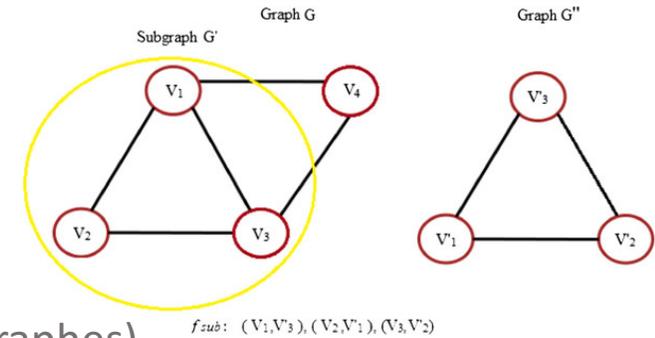
Scenarios

- ▶ Simplification de modèles
- ▶ Détection et application de motifs/algorithmes de maillage
- ▶ Réutilisation de modèles de "design/simulation"
- ▶ Automatisation du "blocking" hexaédrique
 - Apprendre à générer des blocs que l'on sait discrétiser en hexaèdres

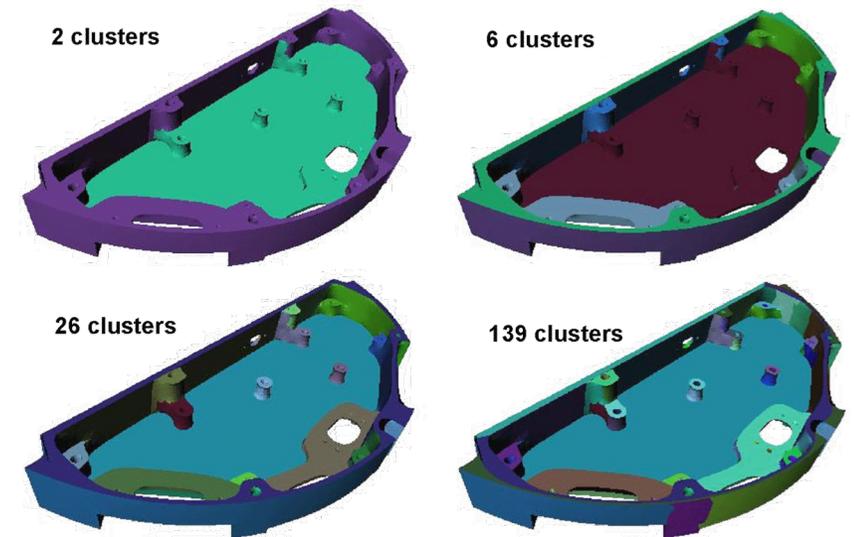


Approche topologique "historique"

- ▶ Découper un modèle en parties significatives connectées → graphe
- ▶ Extraire une information caractéristiques (signature) pour chaque partie -> graphe valué
- ▶ Rechercher des équivalences à l'aide d'algorithmes de matching (isomorphisme de sous-graphes)
 - Au sein d'un même modèle
 - En référence à une base de données de modèles



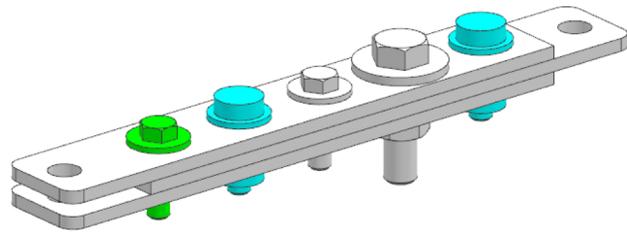
Graphe de Reeb



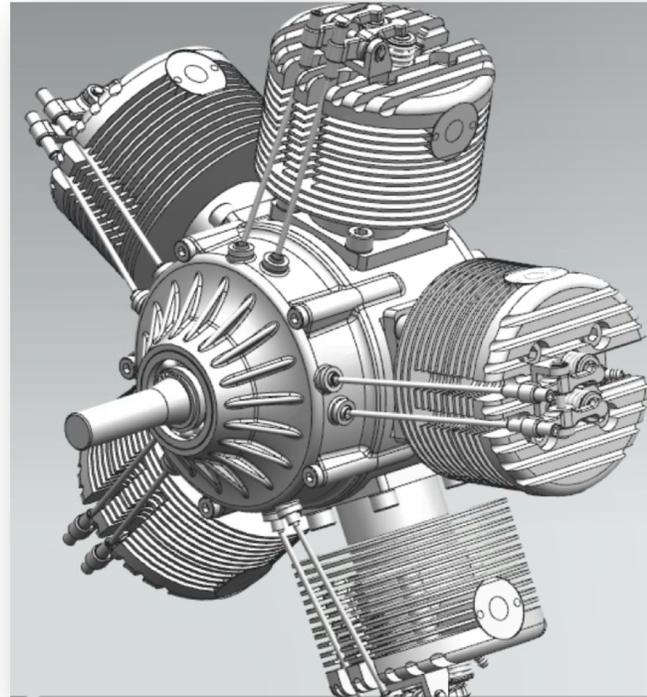
Clustering hiérarchique sur un maillage

Apprentissage relationnel (travaux de Flavien Boussuge)

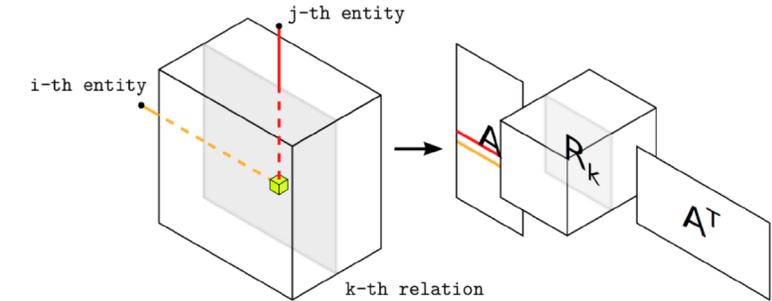
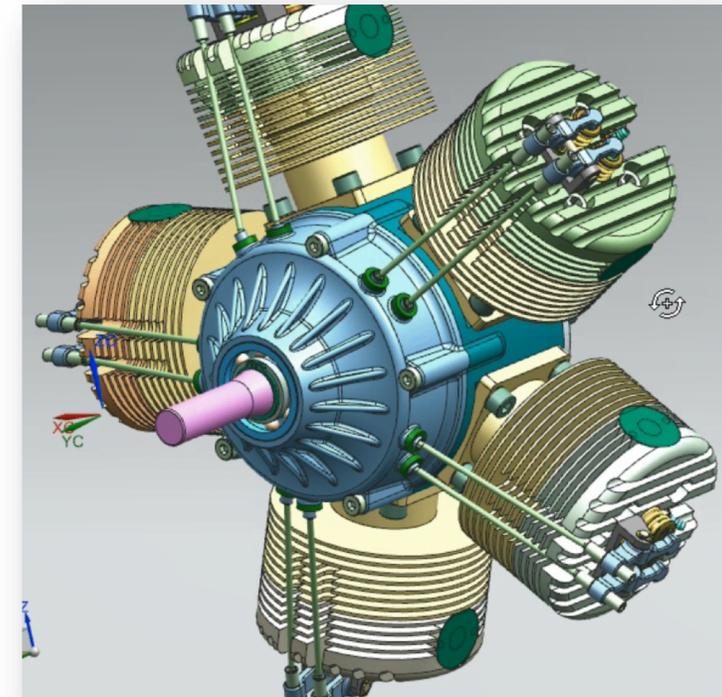
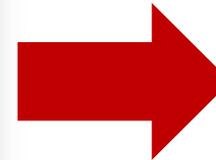
- ▶ Partant toujours d'une information topologique \rightarrow graphe de connectivités valué
- ▶ Construction d'un tenseur de relation topologique
- ▶ Idée: retrouver des sous-parties « proches » en terme de relation au voisinage
 - Au sein d'un modèle pour le moment



Taxonomie pour une ontologie



Retrouver des composants similaires (même géométrie et même connectivité)



Factorisation de tenseurs, utilisé en Web sémantique (Nickel, A. "A Three-Way Model for Collective Learning on Multi-Relational Data")

► INSERER VIDEO

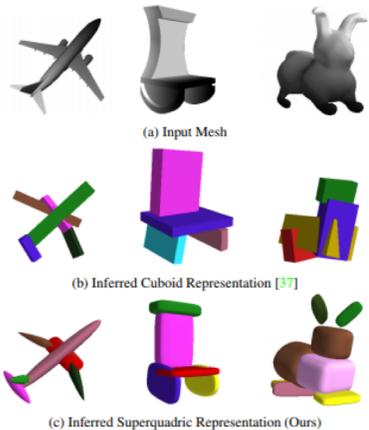
► Problématique de la taille des bases de données de référence

- Faible mais la communauté y travaille
- Labellisation, on va y travailler (nous + EDF LAB a priori)
- Potentiel pour être suffisant pour des problèmes de géométrie (détection, simplification)
- Pour l'aide au maillage, moins de données et plus difficiles à produire

► Problématique de la taille des bases de données de référence

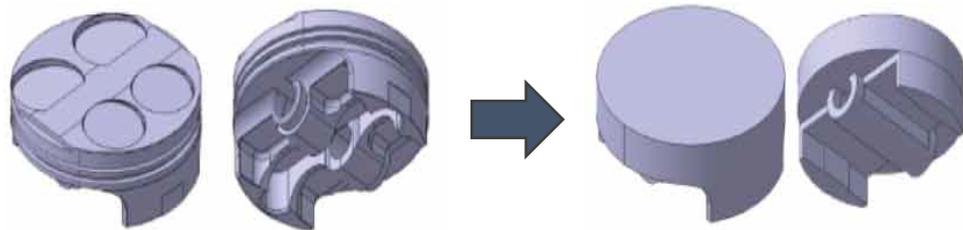
- Faible mais la communauté y travaille
- Labellisation, on va y travailler (nous + EDF LAB a priori)
- Potentiel pour être suffisant pour des problèmes de géométrie (détection, simplification)
- Pour l'aide au maillage, moins de données et plus difficiles à produire

► Plusieurs travaux d'intérêt actuellement

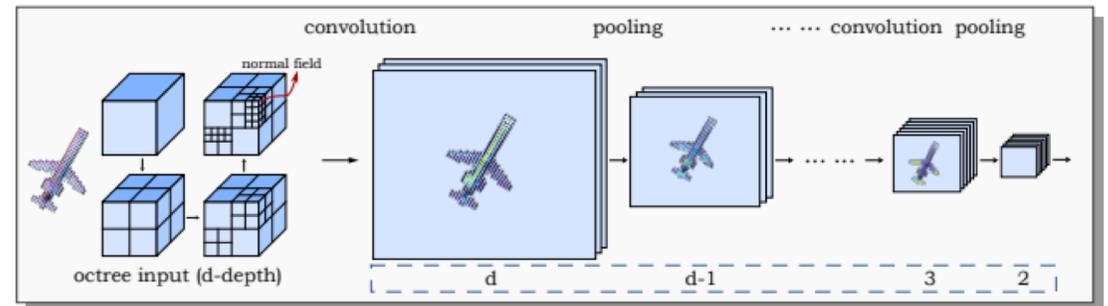


Learning 3D Shape Parsing

Paschalidou, D., Osman Ulusoy, A., & Geiger, A. (2019). Superquadrics Revisited: Learning 3D Shape Parsing beyond Cuboids. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 10344-10353).

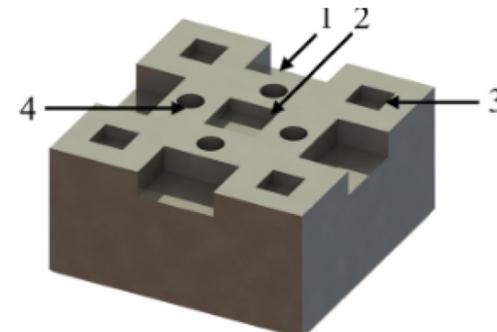


On the use of Machine Learning to Defeature CAD Models for Simulation, F. Danglade, J.-P. Pernot and P. Véron, *Computer-Aided Design and Applications*, p. 358-368, 2013.



O-CNN: Octree-based Convolutional Neural Networks for 3D Shape Analysis

Wang, Peng-Shuai, Yang Liu, Yu-Xiao Guo, Chun-Yu Sun, and Xin Tong. "O-cnn: Octree-based convolutional neural networks for 3d shape analysis." *ACM Transactions on Graphics (TOG)* 36, no. 4 (2017): 72.



1	Rectangular blind slot
2	Rectangular pocket
3	Rectangular pocket
4	Blind hole

FeatureNet: Machining feature recognition

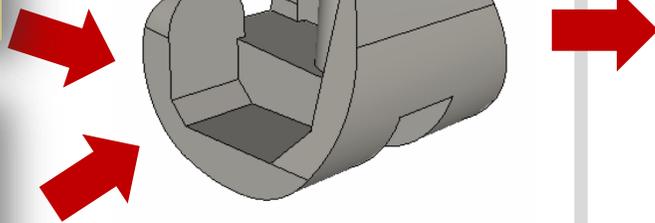
Conclusion

Modélisation géométrique

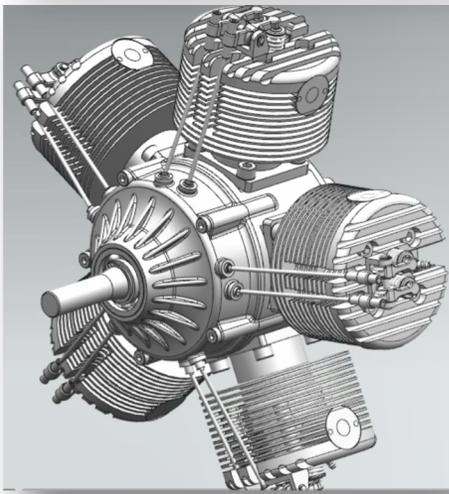
Modèle reconstruit

R&D à venir
Simplification et nettoyage en parallèle

CAE



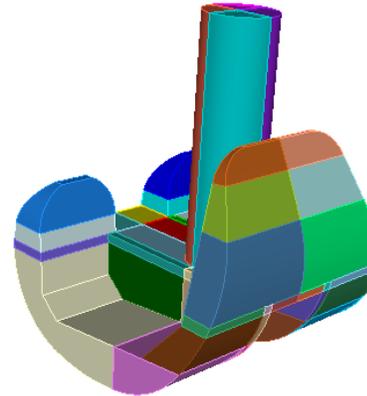
R&D à venir CAD → CAE
Détection de sous-partie (graphe et apprentissage relationnel)



CAD

Génération de blocs

- ▶ Champ d'orientations
- ▶ Polycubes
- ▶ Interactivité

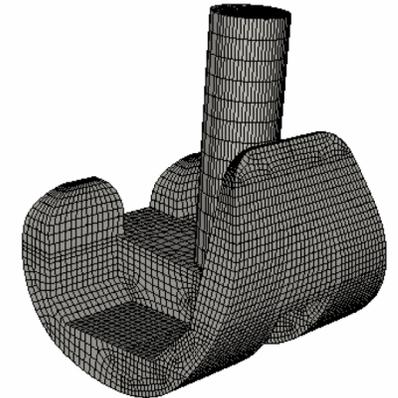


R&D à venir

- Optimisation des structures à l'aide de systèmes multi-agents
- Convergence Ch. Orient et Polycubes
- Interactivité nouvelle

Maillage

- ▶ Parallélisme
- ▶ Maillage hybride



R&D à venir

- Hybride guidé par la physique

R&D à venir – étude de l'utilisation de l'apprentissage profond

Question ouverte : plein d'heuristiques, plusieurs PLNE, programmation quadratique



Merci de votre attention