

Représentation numérique de géométries quelconques dans des maillages cartésiens et amélioration du partitionnement de domaines

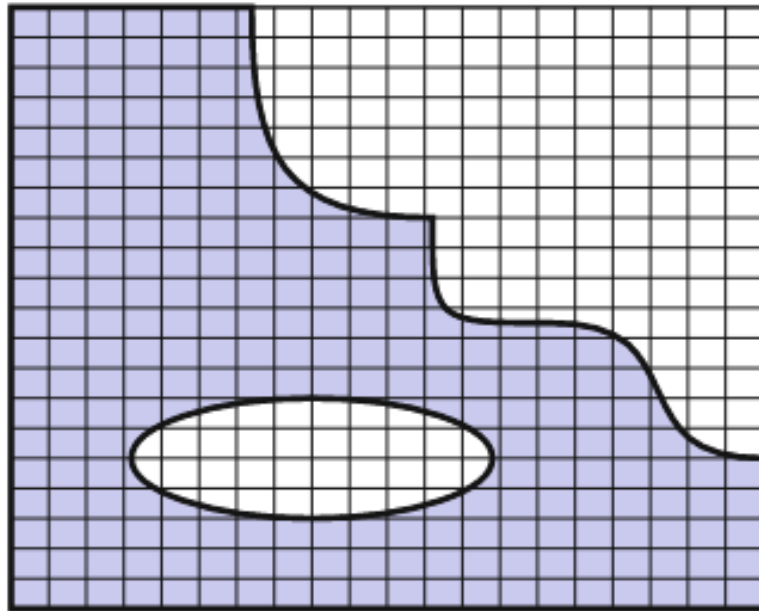
F. Salmon, A. Lemoine, S. Glockner, D. Lacanette

Workshop Méthodes Frontières Immérgées en Nouvelle-Aquitaine

05/10/22

Problématiques

Immersion de géométries quelconques dans un maillage cartésien



1) Partitionnement de domaines et réduction du nombre de cellules inutiles

2) Adaptation de la géométrie à la précision du maillage et aux contraintes numériques

Partitionnement de domaine

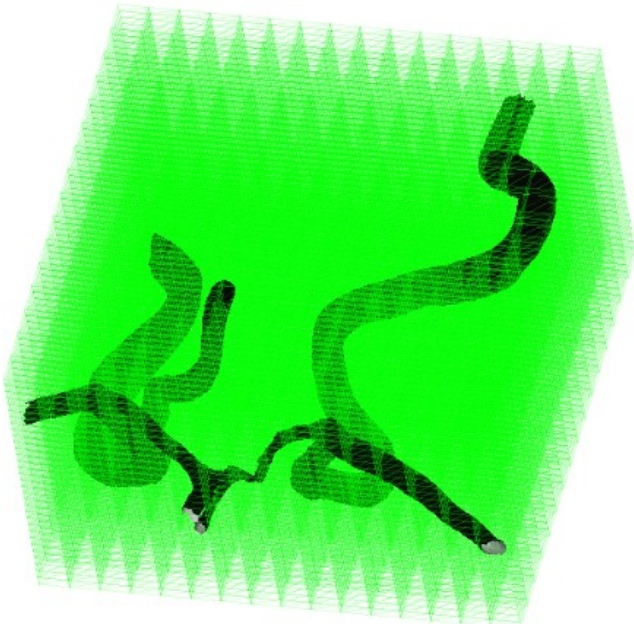
Immersion de la géométrie dans un maillage cartésien

- Boîte englobant la totalité de la géométrie
- Non adapté pour des géométries complexes
- Beaucoup de cellules hors domaine

Partitionnement de domaine

Immersion de la géométrie dans un maillage cartésien

- Boîte englobant la totalité de la géométrie
- Non adapté pour des géométries complexes
- Beaucoup de cellules hors domaine

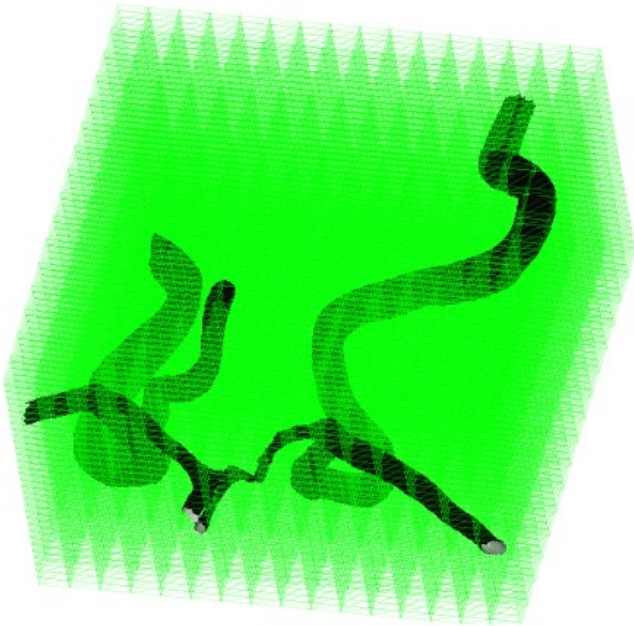


Artère – 2,5%

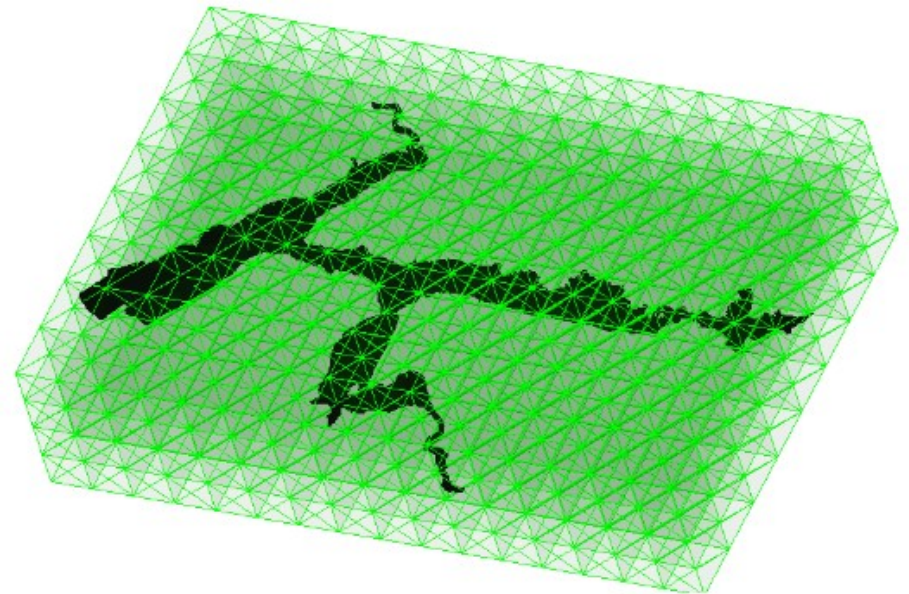
Partitionnement de domaine

Immersion de la géométrie dans un maillage cartésien

- Boîte englobant la totalité de la géométrie
- Non adapté pour des géométries complexes
- Beaucoup de cellules hors domaine



Artère – 2,5%



Grotte de Lascaux – 1%

Partitionnement de domaine

Méthodes de décomposition avec les frontières immergées

- Décomposition de l'ensemble du domaine et retrait des partitions hors du domaine (Anupindi et al.)
- Décomposition avec Metis puis reconstruction des blocs (Zhu et al.)
- Maintien d'une décomposition en blocs \Rightarrow solveurs efficaces Hypre

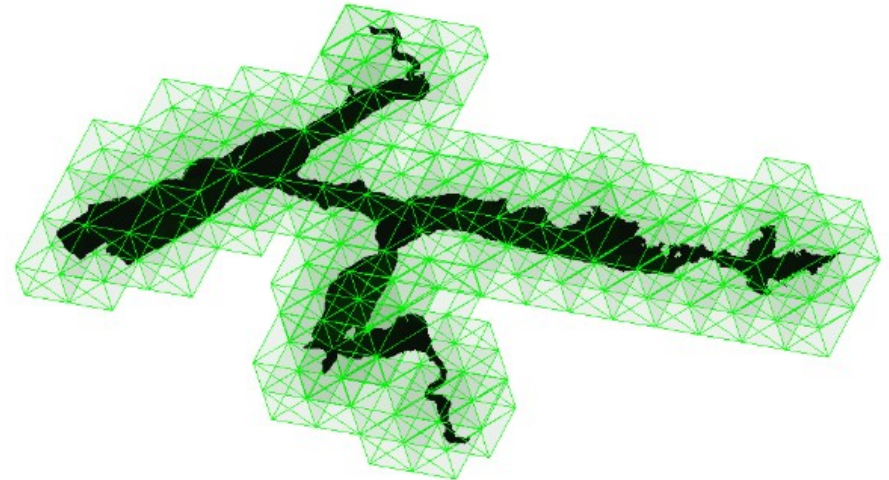
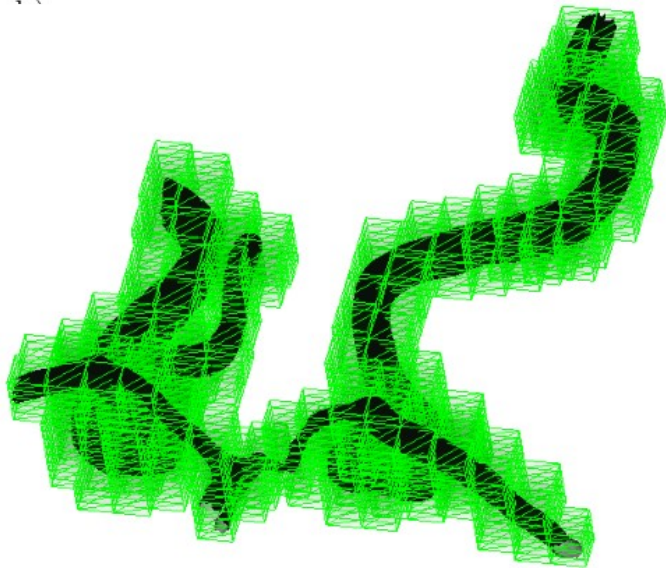
Anupindi et al. A novel multiblock immersed boundary method for large eddy simulation of complex arterial hemodynamics, *Journal of Computational Physics* 254 (2013) 200–218

Zhu et al. A graph-partitioned sharp-interface immersed boundary solver for efficient solution of internal flows, *Journal of Computational Physics* 386 (2019) 37-46.

Partitionnement de domaine

Méthodes de décomposition avec les frontières immergées

- Décomposition de l'ensemble du domaine et retrait des partitions hors du domaine (Anupindi et al.)
- Décomposition avec Metis puis reconstruction des blocs (Zhu et al.)
- Maintien d'une décomposition en blocs \Rightarrow solveurs efficaces Hypre

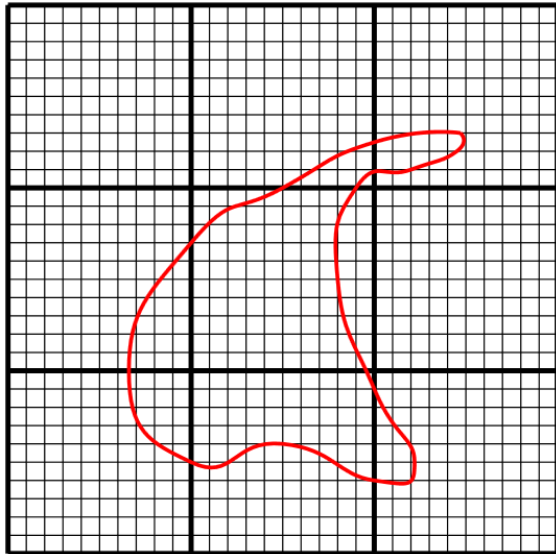


Anupindi et al. A novel multiblock immersed boundary method for large eddy simulation of complex arterial hemodynamics, *Journal of Computational Physics* 254 (2013) 200–218

Zhu et al. A graph-partitioned sharp-interface immersed boundary solver for efficient solution of internal flows, *Journal of Computational Physics* 386 (2019) 37-46.

Partitionnement de domaine

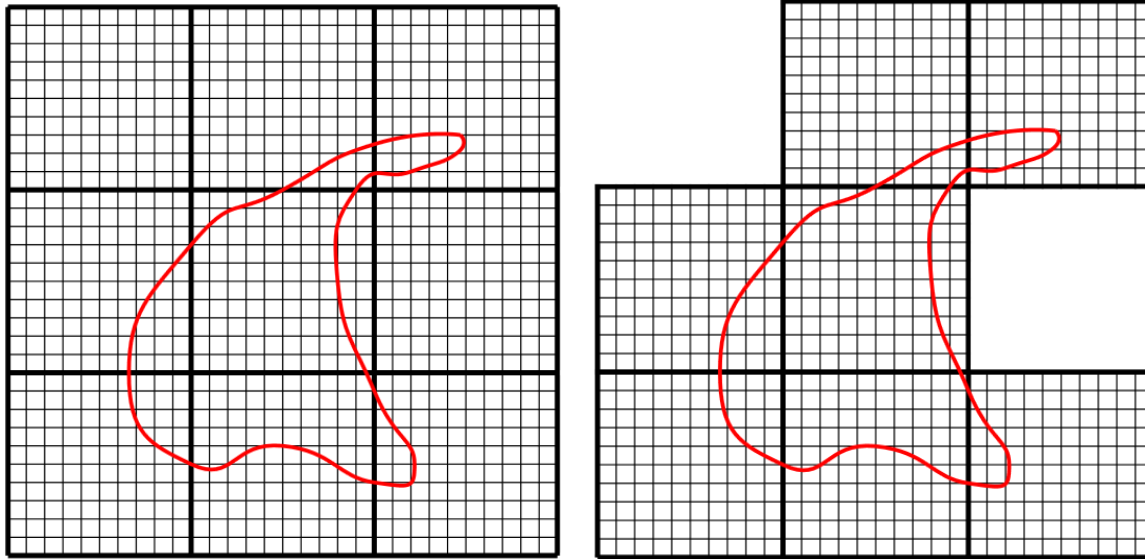
Proposition d'une méthode de glissement de lignes de partitions



Partitionnement de domaine

Proposition d'une méthode de glissement de lignes de partitions

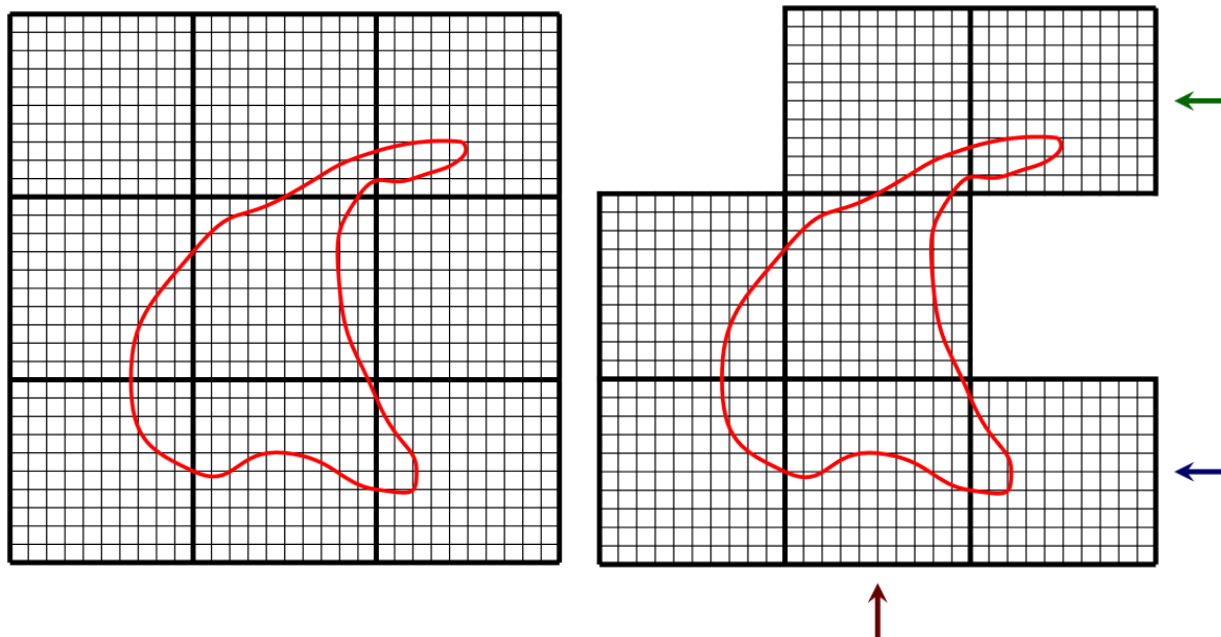
- Etape 1 : retrait des partitions hors du domaine



Partitionnement de domaine

Proposition d'une méthode de glissement de lignes de partitions

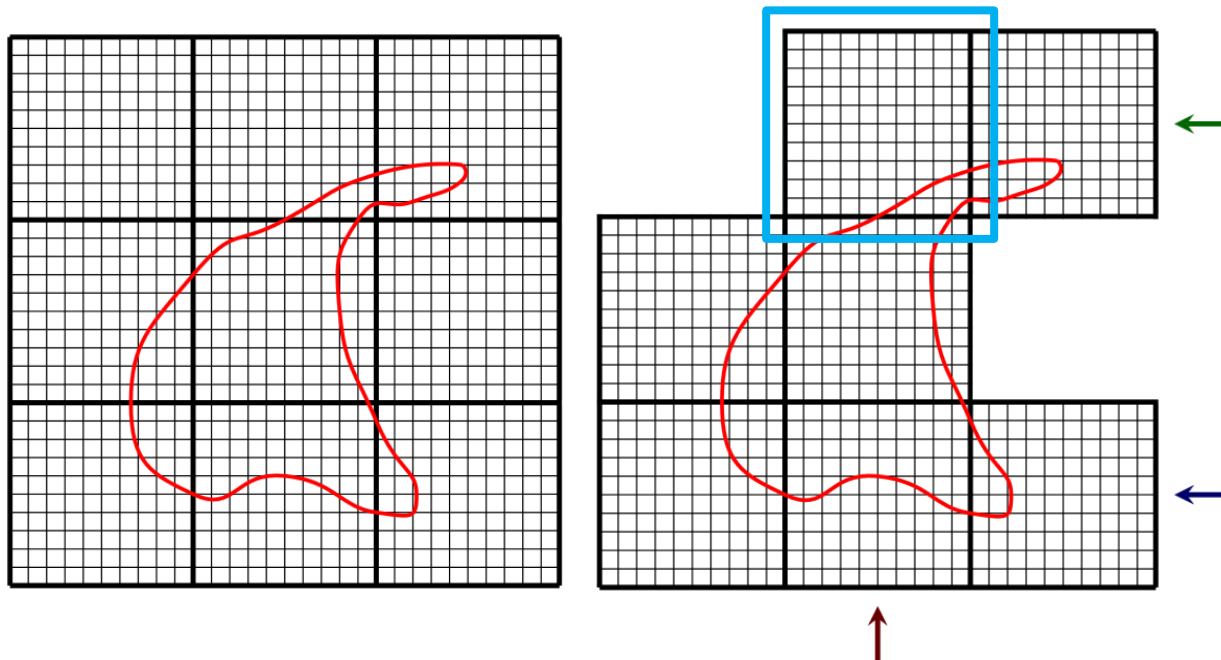
- Etape 1 : retrait des partitions hors du domaine
- Etape 2 : Stockage des lignes et colonnes dont le glissement retire une partition



Partitionnement de domaine

Proposition d'une méthode de glissement de lignes de partitions

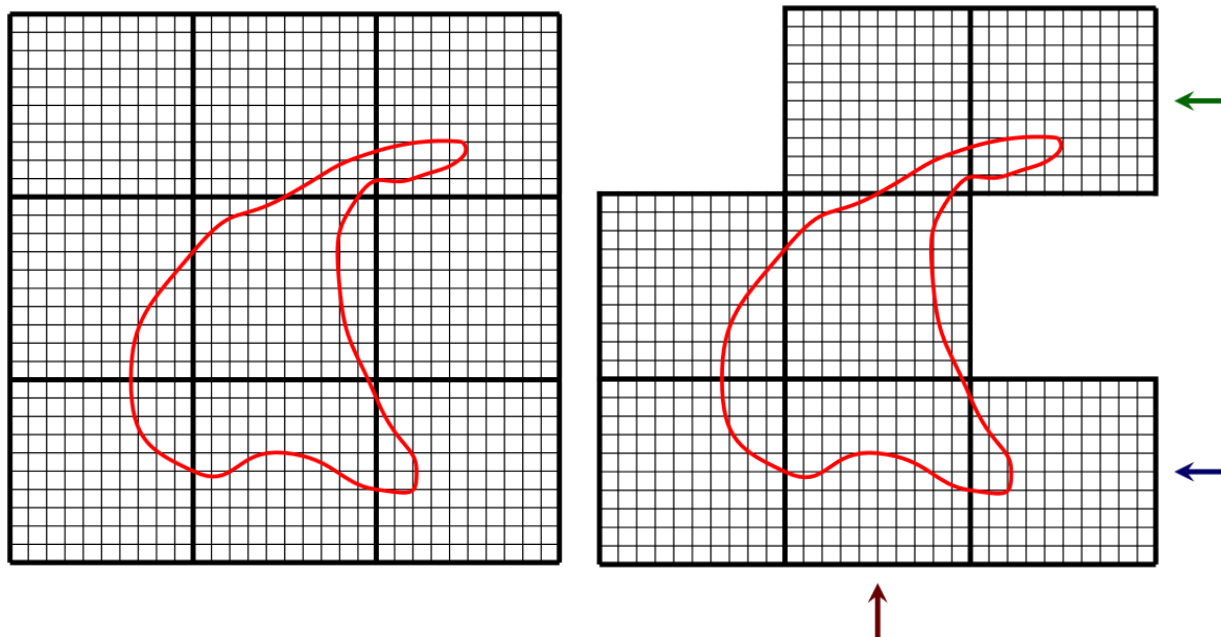
- Etape 1 : retrait des partitions hors du domaine
- Etape 2 : Stockage des lignes et colonnes dont le glissement retire une partition



Partitionnement de domaine

Proposition d'une méthode de glissement de lignes de partitions

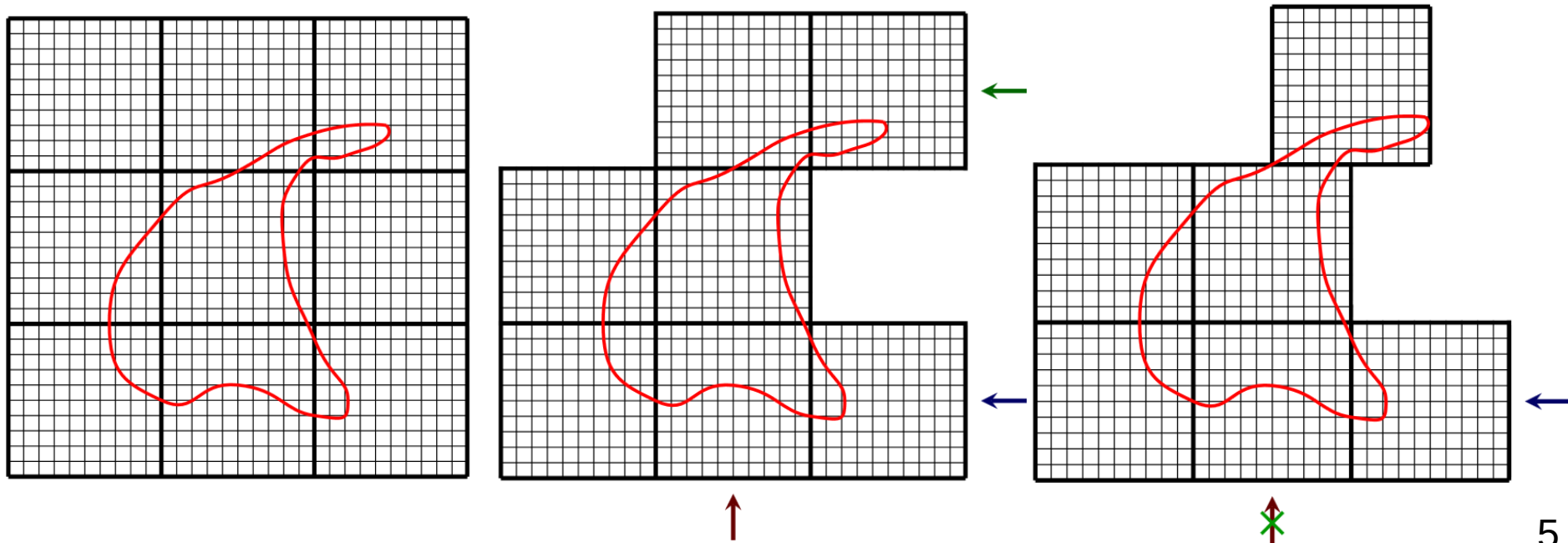
- Etape 1 : retrait des partitions hors du domaine
- Etape 2 : Stockage des lignes et colonnes dont le glissement retire une partition
- Etape 3 : Choix du glissement opéré : celui qui affecte le moins de glissements



Partitionnement de domaine

Proposition d'une méthode de glissement de lignes de partitions

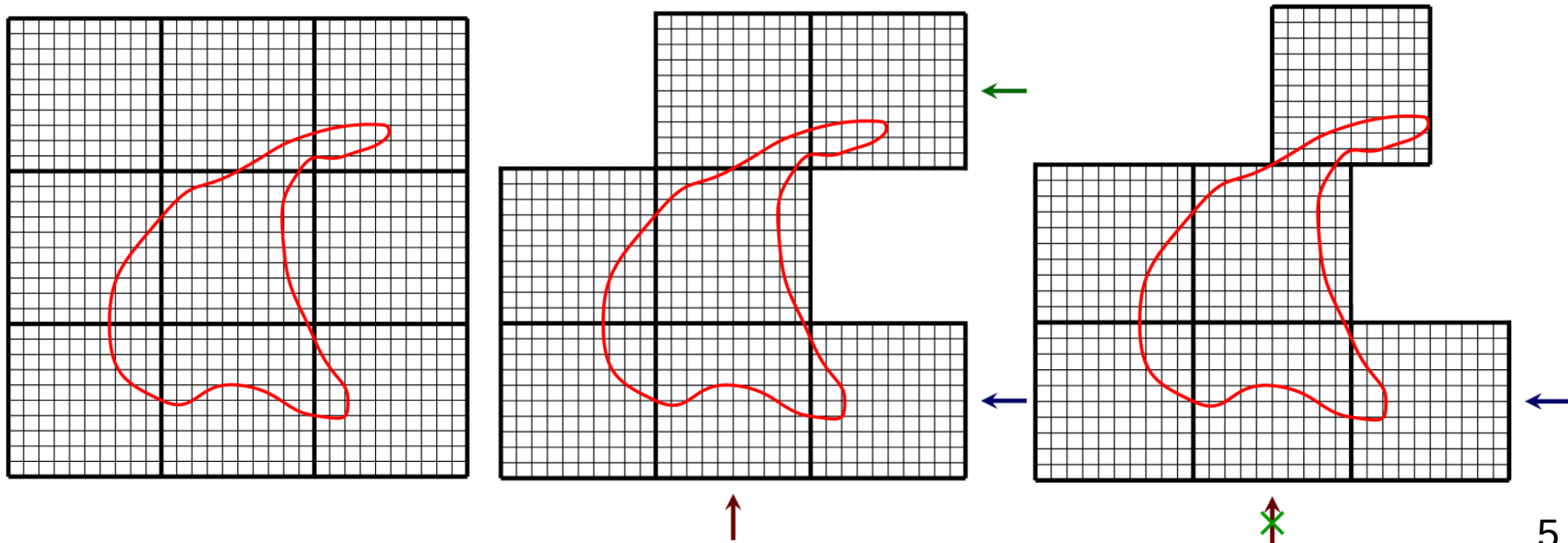
- Etape 1 : retrait des partitions hors du domaine
- Etape 2 : Stockage des lignes et colonnes dont le glissement retire une partition
- Etape 3 : Choix du glissement opéré : celui qui affecte le moins de glissements



Partitionnement de domaine

Proposition d'une méthode de glissement de lignes de partitions

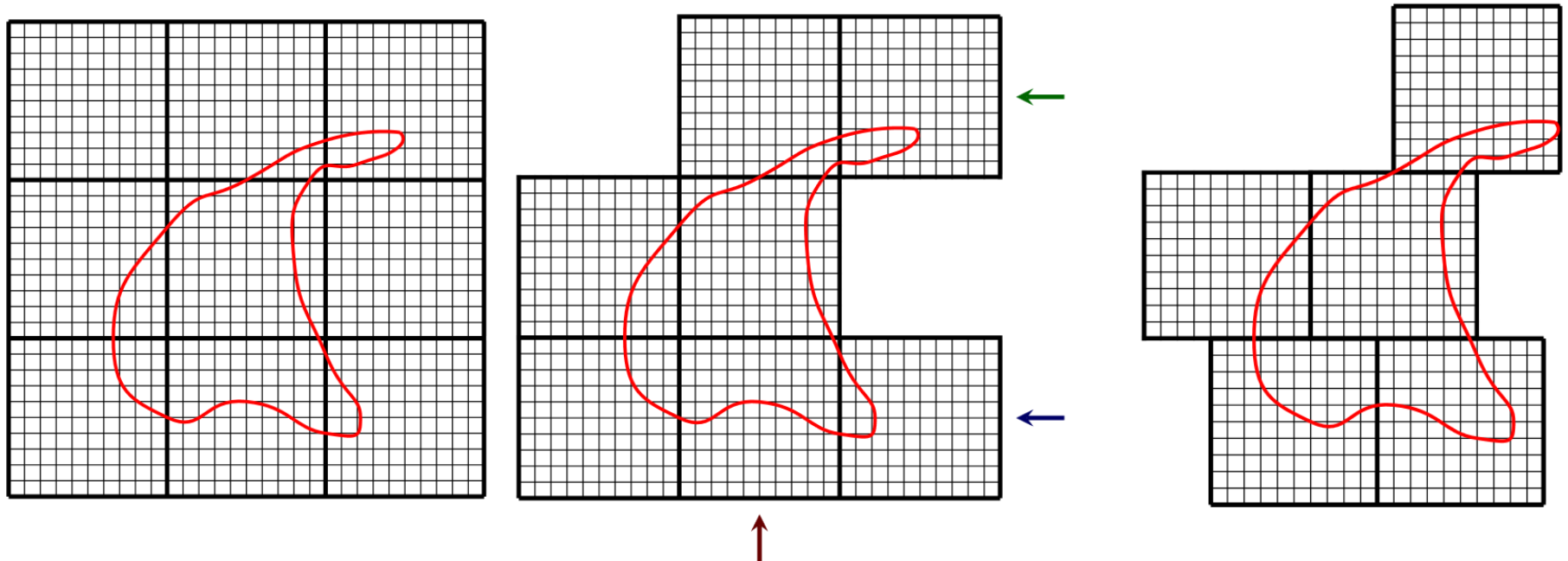
- Etape 1 : retrait des partitions hors du domaine
- Etape 2 : Stockage des lignes et colonnes dont le glissement retire une partition
- Etape 3 : Choix du glissement opéré : celui qui affecte le moins de glissements
- Retour à l'étape 2



Partitionnement de domaine

Proposition d'une méthode de glissement de lignes de partitions

- Etape 1 : retrait des partitions hors du domaine
- Etape 2 : Stockage des lignes et colonnes dont le glissement retire une partition
- Etape 3 : Choix du glissement opéré : celui qui affecte le moins de glissements
- Retour à l'étape 2



Partitionnement de domaine

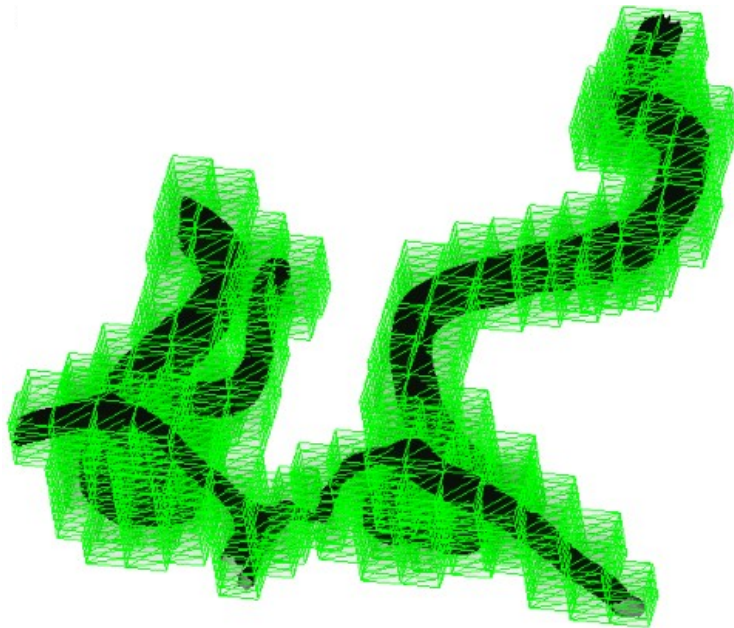
Optimisation du partitionnement

- Application de l'algorithme à l'ensemble des partitionnements initiaux possibles de la boîte englobante
- Choix selon le nombre de partitions restantes et la répartition des échanges parallèles

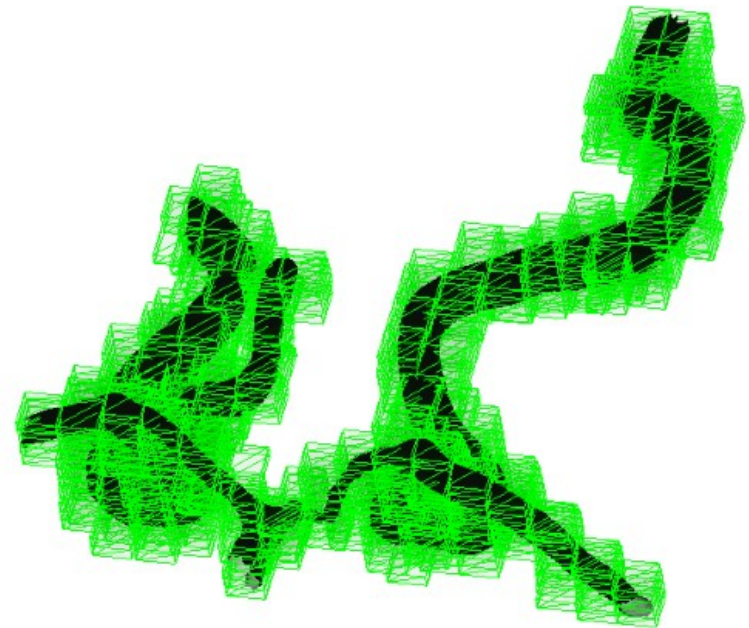
Partitionnement de domaine

Optimisation du partitionnement

- Application de l'algorithme à l'ensemble des partitionnements initiaux possibles de la boîte englobante
- Choix selon le nombre de partitions restantes et la répartition des échanges parallèles



Sans glissement



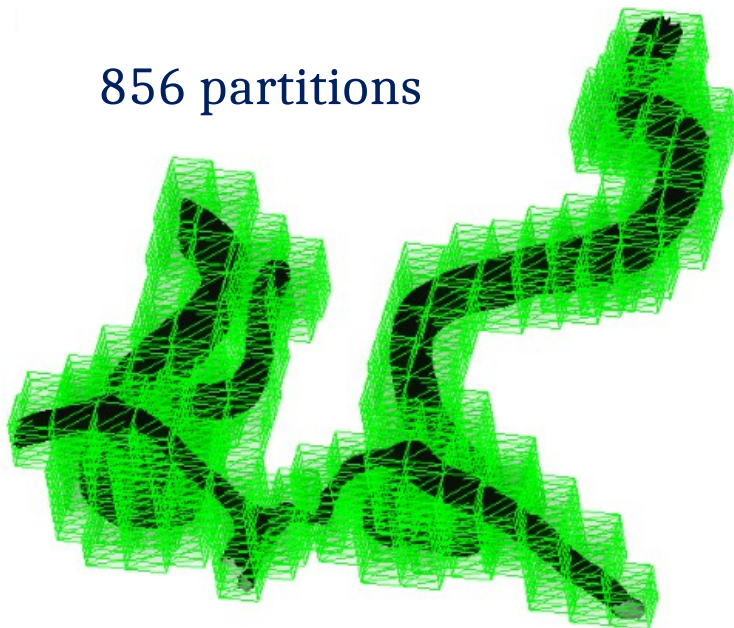
Avec glissement

Partitionnement de domaine

Optimisation du partitionnement

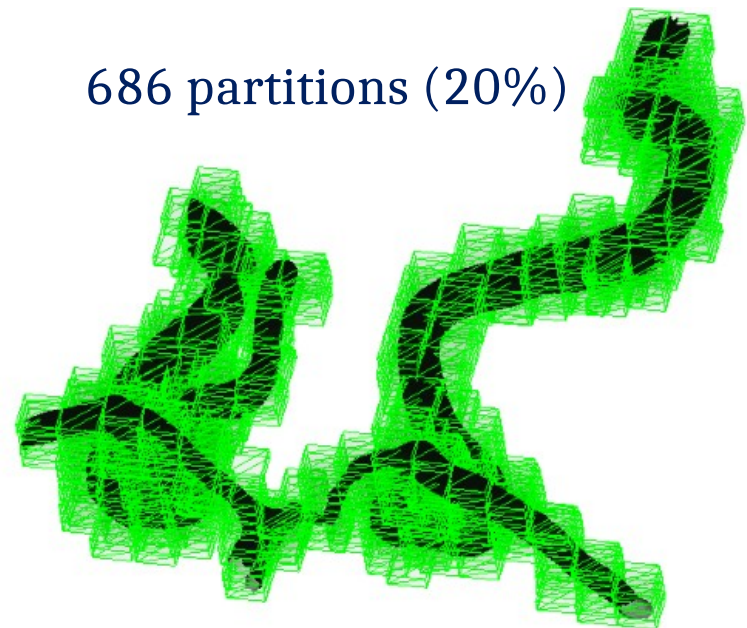
- Application de l'algorithme à l'ensemble des partitionnements initiaux possibles de la boîte englobante
- Choix selon le nombre de partitions restantes et la répartition des échanges parallèles

856 partitions



Sans glissement

686 partitions (20%)



Avec glissement

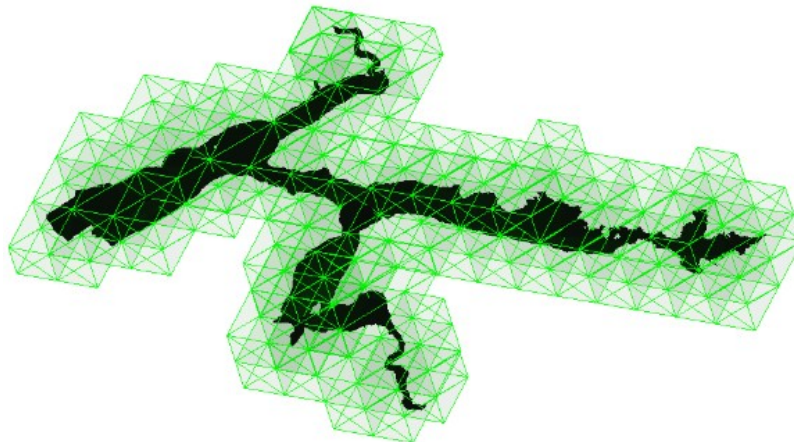
8192
partitions
initiales

Partitionnement de domaine

Optimisation du partitionnement

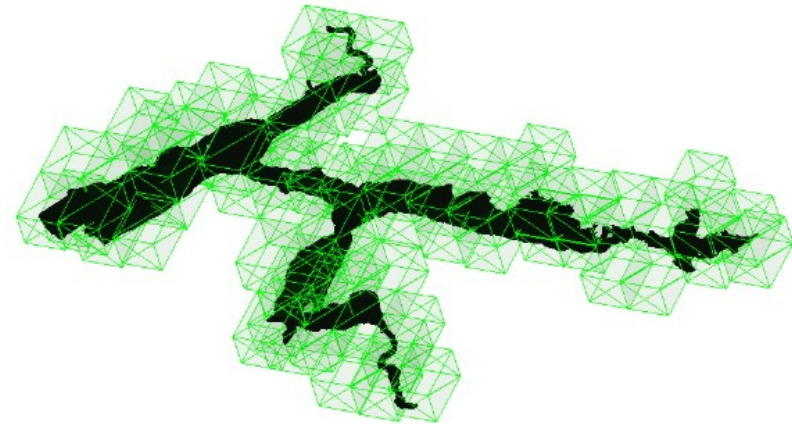
- Application de l'algorithme à l'ensemble des partitionnements initiaux possibles de la boîte englobante
- Choix selon le nombre de partitions restantes et la répartition des échanges parallèles

112 partitions



Sans glissement

76 partitions (30%)



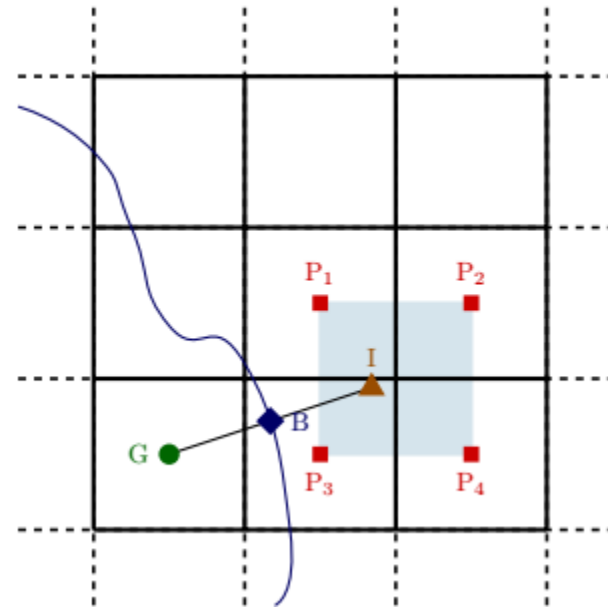
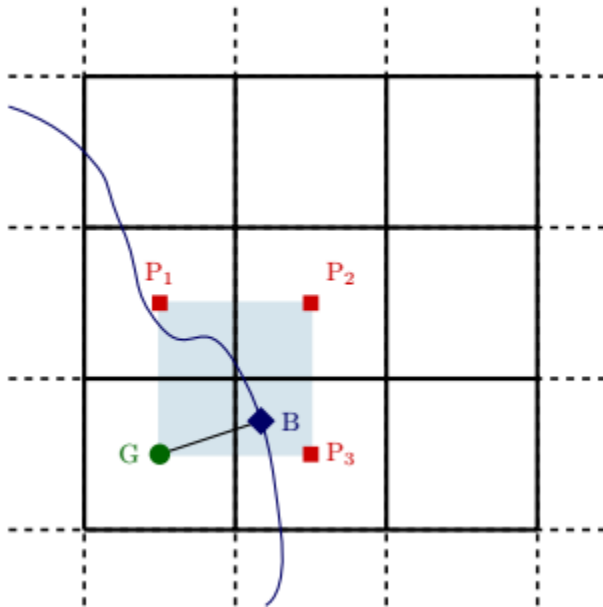
Avec glissement

512
partitions
initiales

Maillage sans cellule dégénérée

Méthodes ghost-cell forçage direct et cut-cell

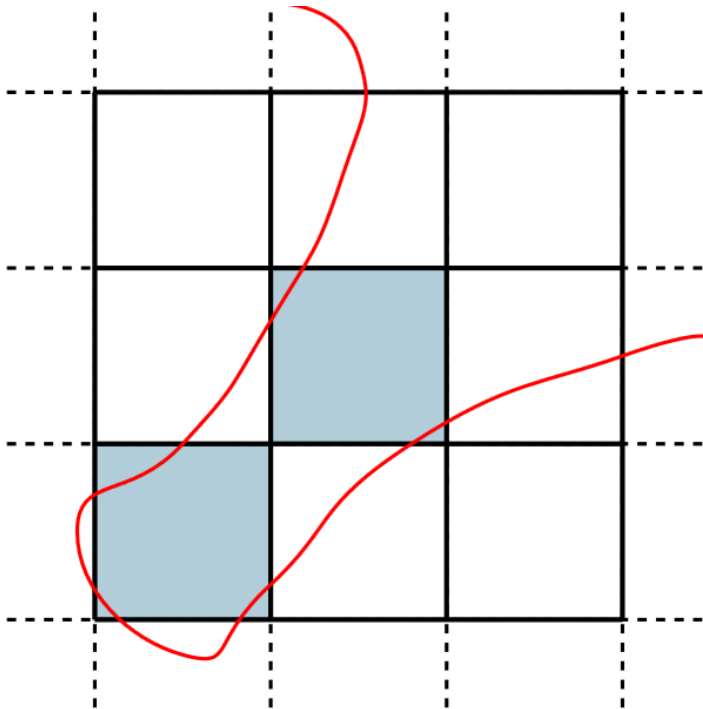
- La présence de cellules dégénérées amène des difficultés numériques
- Cellules aux frontières uniquement traversées par un segment en 2D ou une face continue en 3D



Maillage sans cellule dégénérée

Méthodes ghost-cell forçage direct et cut-cell

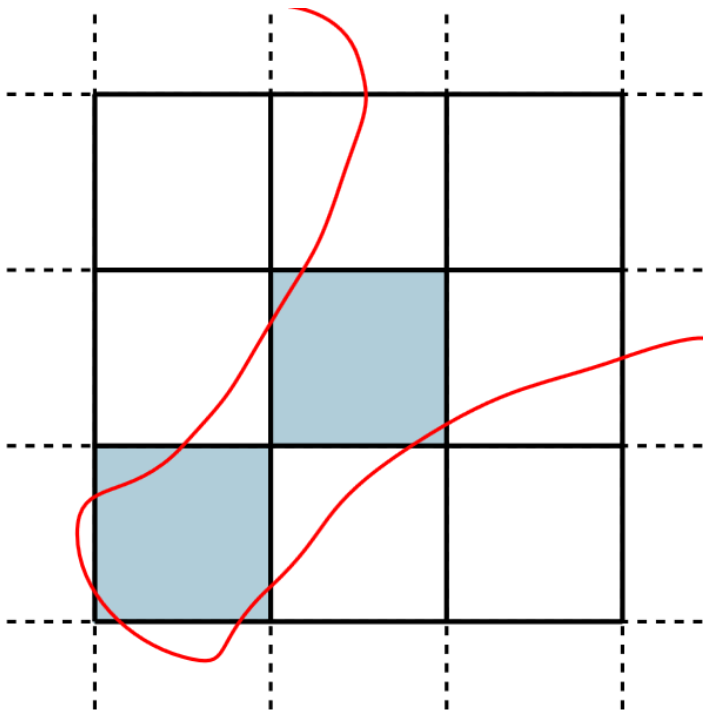
- La présence de cellules dégénérées amène des difficultés numériques
- Cellules aux frontières uniquement traversées par un segment en 2D ou une face continue en 3D



Maillage sans cellule dégénérée

Méthodes ghost-cell forçage direct et cut-cell

- La présence de cellules dégénérées amène des difficultés numériques
- Cellules aux frontières uniquement traversées par un segment en 2D ou une face continue en 3D



Modification de la géométrie

- Garantir l'absence de cellules dégénérées
- Automatique selon le raffinement du maillage
- 2D et 3D

Maillage sans cellule dégénérée 2D

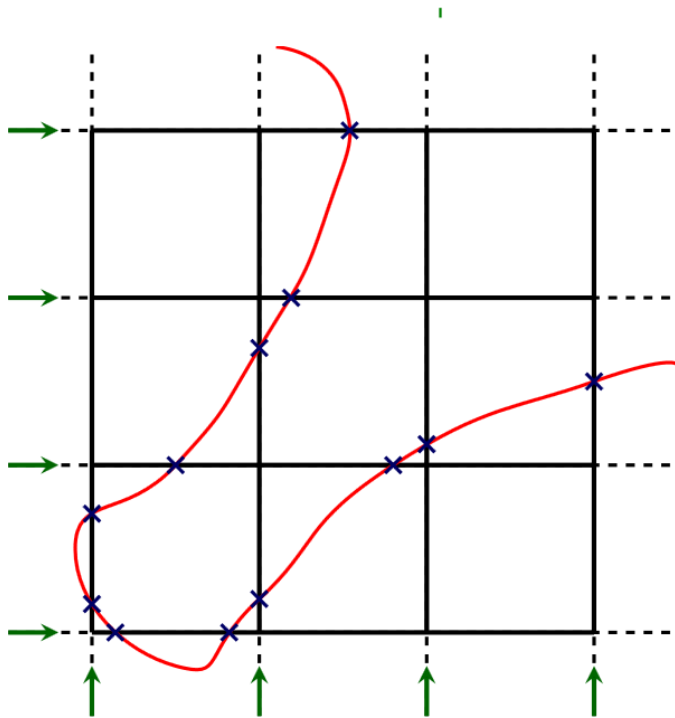
Structure de l'algorithme 2D

- Reconstruction du contour à l'aide de segments (algorithme basé sur le lancer de rayons)
- Modification de la géométrie pour supprimer les cellules dégénérées

Maillage sans cellule dégénérée 2D

Structure de l'algorithme 2D

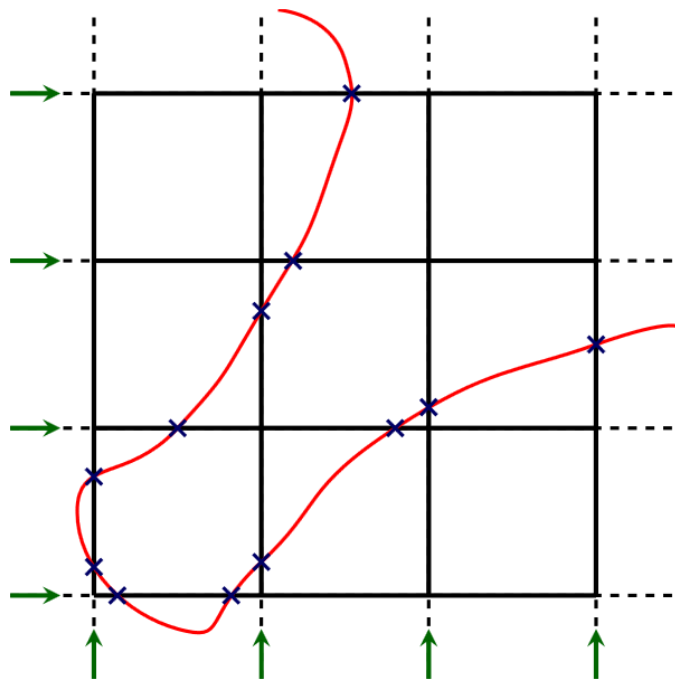
- Reconstruction du contour à l'aide de segments (algorithme basé sur le lancer de rayons)
- Modification de la géométrie pour supprimer les cellules dégénérées



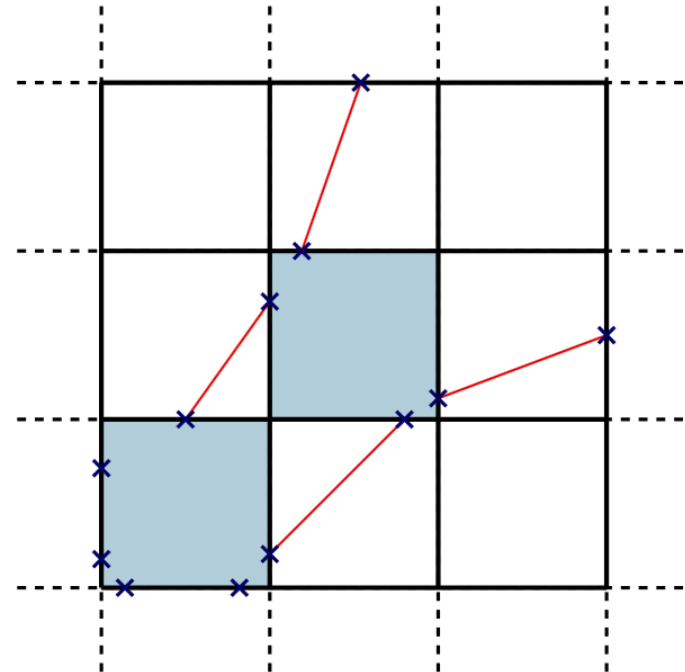
Maillage sans cellule dégénérée 2D

Structure de l'algorithme 2D

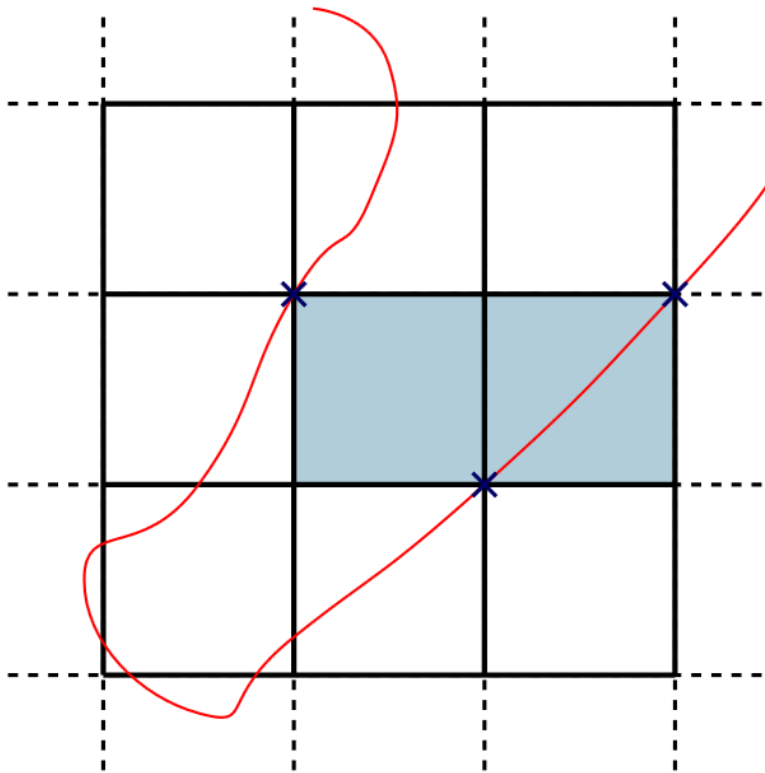
- Reconstruction du contour à l'aide de segments (algorithme basé sur le lancer de rayons)
- Modification de la géométrie pour supprimer les cellules dégénérées



2 points sauf 2 coins



Maillage sans cellule dégénérée 2D



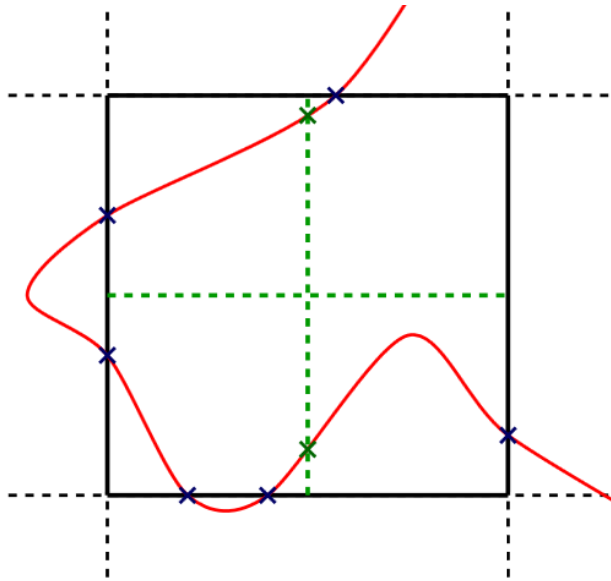
Traitement des coins

- Cas où les 2 points d'intersection sont 2 coins
- Lancer de rayon passant par le centre de la cellule
- Si intersection \Rightarrow les 2 points sont reliés

Maillage sans cellule dégénérée 2D

Traitement des cellules à plus de 2 points

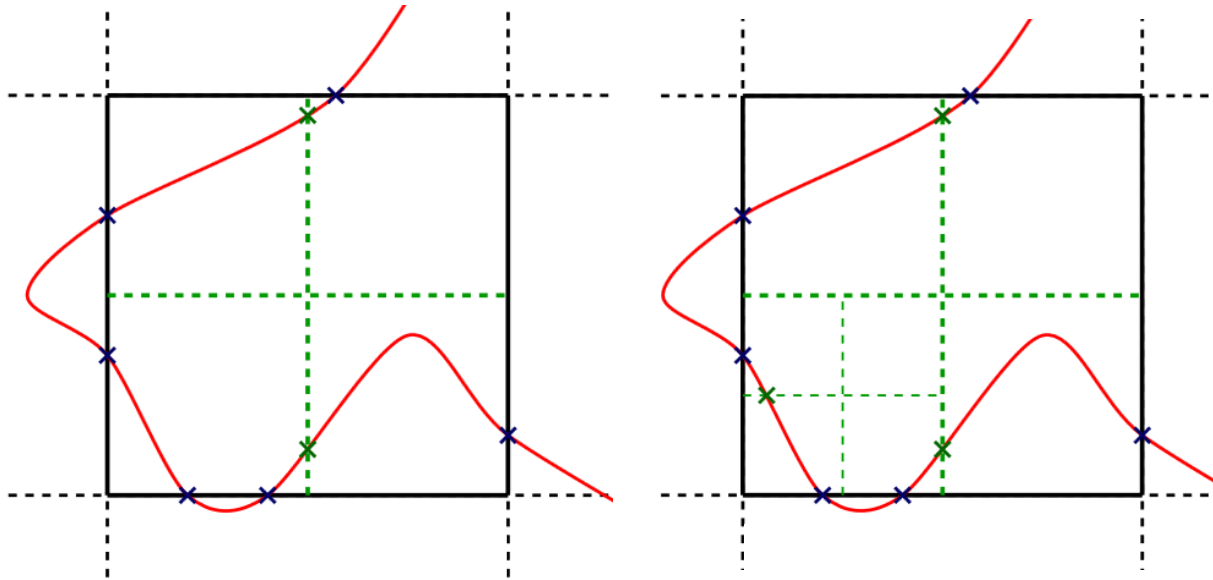
- Lancer de rayons sous-maillages



Maillage sans cellule dégénérée 2D

Traitement des cellules à plus de 2 points

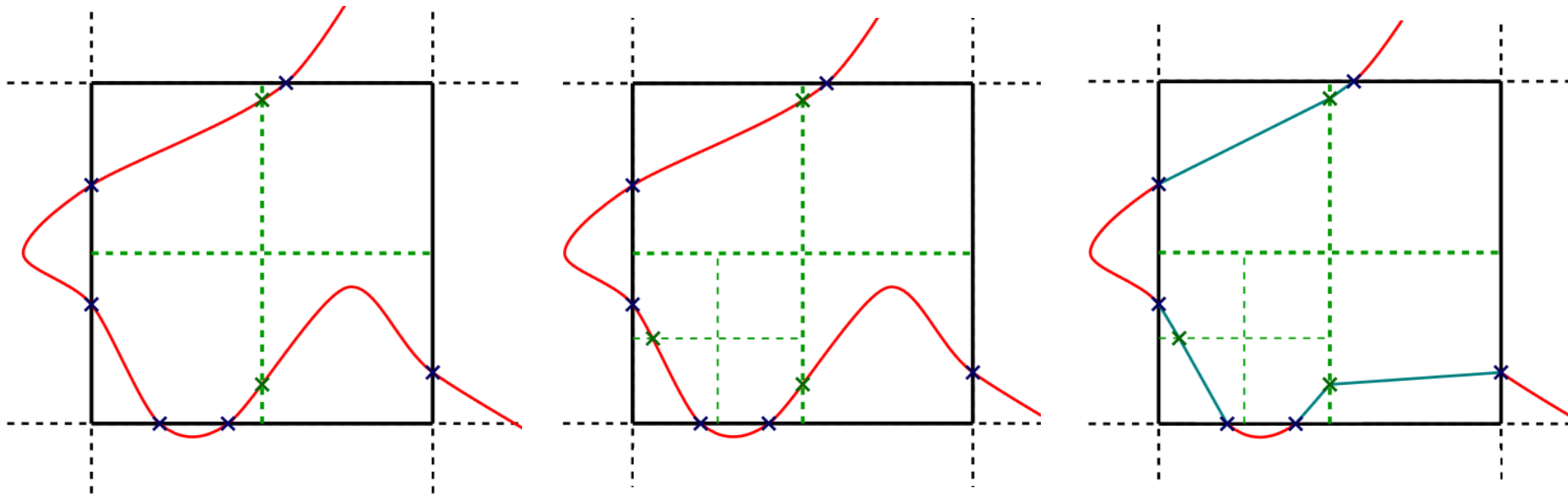
- Lancer de rayons sous-maillages
- Boucle jusqu'à ce que chaque sous-cellule possède au plus 2 points



Maillage sans cellule dégénérée 2D

Traitement des cellules à plus de 2 points

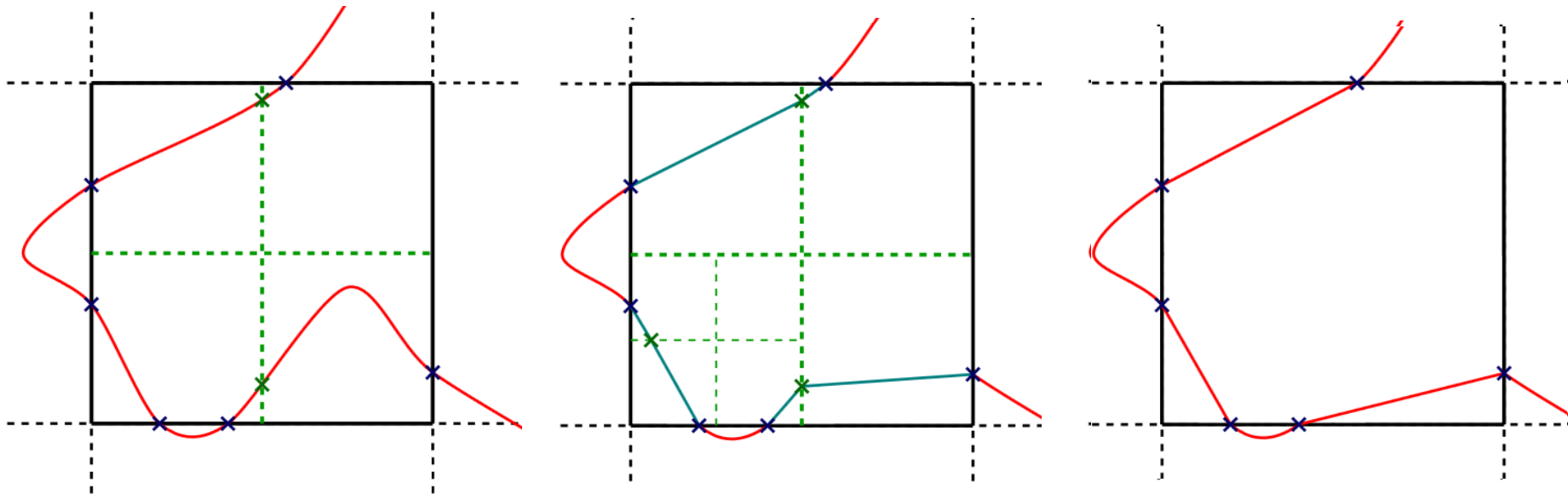
- Lancer de rayons sous-maillages
- Boucle jusqu'à ce que chaque sous-cellule possède au plus 2 points
- Sous-cellules contenant 2 points \Rightarrow application de la méthode précédente



Maillage sans cellule dégénérée 2D

Traitement des cellules à plus de 2 points

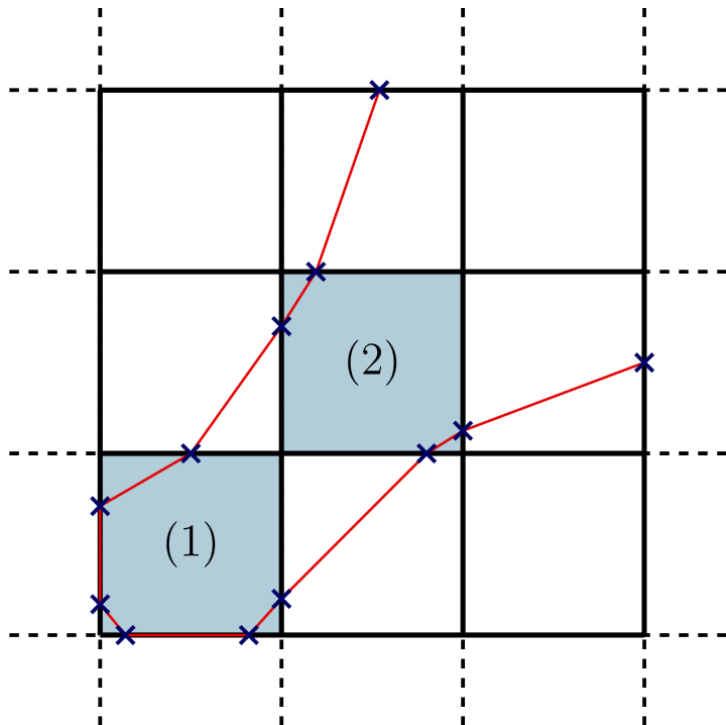
- Lancer de rayons sous-maillages
- Boucle jusqu'à ce que chaque sous-cellule possède au plus 2 points
- Sous-cellules contenant 2 points \Rightarrow application de la méthode précédente
- Construction des segments à partir des sous-segments



Maillage sans cellule dégénérée 2D

Cellules dégénérées

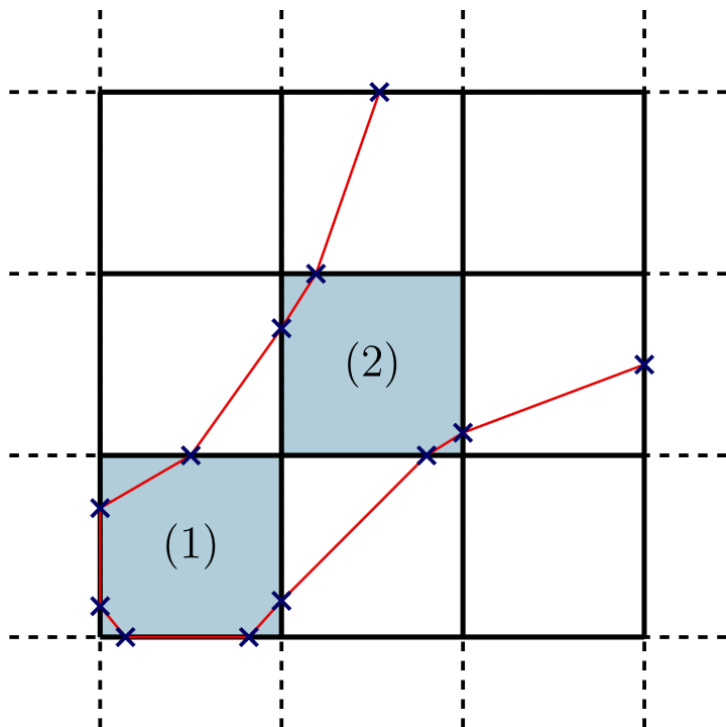
- Cellules avec > 1 segment
- 2 cas
 - Segments connectés (1)
 - Segments non connectés (2)



Maillage sans cellule dégénérée 2D

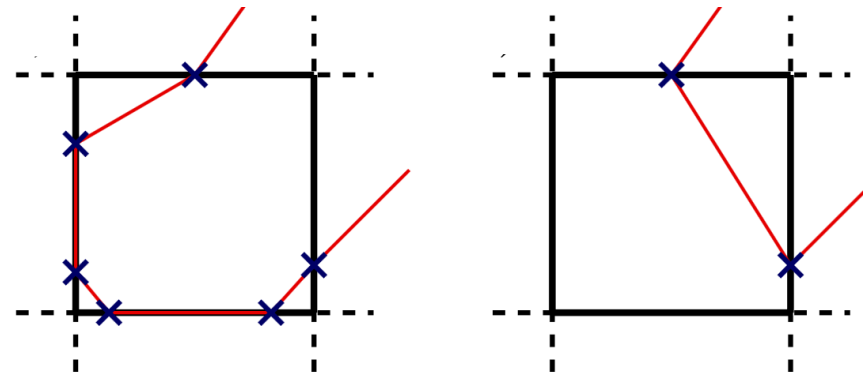
Cellules dégénérées

- Cellules avec > 1 segment
- 2 cas
 - Segments connectés (1)
 - Segments non connectés (2)



Cas des segments connectés

- S'il n'y a que 2 points reliés à 1 segment au sein de la cellule
- Suppression des segments
- Création d'un segment reliant les 2 points n'appartenant initialement qu'à 1 segment



Maillage sans cellule dégénérée 2D

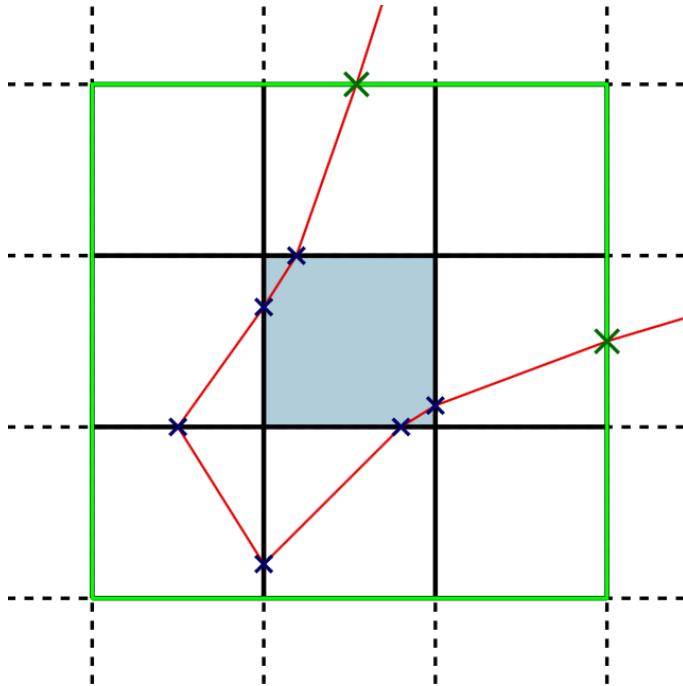
Super-cellules

- La géométrie est sous-maille \Rightarrow le maillage est localement rendu plus grossier

Maillage sans cellule dégénérée 2D

Super-cellules

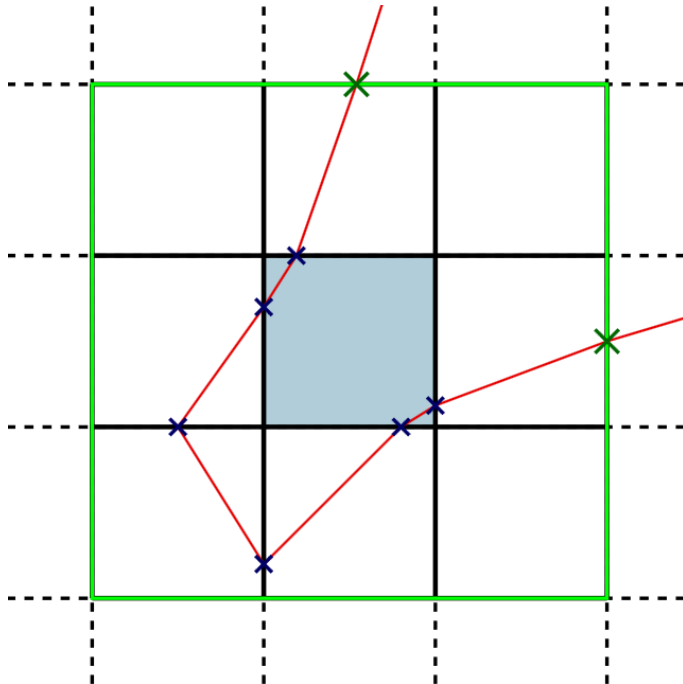
- La géométrie est sous-maille \Rightarrow le maillage est localement rendu plus grossier
- Construction d'une super-cellule centrée sur la cellule incriminée



Maillage sans cellule dégénérée 2D

Super-cellules

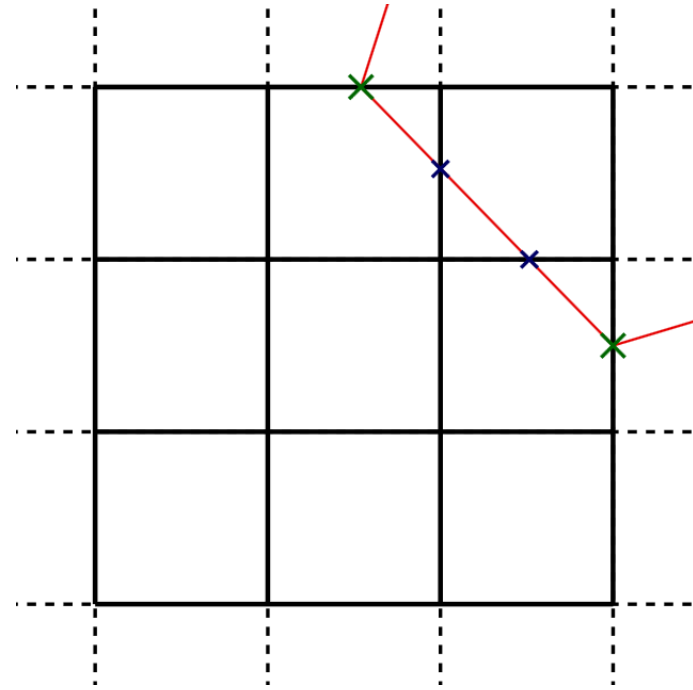
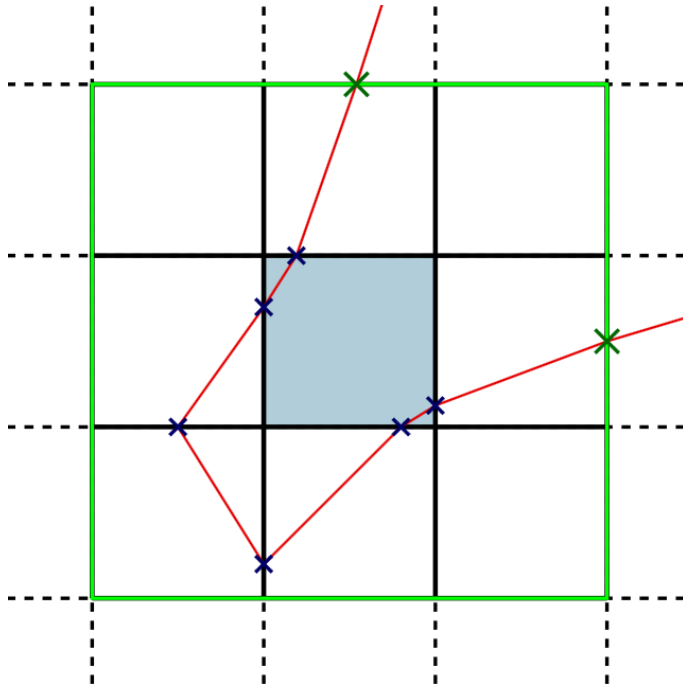
- La géométrie est sous-maille \Rightarrow le maillage est localement rendu plus grossier
- Construction d'une super-cellule centrée sur la cellule incriminée
- Récupération des points d'intersection sur cette super-cellule



Maillage sans cellule dégénérée 2D

Super-cellules

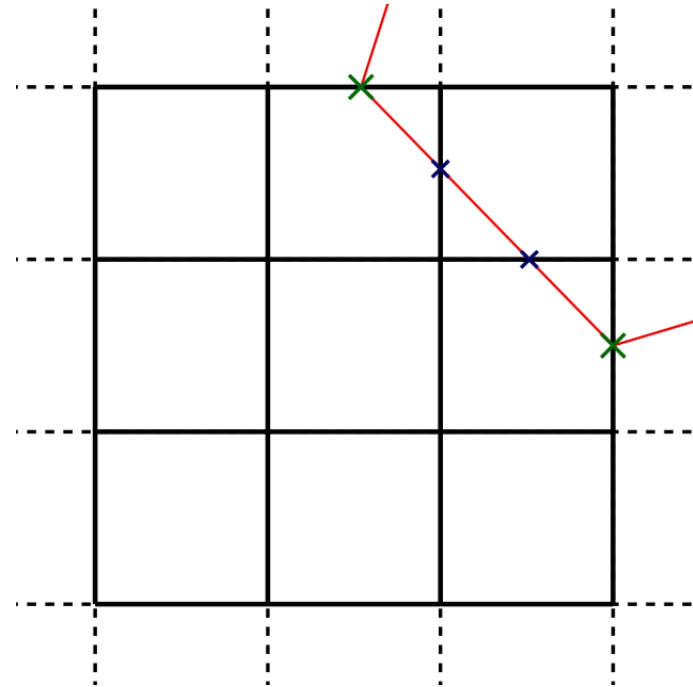
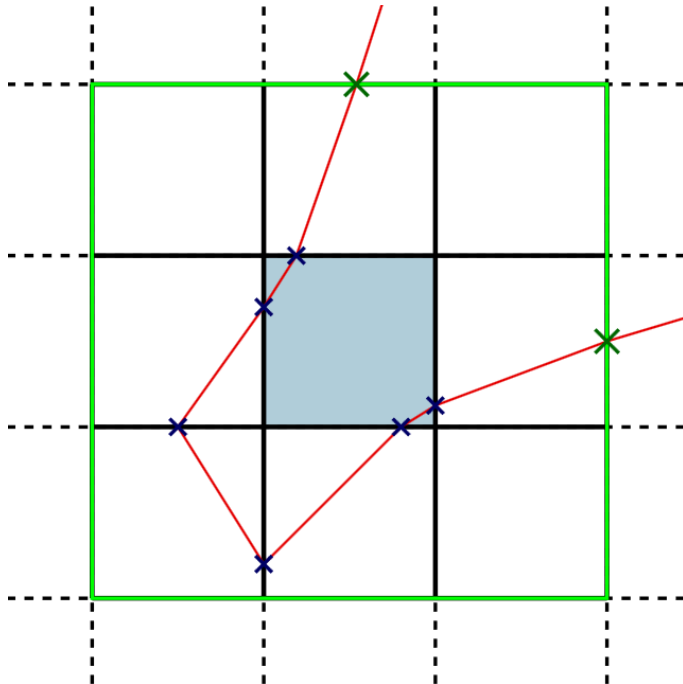
- La géométrie est sous-maille \Rightarrow le maillage est localement rendu plus grossier
- Construction d'une super-cellule centrée sur la cellule incriminée
- Récupération des points d'intersection sur cette super-cellule
- Création de super-segments à partir des segments reliant ces points



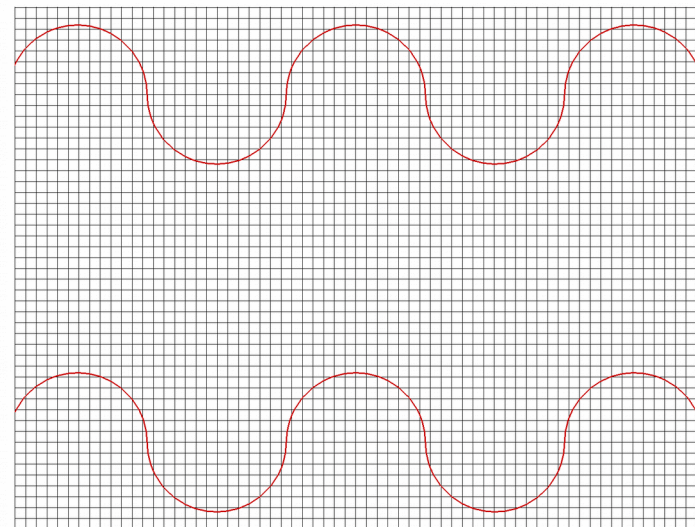
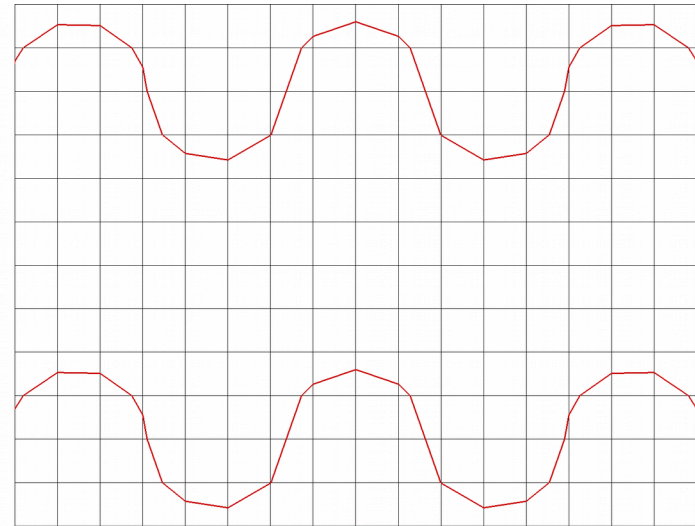
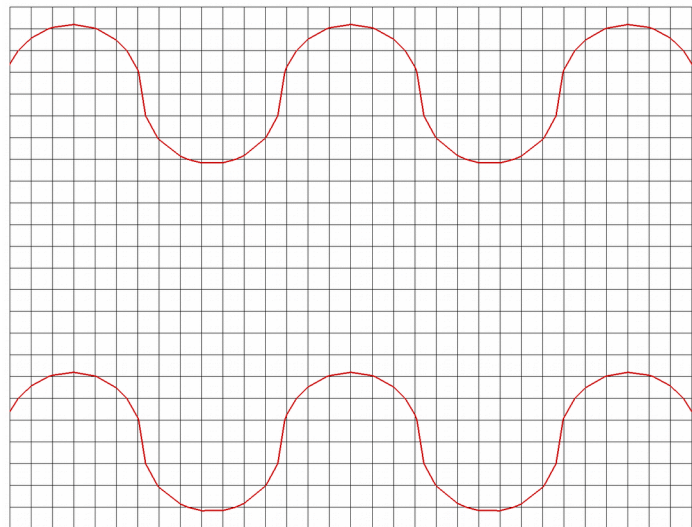
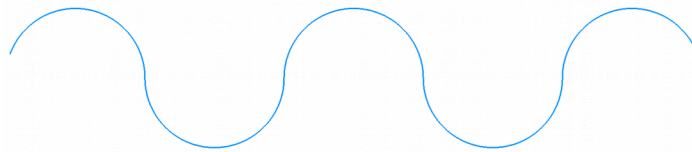
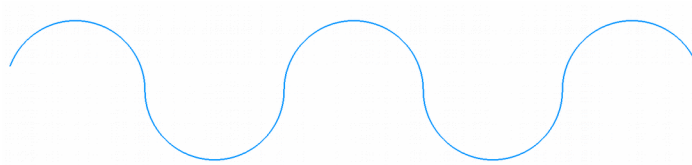
Maillage sans cellule dégénérée 2D

Super-cellules

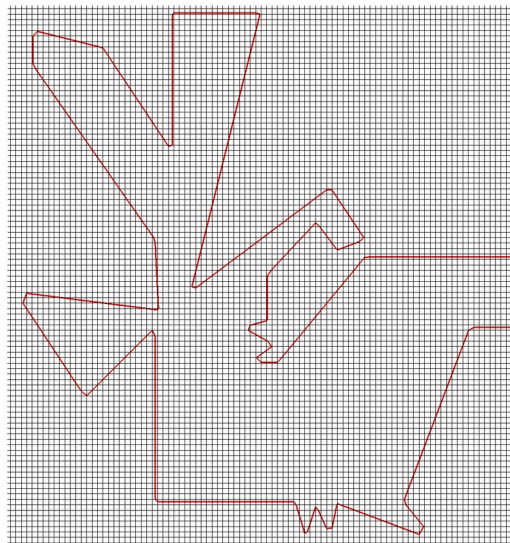
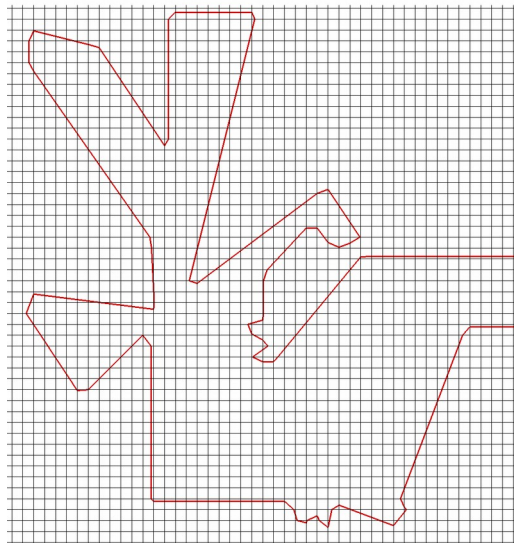
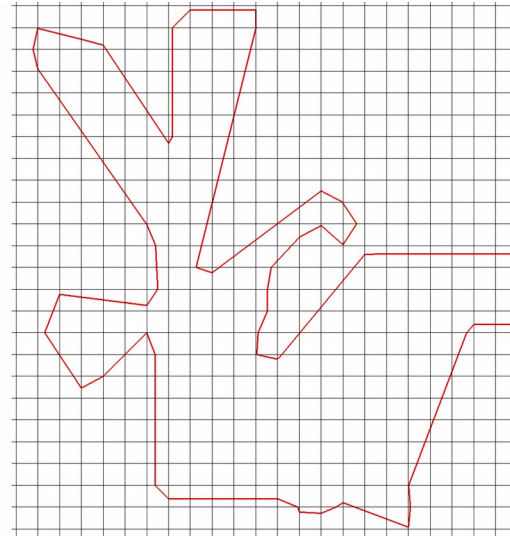
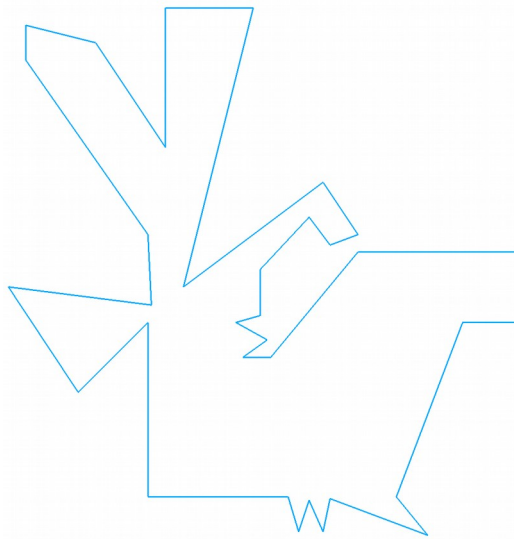
- La géométrie est sous-maille \Rightarrow le maillage est localement rendu plus grossier
- Construction d'une super-cellule centrée sur la cellule incriminée
- Récupération des points d'intersection sur cette super-cellule
- Création de super-segments à partir des segments reliant ces points
- Calcul des points d'intersection avec la grille et création des segments



Maillage sans cellule dégénérée 2D



Maillage sans cellule dégénérée 2D



Maillage sans cellule dégénérée 3D

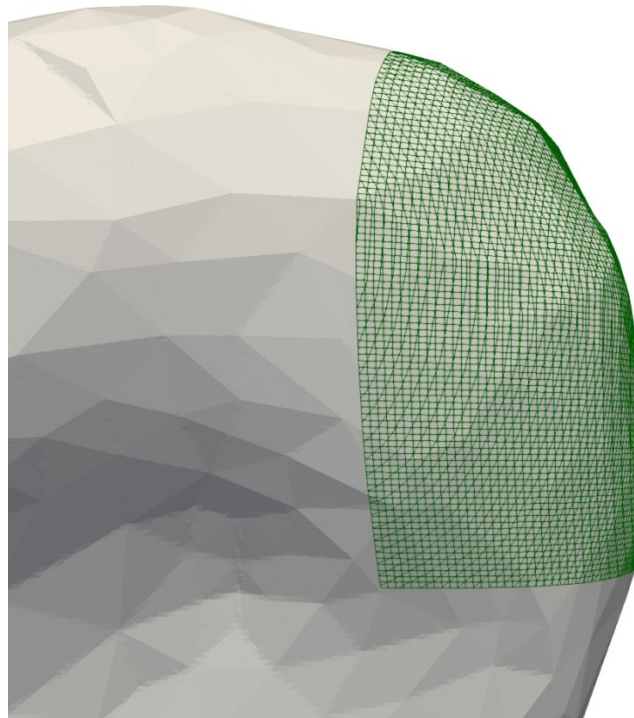
Structure de l'algorithme 3D

- Reconstruction du contour à l'aide de segments dans les **faces des cellules** (algorithme basé sur le lancer de rayons)

Maillage sans cellule dégénérée 3D

Structure de l'algorithme 3D

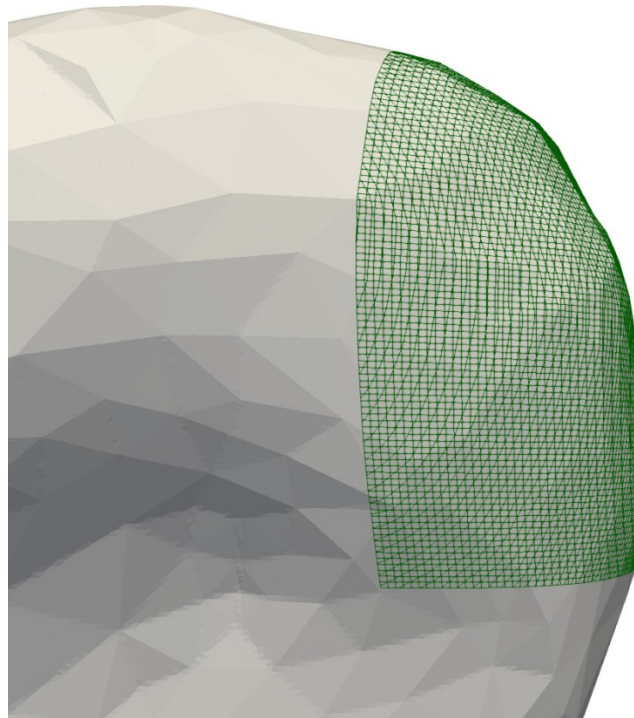
- Reconstruction du contour à l'aide de segments dans les **faces des cellules** (algorithme basé sur le lancer de rayons)



Maillage sans cellule dégénérée 3D

Structure de l'algorithme 3D

- Reconstruction du contour à l'aide de segments dans les **faces des cellules** (algorithme basé sur le lancer de rayons)
- Modification de la géométrie pour supprimer les cellules dégénérées



Maillage sans cellule dégénérée 3D

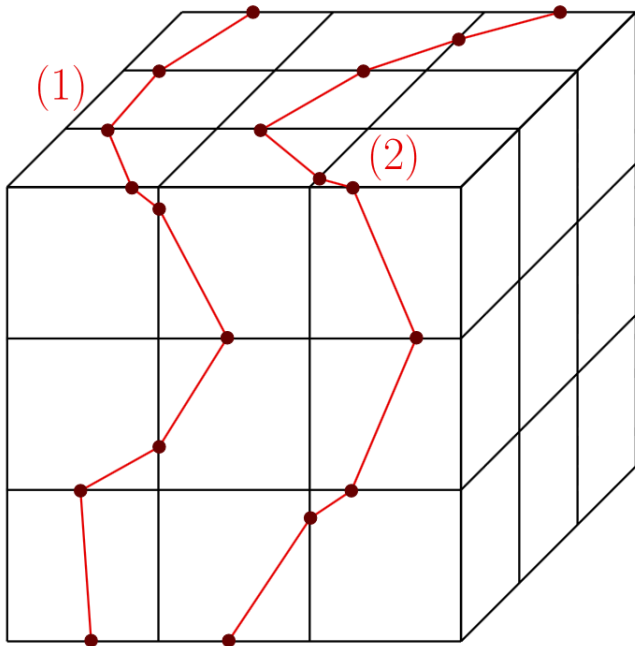
Super-cellules 3D

- Partie sur les segments connectés en 2D abandonnée en 3D

Maillage sans cellule dégénérée 3D

Super-cellules 3D

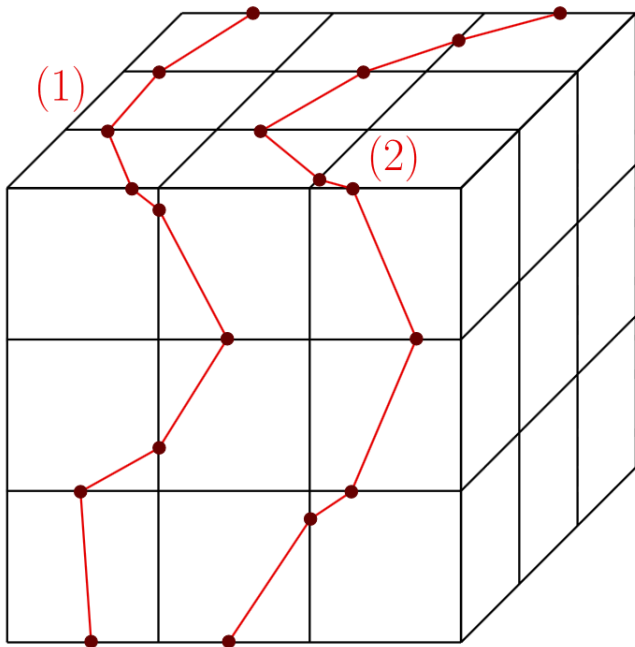
- Partie sur les segments connectés en 2D abandonnée en 3D
- Construction d'une super-cellule



Maillage sans cellule dégénérée 3D

Super-cellules 3D

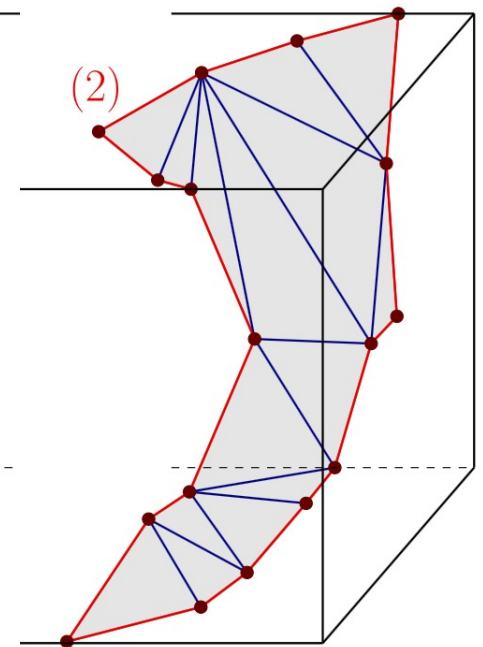
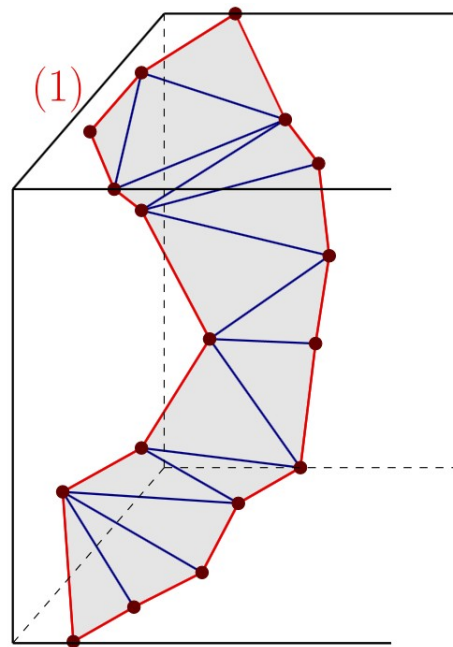
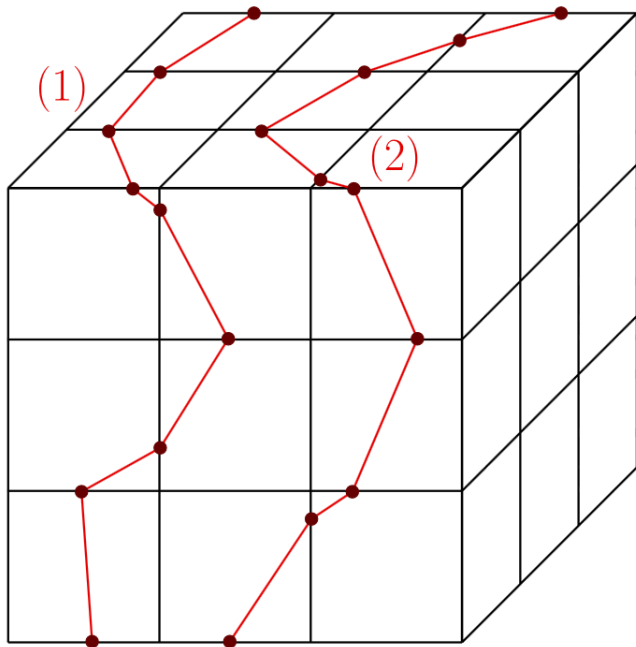
- Partie sur les segments connectés en 2D abandonnée en 3D
- Construction d'une super-cellule
- Récupération des points d'intersection et des segments sur cette super-cellule



Maillage sans cellule dégénérée 3D

Super-cellules 3D

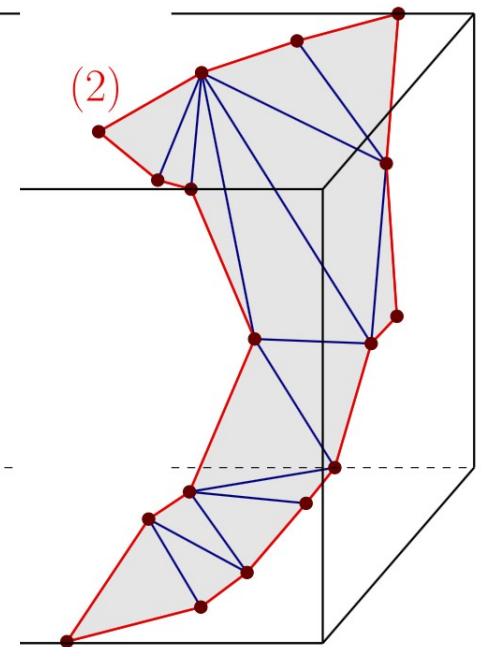
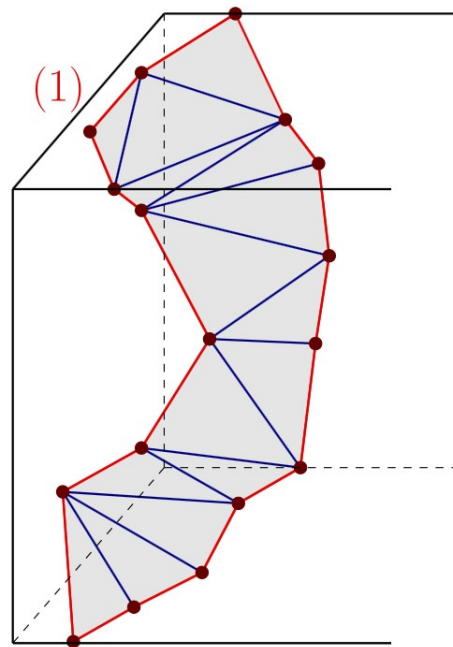
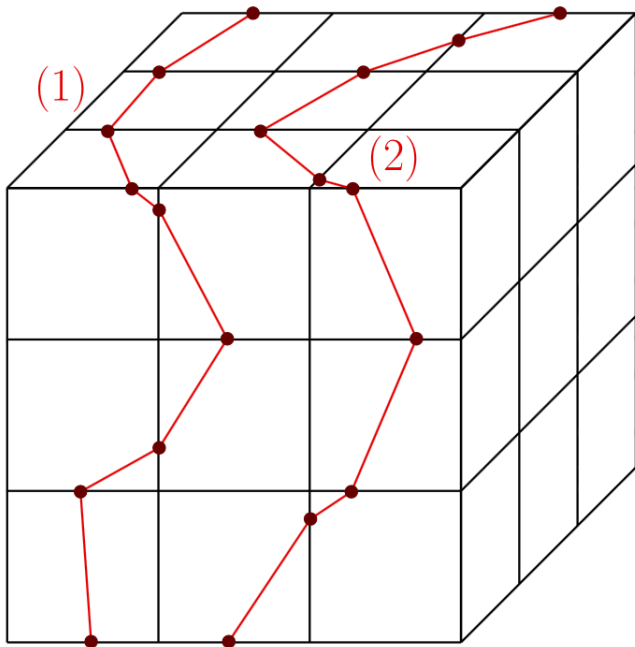
- Partie sur les segments connectés en 2D abandonnée en 3D
- Construction d'une super-cellule
- Récupération des points d'intersection et des segments sur cette super-cellule
- Triangulation des contours – choix basé sur la minimisation de l'aire



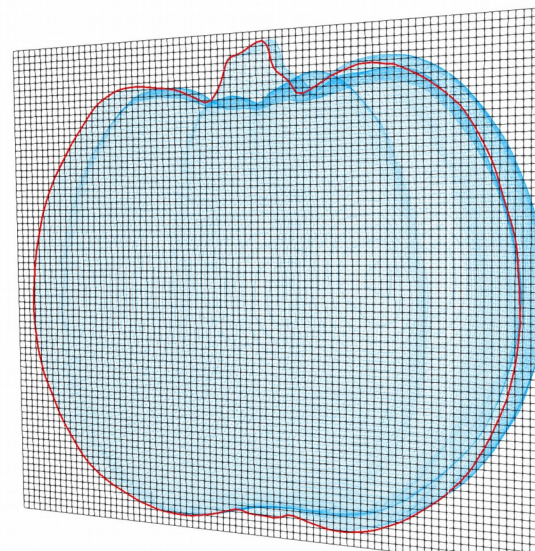
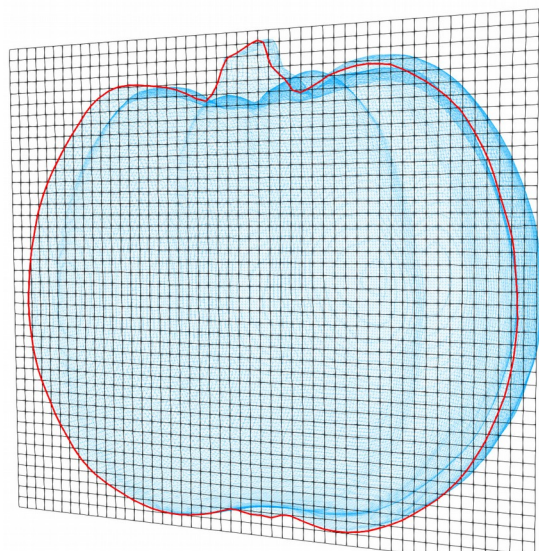
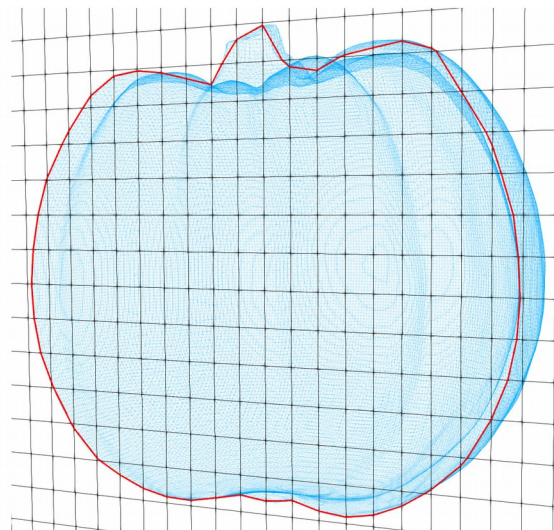
Maillage sans cellule dégénérée 3D

Super-cellules 3D

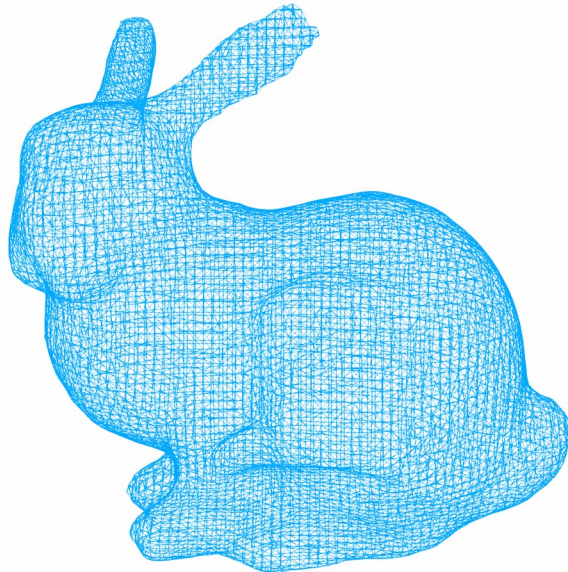
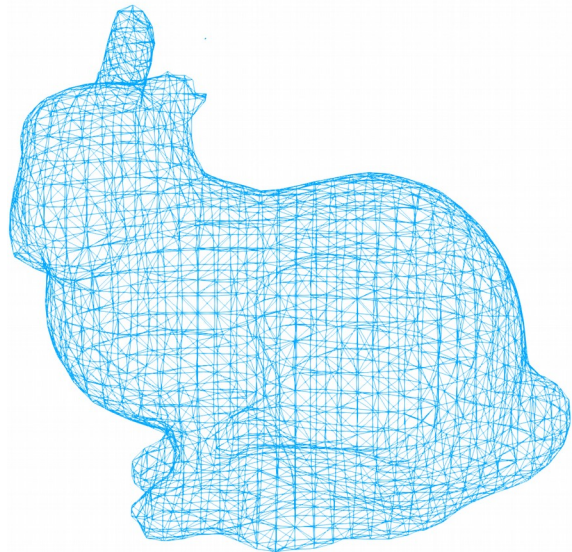
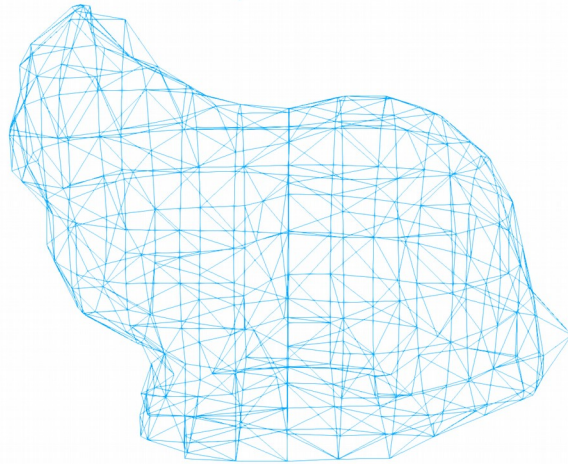
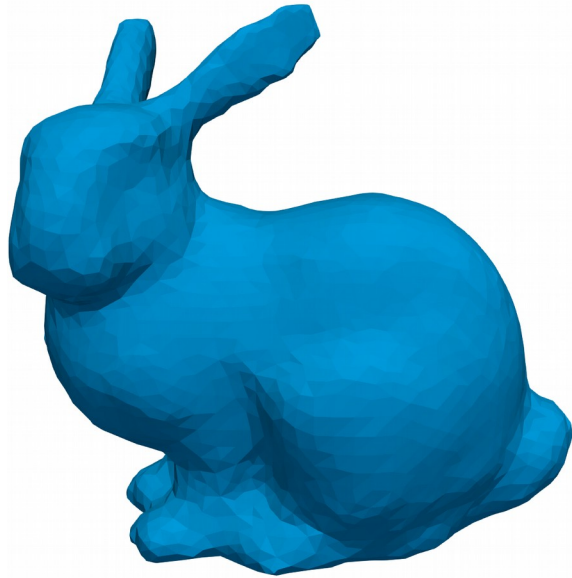
- Partie sur les segments connectés en 2D abandonnée en 3D
- Construction d'une super-cellule
- Récupération des points d'intersection et des segments sur cette super-cellule
- Triangulation des contours – choix basé sur la minimisation de l'aire
- Calcul des intersections avec la grille et vérification cellules dégénérées



Maillage sans cellule dégénérée 3D



Maillage sans cellule dégénérée 3D



Merci pour votre attention

