

# Représentation des maillages multirésolutions : application aux volumes de subdivision

Lionel Untereiner

Sous la direction conjointe de Dominique Bechmann et David Cazier

ICube, UMR CNRS - Université de Strasbourg 7357

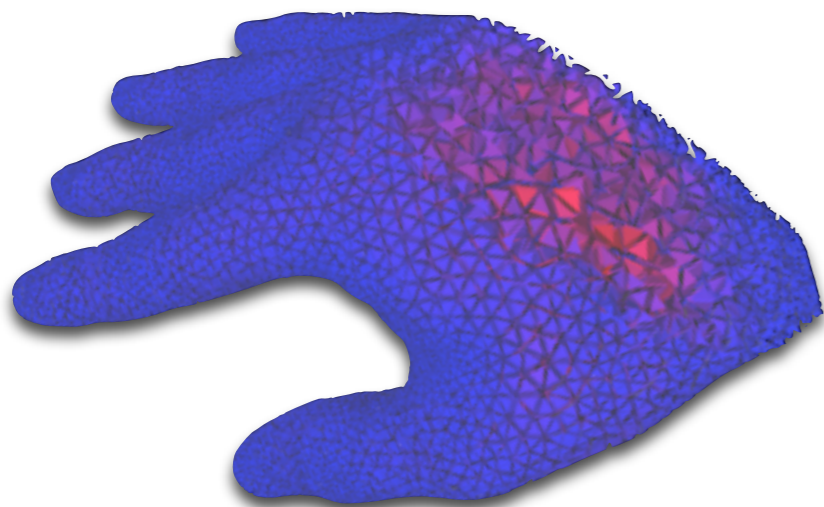
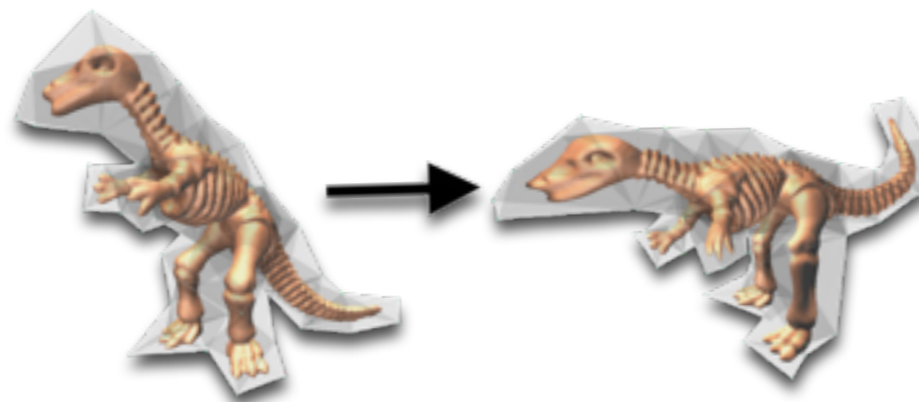
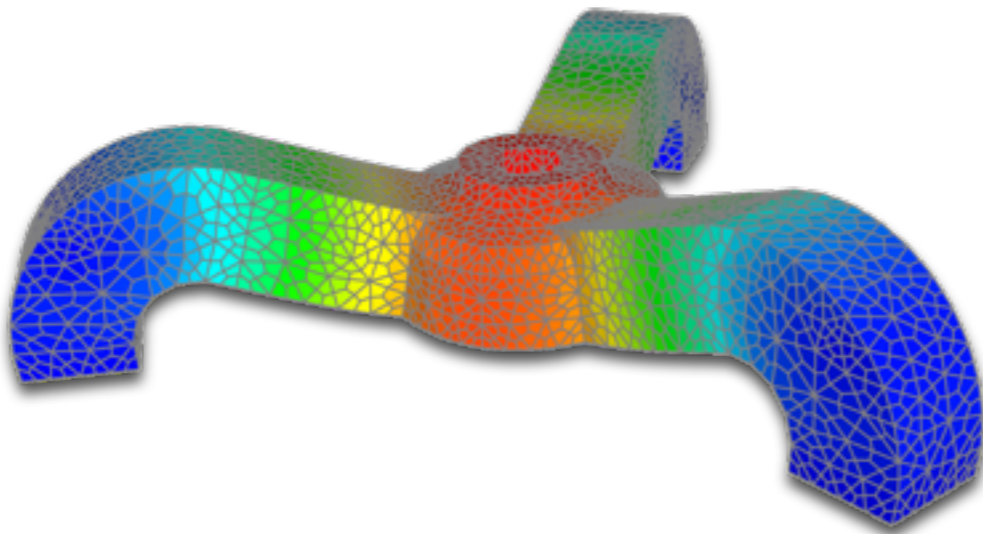
JIG - 15 novembre 2013



# Cadre

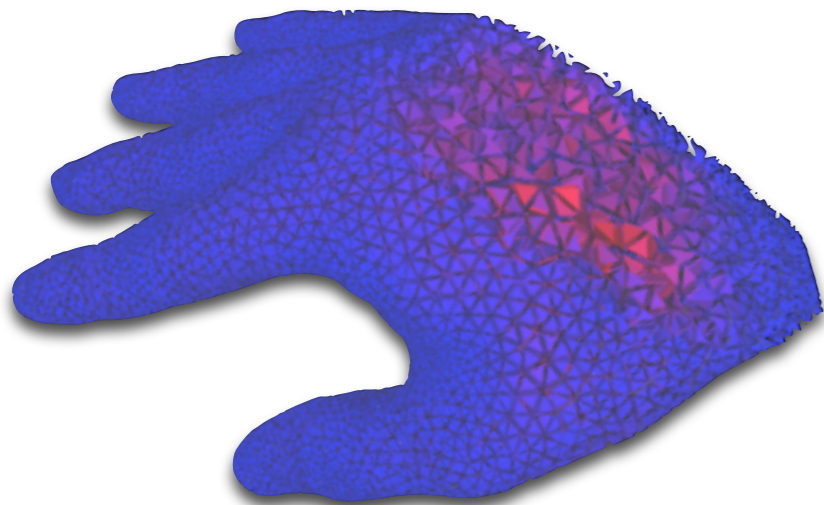
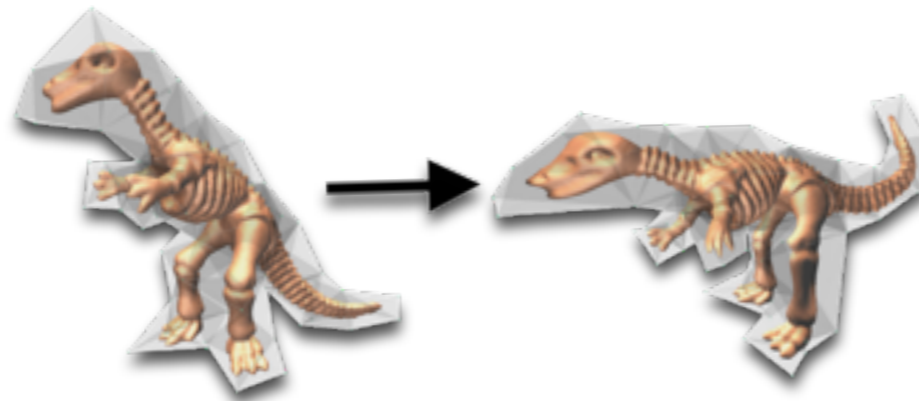
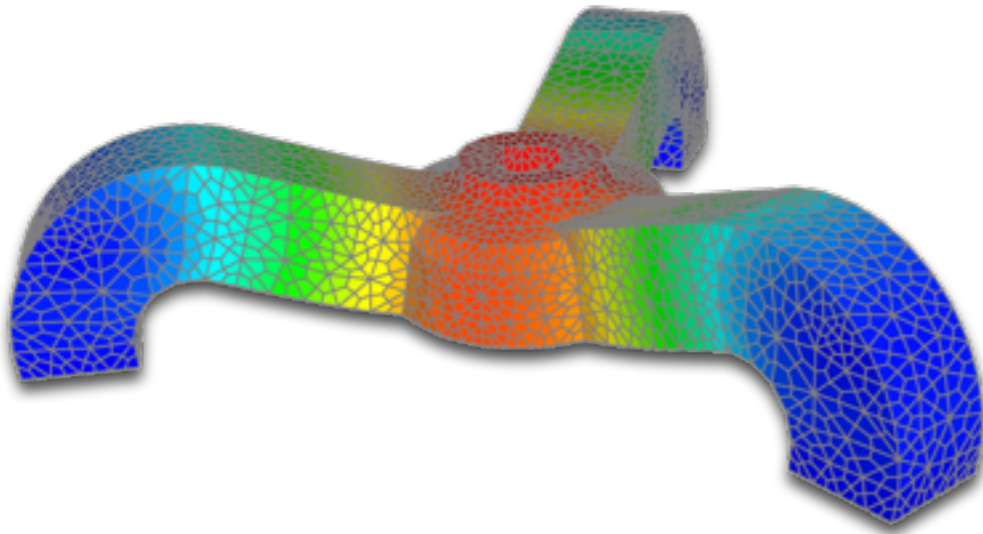
# Cadre

- modélisation géométrique
- visualisation scientifique
- analyse numérique
  
- outils et méthodes d'interaction



# Cadre

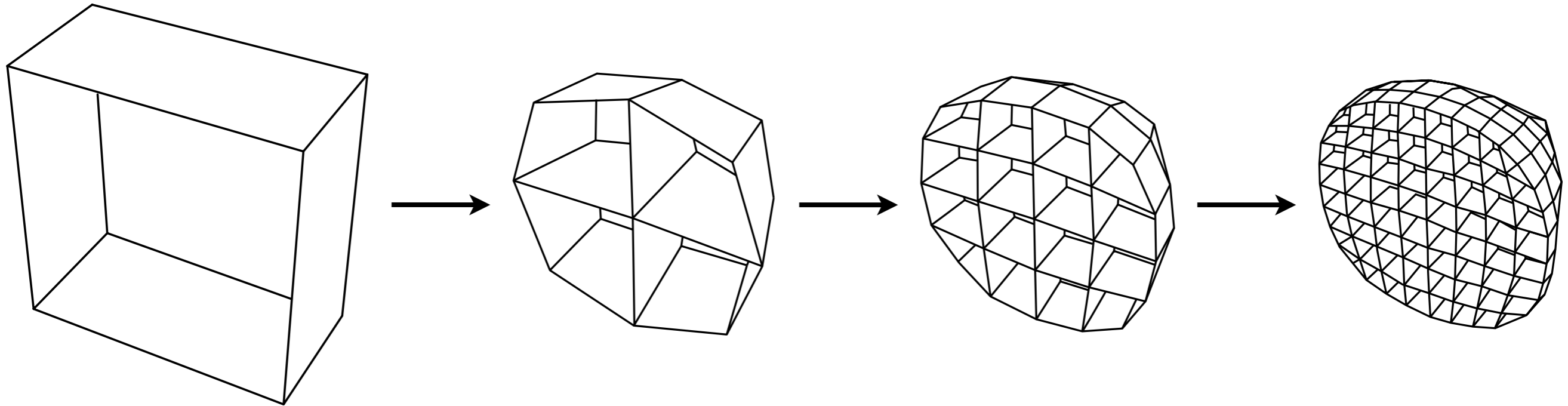
- modélisation géométrique
- visualisation scientifique
- analyse numérique
  
- outils et méthodes d'interaction



••➤ gestion à plusieurs échelles

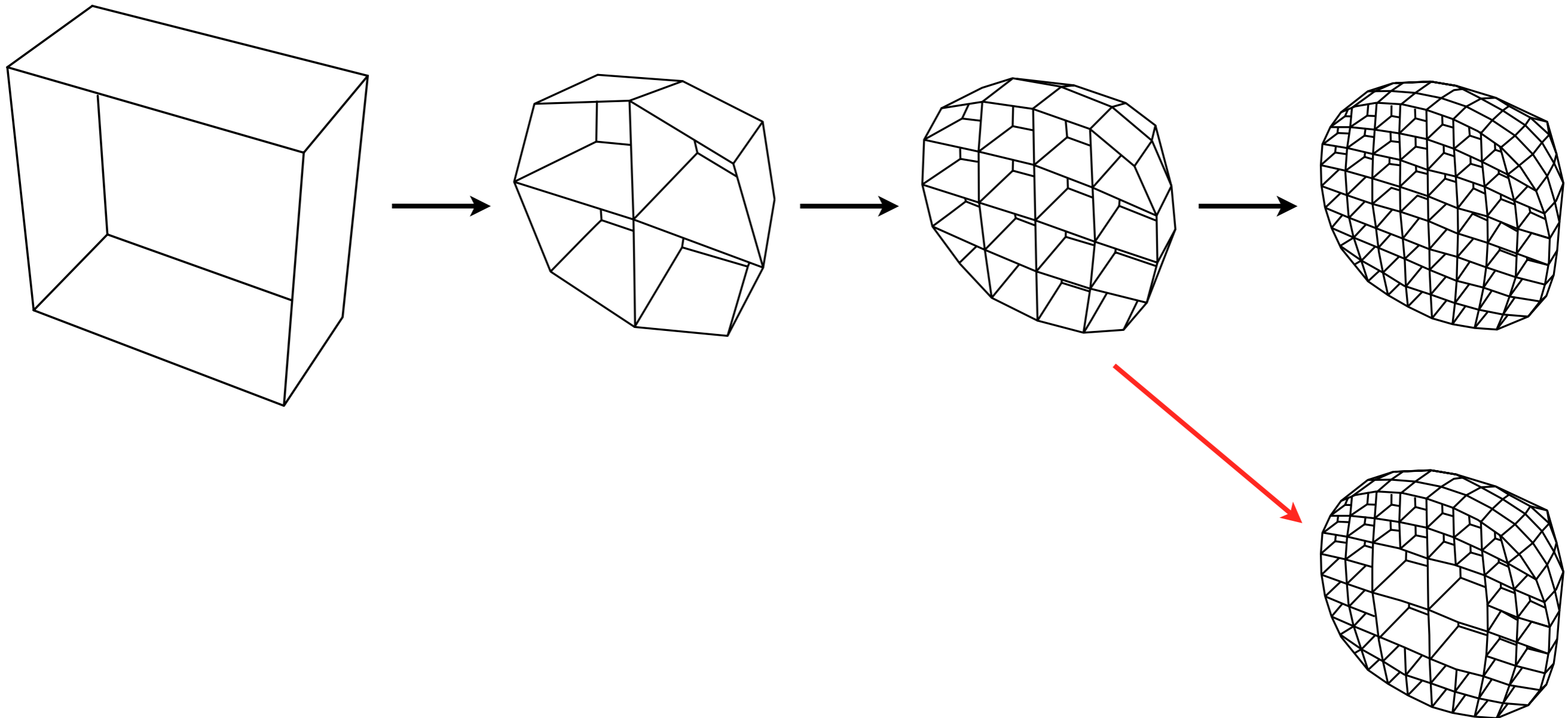
# Maillages multirésolutions

- décomposition cellulaire d'un objet à différents niveaux de résolutions



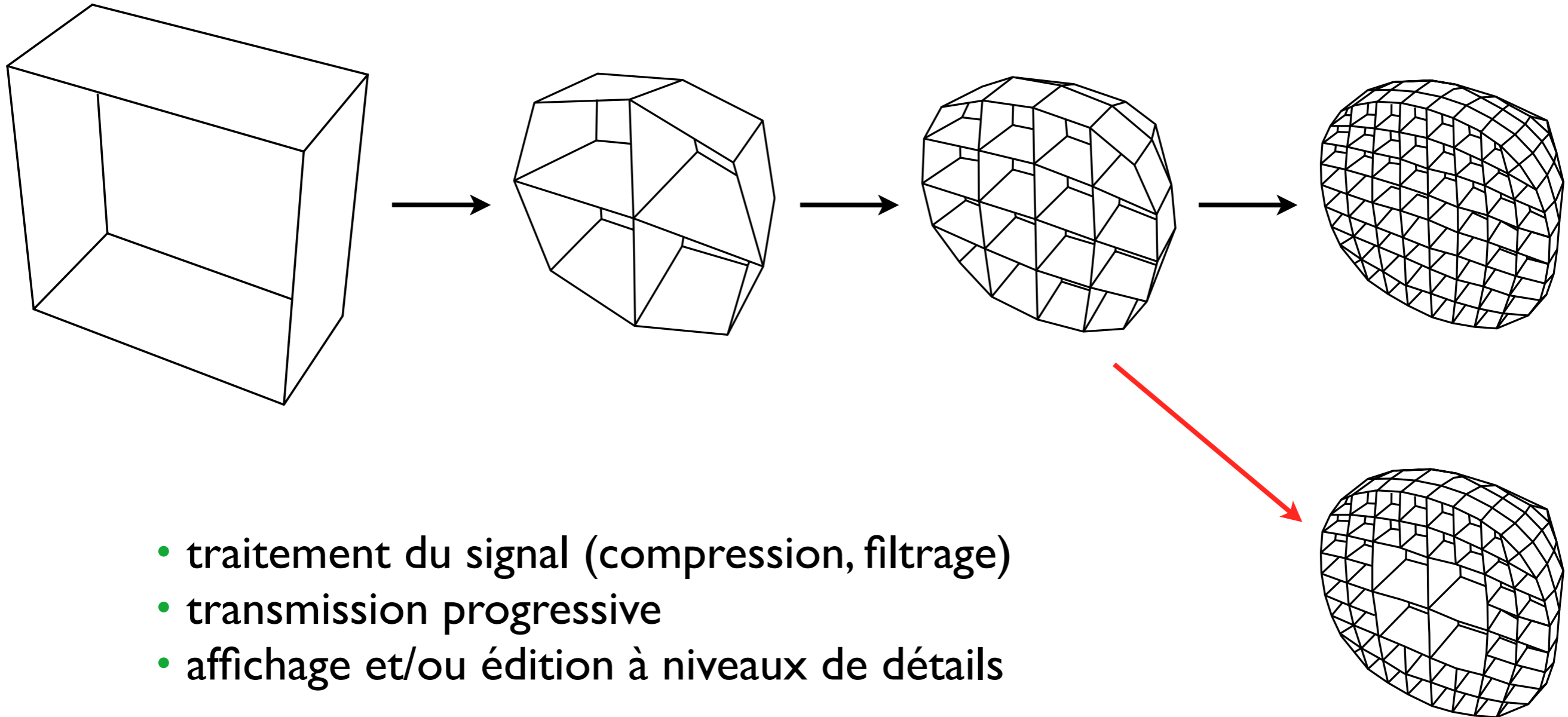
# Maillages multirésolutions

- décomposition cellulaire d'un objet à différents niveaux de résolutions



# Maillages multirésolutions

- décomposition cellulaire d'un objet à différents niveaux de résolutions



- traitement du signal (compression, filtrage)
- transmission progressive
- affichage et/ou édition à niveaux de détails

# Représentation d'objets multirésolutions

- doit fournir :
  - un accès à différentes versions de la décomposition cellulaire d'un objet
  - requêtes de voisinage entre cellules
  
- obtenu par :
  - simplification d'un maillage fin existant
  - raffinement d'un maillage grossier existant



# État de l'art

Approche par mises à jour

Maillages Progressifs    Multi-triangulation

- accès à un maillage intermédiaire
  - appliquer un certain nombre de transformations au maillage courant
  - opération qui prend du temps
- pas de représentation directe de l'ensemble des niveaux
  - pas de connectivité directement accessible à chaque niveau
  - reconstruction des informations de voisinage
  - accès au voisinage non optimal

[Hop96] Hughes Hoppe, *Progressive Meshes*, Proceedings of SIGGRAPH'96

[SG98] O. G. Staadt et M. H. Gross : *Progressive tetrahedralizations*, Proceedings of IEEE Visualization'98

[dFP95] L. De Floriani, E. Puppo, *Hierarchical Triangulation for Multiresolution Surface Description*, ACM TOG 14(4):363-411, oct. 1995

[dFPP97] L. De Floriani, E. Puppo, M. Paola, *A formal approach to multiresolution hypersurface modeling*, Geometric Modeling: Theory and Practice, 1997

# État de l'art

Approche hiérarchique : par raffinement

Octree    Bissection Régulière de Simplexe    Tétraèdres/Octaèdres

- approches spécialisées à certains types de cellules
  - cubes, tétraèdres, tétraèdres/octaèdres
- approches étroitement liées aux opérations de raffinements
  - structures de données liées à ces opérations
- pas de représentation topologique complète
  - apparition de trous topologiques
- les informations d'adjacences sont dépendantes de la profondeur de la structure hiérarchique
  - accès au voisinage non optimal

[Sam90] H. Samet, *The Design and Analysis of Spatial Data Structures*, Addison-Wesley Series in Computer Science, 1990

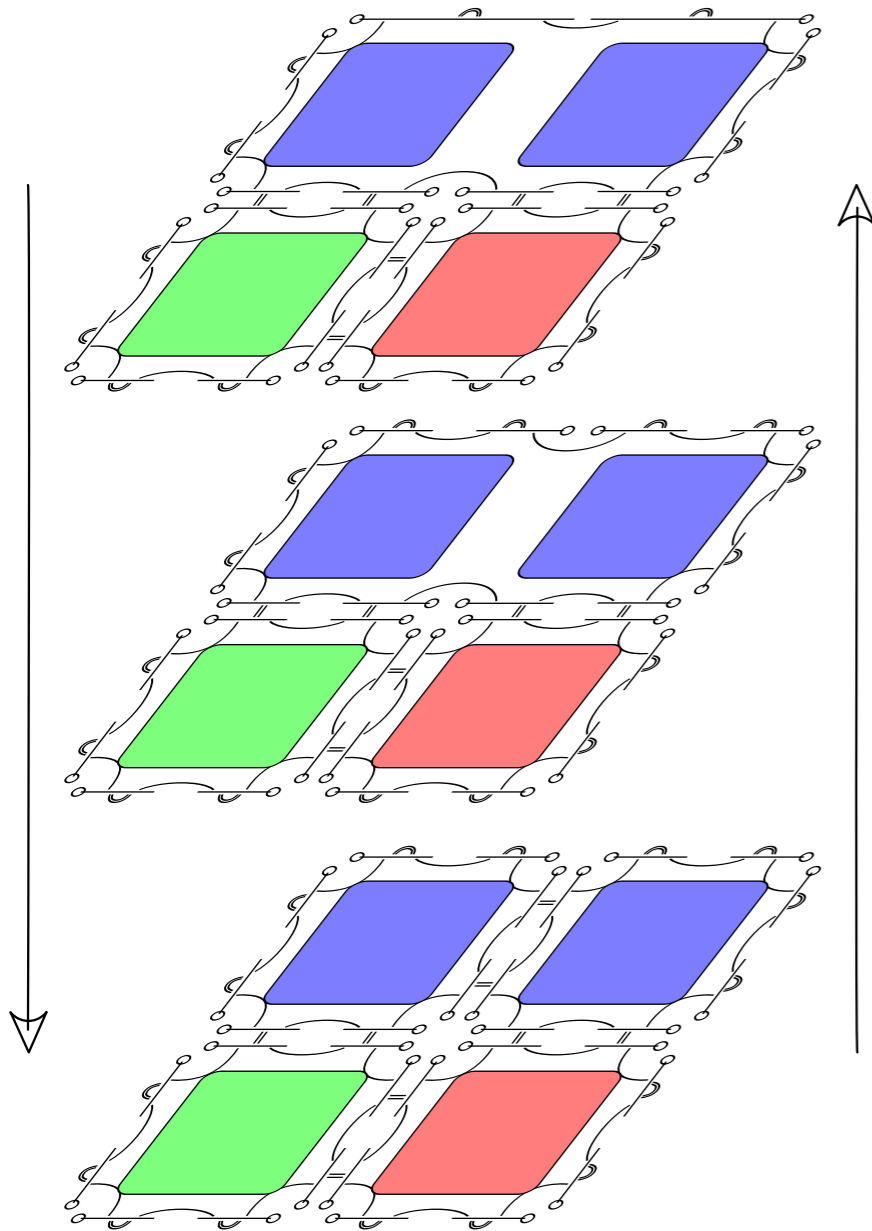
[WdFI 1] K. Weiss et L. De Floriani, *Simplex and diamond hierarchies: Models and applications*, Computer Graphics Forum, 30(8):2127–2155, 2011

[GG00] G. Greiner et R. Grosso, *Hierarchical tetrahedral-octahedral subdivision for volume visualization*. The Visual Computer, 16(6):357–369, oct. 2000

# État de l'art

## Approche hiérarchique combinatoire

### Pyramides combinatoires 2-cartes combinatoires multirésolutions



- structure topologique multi-échelles à base de (g)-cartes
- opérations spécifiques de contraction ou suppression de cellules
- utilisation en analyse d'image 2D/3D pour la segmentation d'images

[BK03] L. Brun, W. Kropatsch, *Combinatorial Pyramids*, Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, 2003

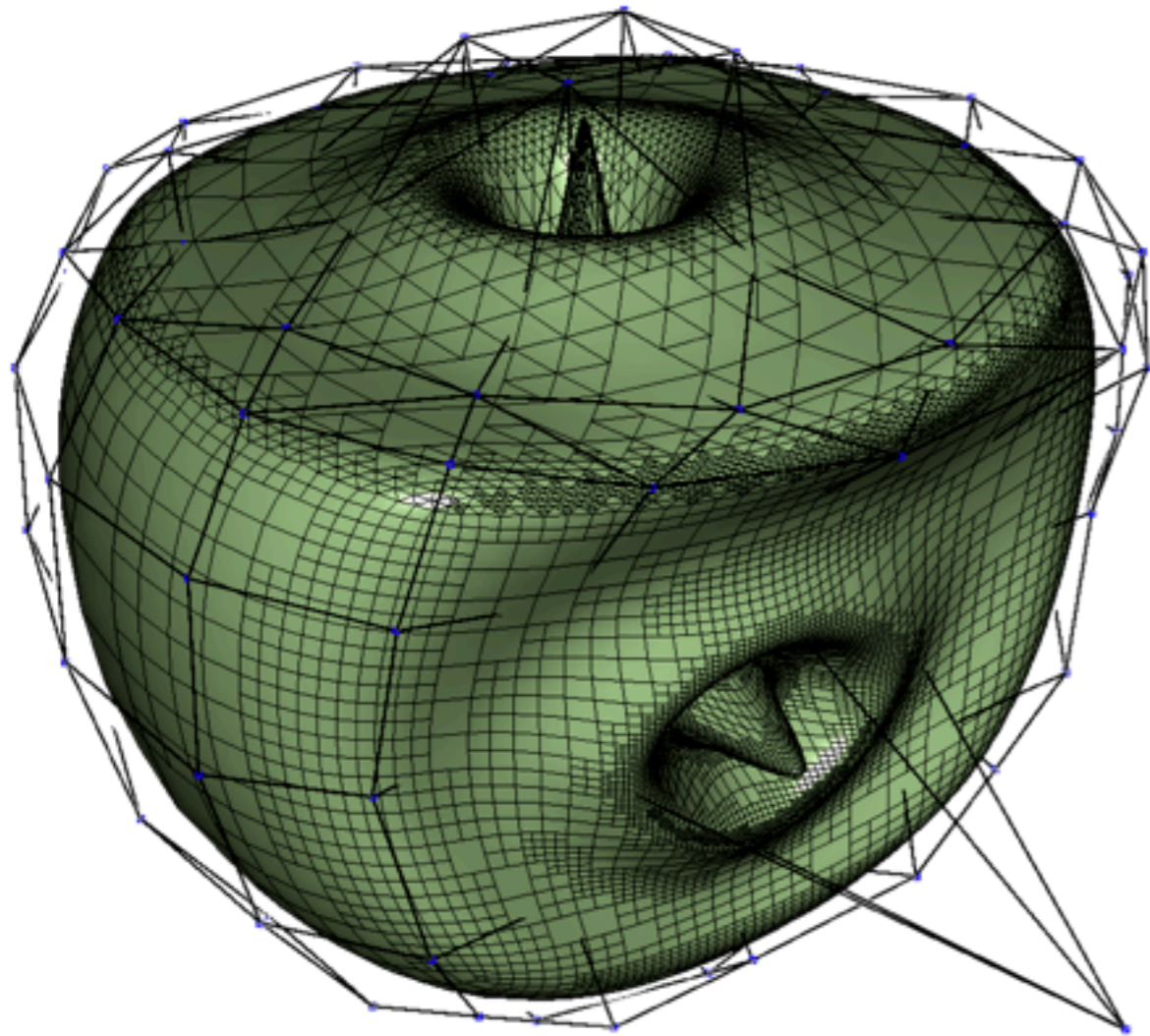
[GDL06] C. Grasset-Simon, G. Damiand, P. Lienhardt, *nD generalized map pyramids: Definition, representations and basic operations*, Pattern Recognition 39(4):527-538, 2006

[FB10] S. Fourey et L. Brun, *Efficient encoding of n-D combinatorial pyramids*, Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition, août 2010

# État de l'art

Approche hiérarchique combinatoire

Pyramides combinatoires 2-cartes combinatoires multirésolutions



- structure topologique à base de cartes combinatoires de dimension 2
- représentation multirésolution des surfaces de subdivision
- structure topologique limitée à la représentation de surface

# Enjeux et contributions

- ➔ **généricité de la représentation**
  - topologie arbitraire (cellules et connectivité)
  
- ➔ **universalité ou flexibilité en termes d'opérations**
  - modèle indépendant des opérations
    - large éventail de schémas de subdivision (et leurs mélanges)
  - liberté de construction de la hiérarchie
  
- ➔ **exhaustivité et efficacité de la représentation**
  - accès indépendant et simultané à tous les niveaux
  - information topologique complète à chaque niveau
  
- ➔ **généricité en dimension**

# Plan

- ▶ **Cartes combinatoires multirésolutions**
- ▶ **Volumes de subdivision multirésolutions**
- ▶ **Représentations du modèle**
- ▶ **Conclusion**

# Principaux modèles

- modèles simpliciaux
  - simples, pas généraux
- modèles avec représentation explicite des cellules
  - compactes, spécifiques à une utilisation
- modèles ordonnés
  - ➔ half-edge, quad-edge, DCEL (2D)
  - ➔ half-face, facet-edge (3D)
    - généraux, passage en dimension non intuitif

# Principaux modèles

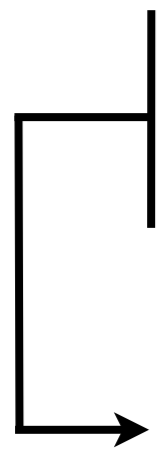
- modèles simpliciaux
  - simples, pas généraux
- modèles avec représentation explicite des cellules
  - compactes, spécifiques à une utilisation

- modèles ordonnés

→ half-edge, quad-edge, DCEL (2D)

→ half-face, facet-edge (3D)

- généraux, passage en dimension non intuitif



**modèles à base de cartes**

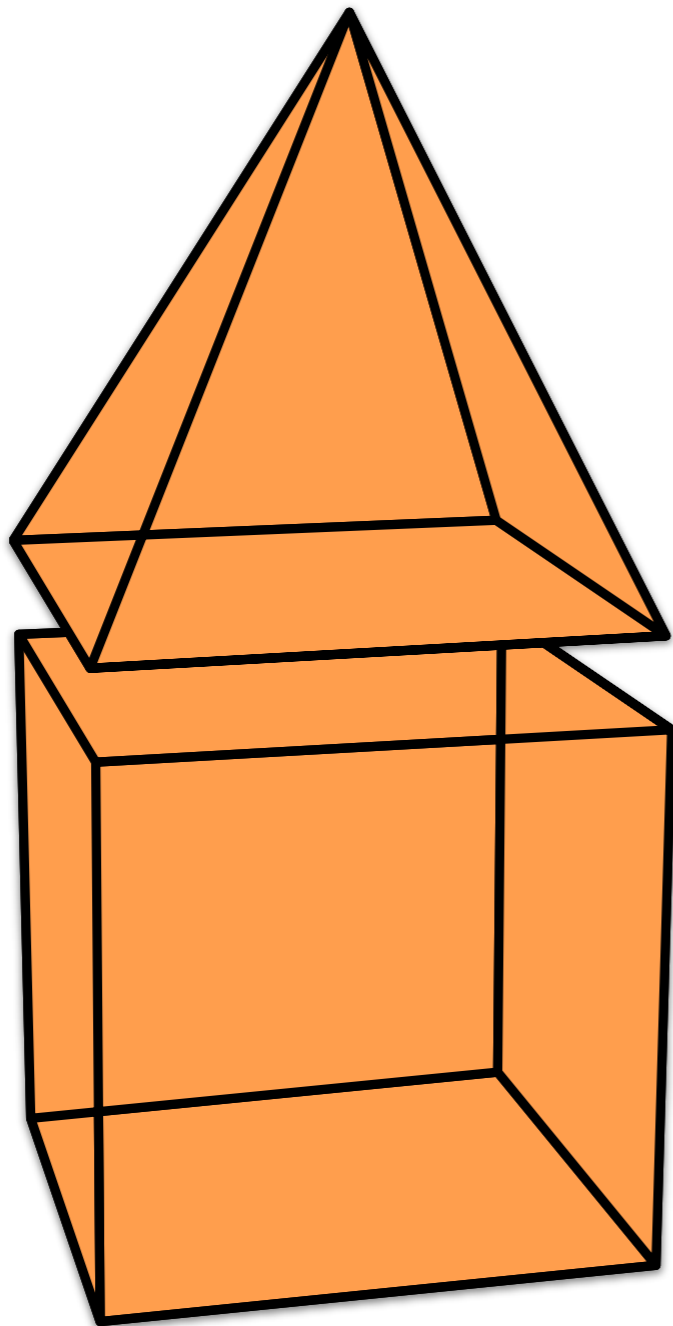
- formulation algébrique
- définition consistante en dimension
- indépendant d'une implantation



# Carte combinatoire

Une carte combinatoire est constituée de

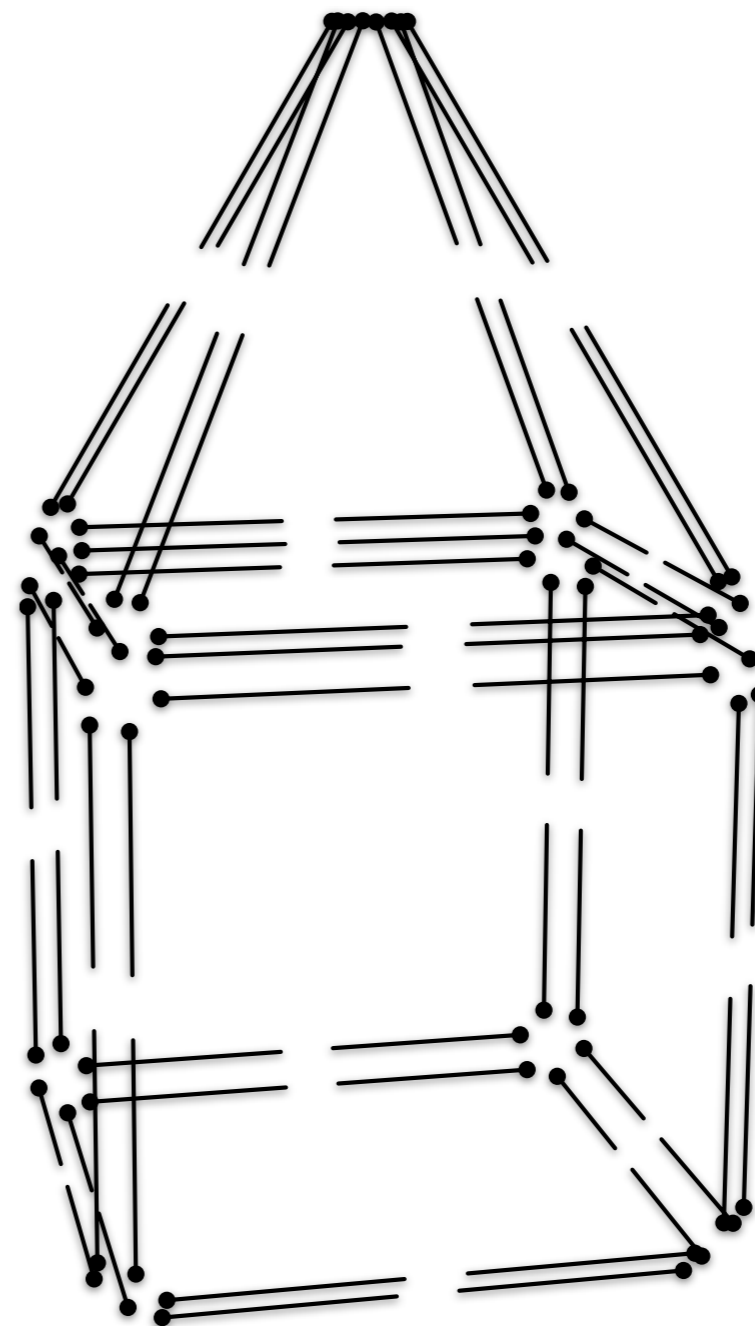
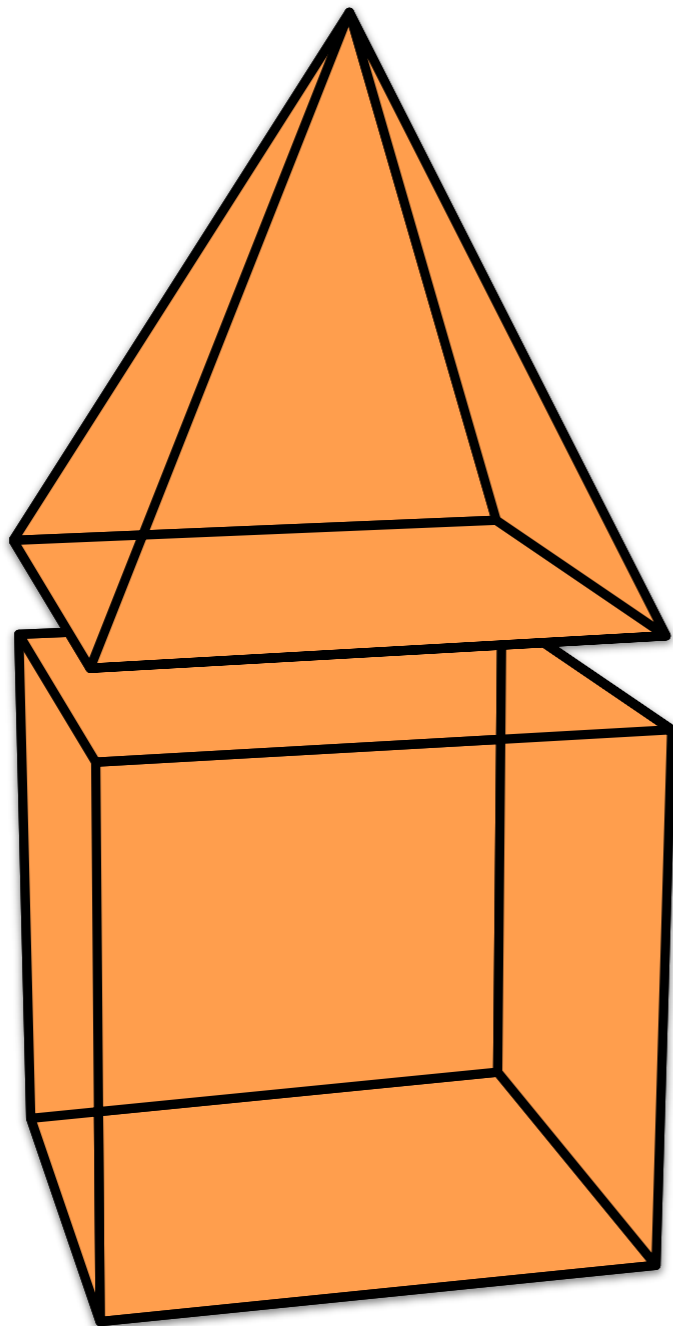
$C$



# Carte combinatoire

Une carte combinatoire est constituée de *brins*

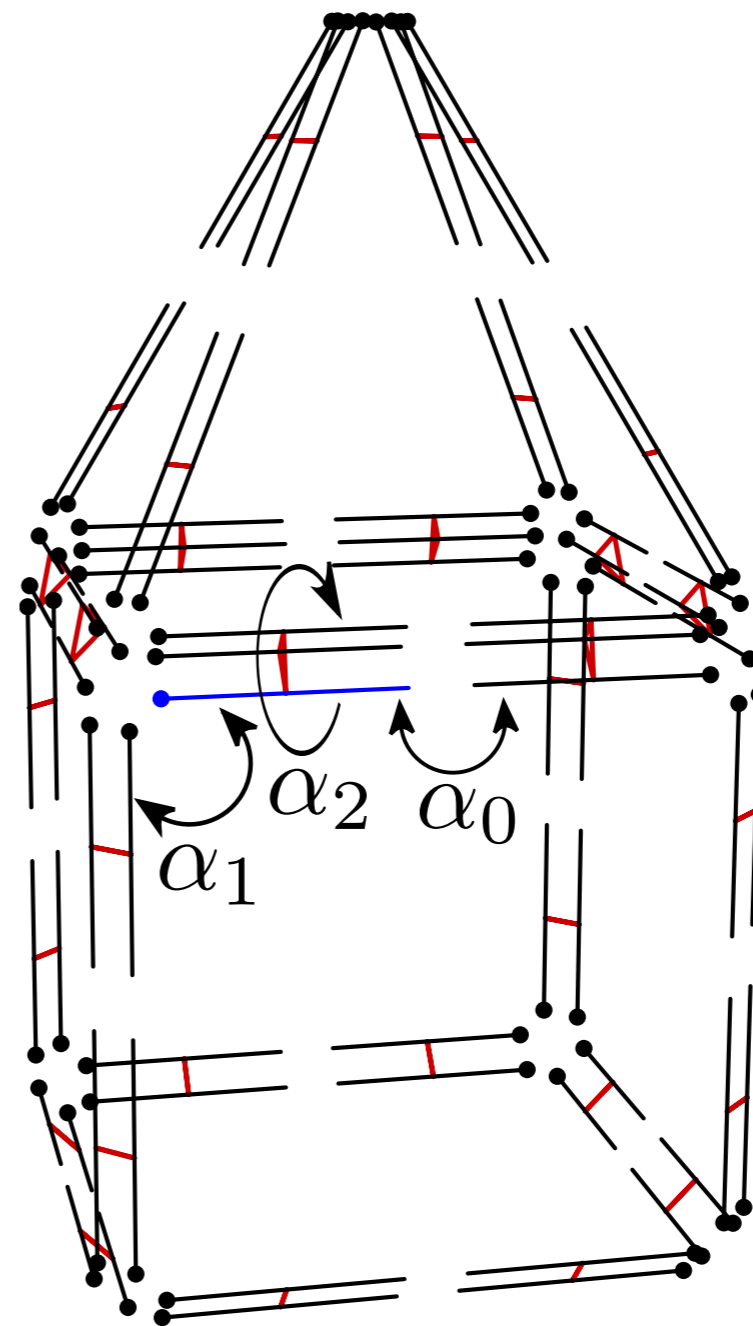
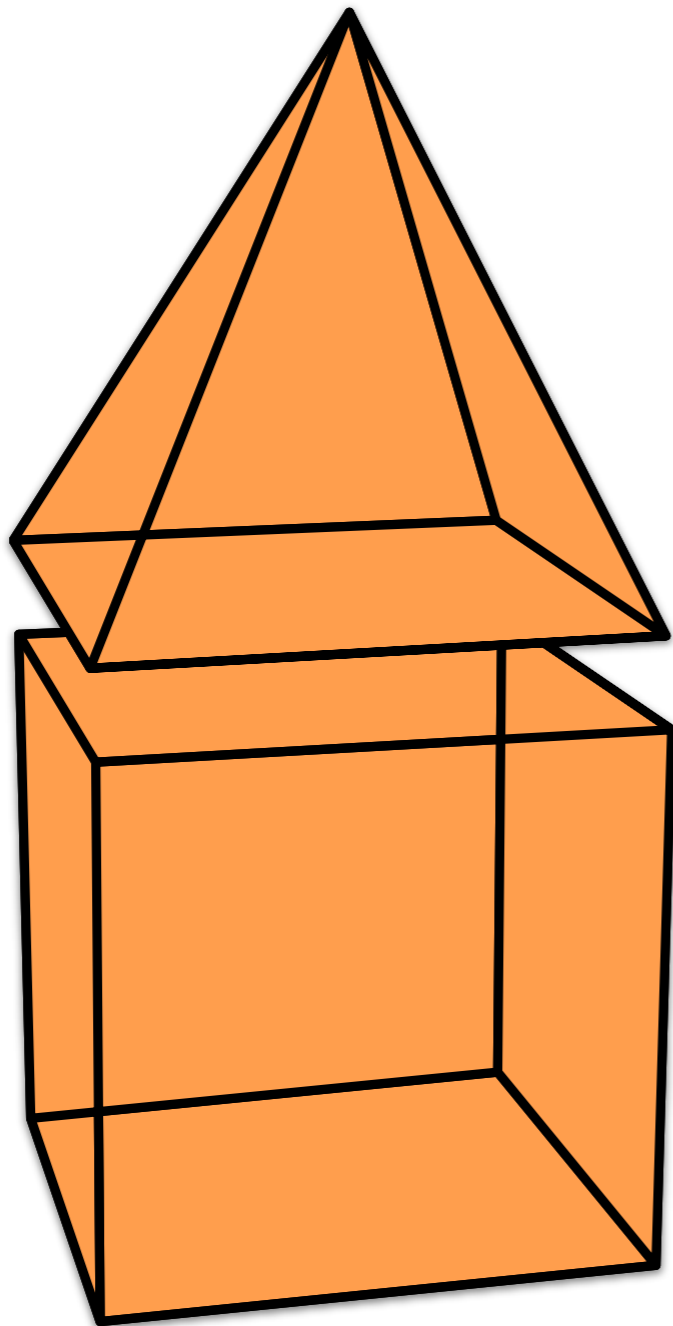
$$C = (B$$



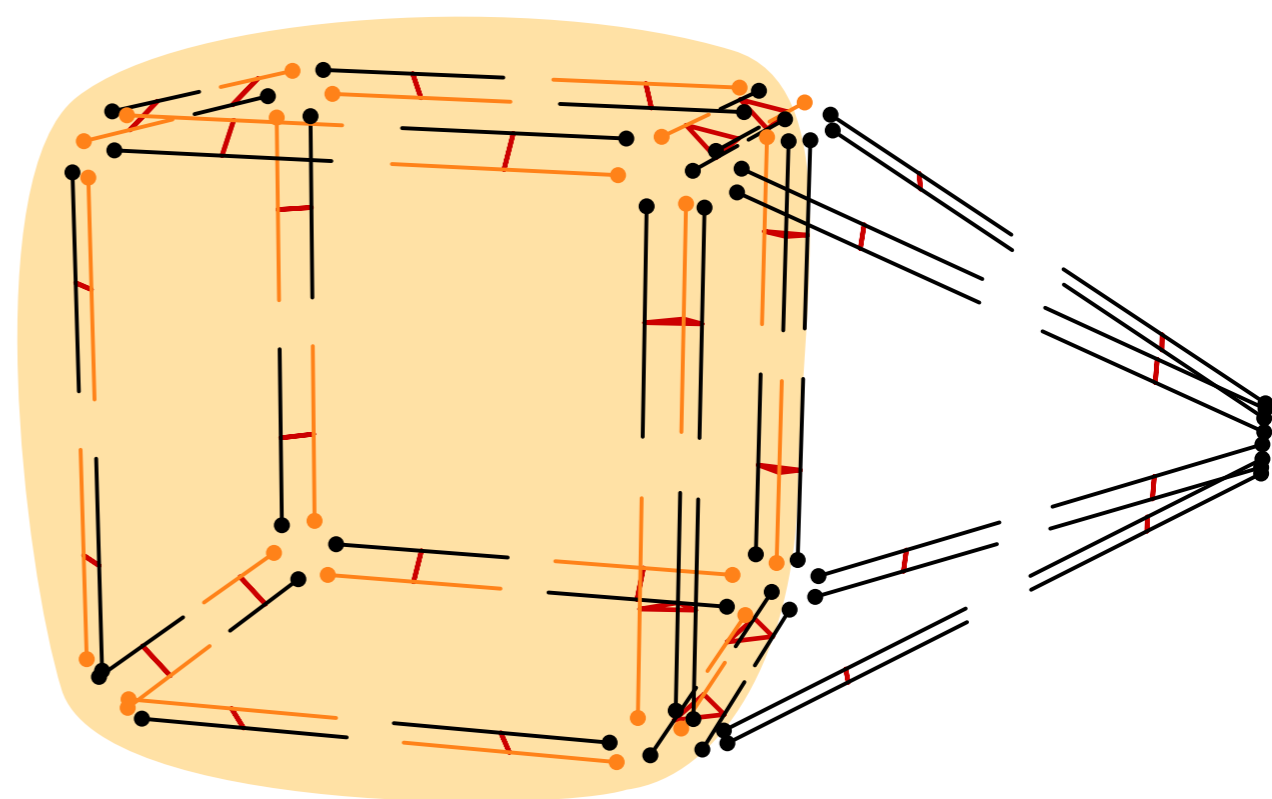
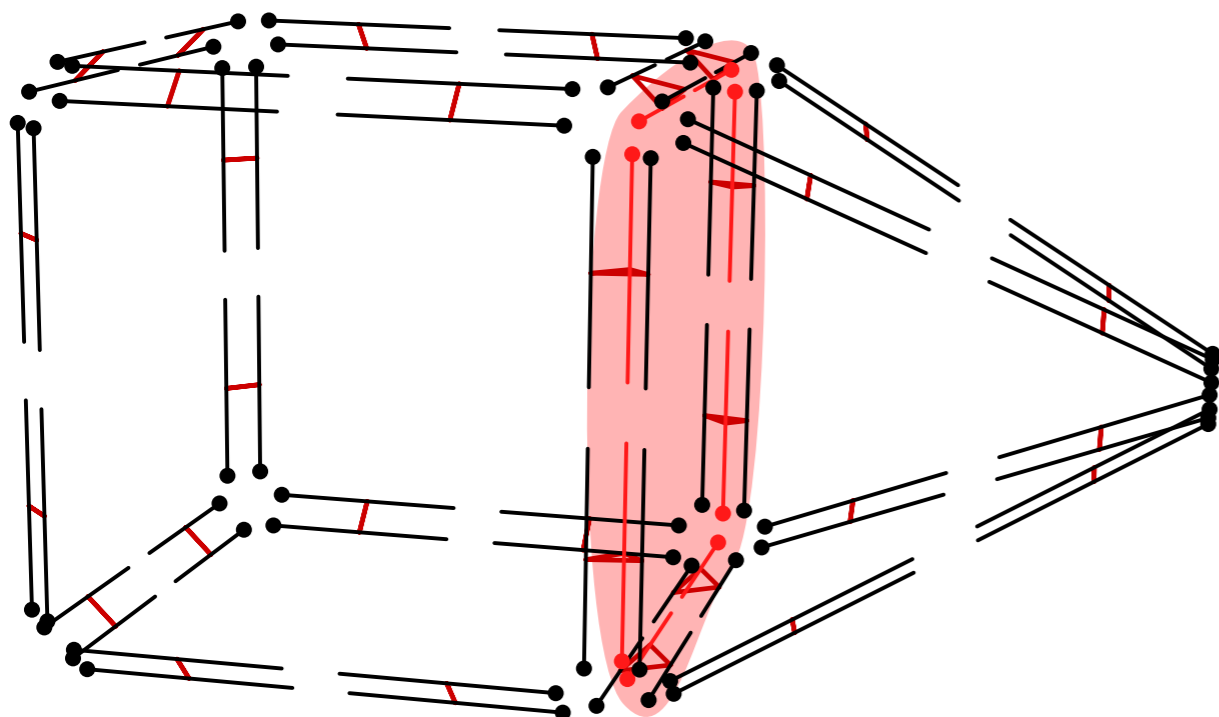
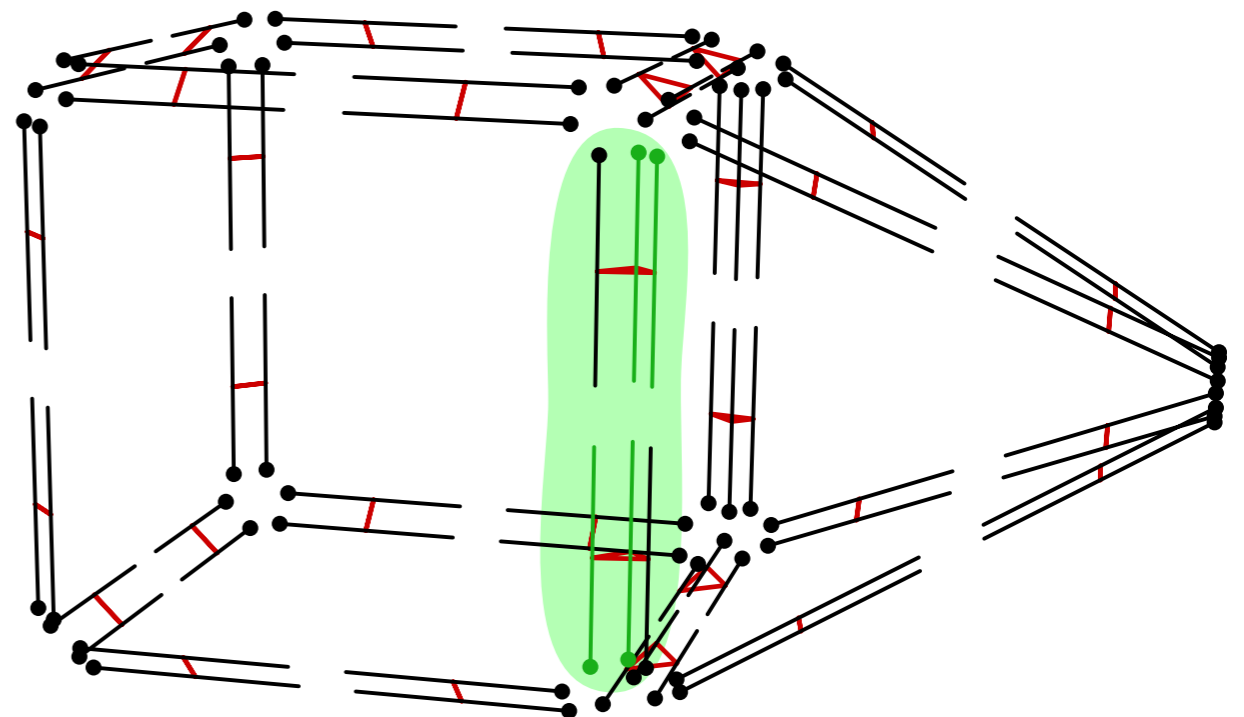
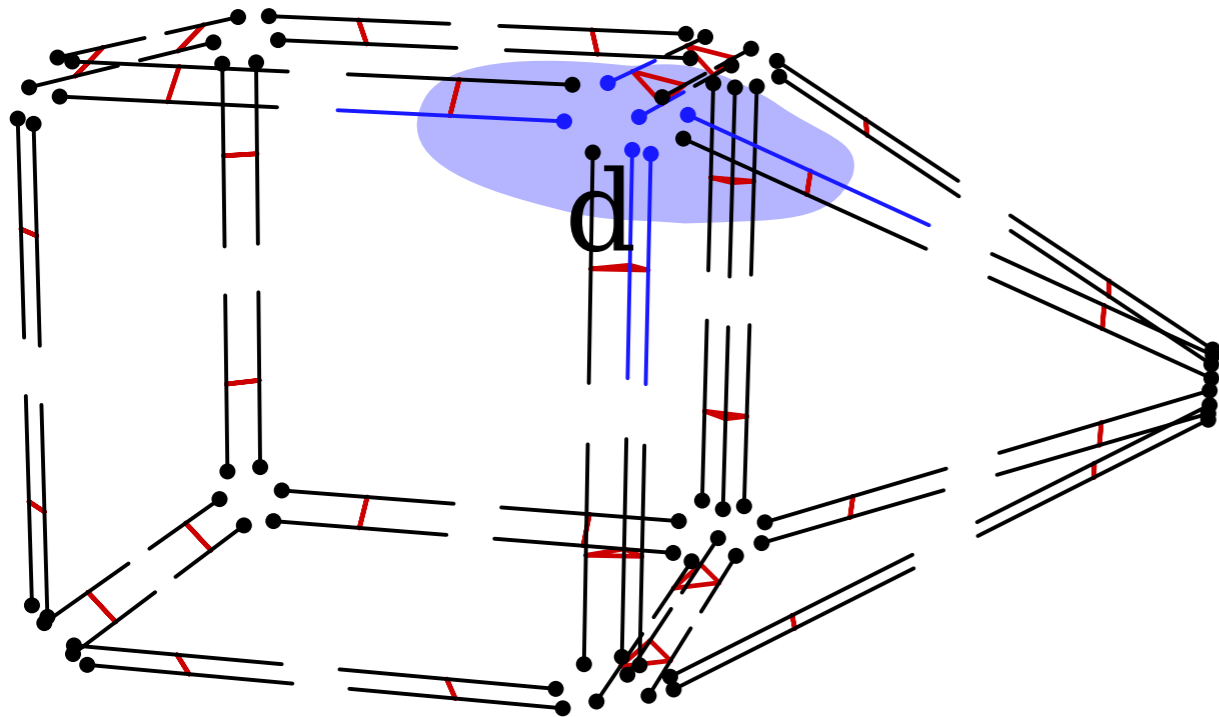
# Carte combinatoire

Une carte combinatoire est constituée de *brins* et de *relations*

$$C = (B, \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n-1})$$



# Carte combinatoire

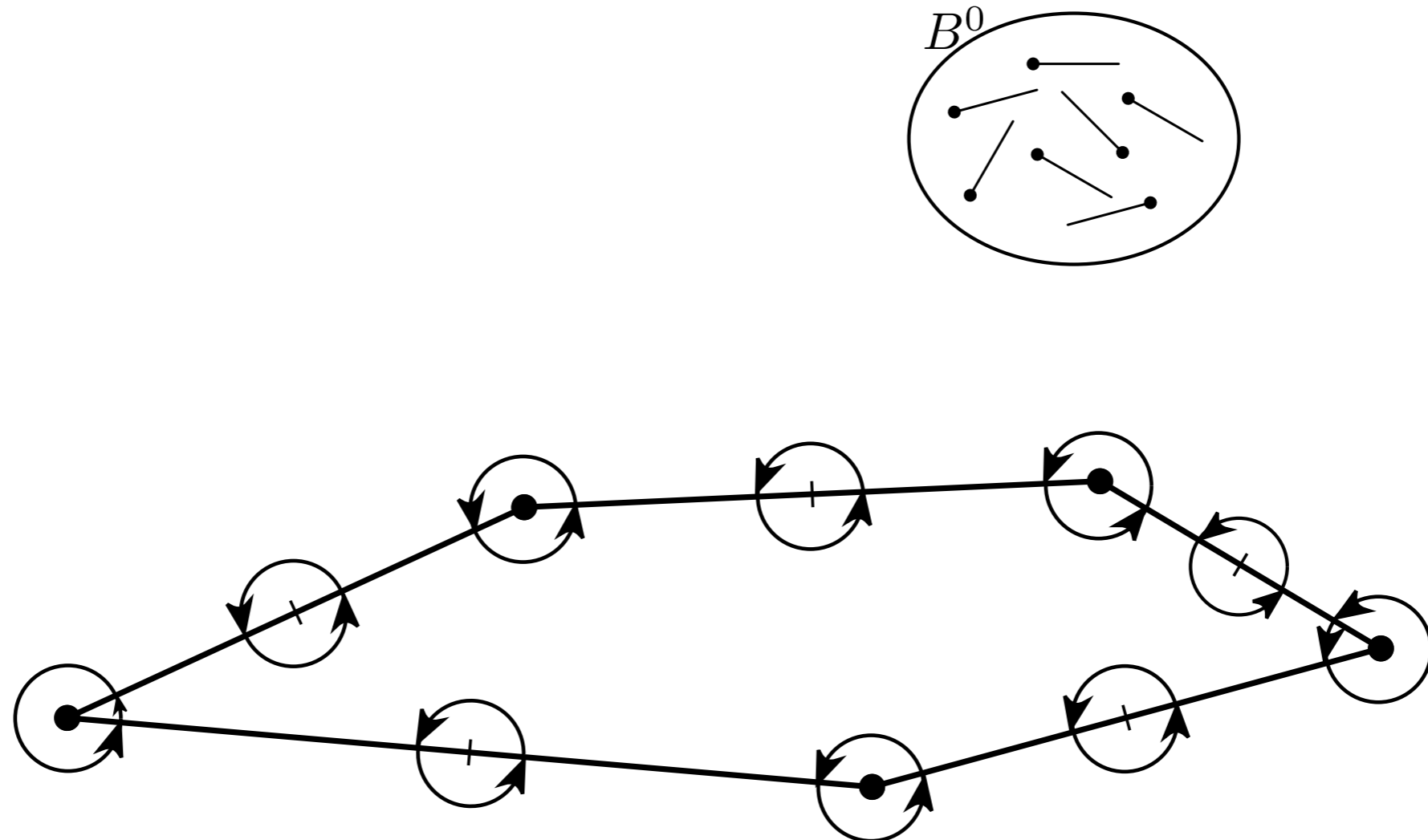


# Carte combinatoire multirésolution

- la carte est enrichie progressivement
- réutilisation des brins

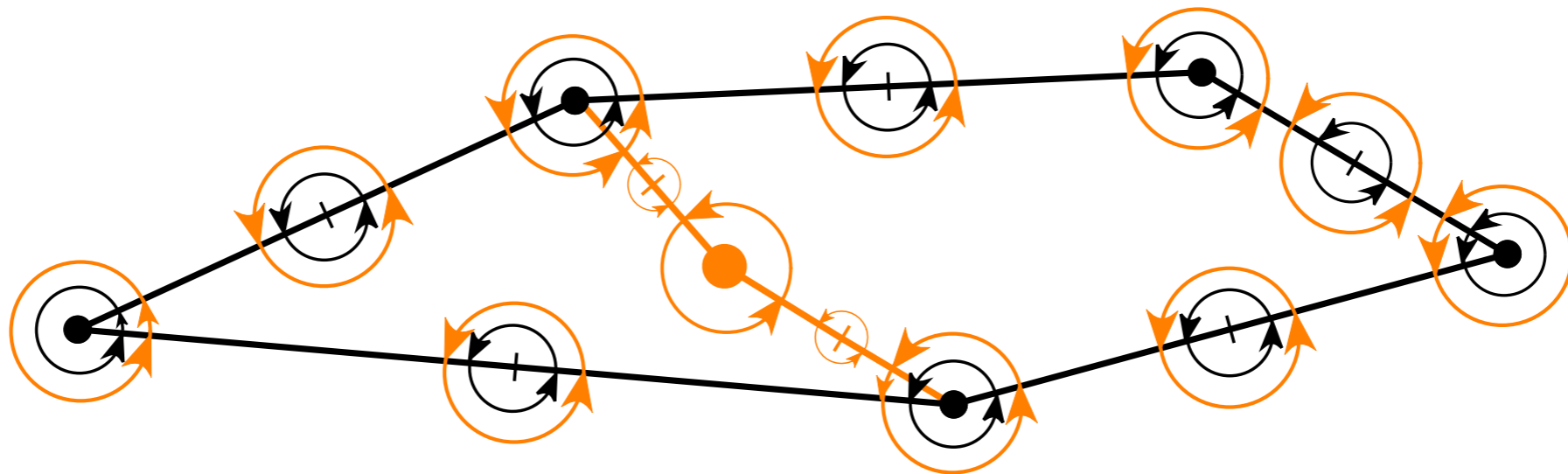
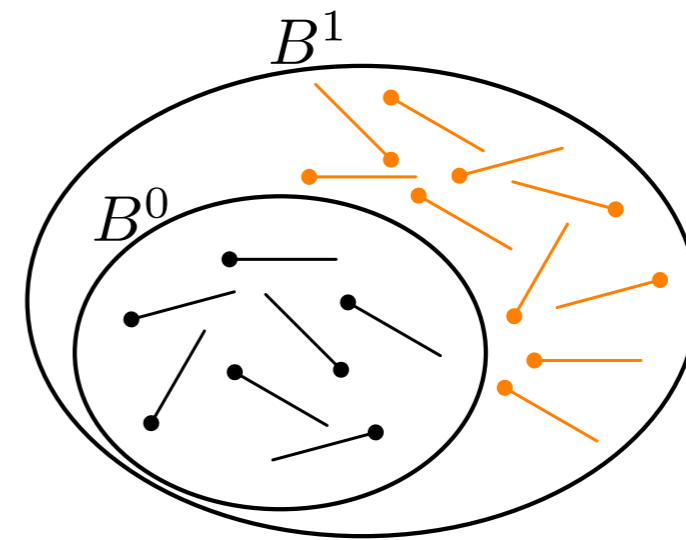
# Carte combinatoire multirésolution

- la carte est enrichie progressivement
- réutilisation des brins



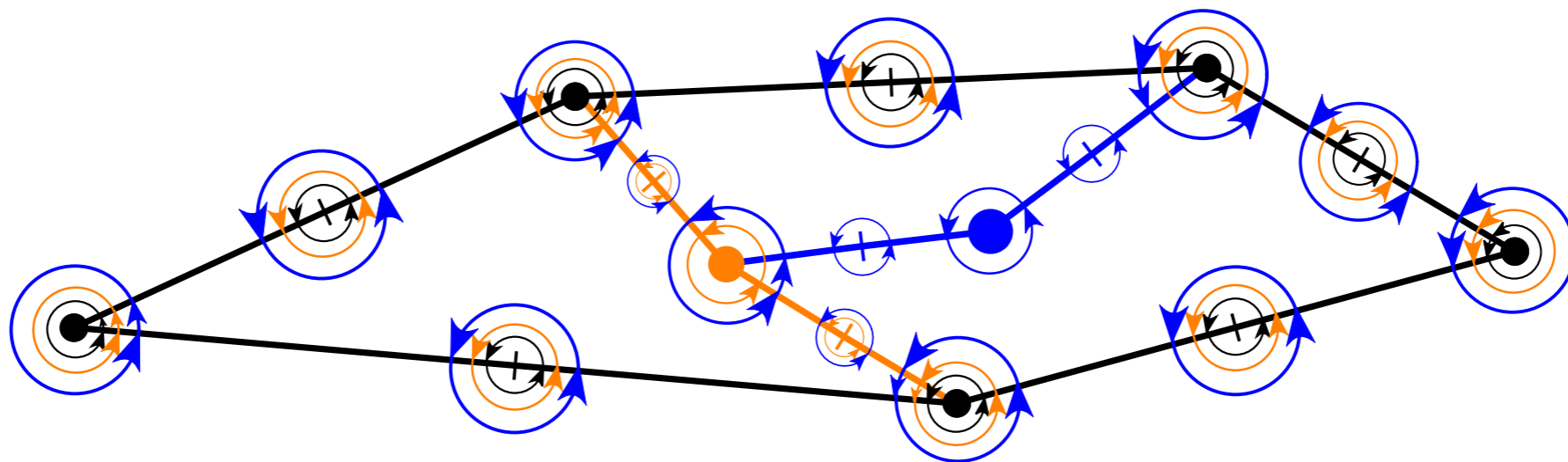
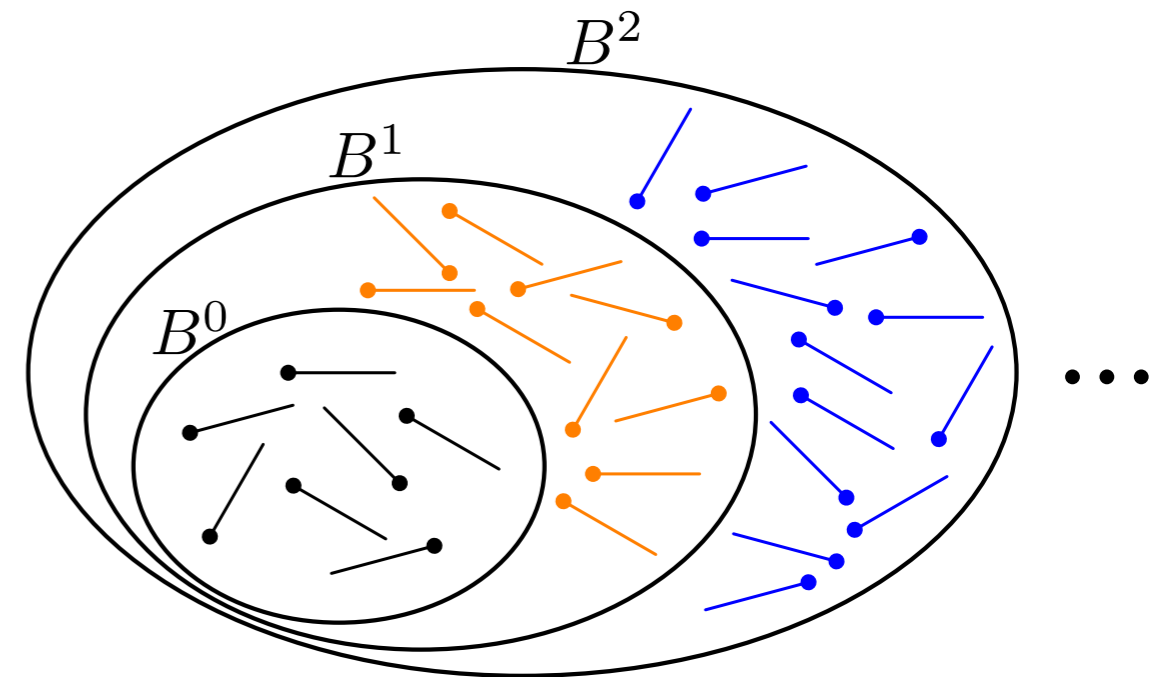
# Carte combinatoire multirésolution

- la carte est enrichie progressivement
- réutilisation des brins



# Carte combinatoire multirésolution

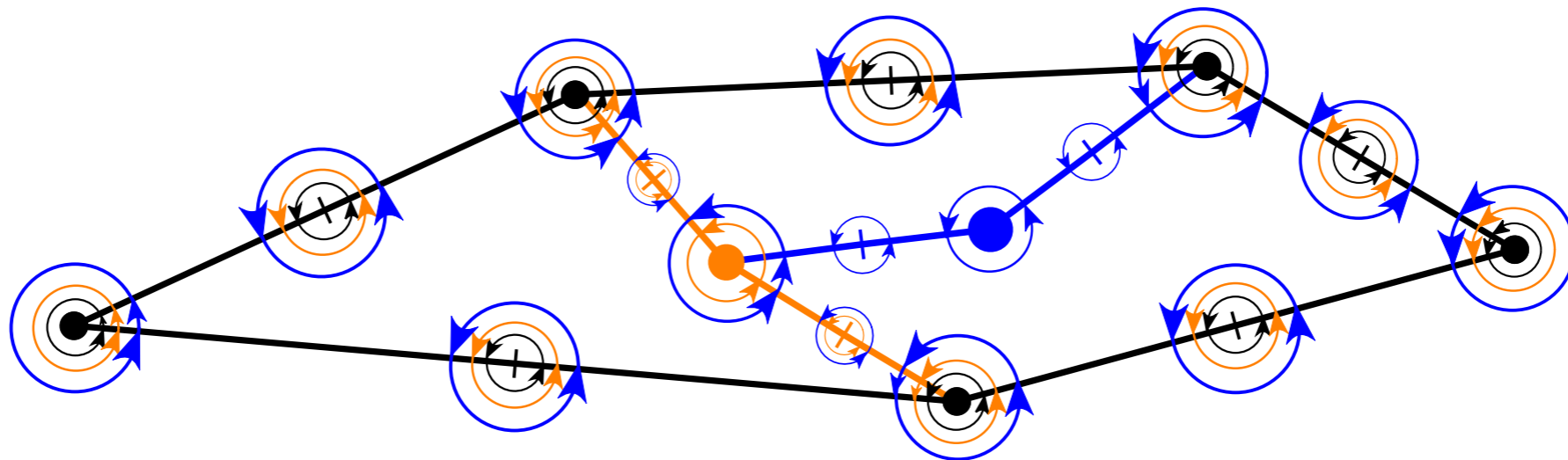
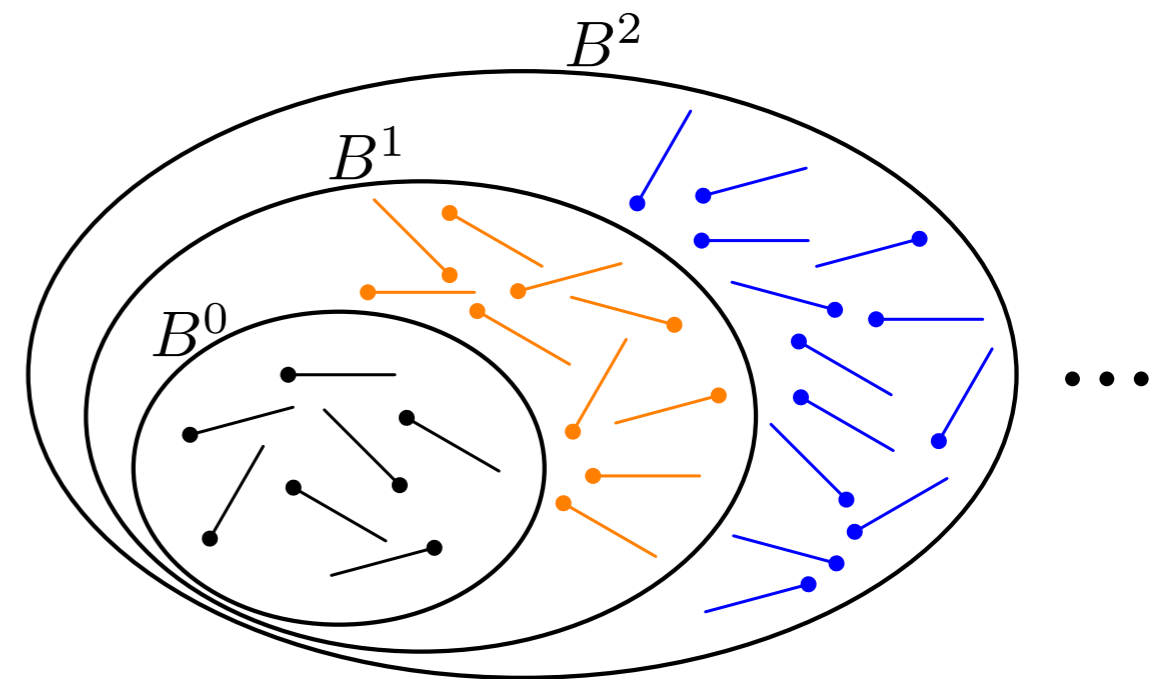
- la carte est enrichie progressivement
- réutilisation des brins





# Carte combinatoire multirésolution

- la carte est enrichie progressivement
- réutilisation des brins
- un brin dispose d'une relation différente pour chaque niveau où il existe
  - à chaque niveau les brins sont liés par les relations du modèle



# Carte combinatoire multirésolution

- décomposition cellulaire multirésolution d'une variété de dimension  $n$

$$C_{MR} = (\{B^k\}_{k \geq 0}, \{\alpha_0^k\}_{k \geq 0}, \{\alpha_1^k\}_{k \geq 0}, \dots, \{\alpha_{n-1}^k\}_{k \geq 0})$$

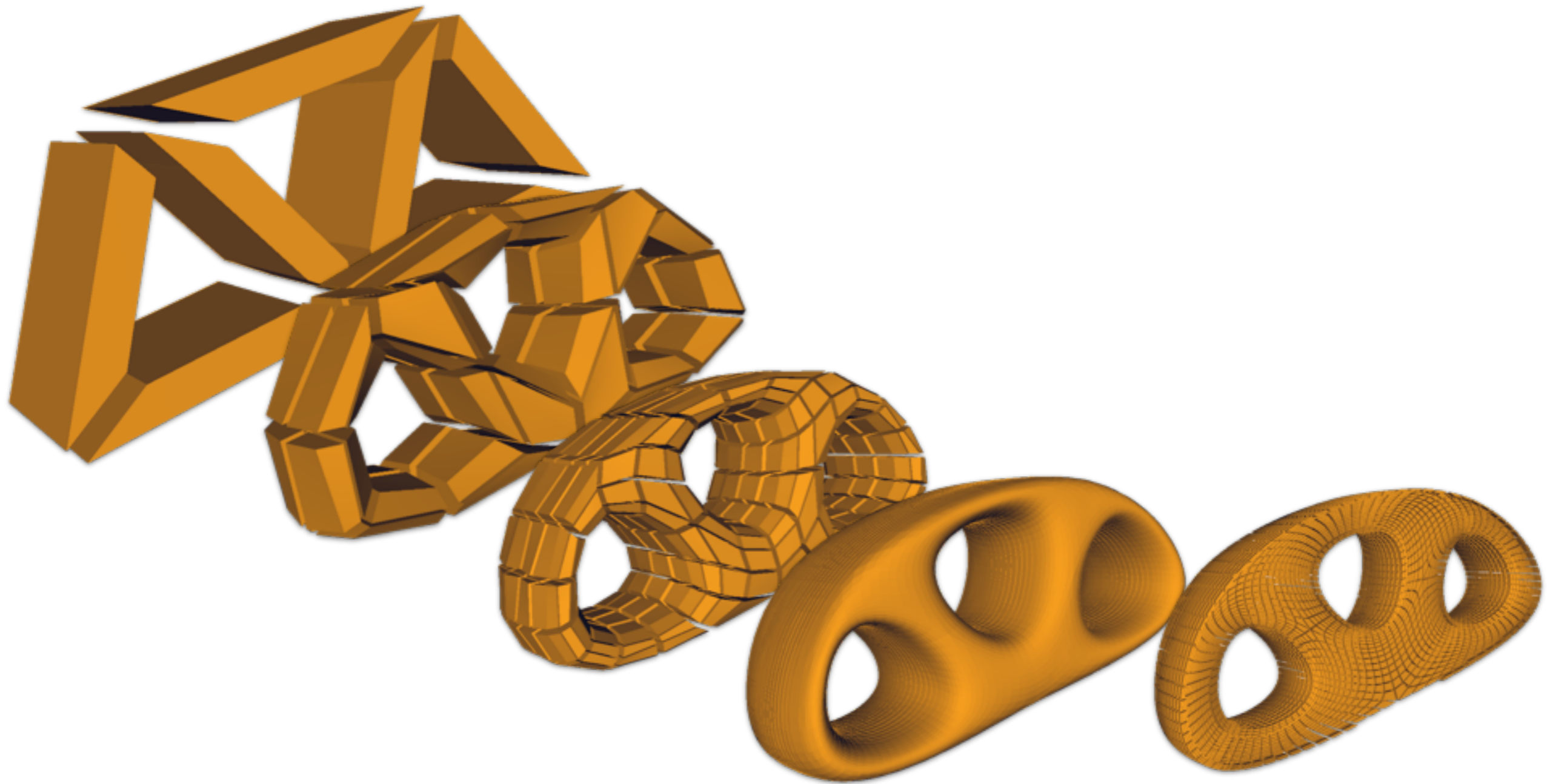
avec  $B^0 \subset B^1 \subset B^2 \subset \dots$

et pour tout  $k \geq 0$

$$C^k = (B^k, \alpha_0^k, \alpha_1^k, \dots, \alpha_{n-1}^k)$$

est une  $n$ -carte combinatoire décrivant le niveau de résolution  $k$

# Volumes de subdivision multirésolutions



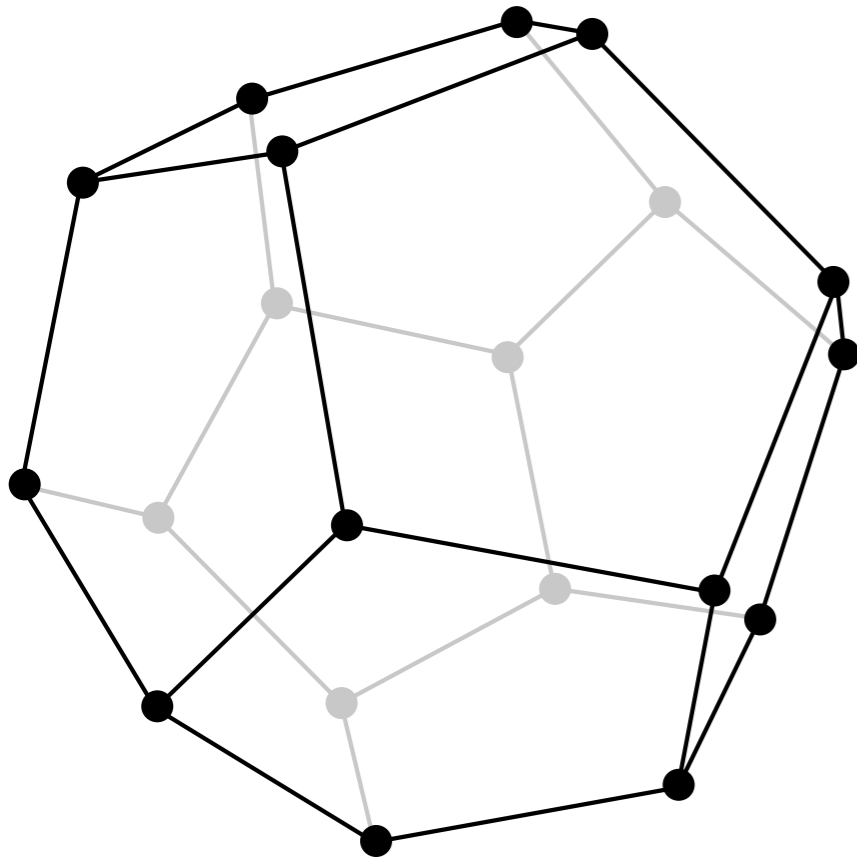
[UCB13] L. Untereiner, D. Cazier et D. Bechmann, *n-Dimensional multiresolution representation of subdivision meshes with arbitrary topology*, Graphical Models, 75(5):231-246, 2013

# Raffinement de volumes

- objectifs :
  - opérations de raffinement de volumes
  - raffinement régulier et adaptatif

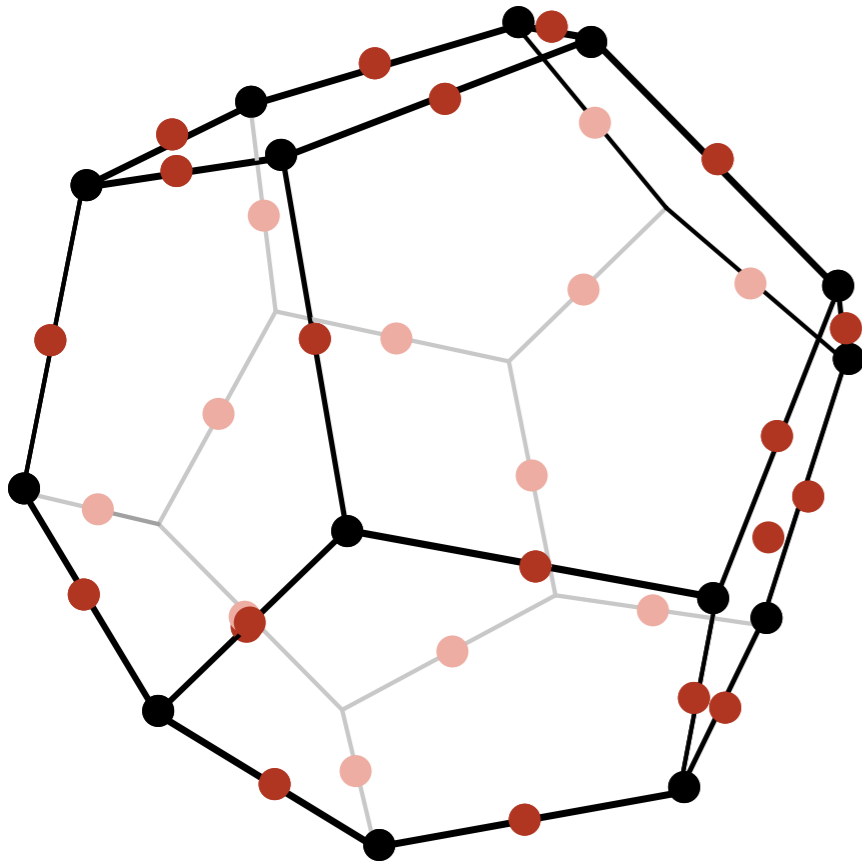
# Raffinement de volumes

- objectifs :
  - opérations de raffinement de volumes
  - raffinement régulier et adaptatif



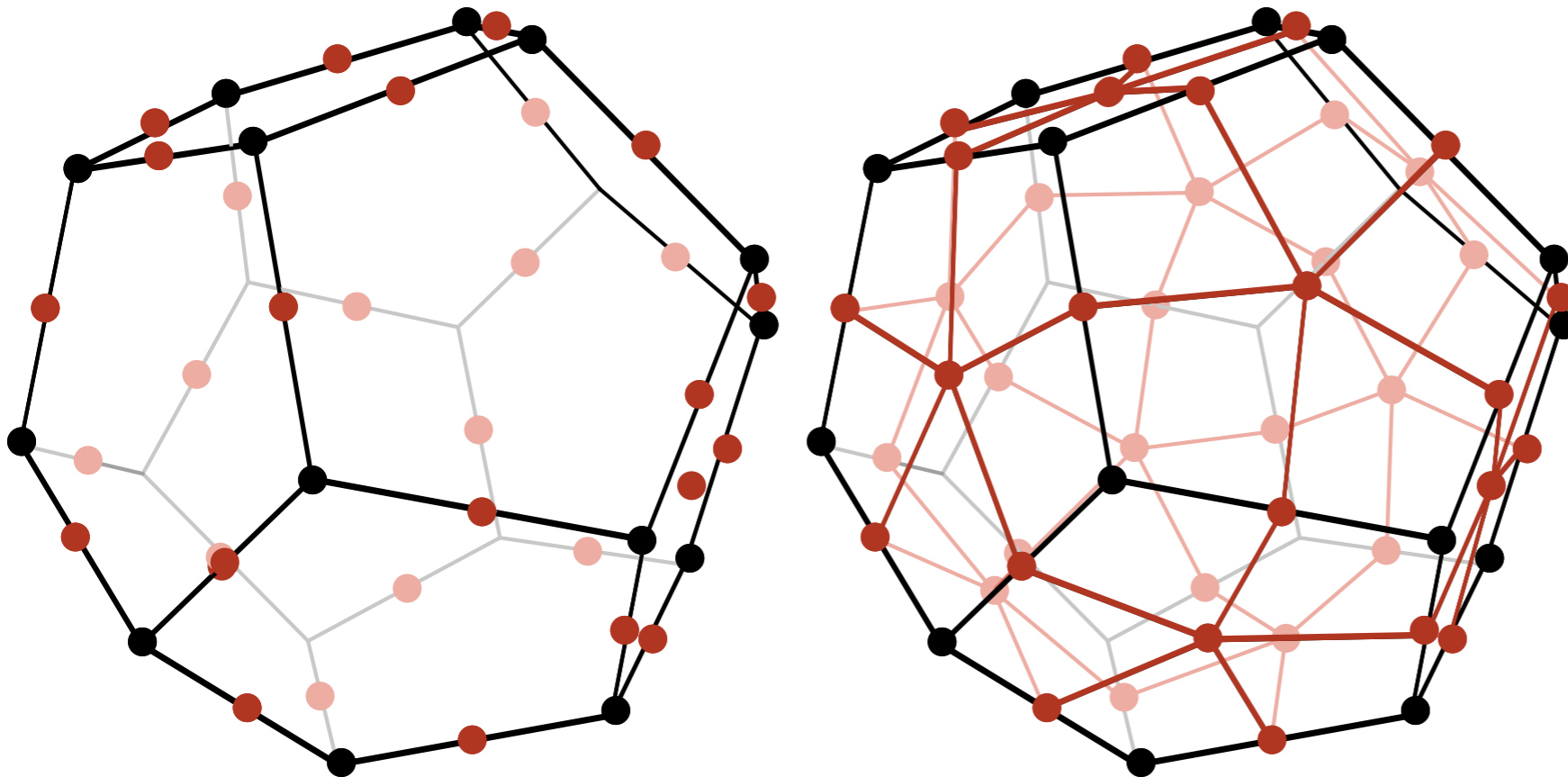
# Raffinement de volumes

- objectifs :
  - opérations de raffinement de volumes
  - raffinement régulier et adaptatif



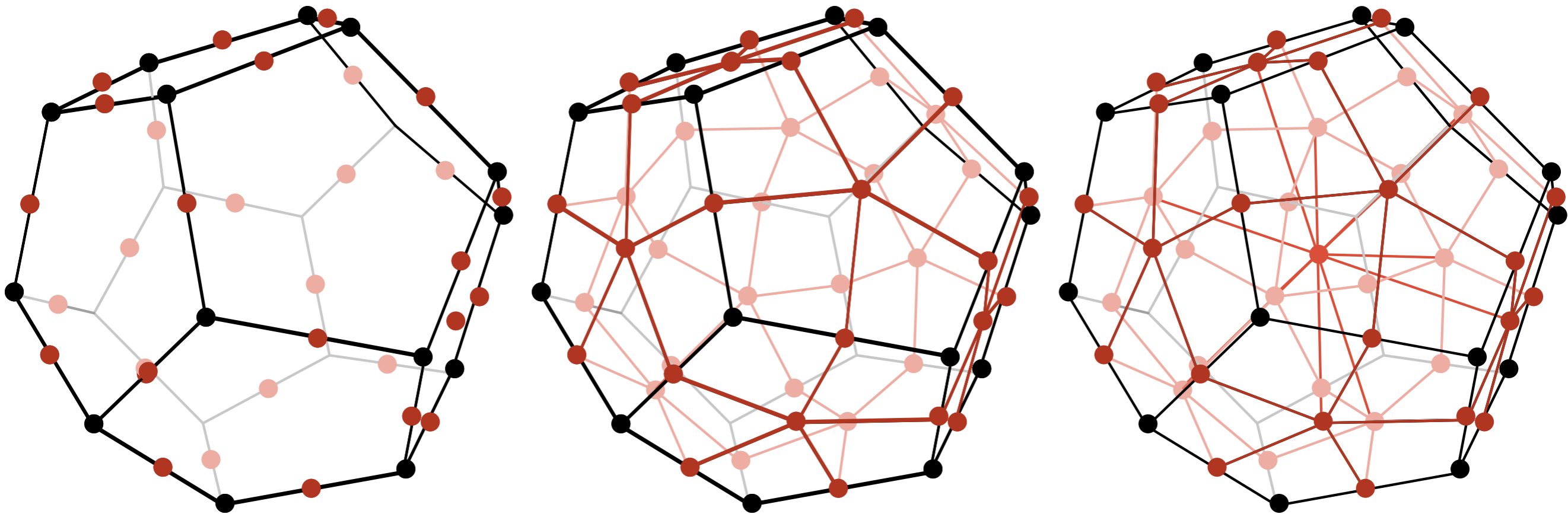
# Raffinement de volumes

- objectifs :
  - opérations de raffinement de volumes
  - raffinement régulier et adaptatif



# Raffinement de volumes

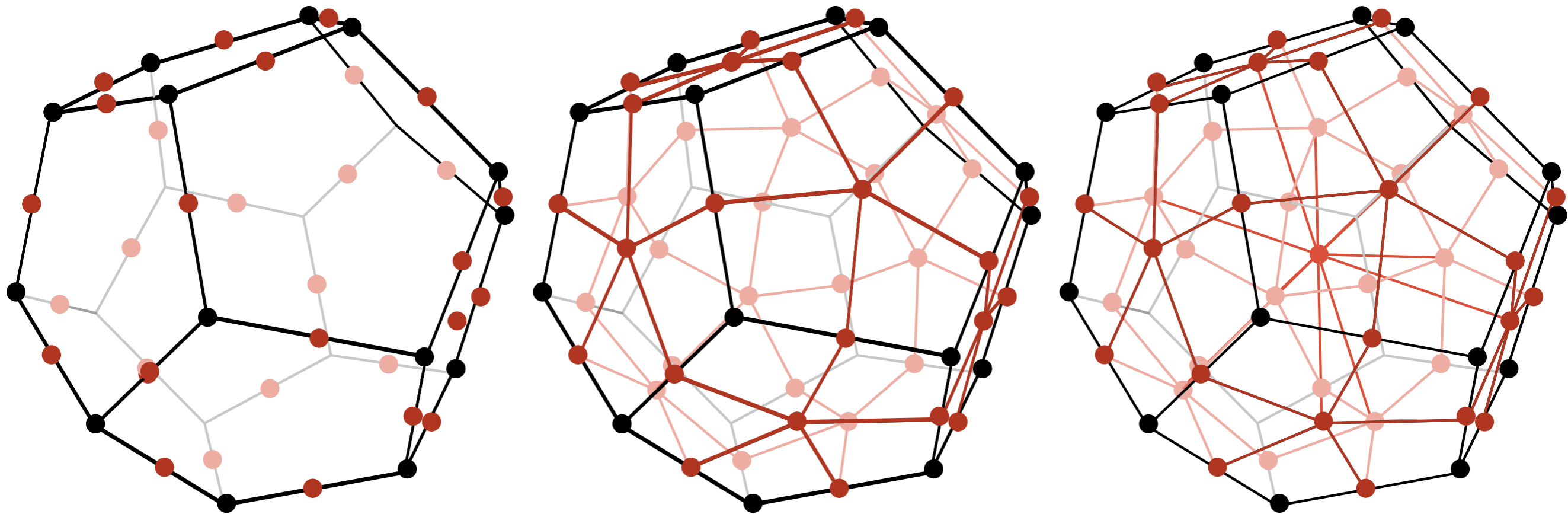
- objectifs :
  - opérations de raffinement de volumes
  - raffinement régulier et adaptatif





# Raffinement de volumes

- objectifs :
  - opérations de raffinement de volumes
  - raffinement régulier et adaptatif



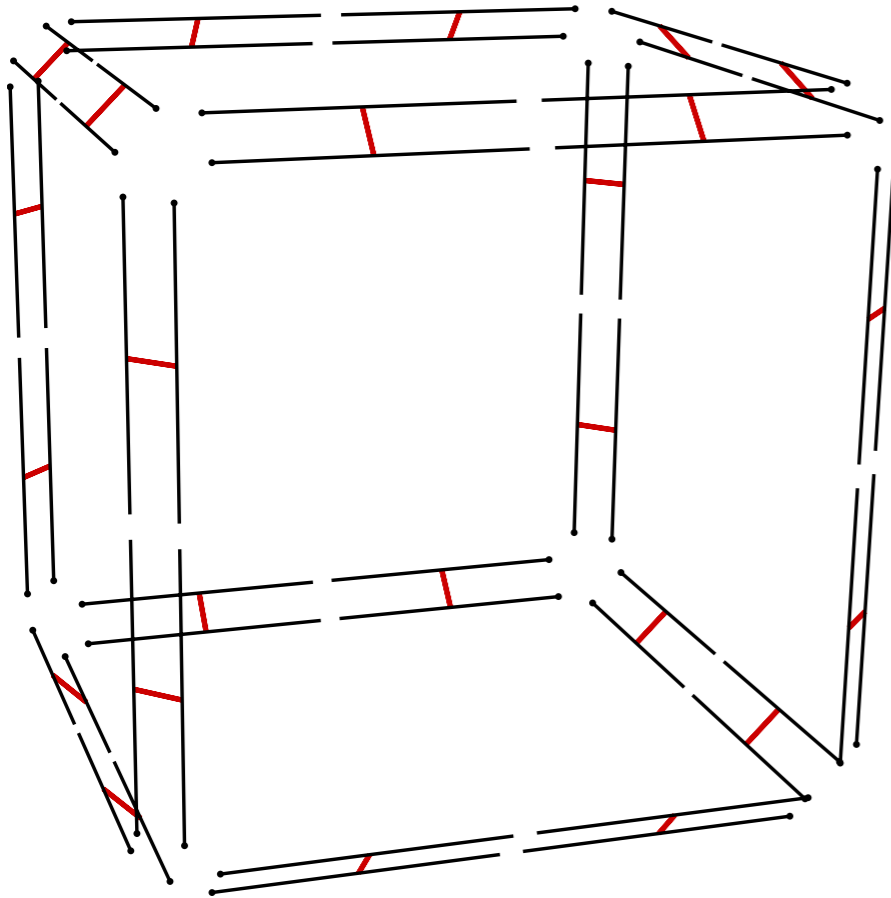
- opérations de raffinement :
  - raffinement polyédrique
  - deux raffinements spécifiques : tétraédrique/octaédrique et mixte
  - un raffinement  $\sqrt{3}$  volumique

# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte



# Raffinements primaux

polyédrique

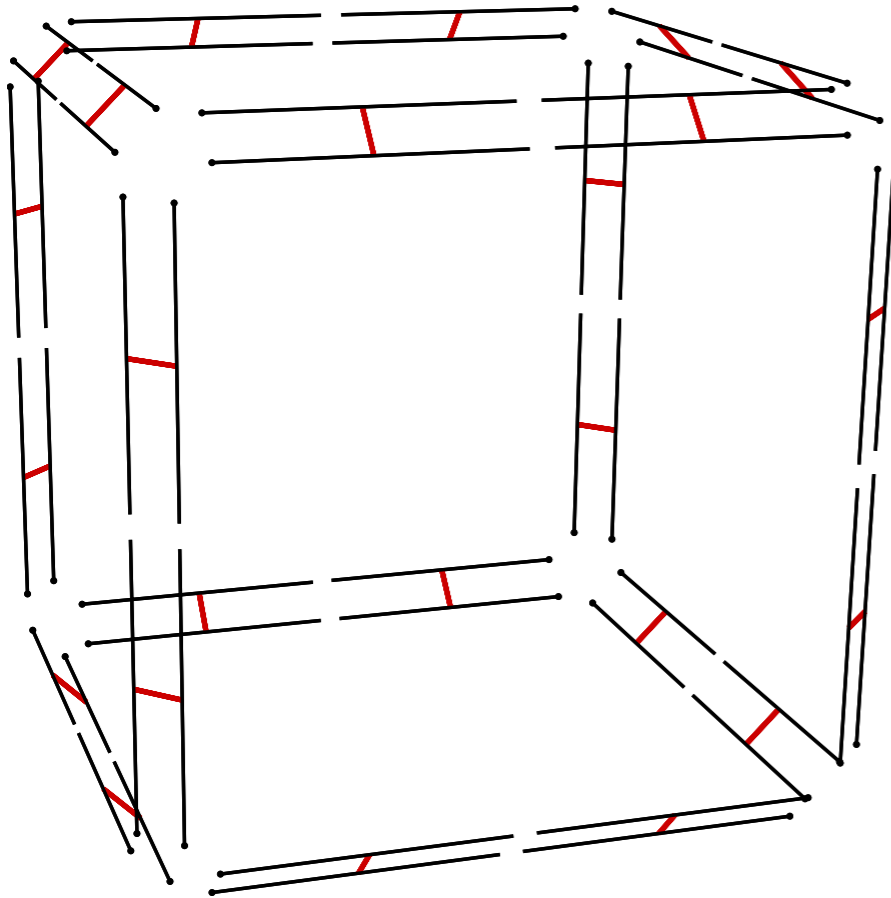
tétraédrique/octaédrique

mixte

arête

face

volume



# Raffinements primaux

polyédrique

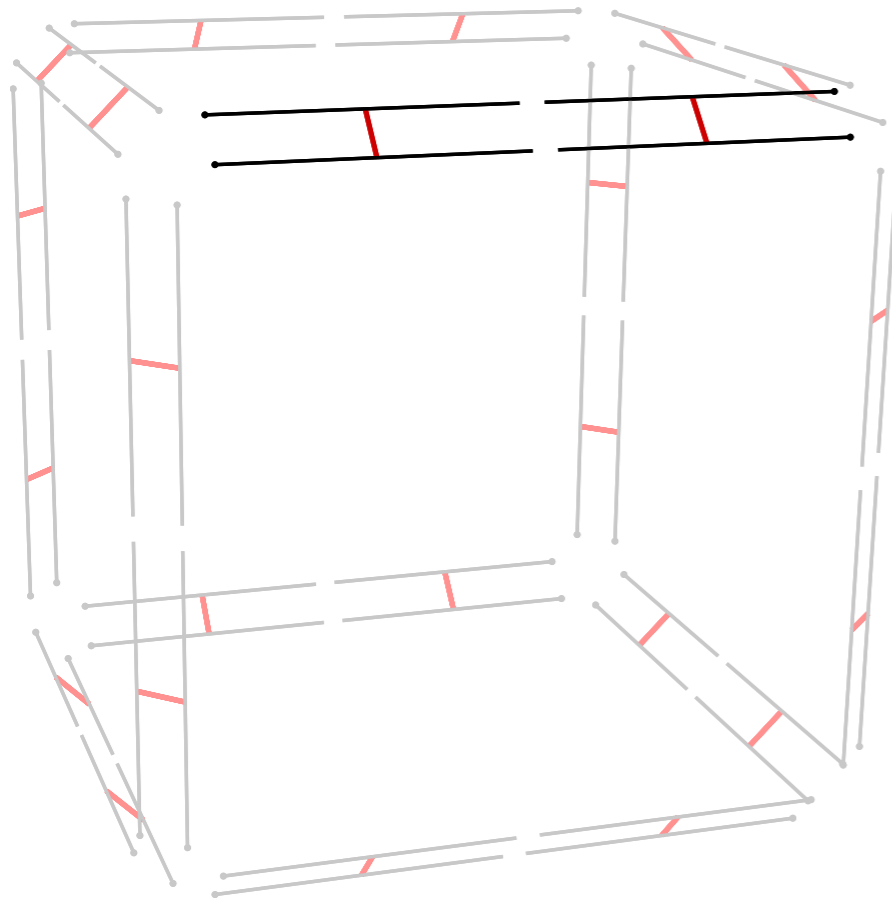
tétraédrique/octaédrique

mixte

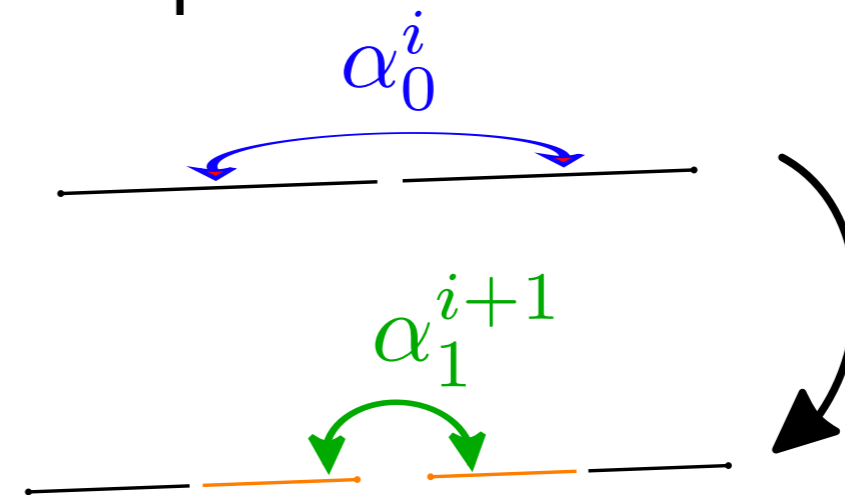
arête

face

volume



- arête simple :



# Raffinements primaux

polyédrique

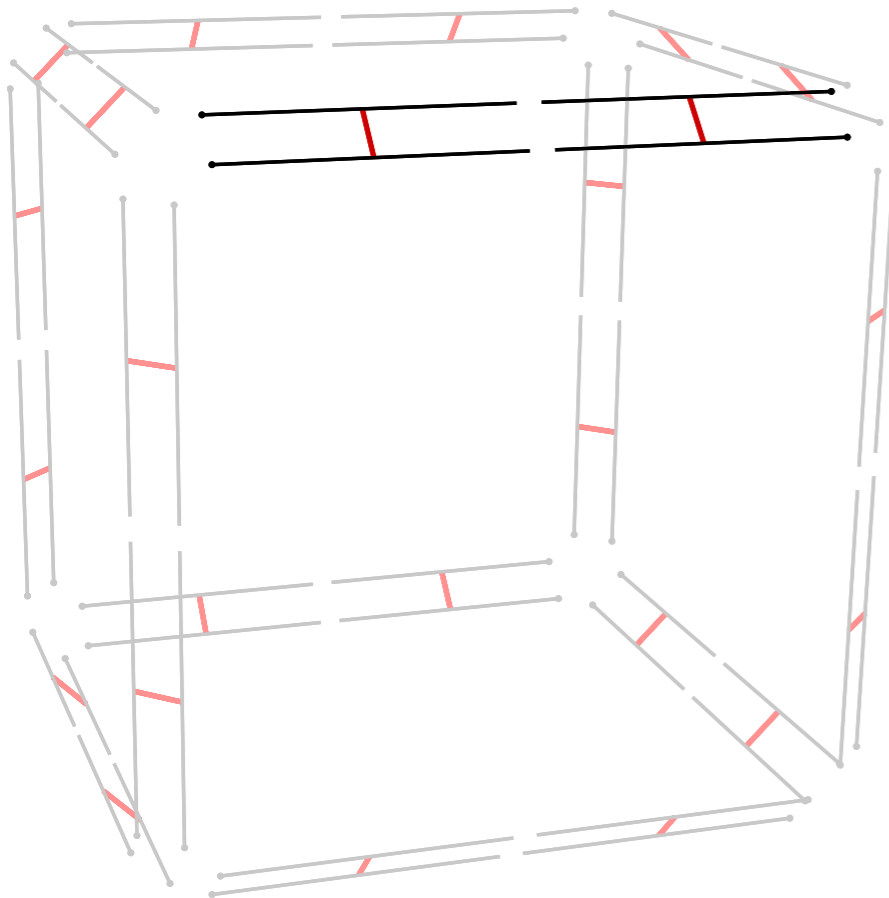
tétraédrique/octaédrique

mixte

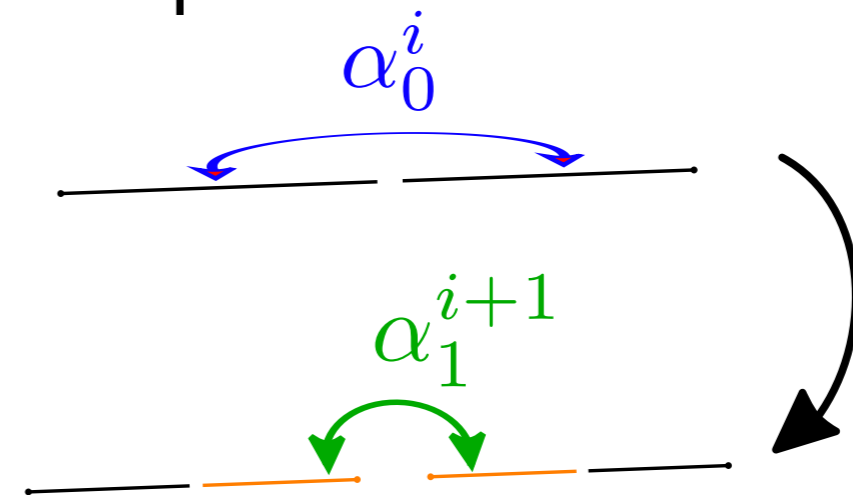
arête

face

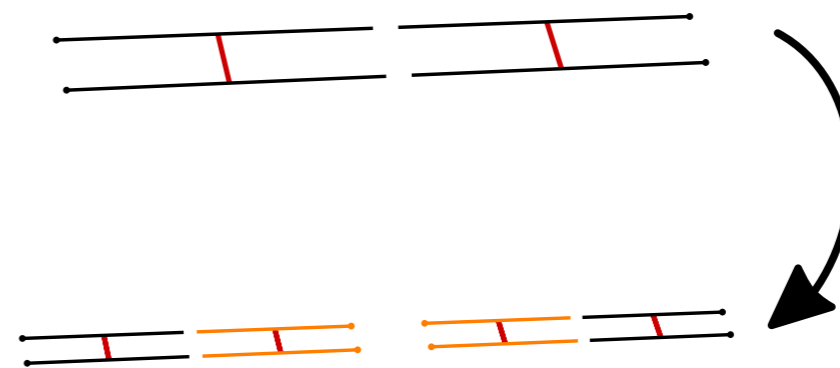
volume



- arête simple :



- arête :



# Raffinements primaux

polyédrique

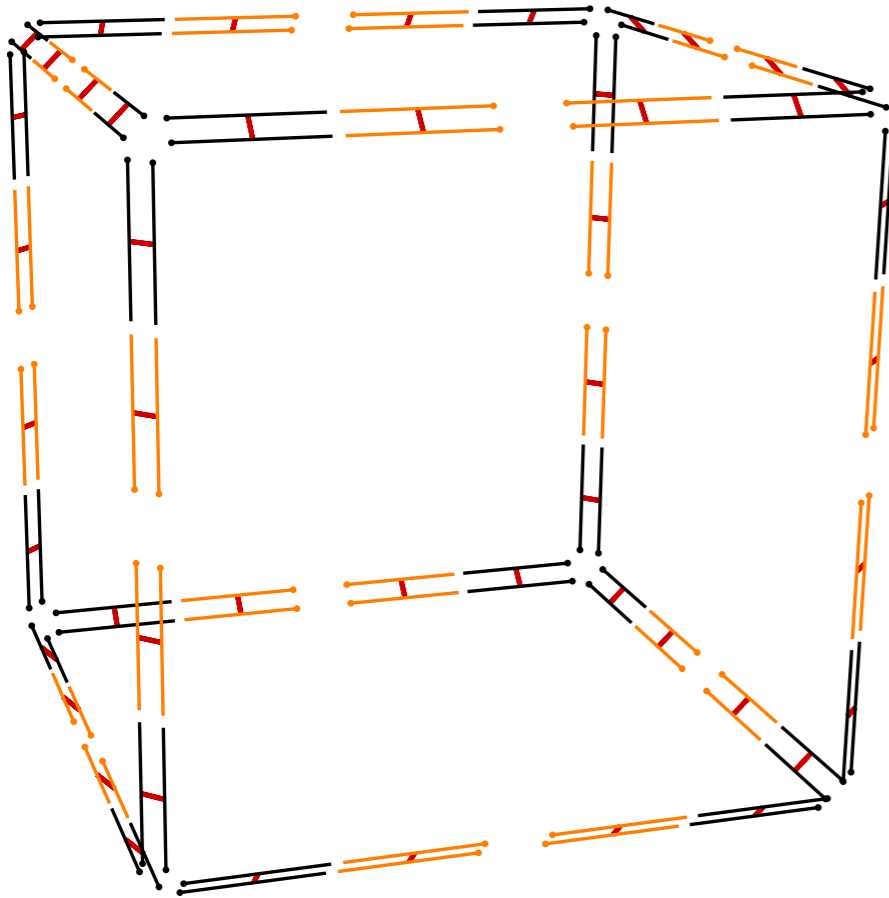
tétraédrique/octaédrique

mixte

arête

face

volume



# Raffinements primaux

polyédrique

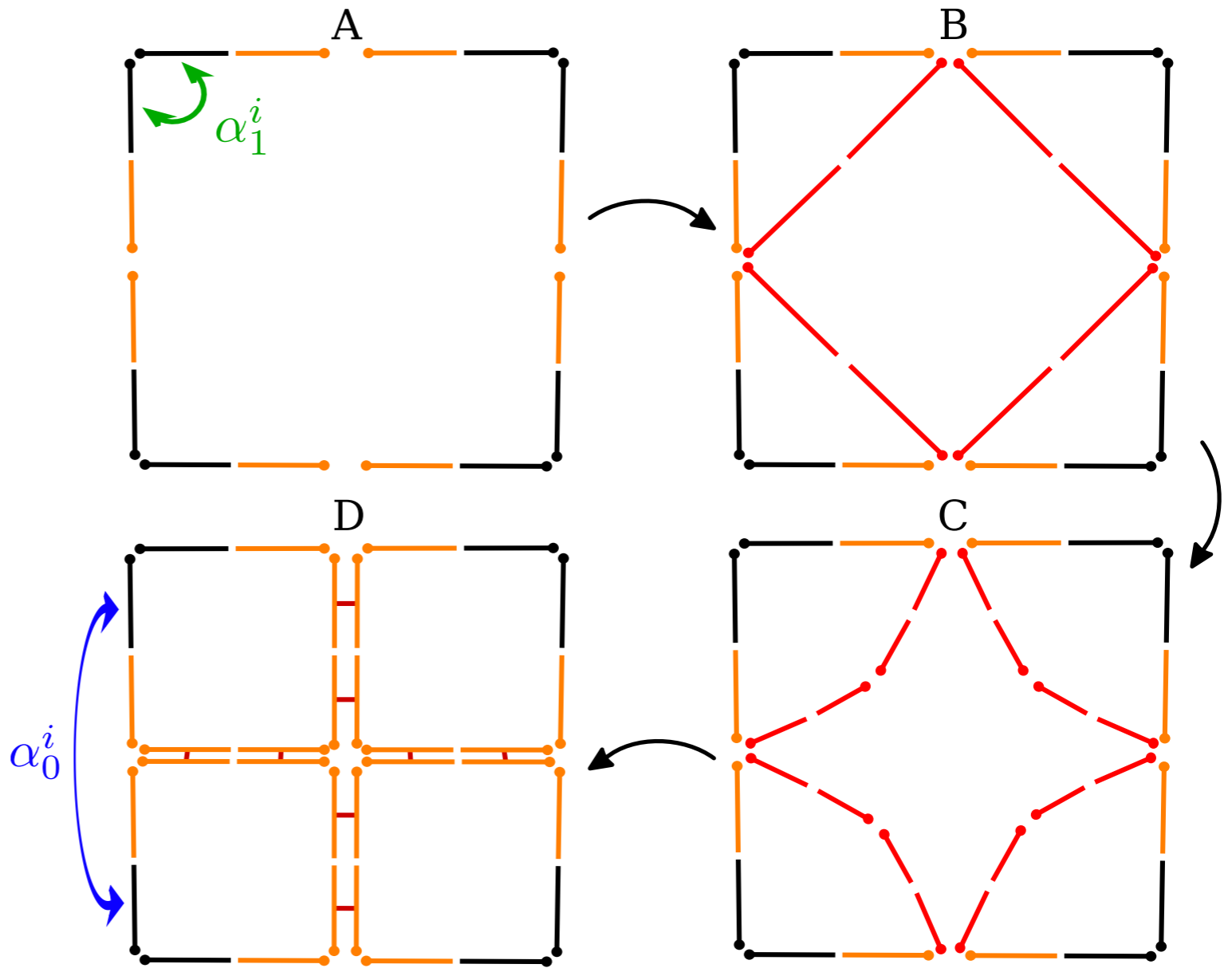
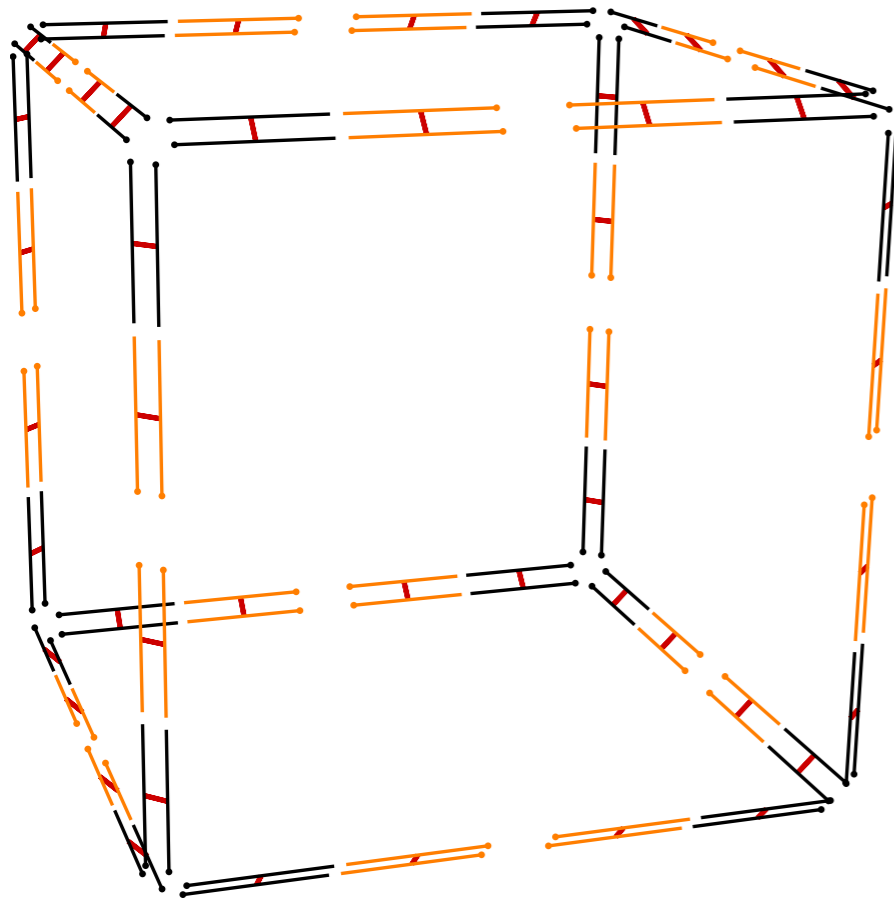
tétraédrique/octaédrique

mixte

arête

face

volume



# Raffinements primaux

polyédrique

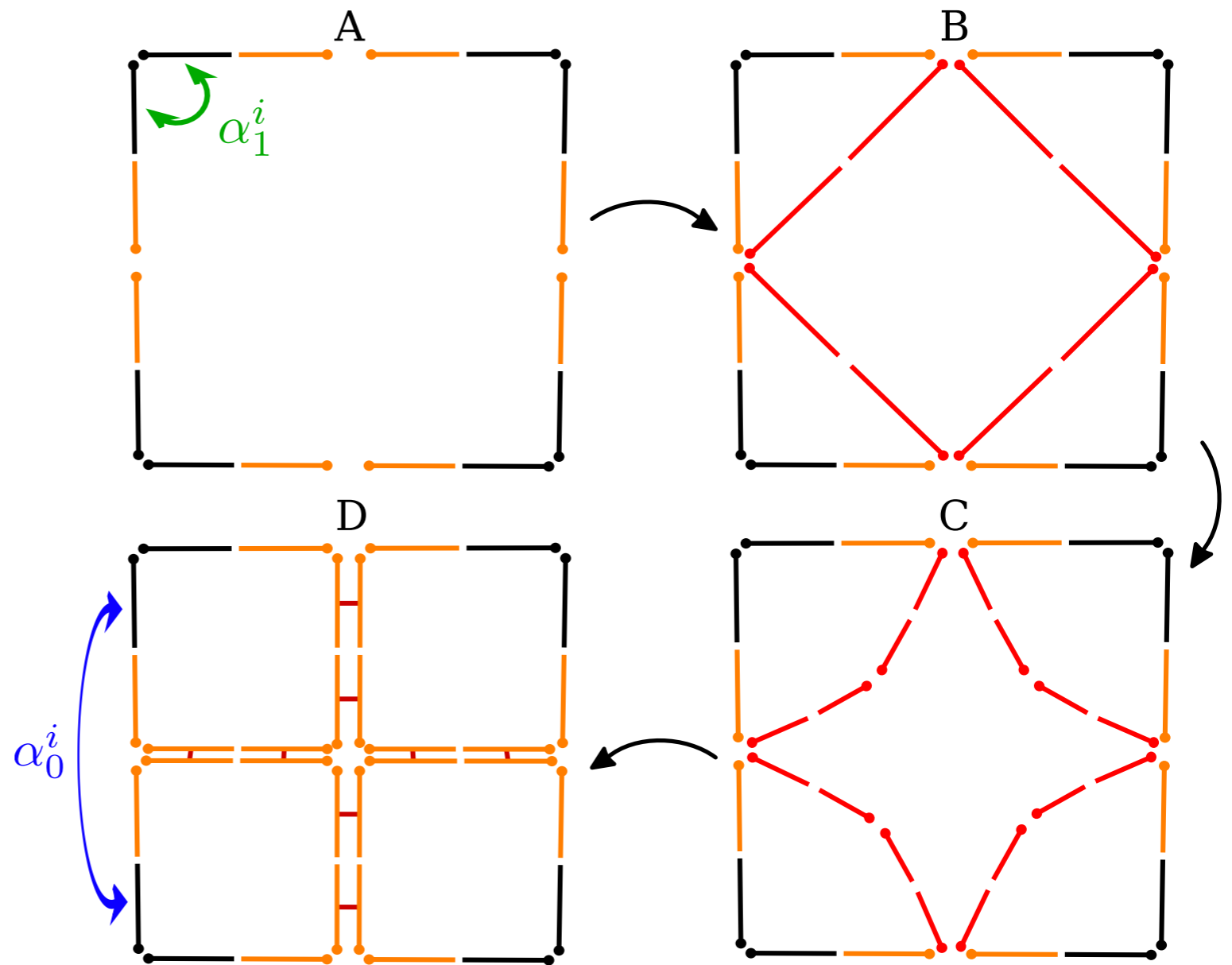
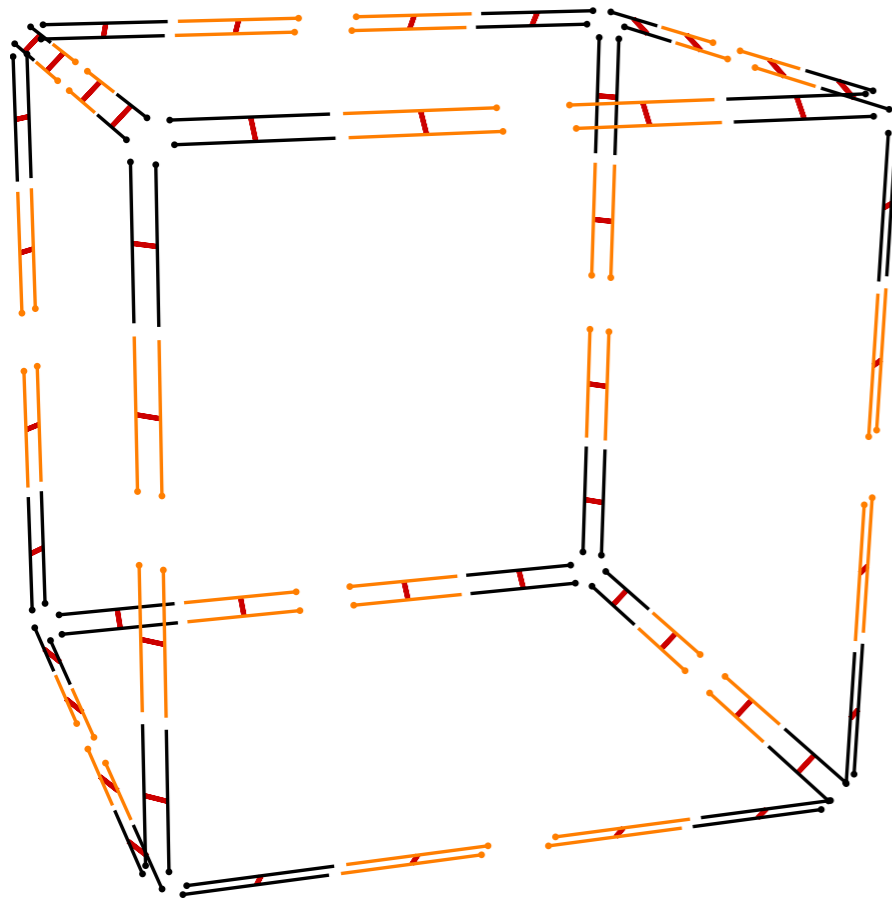
tétraédrique/octaédrique

mixte

arête

face

volume



➔ algorithme indépendant du degré de la face



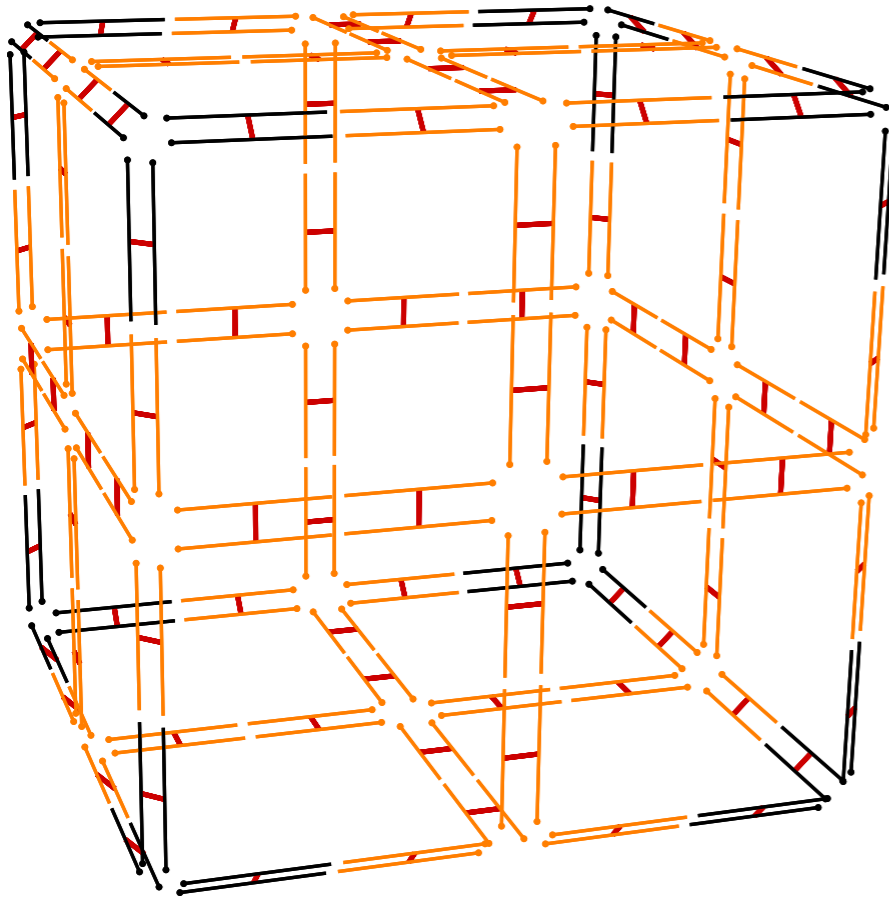
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



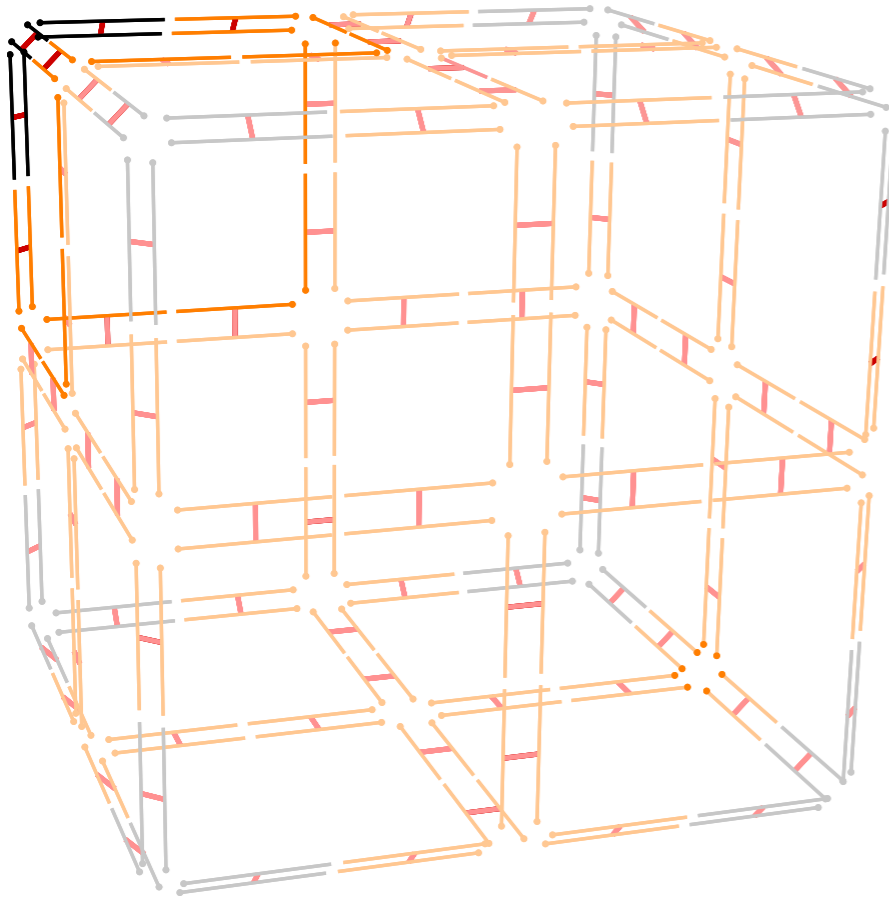
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



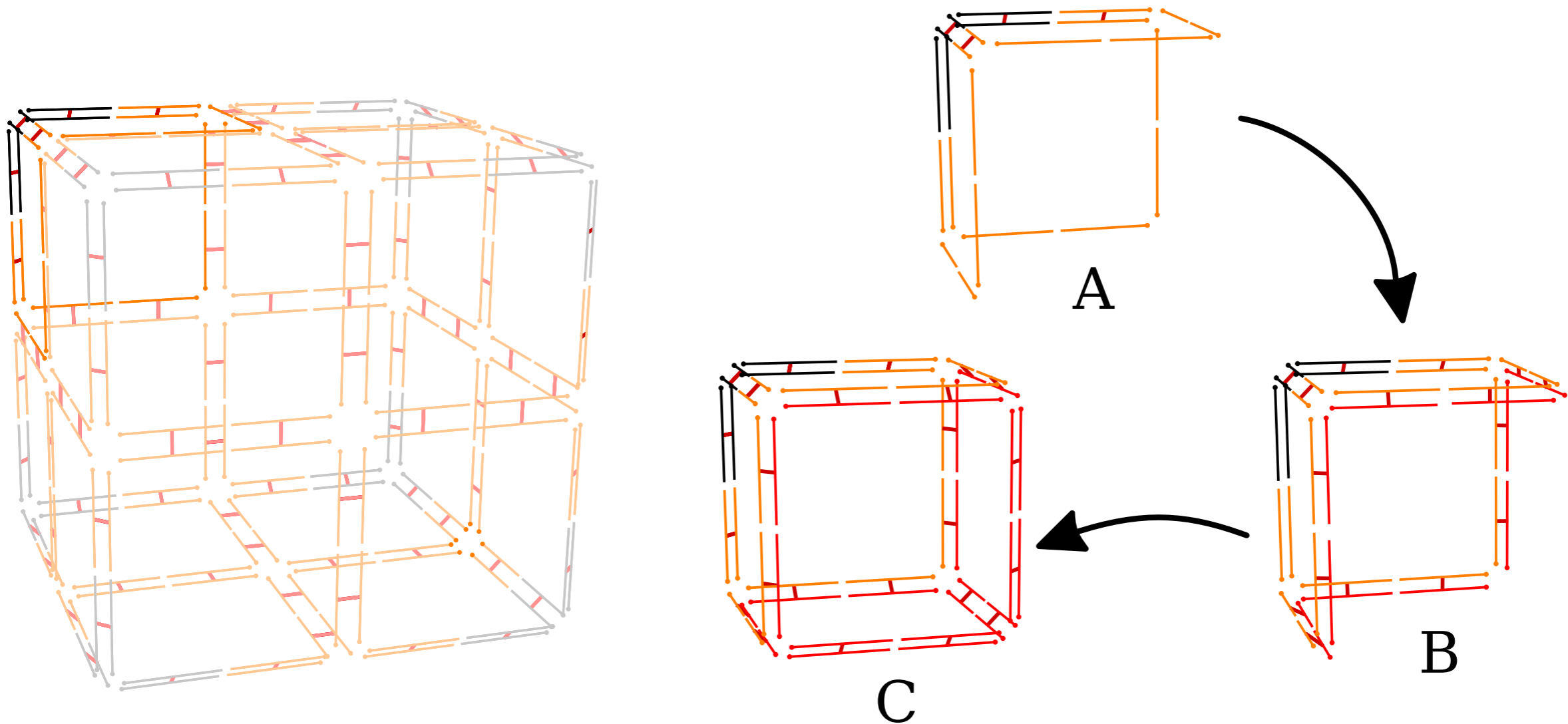
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



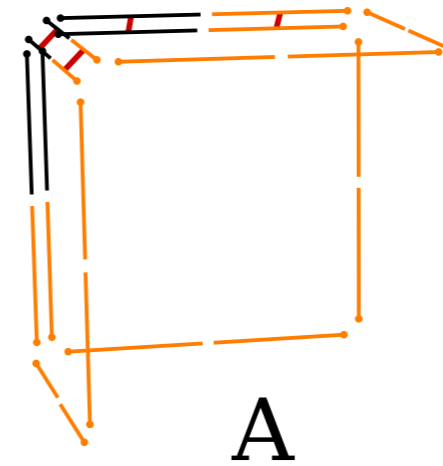
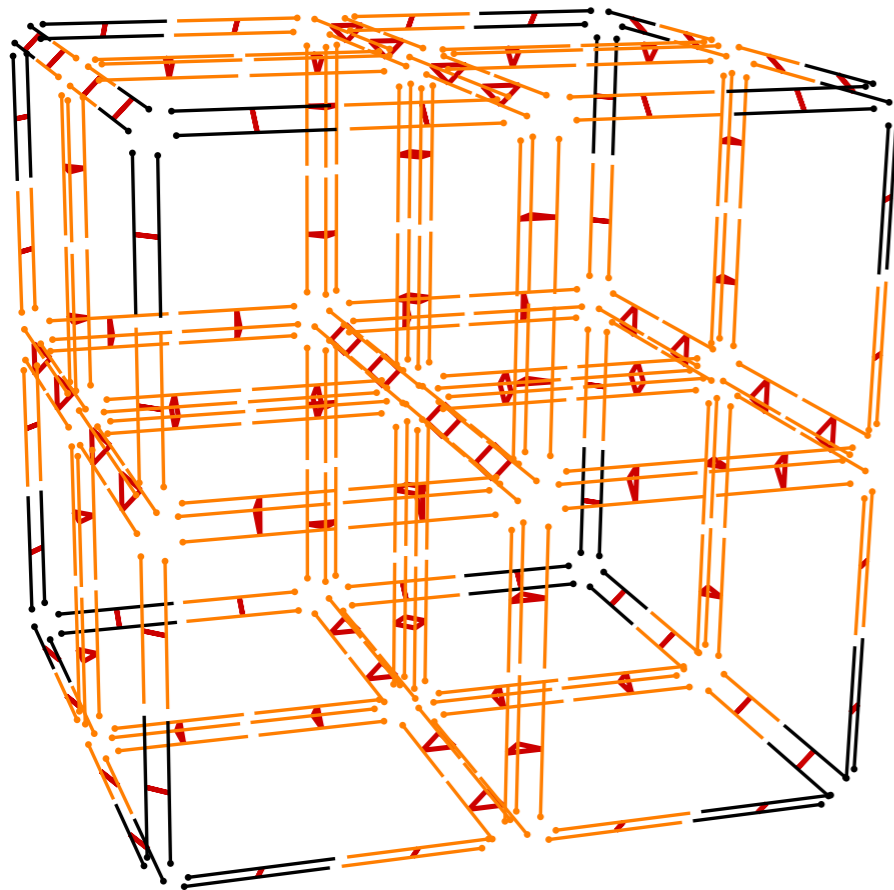
# Raffinements primaux

polyédrique

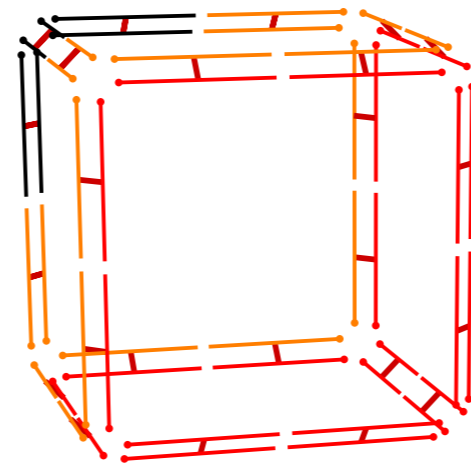
tétraédrique/octaédrique

mixte

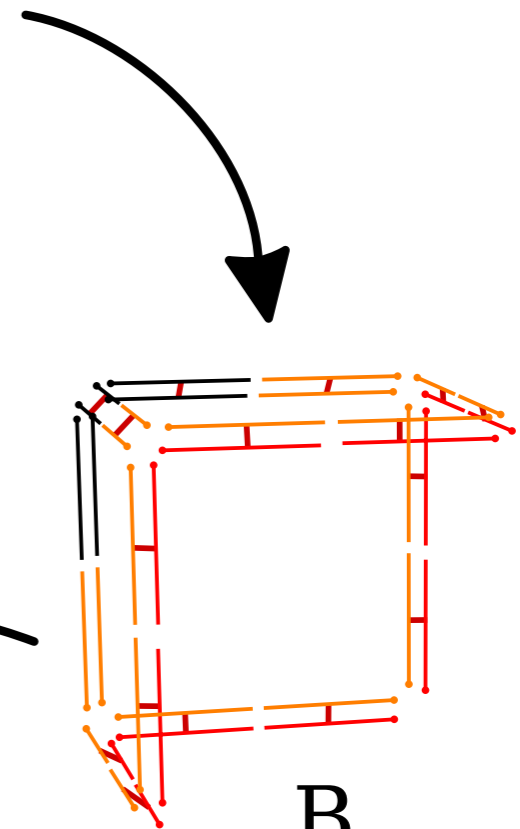
arête face volume



A



C



B

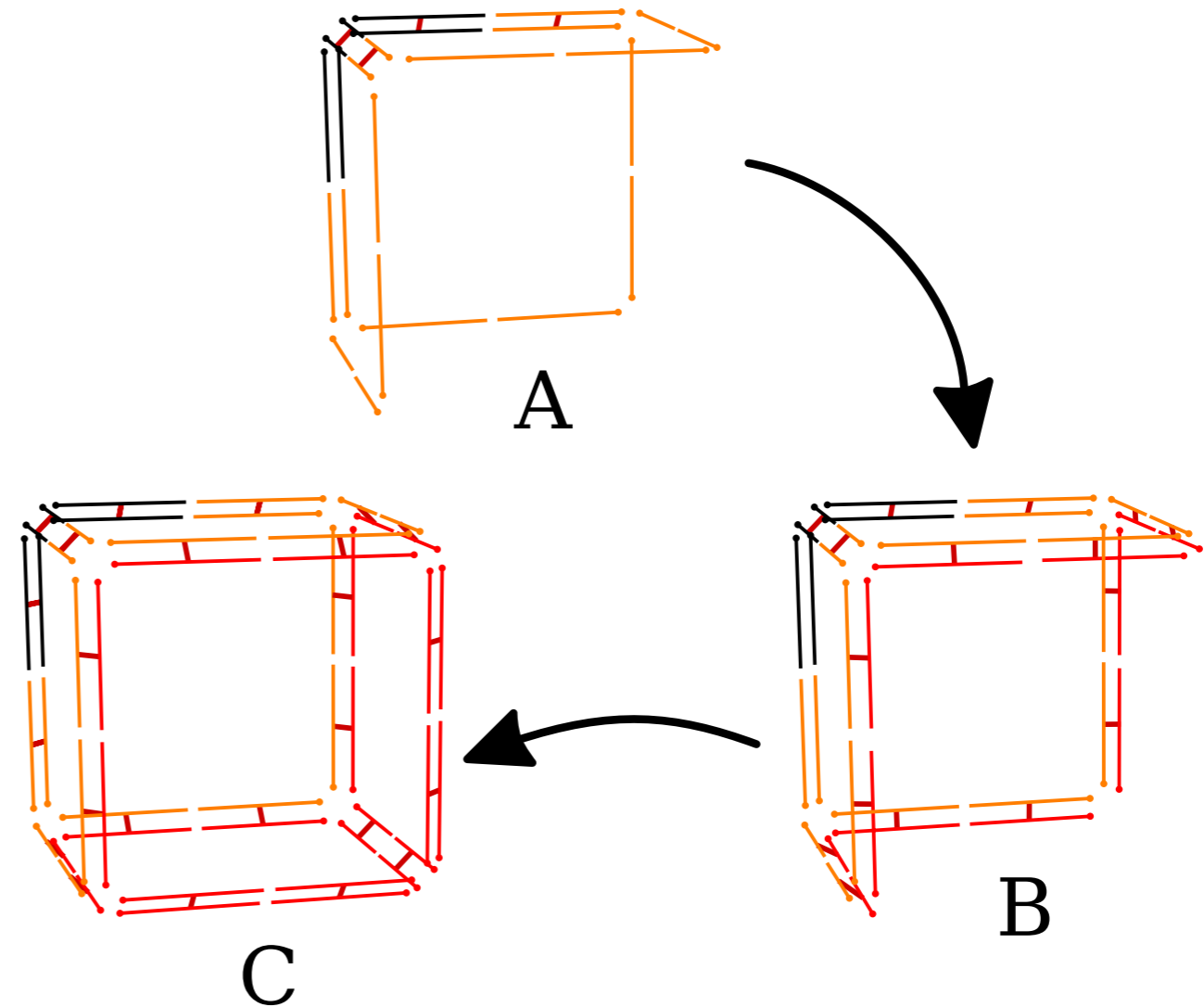
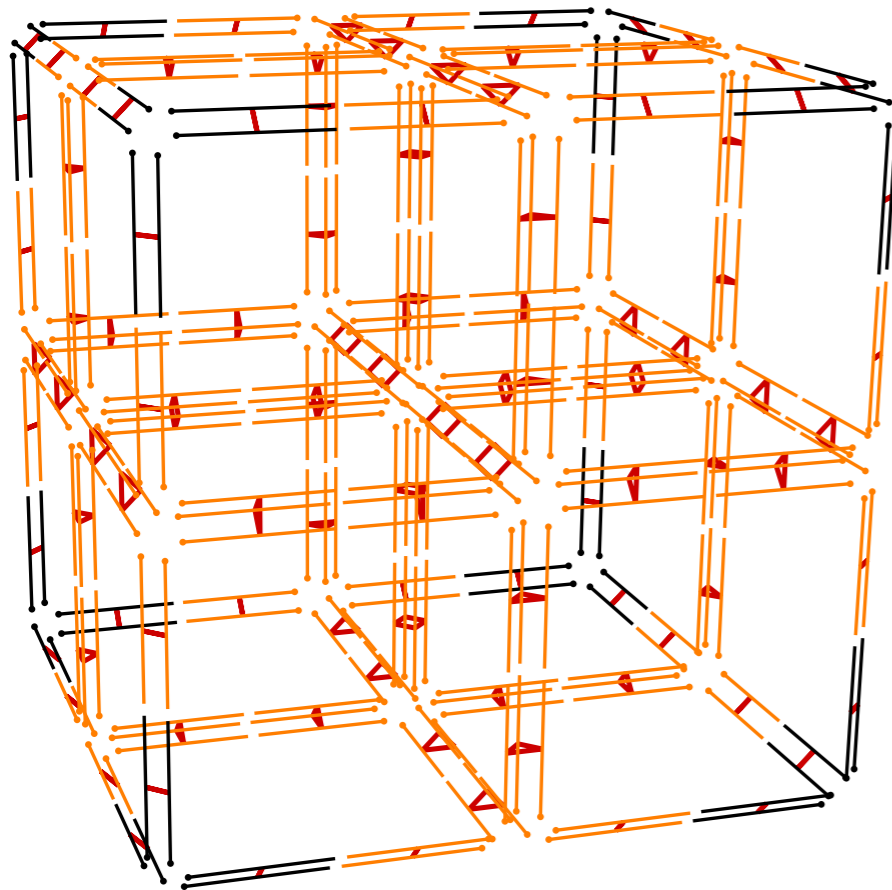
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



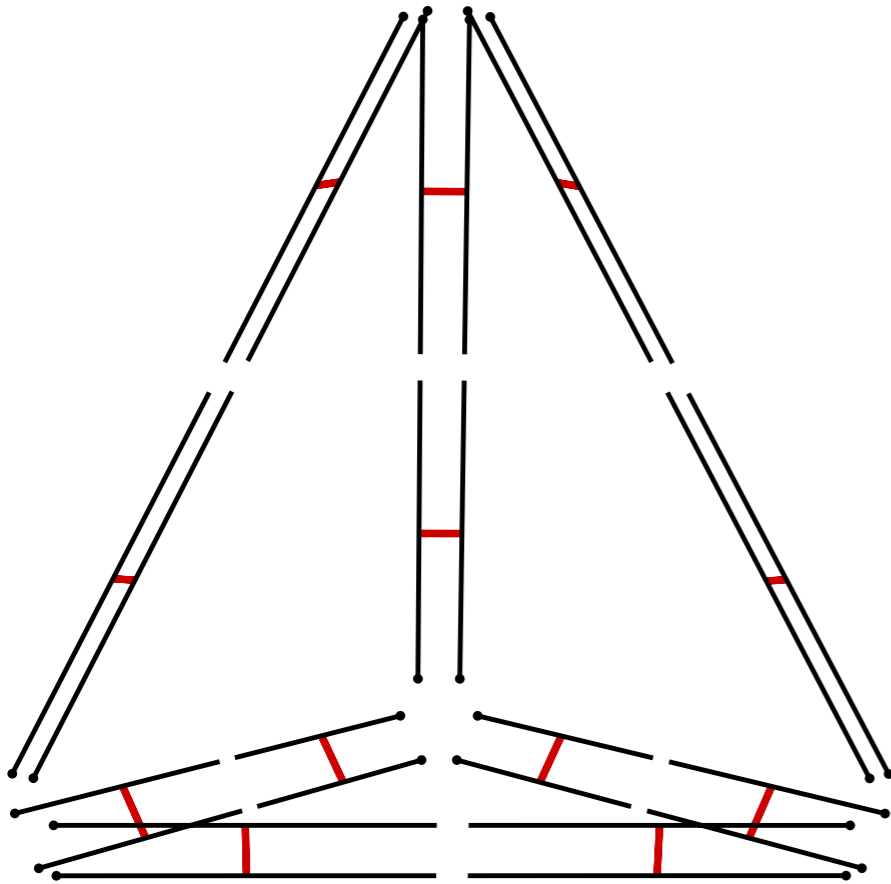
➔ algorithme indépendant du degré du volume

# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte



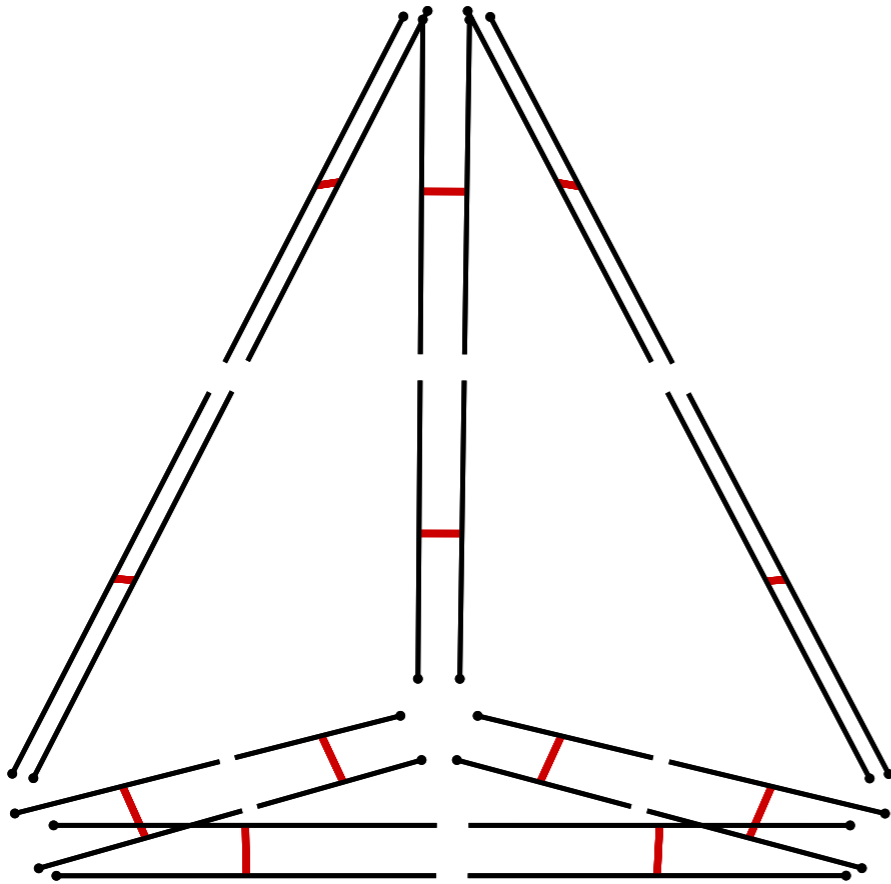
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



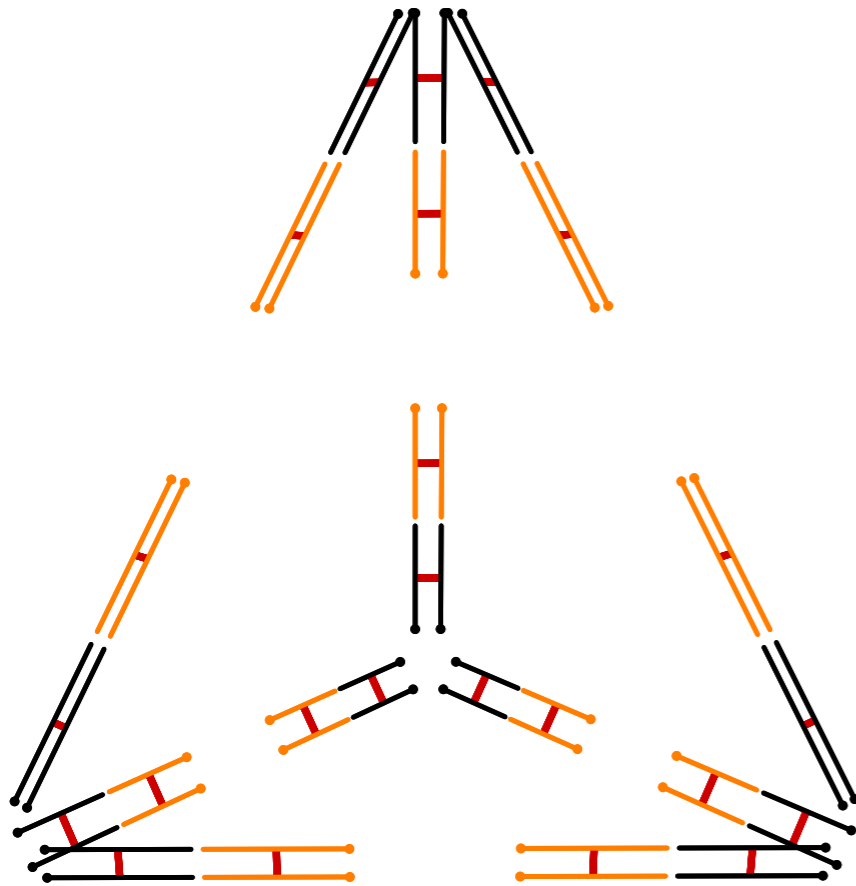
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume





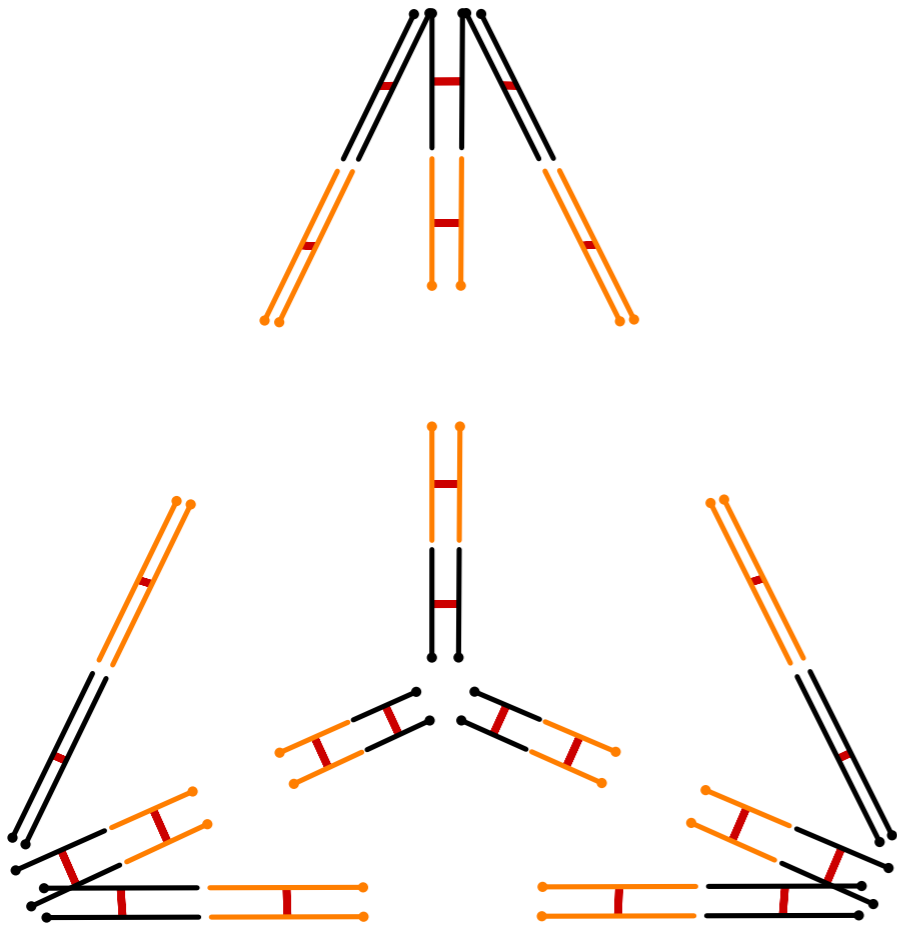
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



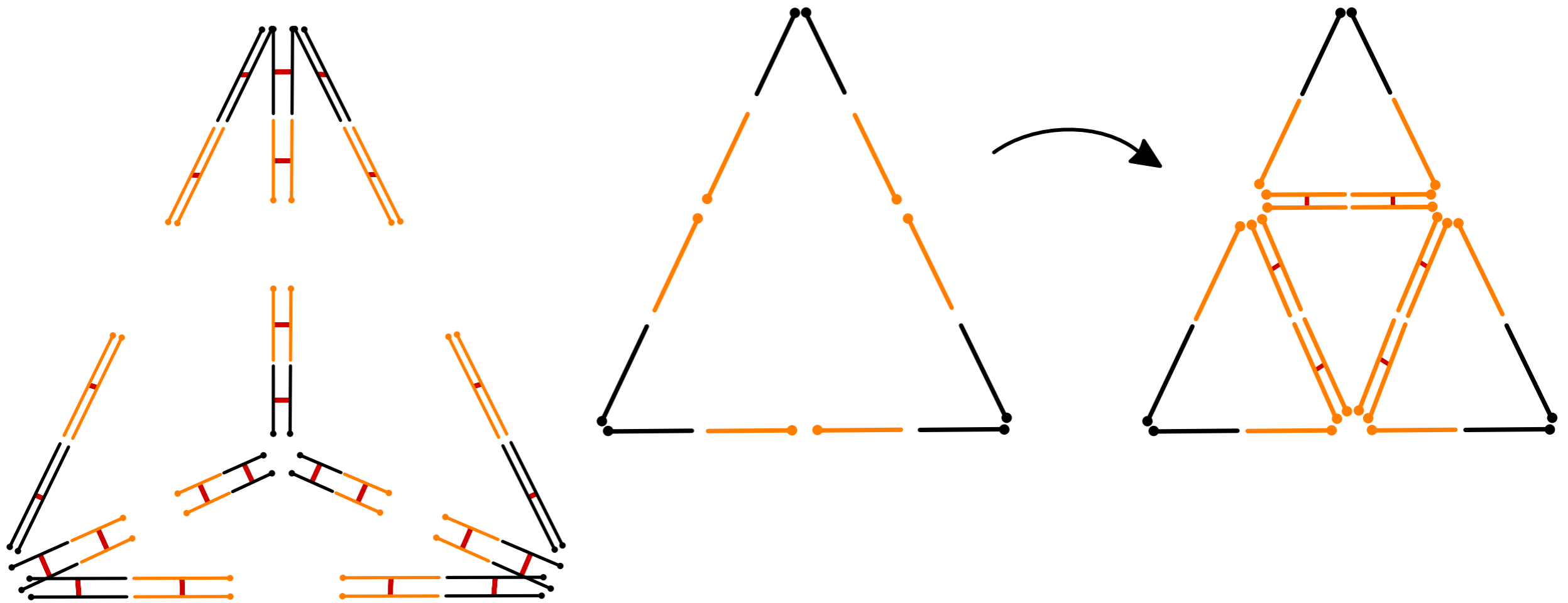
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



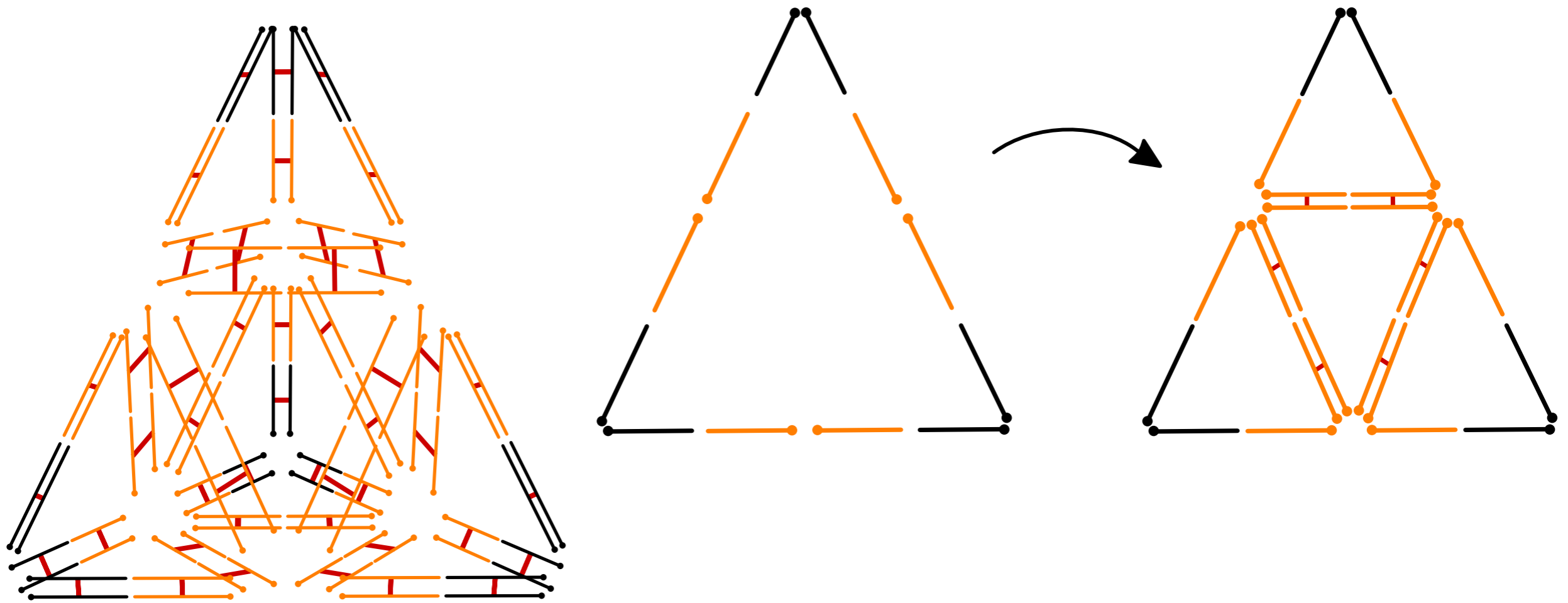
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



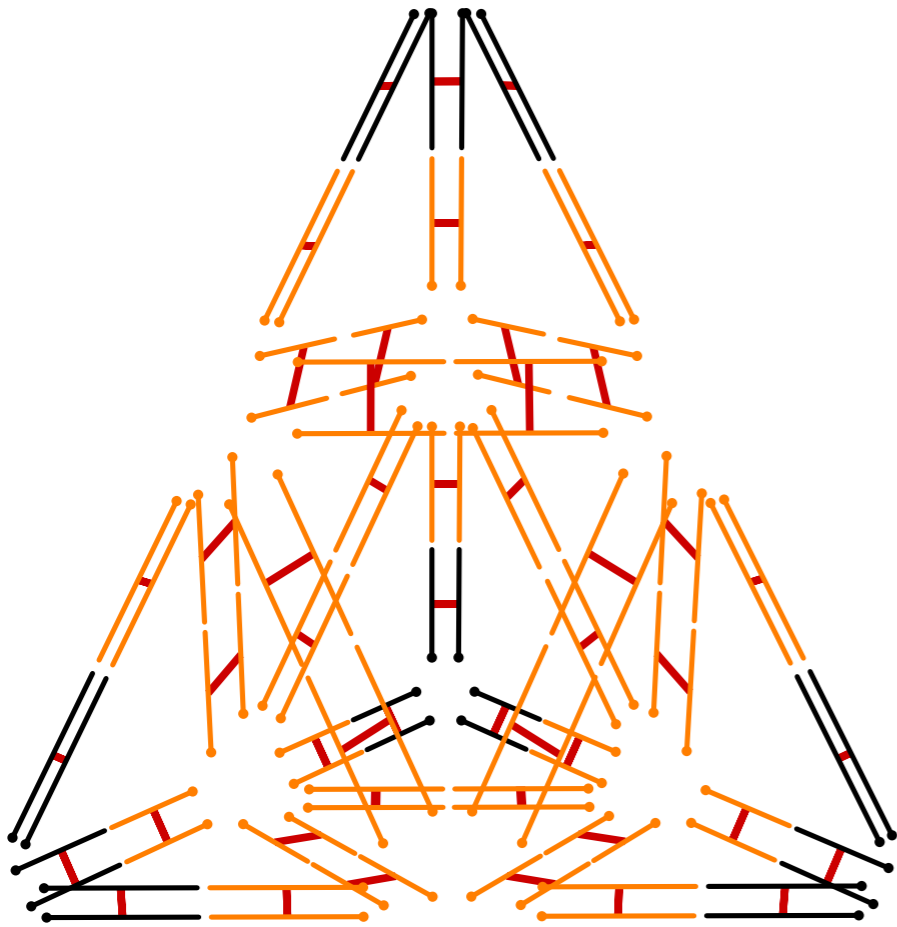
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



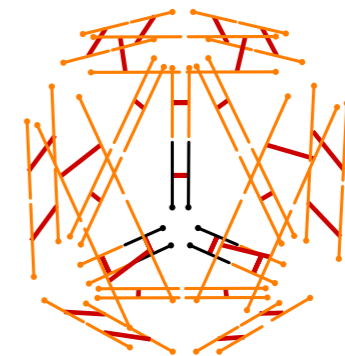
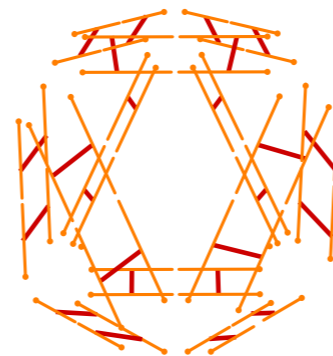
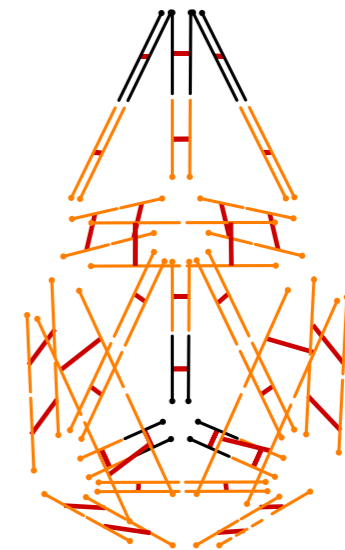
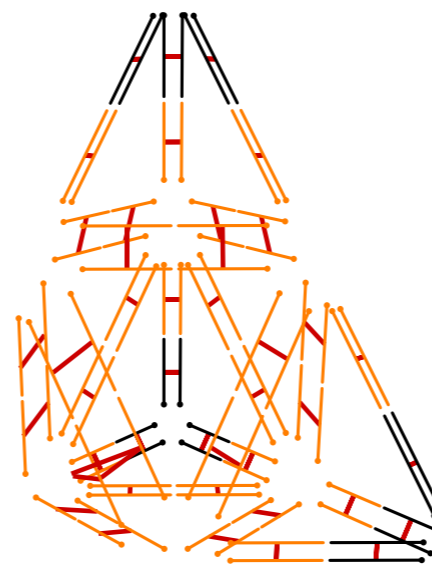
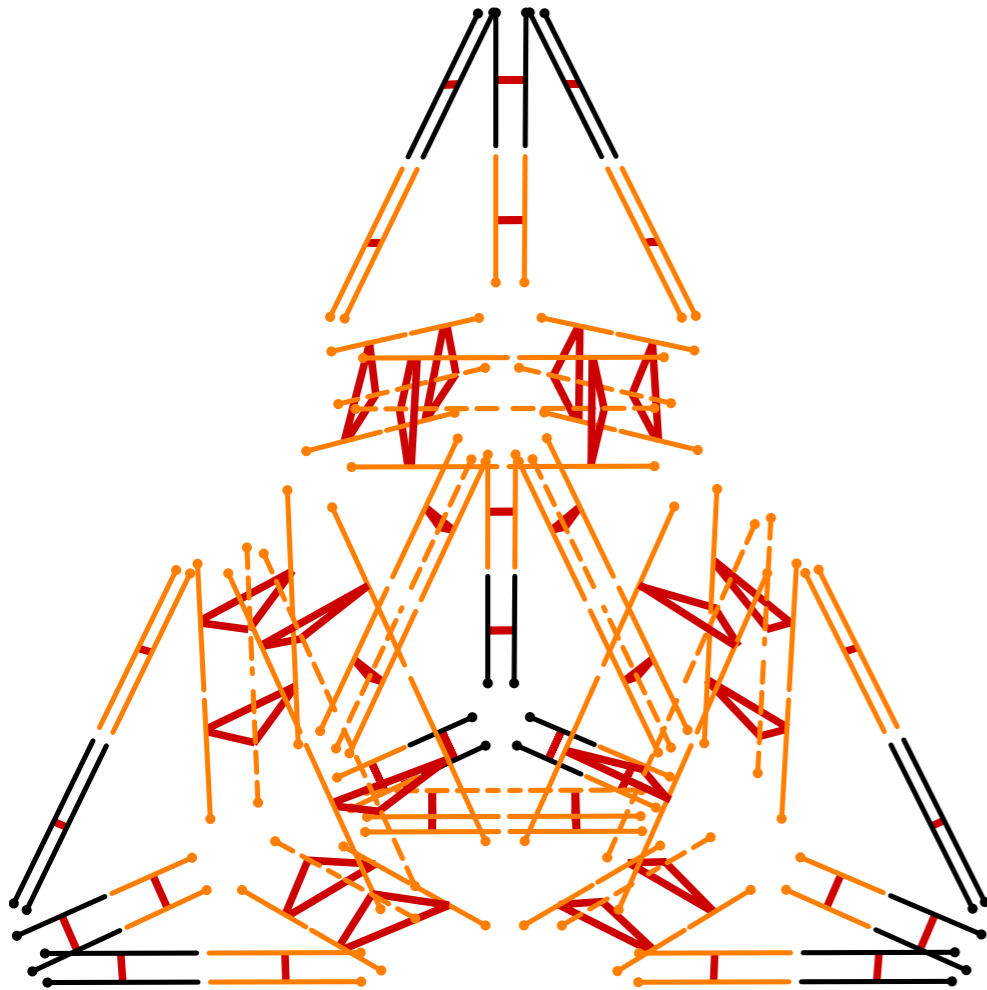
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



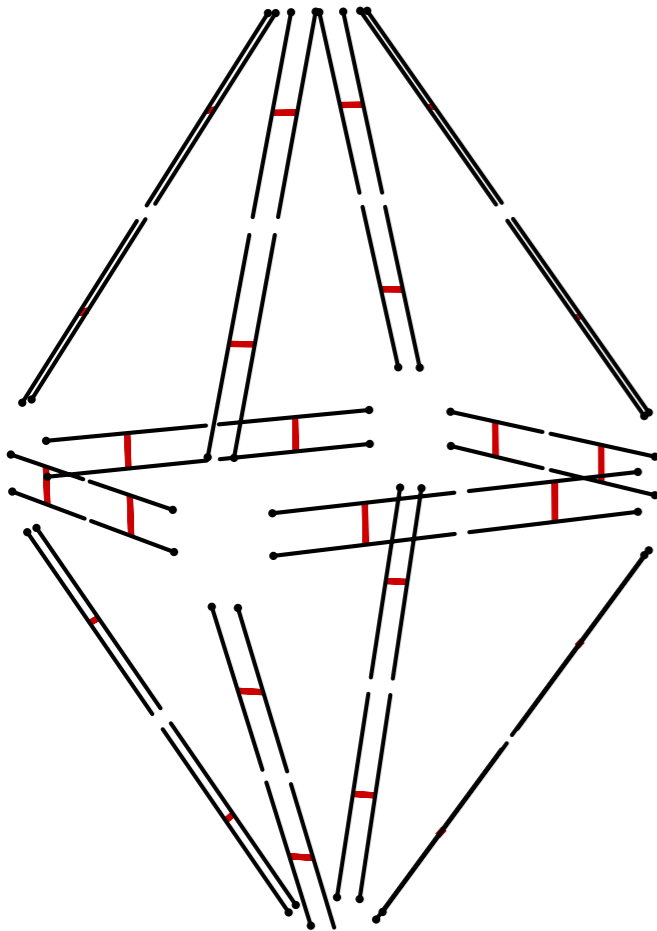
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



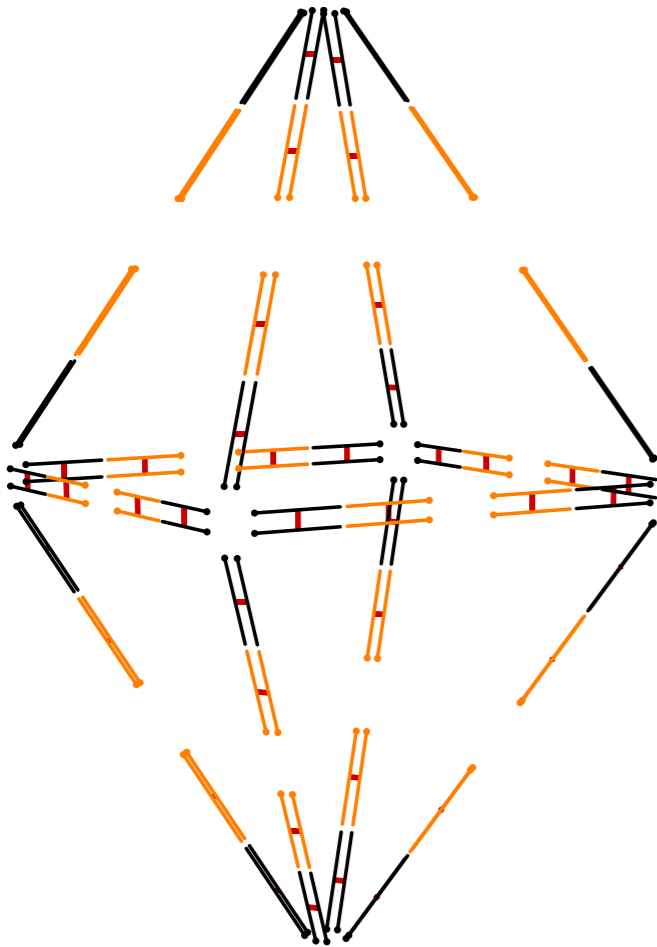
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



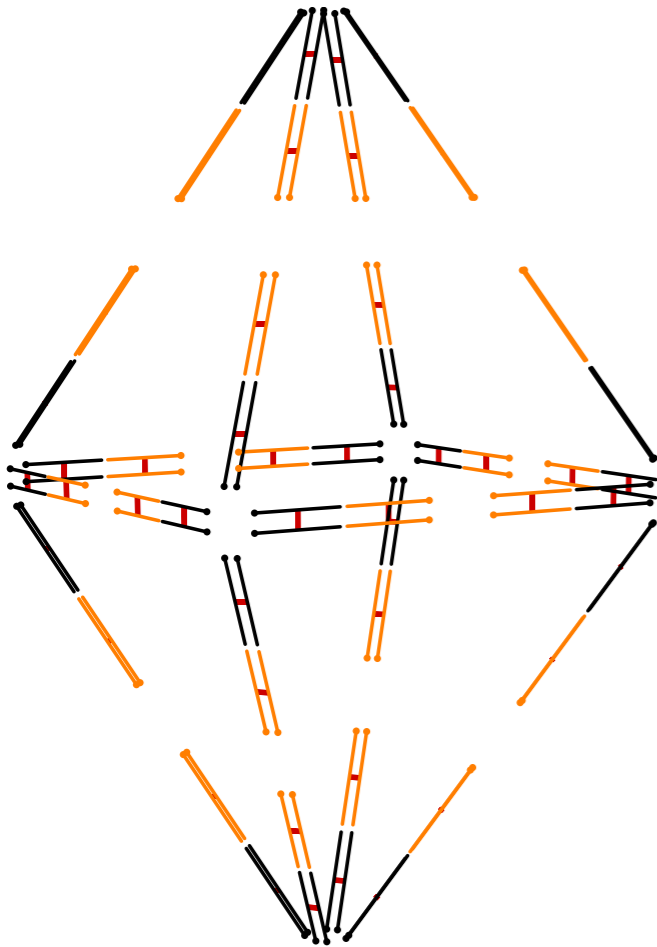
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume





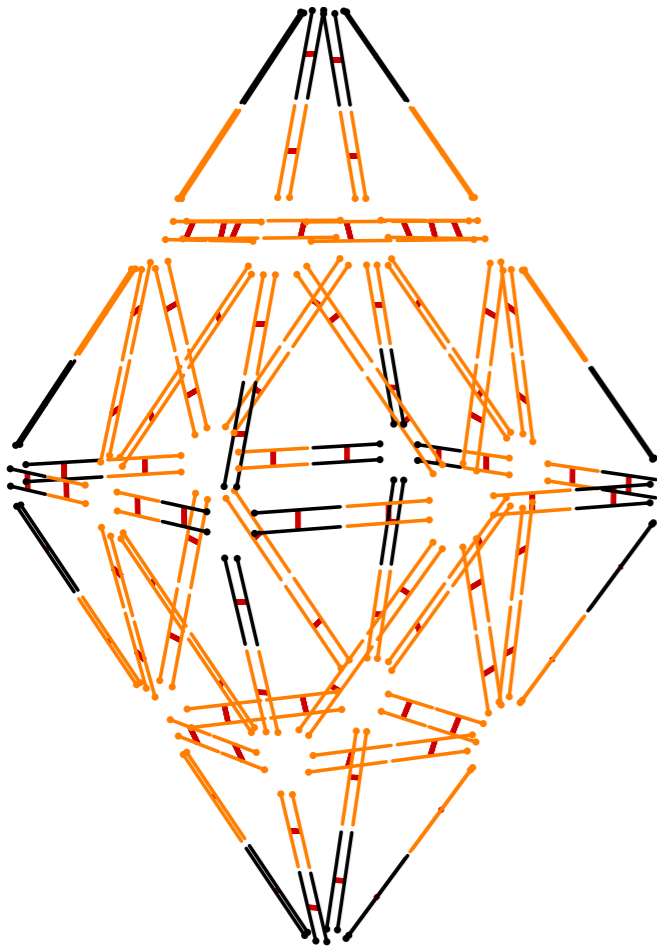
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



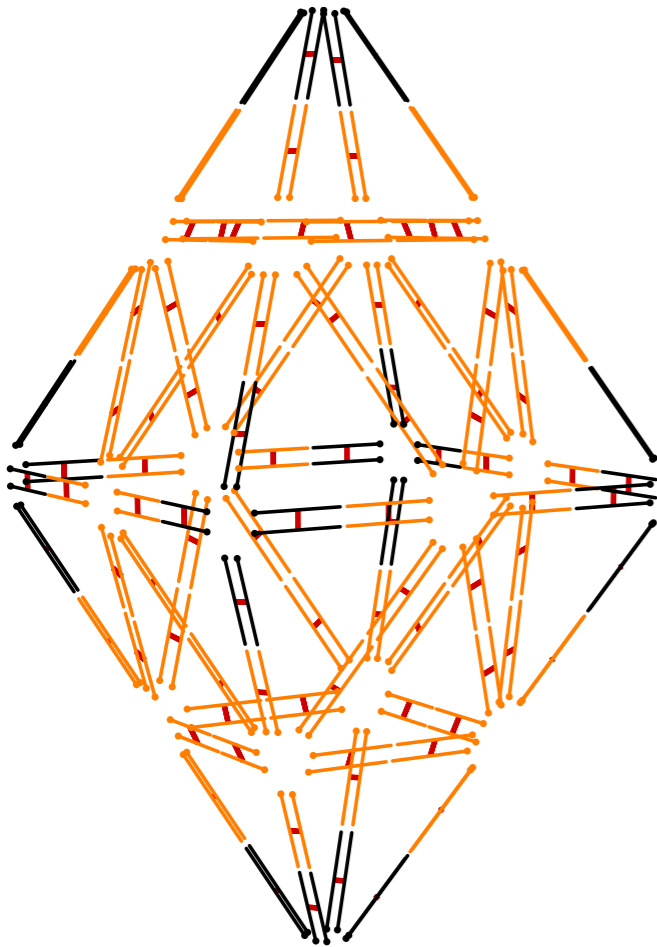
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



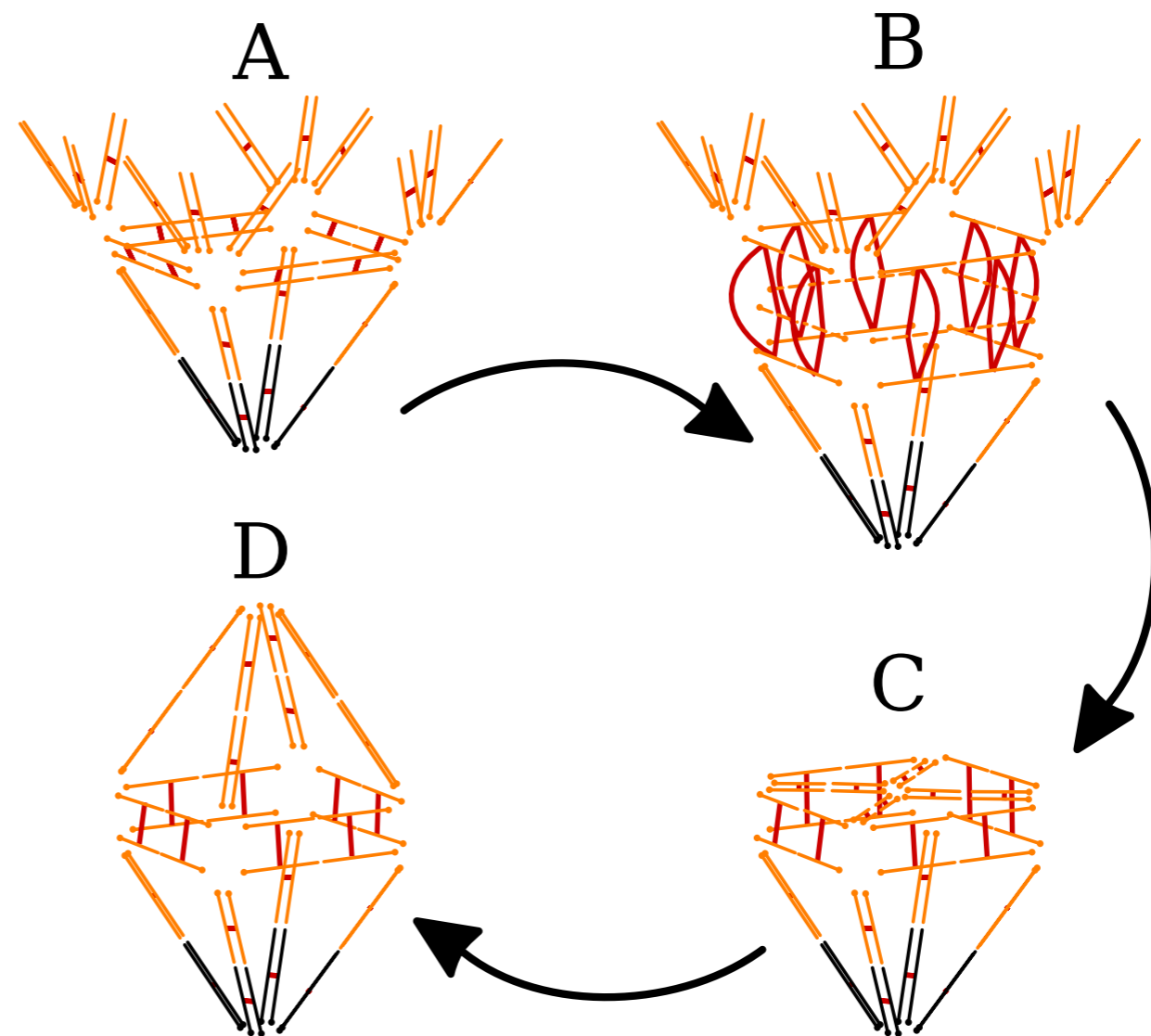
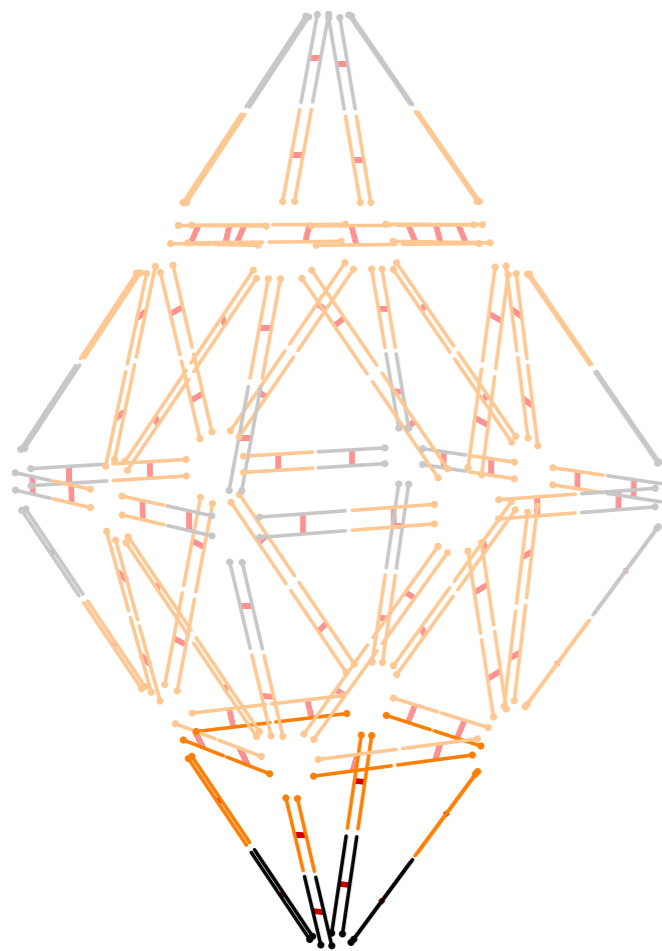
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



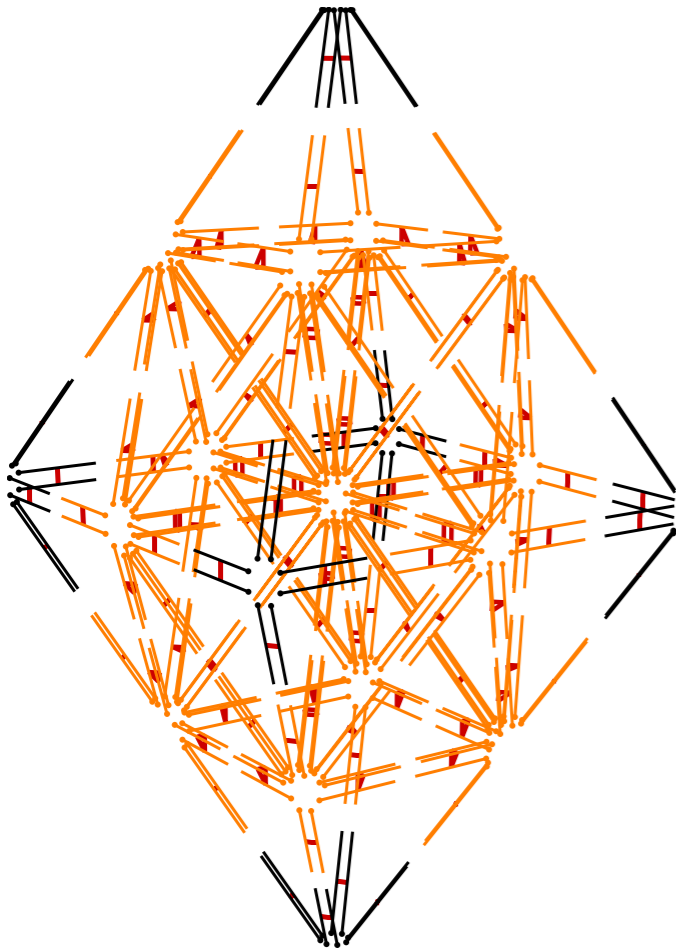
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



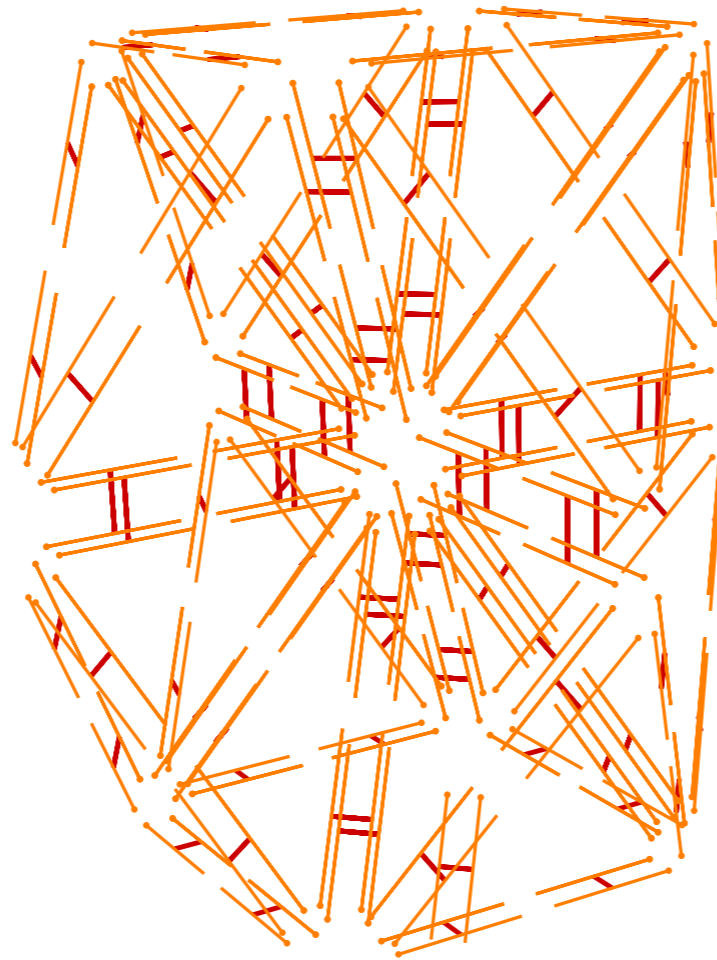
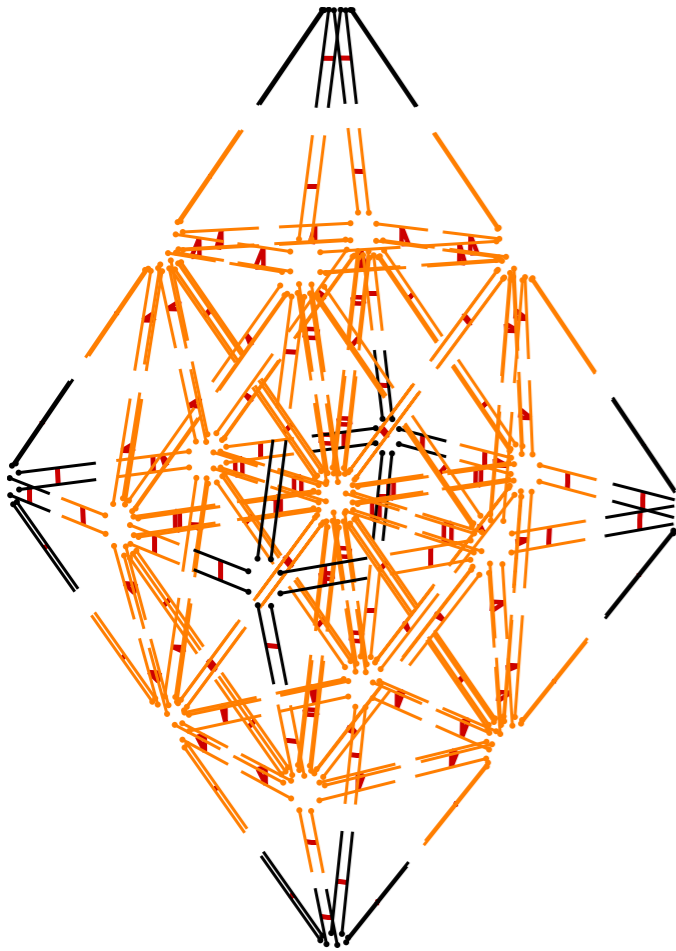
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



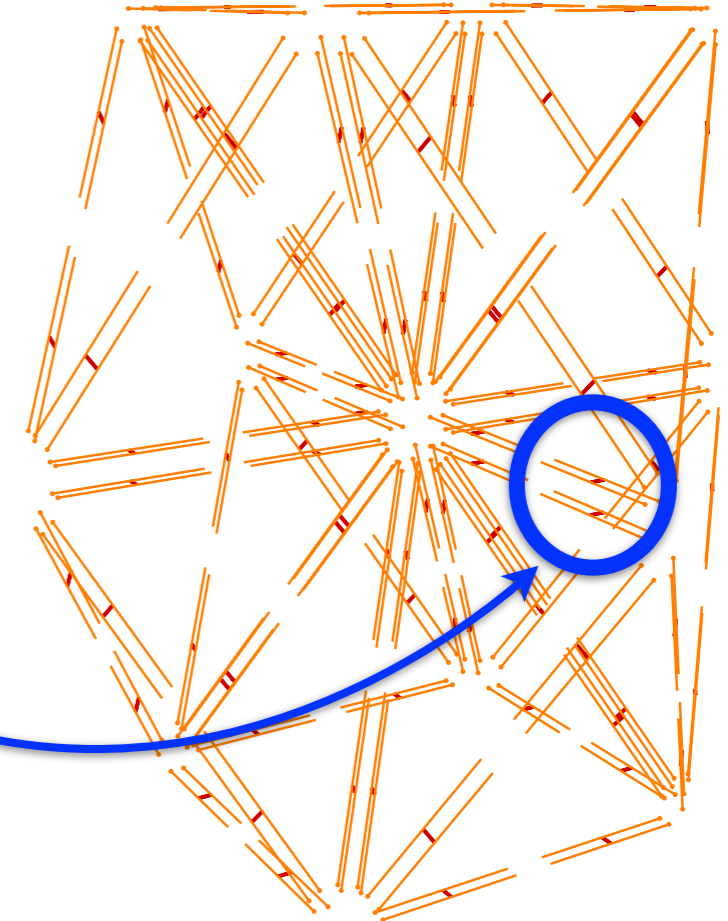
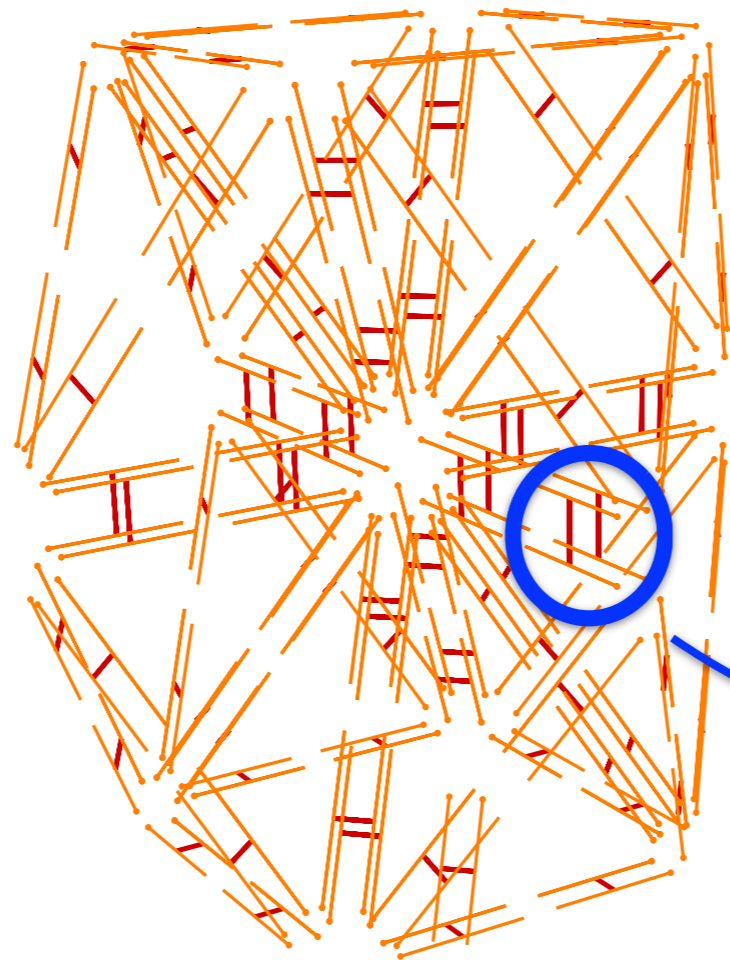
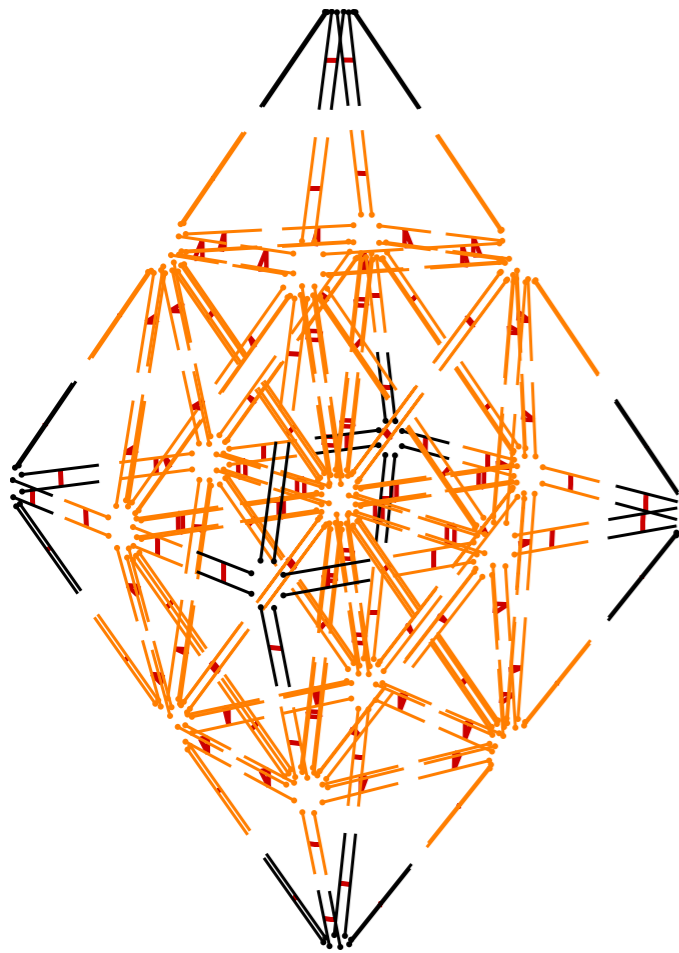
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

arête face volume



# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

- mélange quadrissection tri/quad trivial en 2D
  - extension en 3D non naturelle
- préservation d'un type de polyèdre par le raffinement
  - utile pour des méthodes numériques

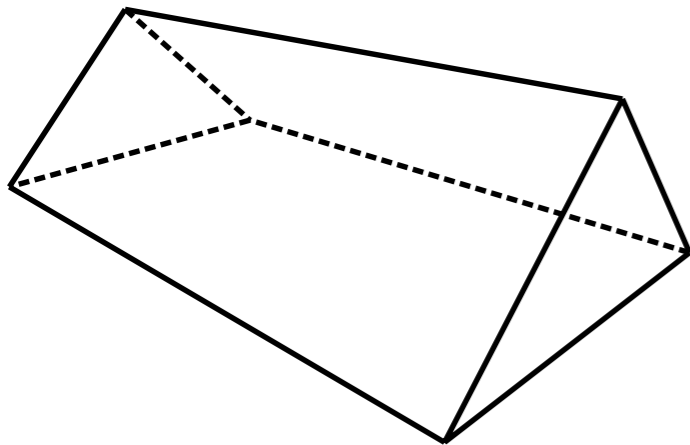
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

- mélange quadrissection tri/quad trivial en 2D
  - extension en 3D non naturelle
- préservation d'un type de polyèdre par le raffinement
  - utile pour des méthodes numériques





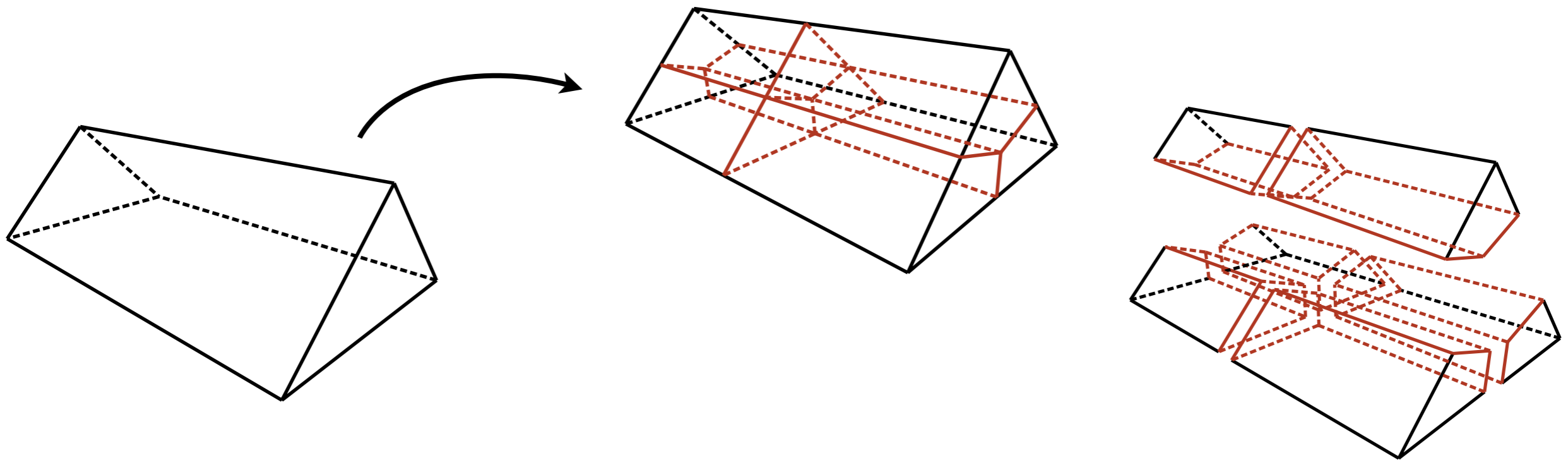
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

- mélange quadrisection tri/quad trivial en 2D
  - extension en 3D non naturelle
- préservation d'un type de polyèdre par le raffinement
  - utile pour des méthodes numériques



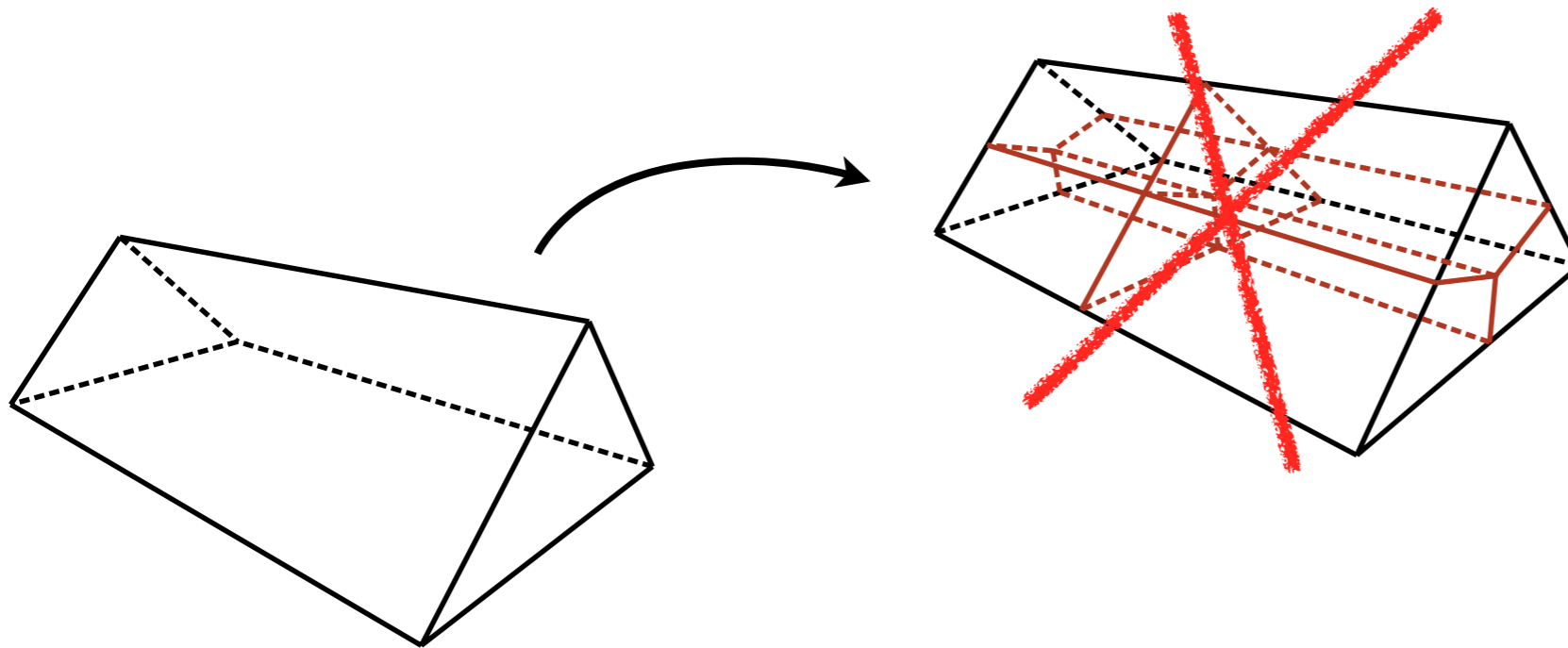
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

- mélange quadrisection tri/quad trivial en 2D
  - extension en 3D non naturelle
- préservation d'un type de polyèdre par le raffinement
  - utile pour des méthodes numériques



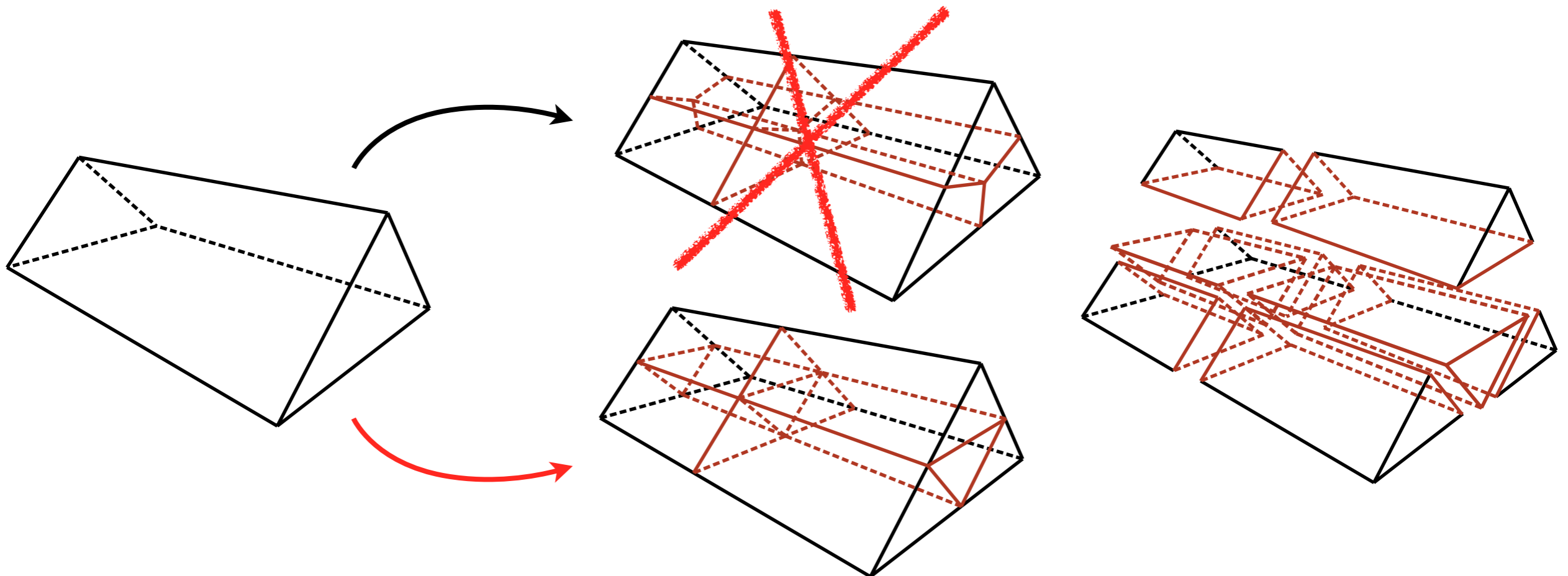
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

- mélange quadrisection tri/quad trivial en 2D
  - extension en 3D non naturelle
- préservation d'un type de polyèdre par le raffinement
  - utile pour des méthodes numériques



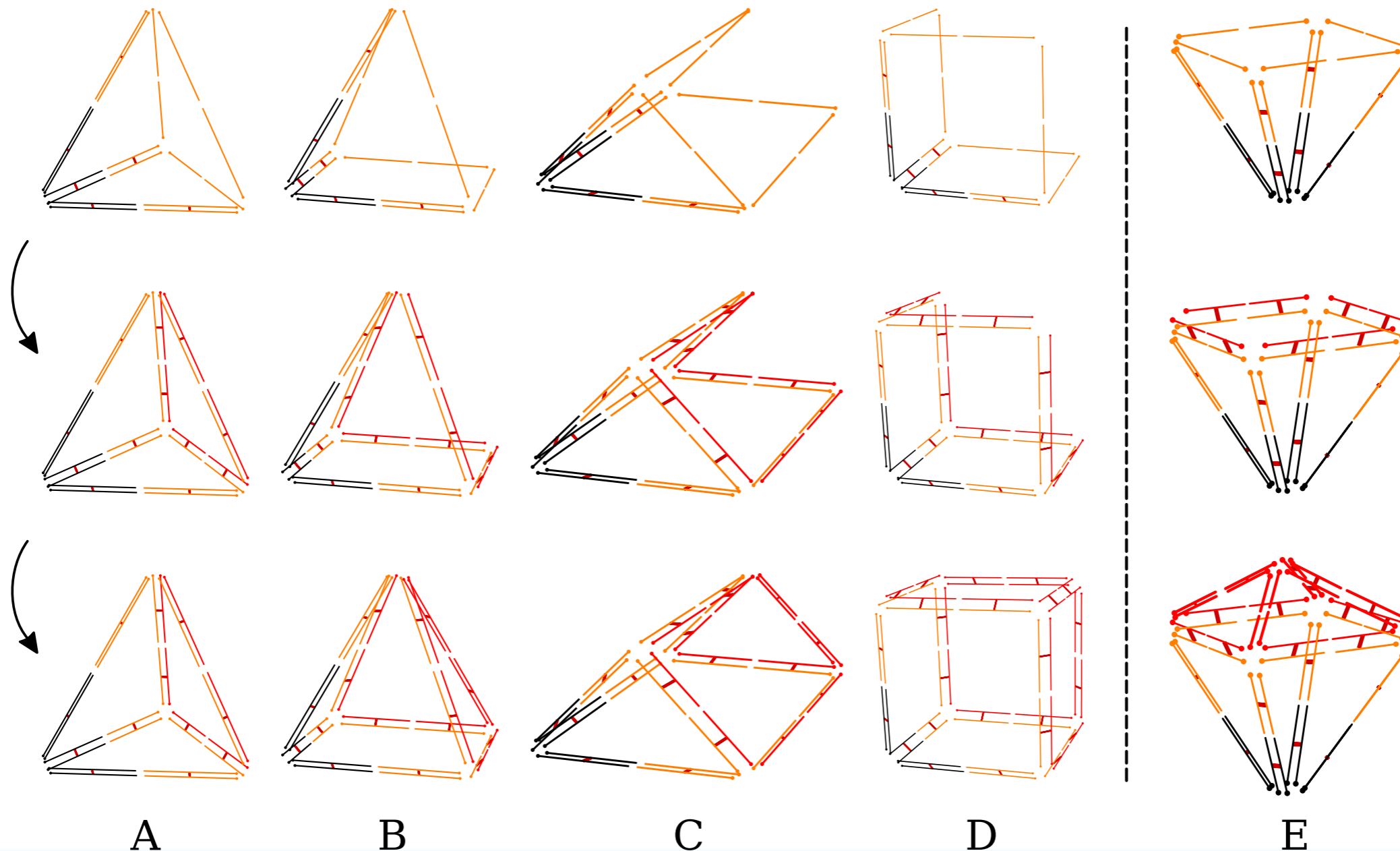
# Raffinements primaux

polyédrique

tétraédrique/octaédrique

mixte

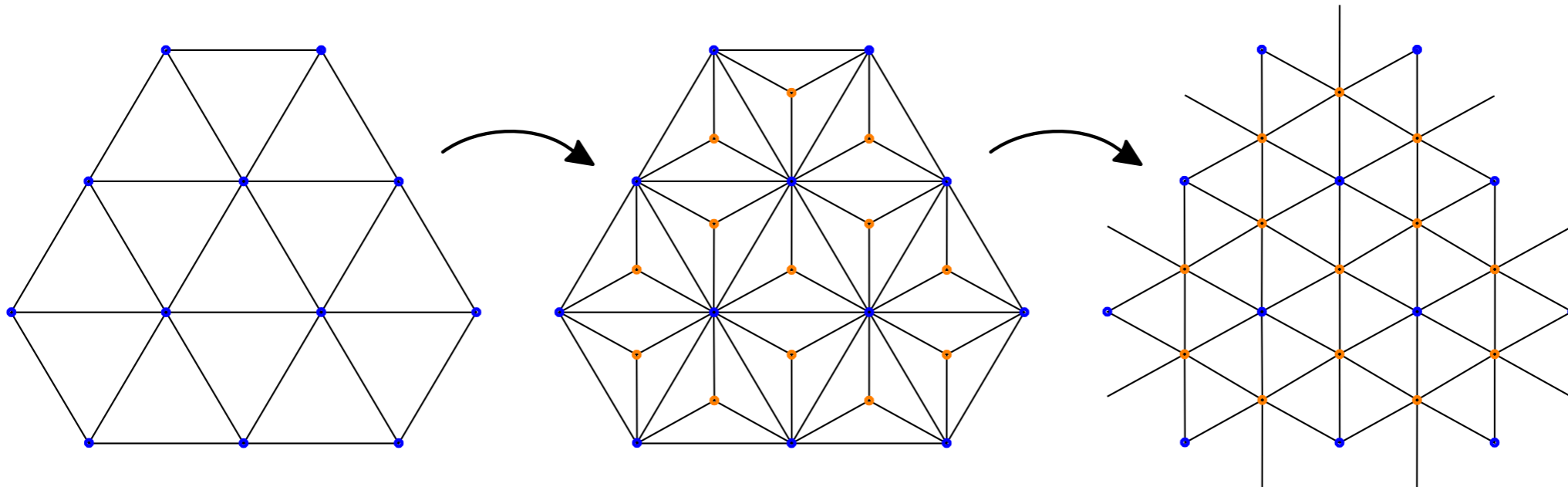
- méthode :
  - énumération de cas qui ont un sens
  - sinon méthode polyédrique



# Autre raffinement

$\sqrt{3}$  volumique

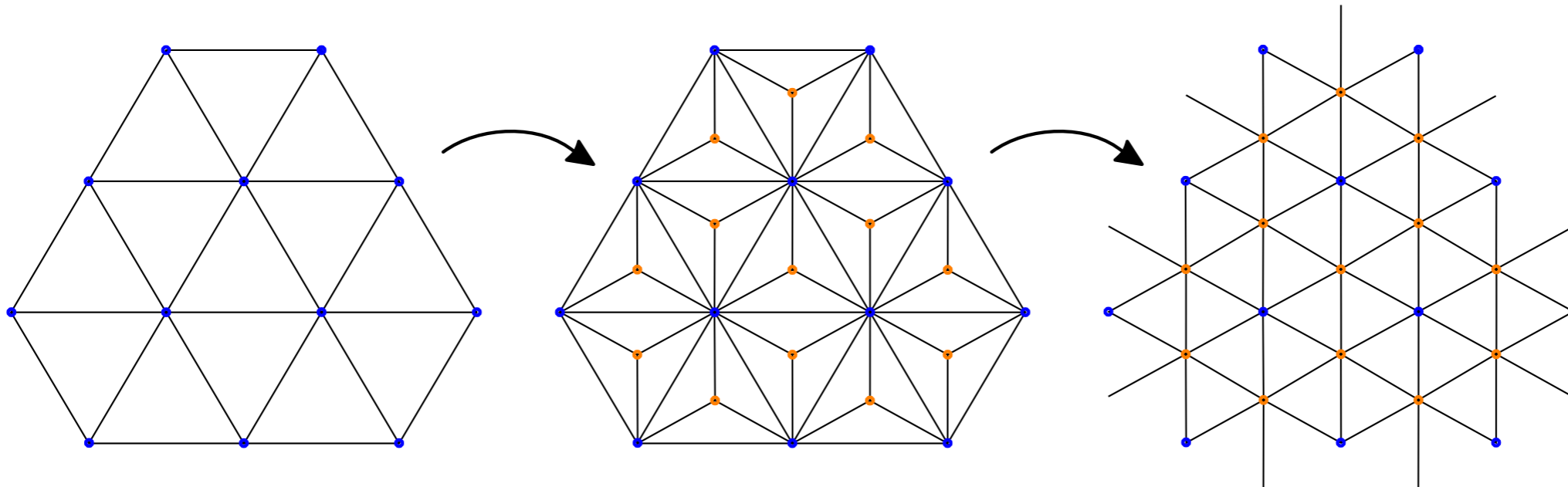
- définition du modèle des cartes multirésolutions non contraint
- autres types d'opérations [BHUI0]
- 1ère version multirésolution de ce raffinement tétraédrique



# Autre raffinement

$\sqrt{3}$  volumique

- définition du modèle des cartes multirésolutions non contraint
- autres types d'opérations [BHUI0]
- 1ère version multirésolution de ce raffinement tétraédrique



- raffinement volumique en 4 étapes :
  - split 1-4 : subdivision des tétraèdres intérieurs en 4
  - swap 2-3 : bascule de la face incidente à deux tétraèdres
  - split 1-3 : subdivision des tétraèdres du bord en 3
  - swapGen 3-2 : bascule d'une arête du bord

[BHUI0] D. Burkhart, B. Hamann et G. Umlauf, *Adaptive and feature-preserving subdivision for high-quality tetrahedral meshes*, Computer Graphics Forum, 29(1):117–127, mars 2010

# Autre raffinement

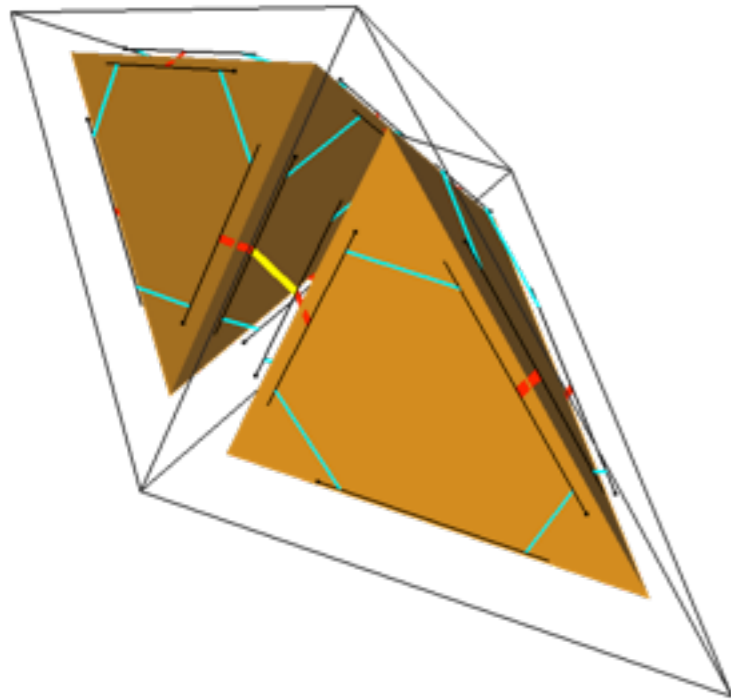
$\sqrt{3}$  volumique

split 1-4

swap 2-3

split 1-3

swapGen 3-2



# Autre raffinement

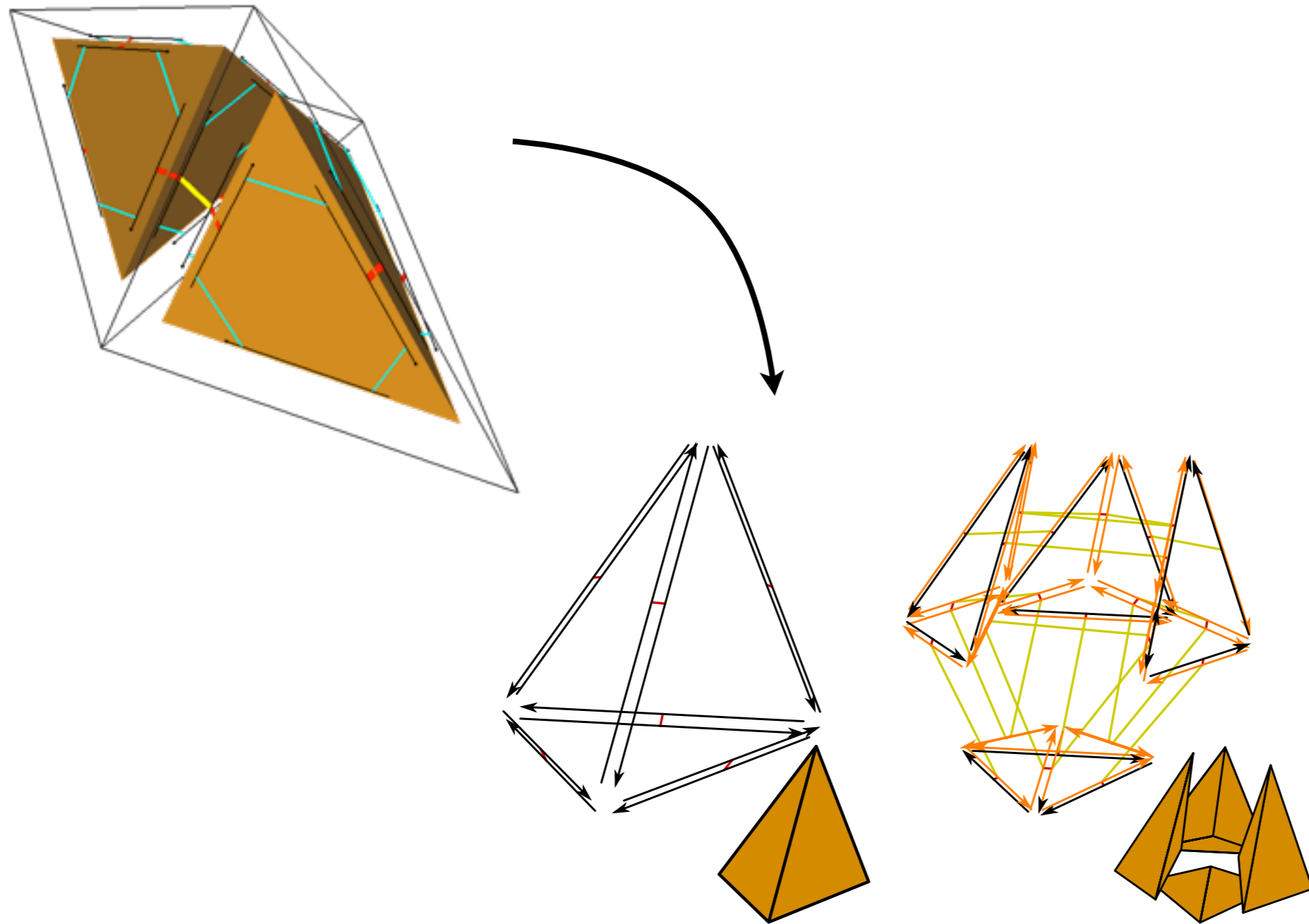
$\sqrt{3}$  volumique

split 1-4

swap 2-3

split 1-3

swapGen 3-2





# Autre raffinement

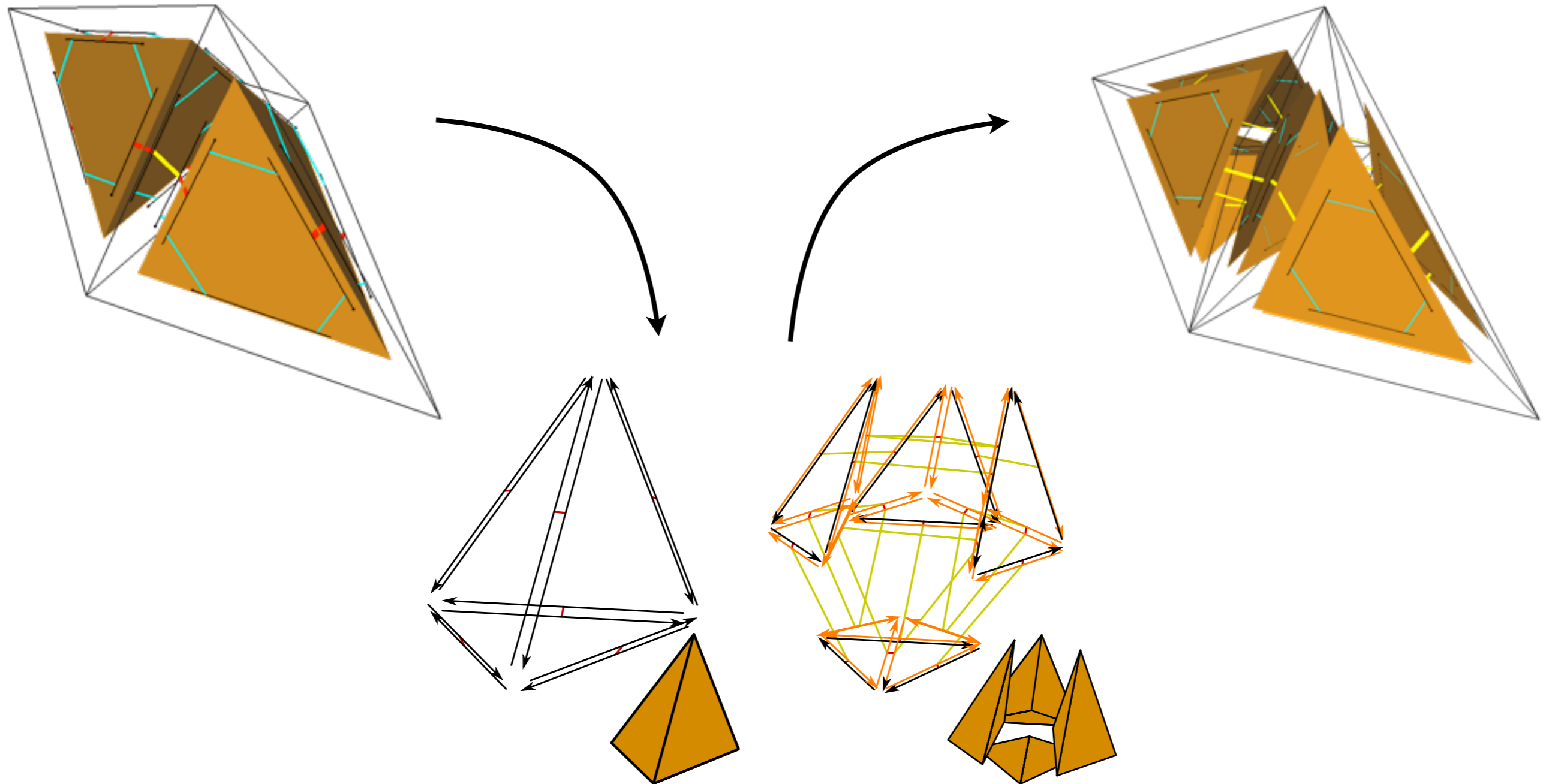
$\sqrt{3}$  volumique

split 1-4

swap 2-3

split 1-3

swapGen 3-2



# Autre raffinement

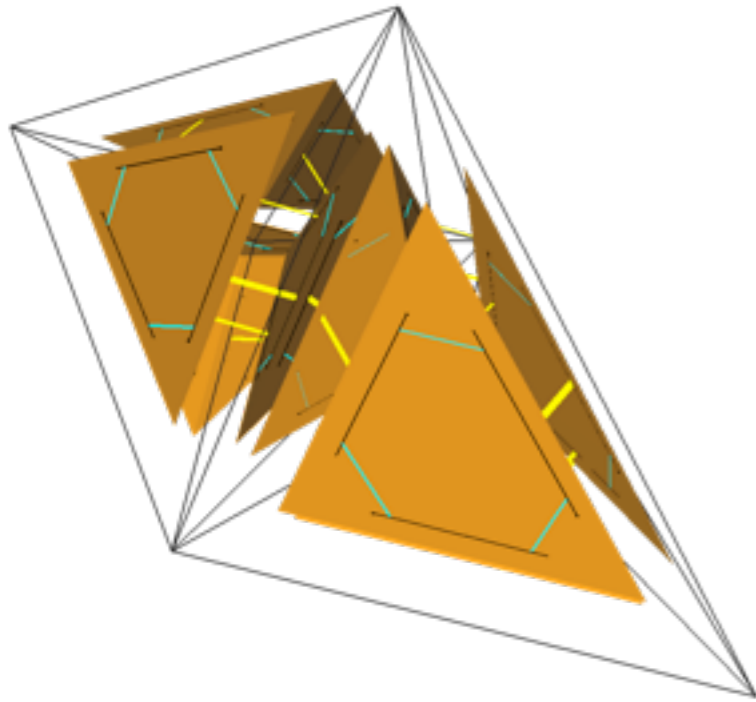
$\sqrt{3}$  volumique

split 1-4

swap 2-3

split 1-3

swapGen 3-2



# Autre raffinement

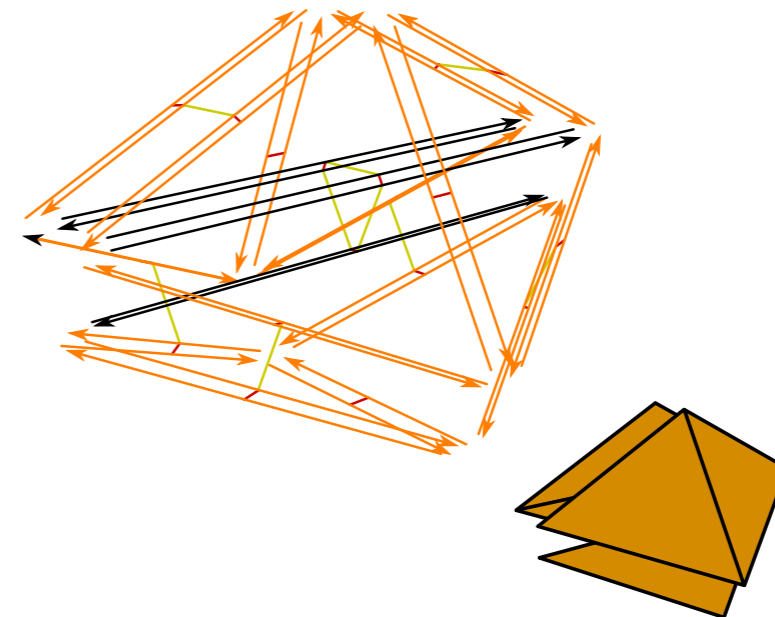
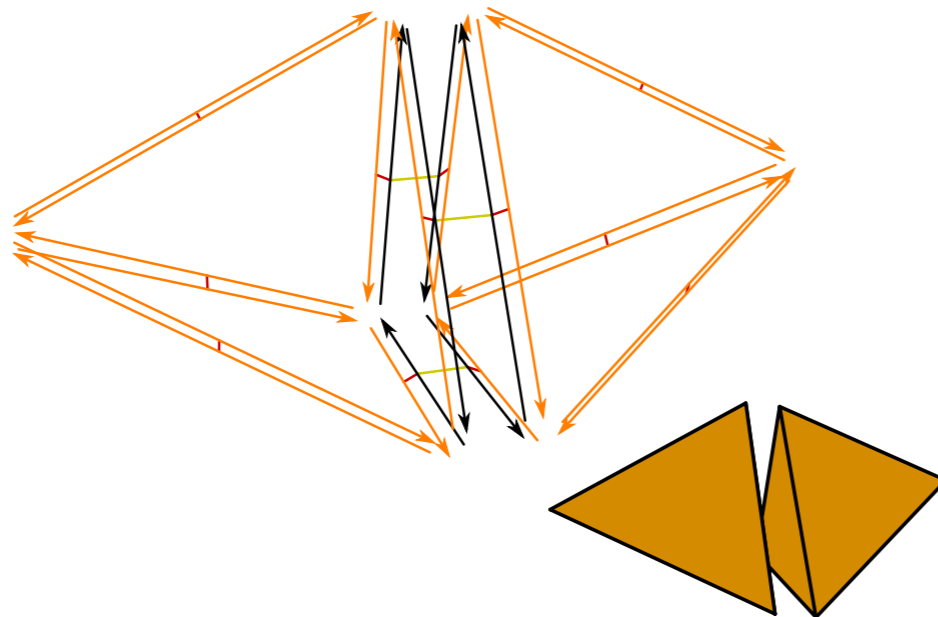
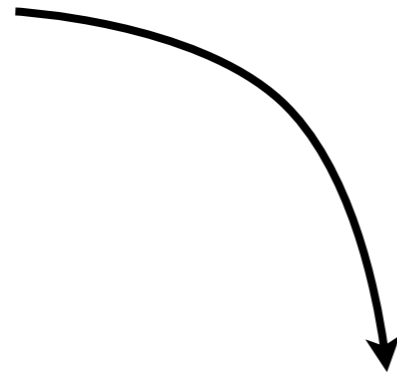
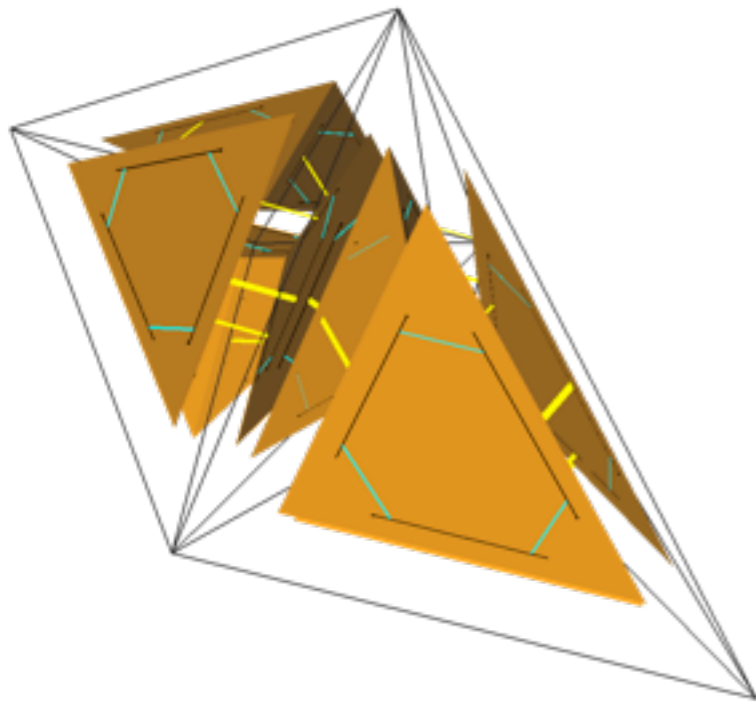
$\sqrt{3}$  volumique

split 1-4

swap 2-3

split 1-3

swapGen 3-2



# Autre raffinement

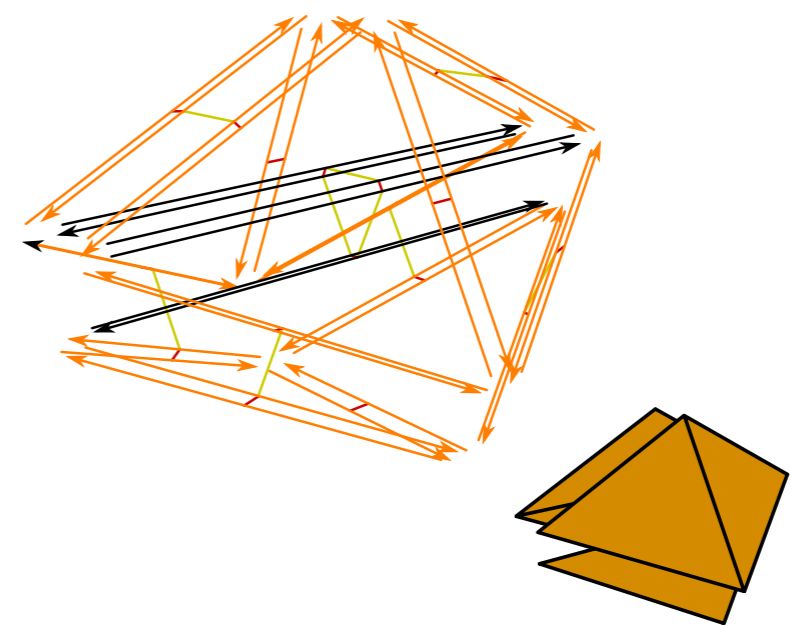
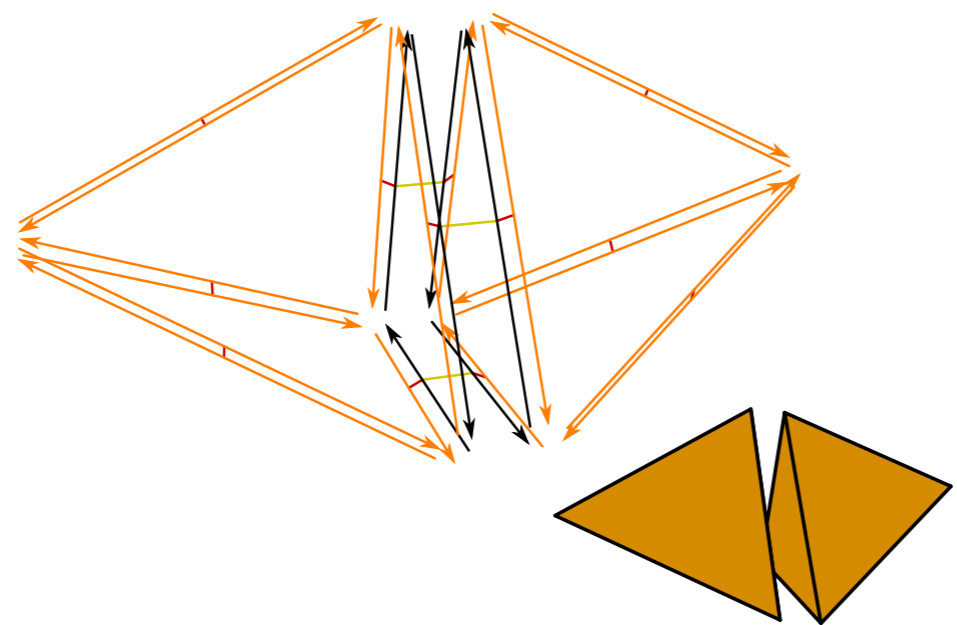
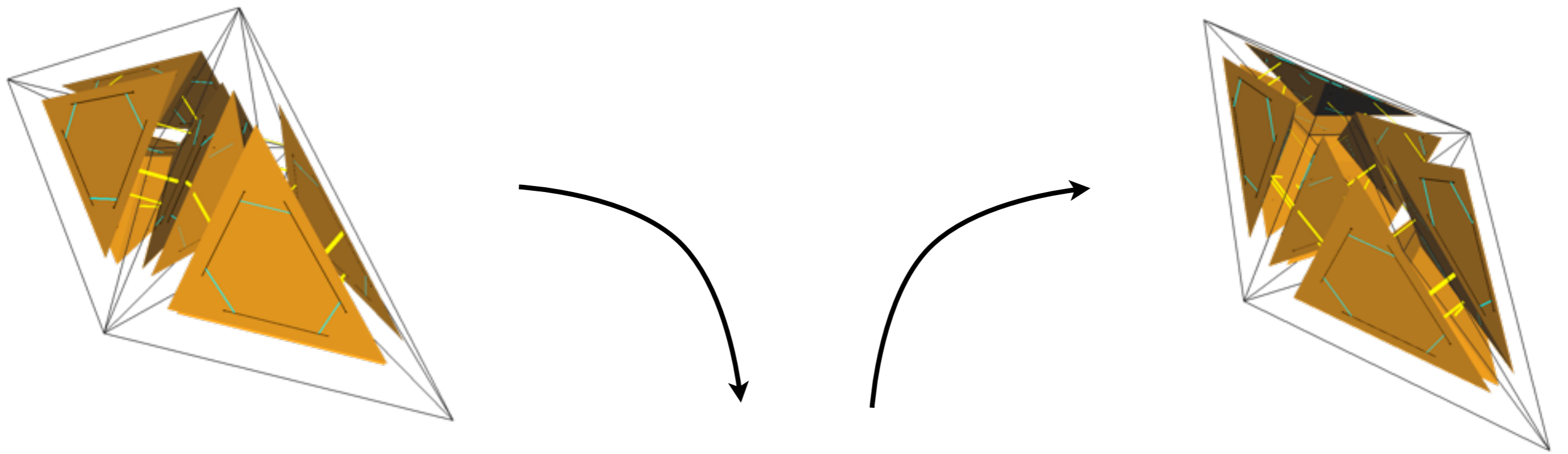
$\sqrt{3}$  volumique

split 1-4

swap 2-3

split 1-3

swapGen 3-2



# Autre raffinement

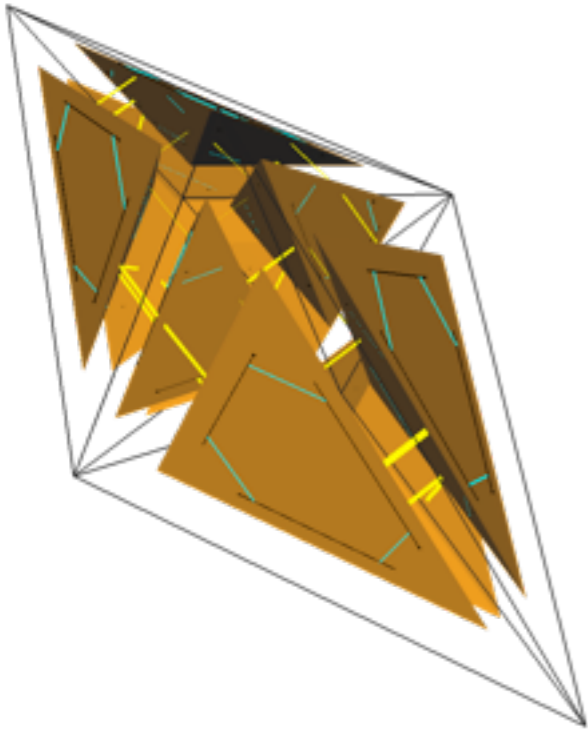
$\sqrt{3}$  volumique

split 1-4

swap 2-3

split 1-3

swapGen 3-2



# Autre raffinement

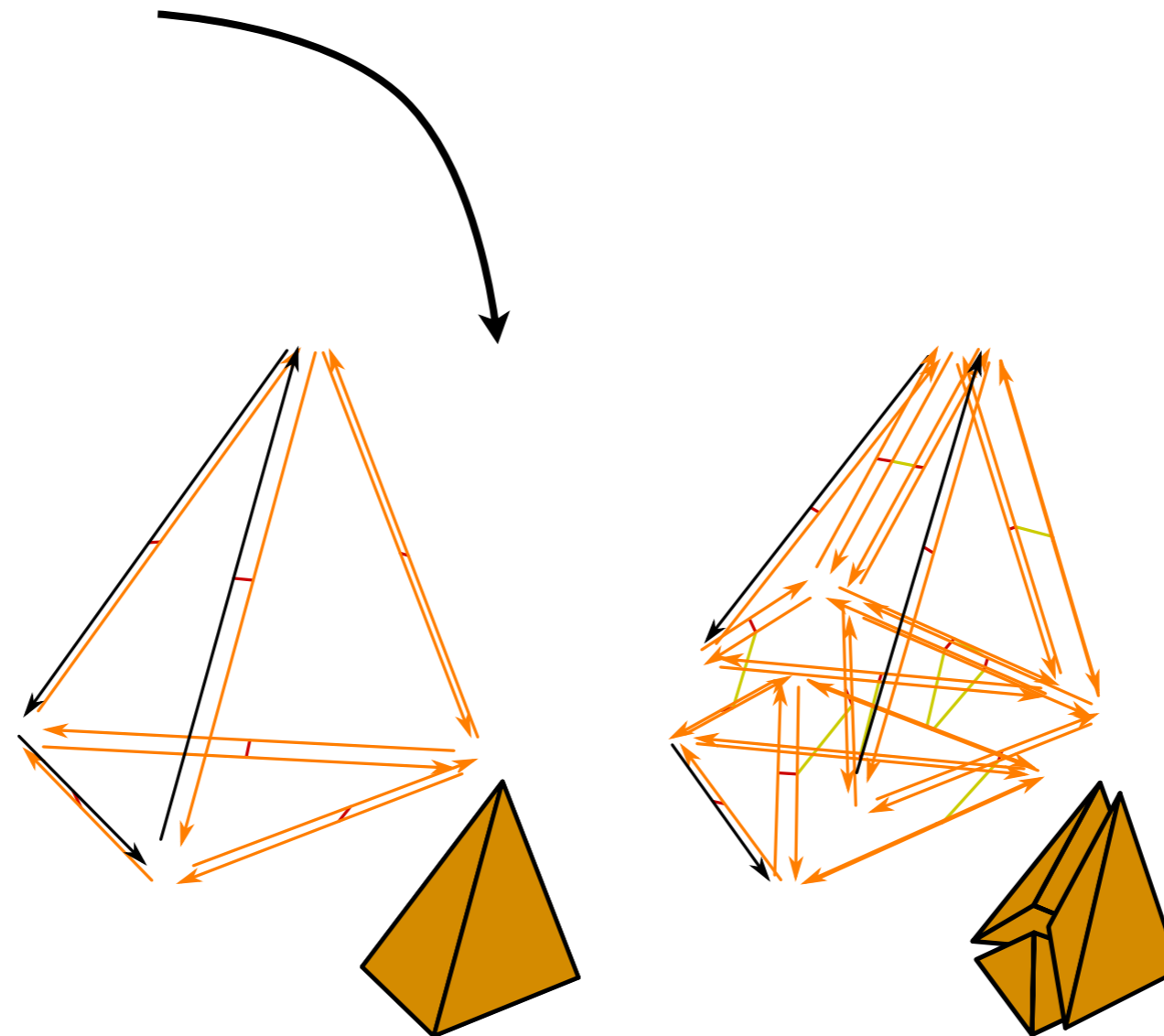
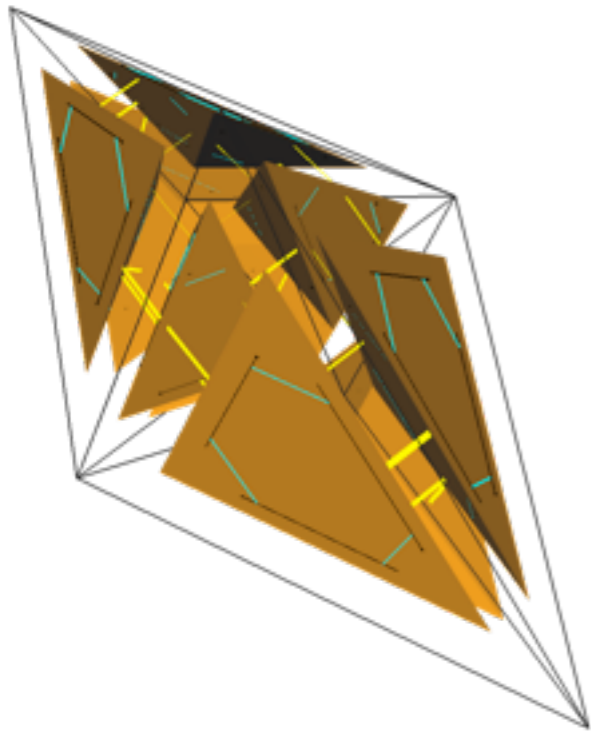
$\sqrt{3}$  volumique

split 1-4

swap 2-3

split 1-3

swapGen 3-2



# Autre raffinement

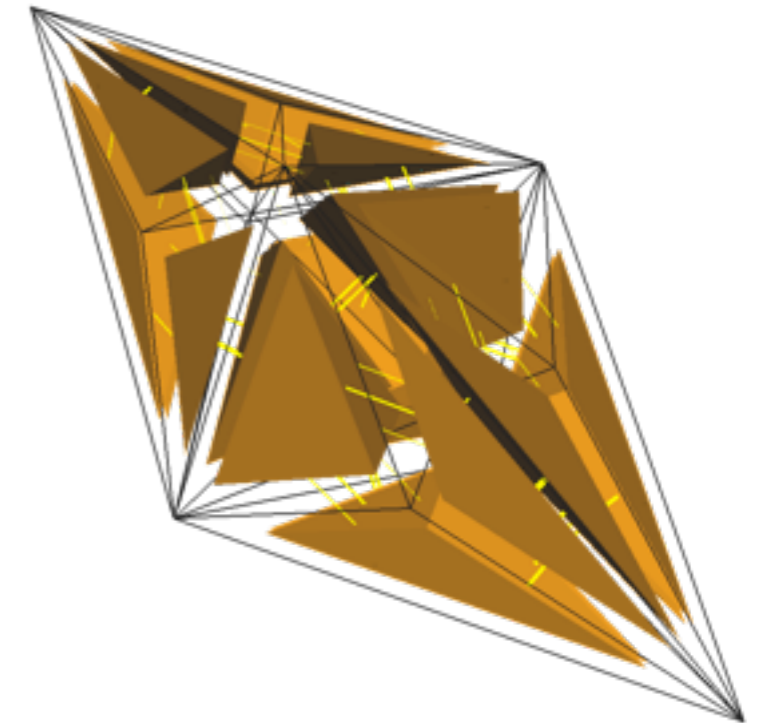
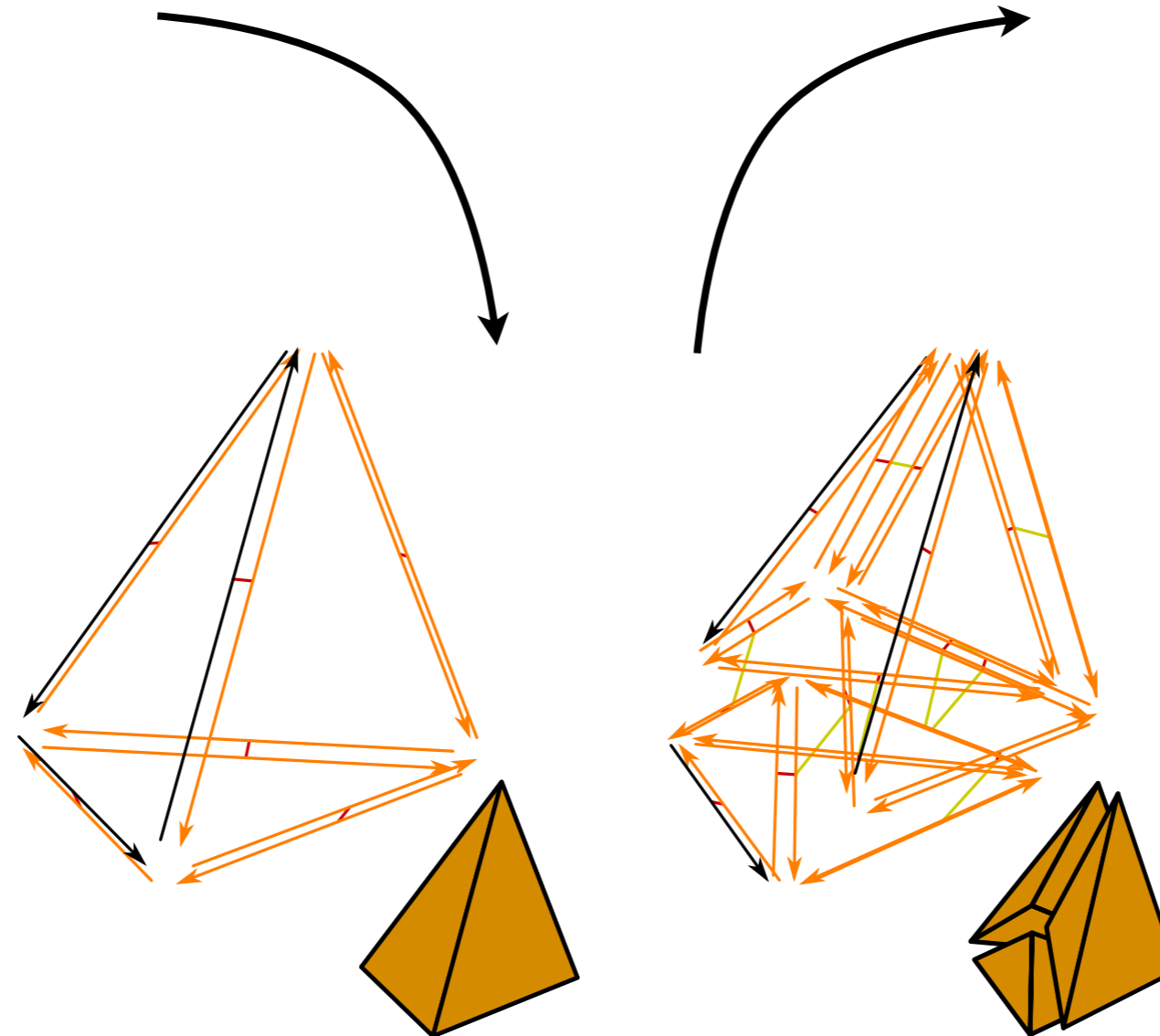
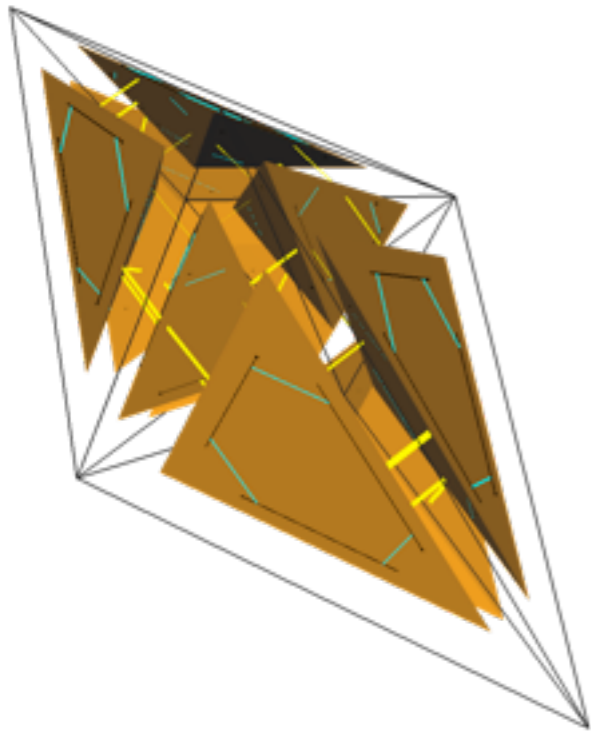
$\sqrt{3}$  volumique

split 1-4

swap 2-3

split 1-3

swapGen 3-2



# Autre raffinement

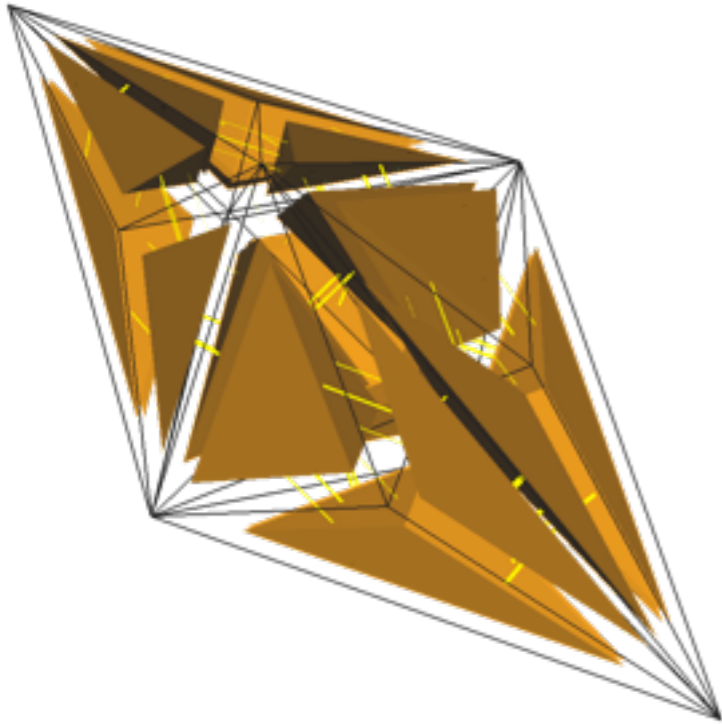
$\sqrt{3}$  volumique

split 1-4

swap 2-3

split 1-3

swapGen 3-2





# Autre raffinement

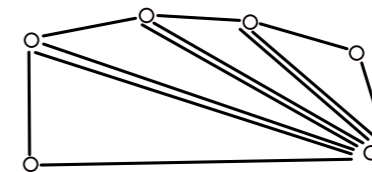
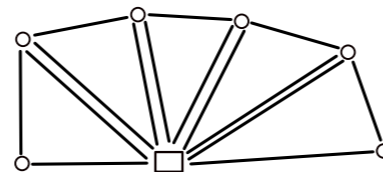
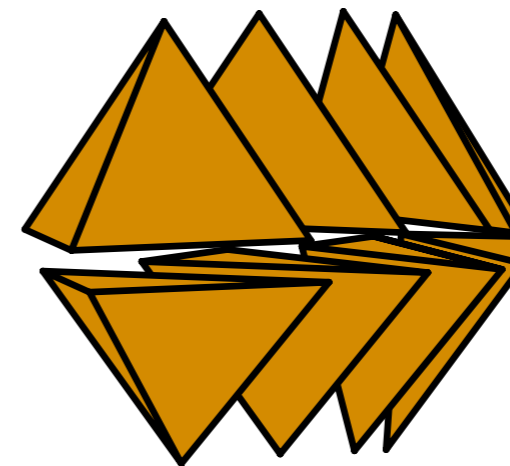
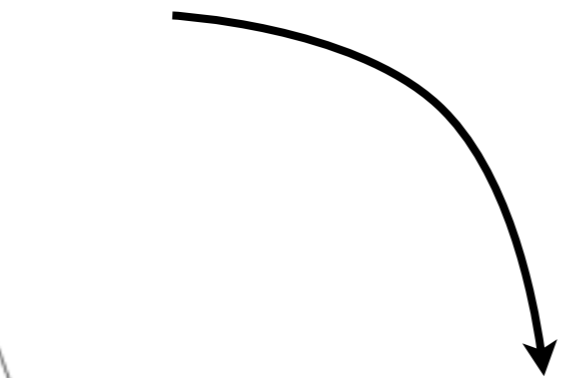
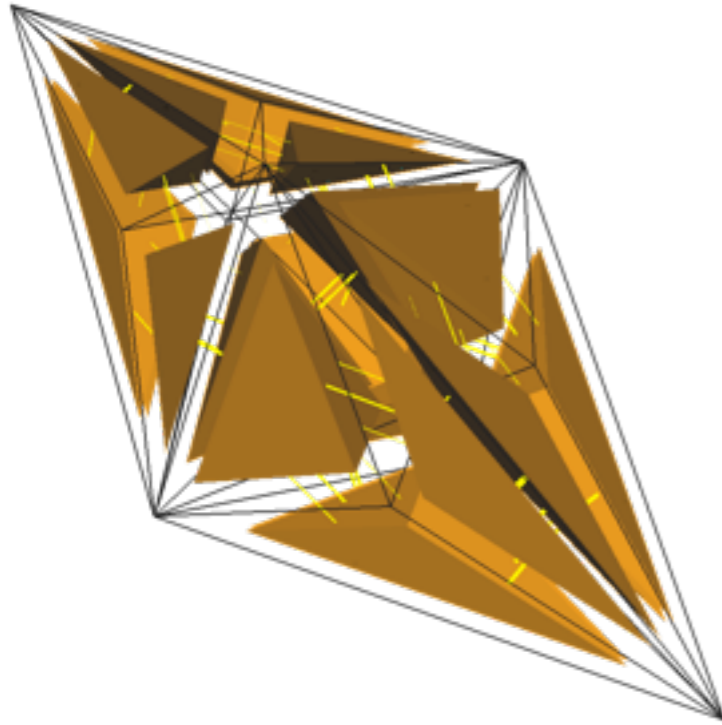
$\sqrt{3}$  volumique

split 1-4

swap 2-3

split 1-3

swapGen 3-2



# Autre raffinement

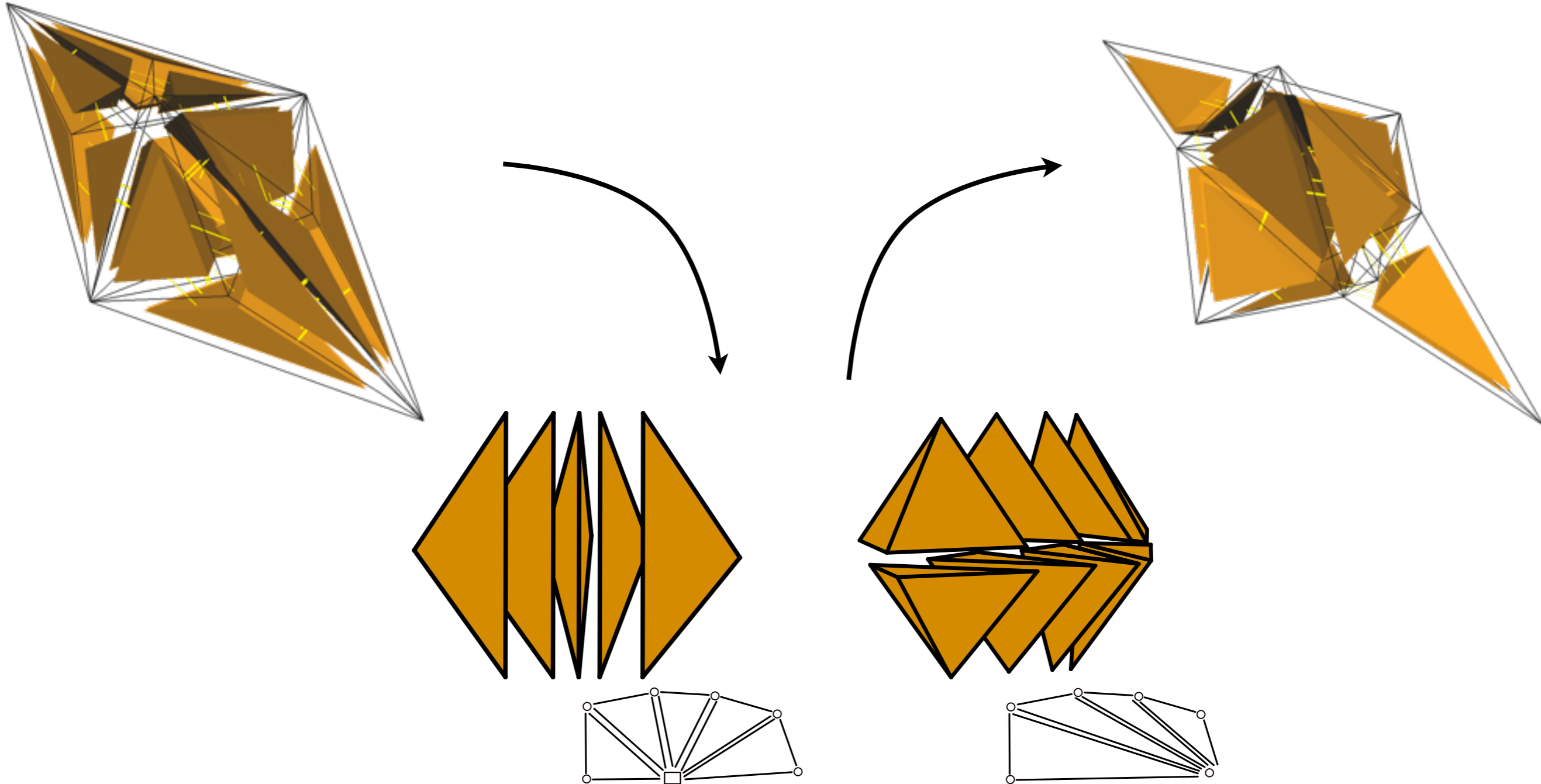
$\sqrt{3}$  volumique

split 1-4

swap 2-3

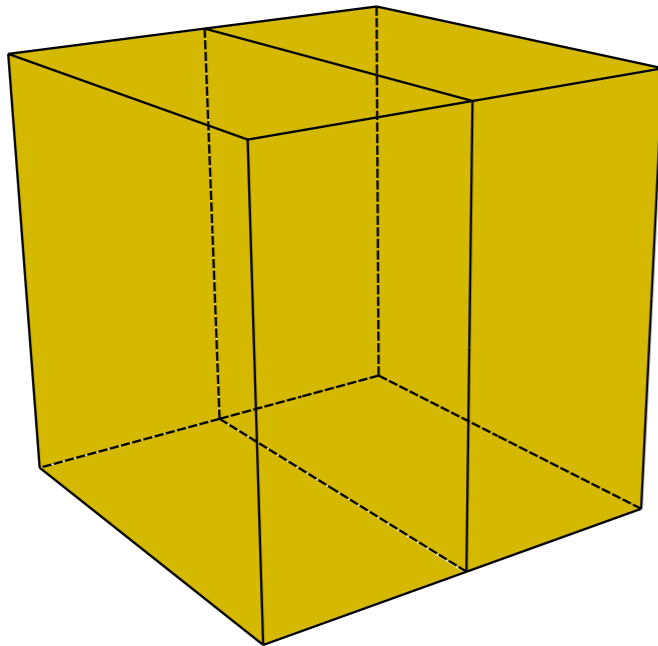
split 1-3

swapGen 3-2



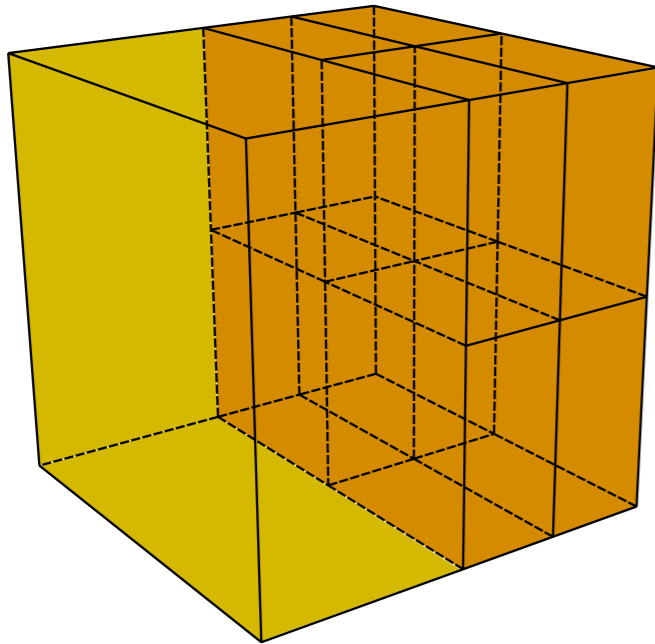
# Subdivision adaptative

- support naturel de la subdivision adaptative
  - niveau de subdivision d'une cellule dans un maillage de niveau  $i$



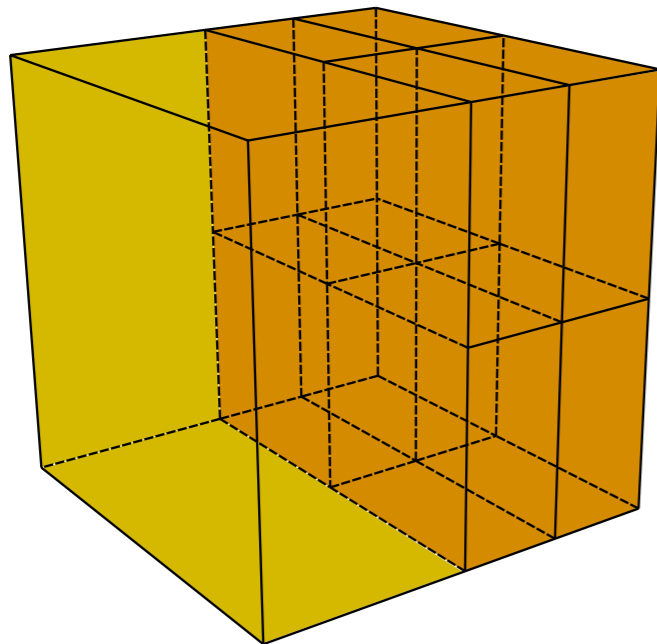
# Subdivision adaptative

- support naturel de la subdivision adaptative
  - niveau de subdivision d'une cellule dans un maillage de niveau  $i$

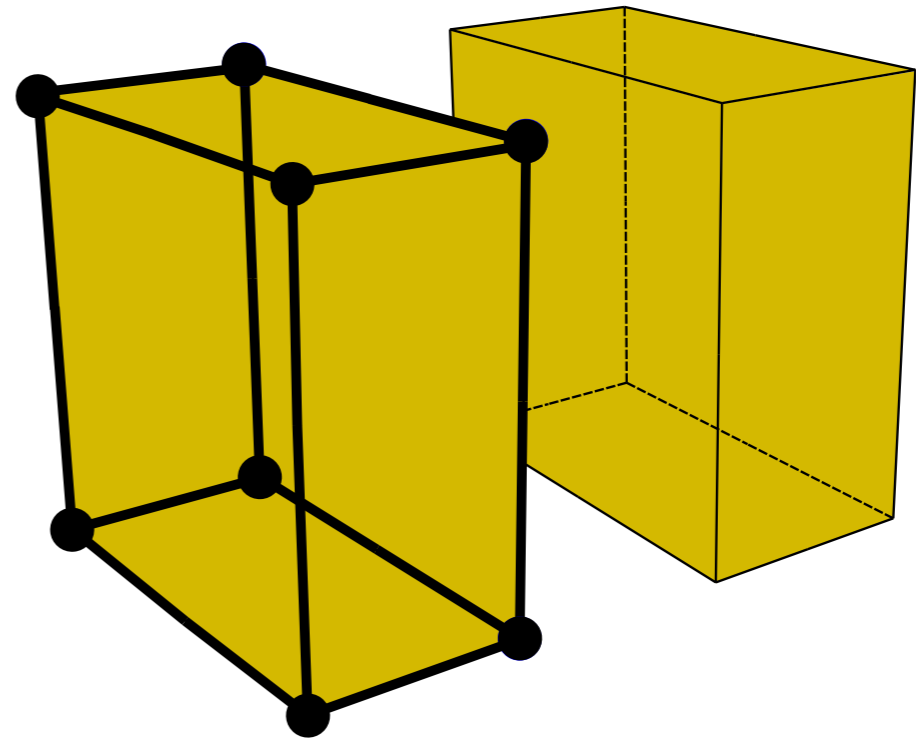


# Subdivision adaptative

- support naturel de la subdivision adaptative
  - niveau de subdivision d'une cellule dans un maillage de niveau  $i$

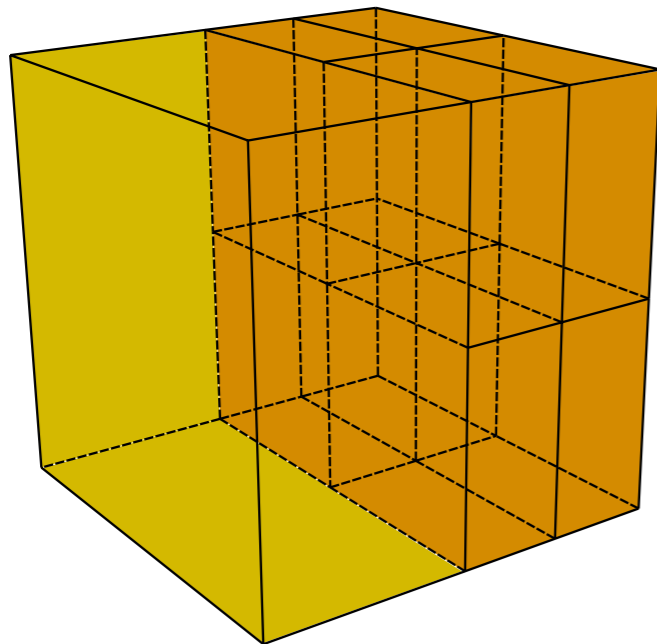


niveau  $i$

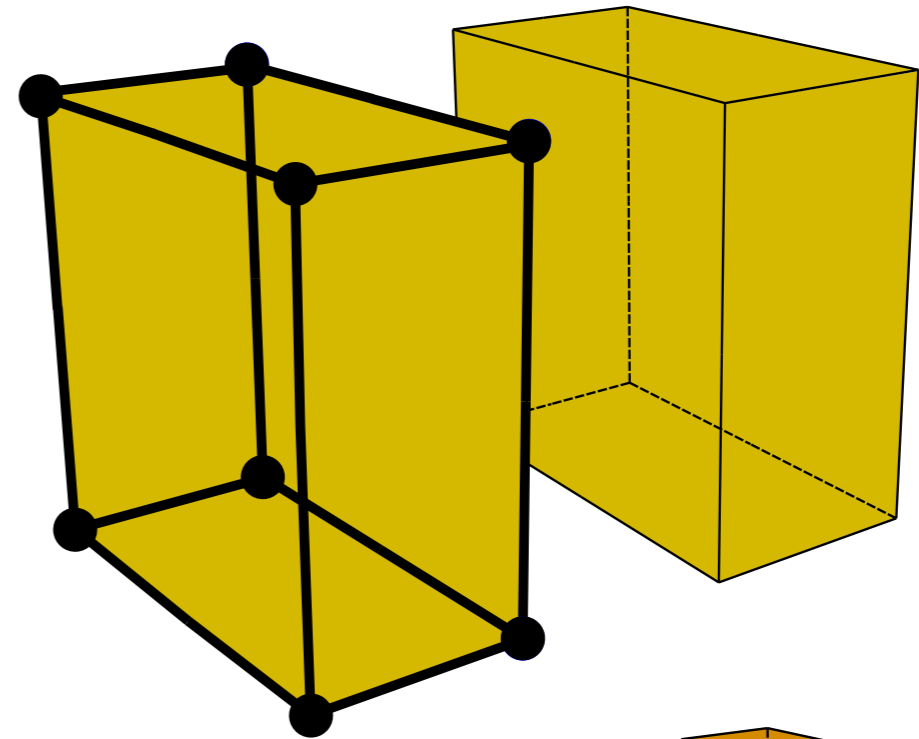


# Subdivision adaptative

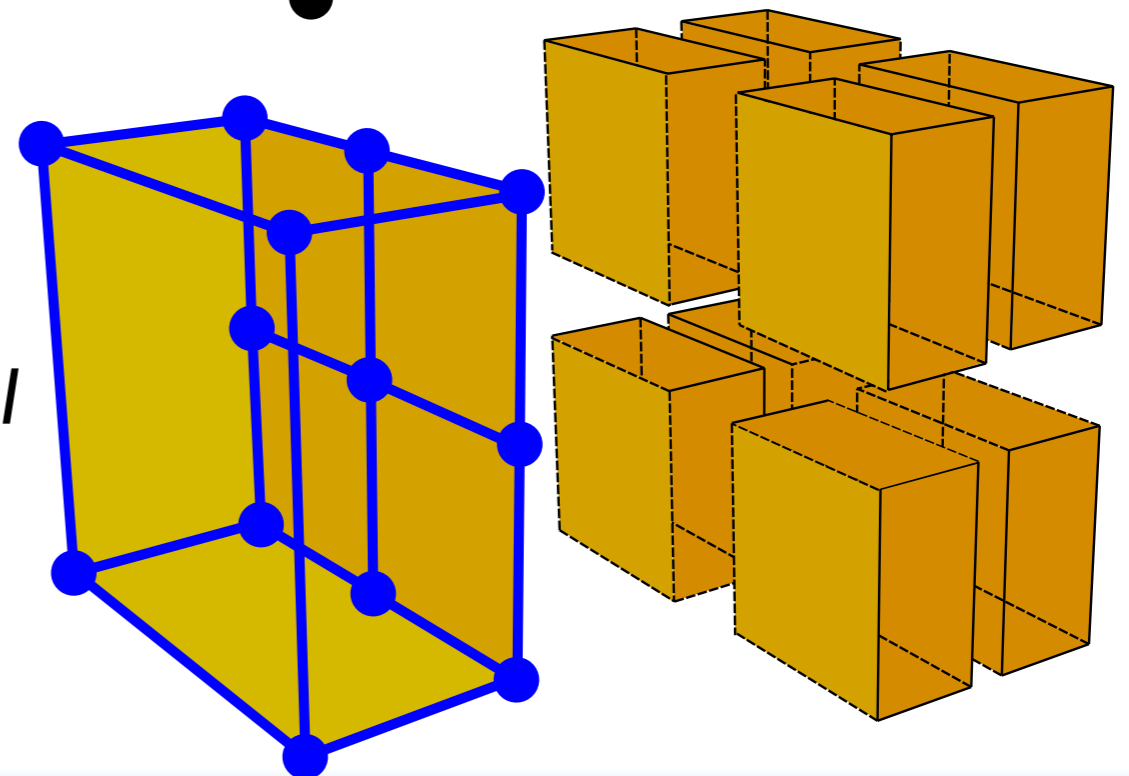
- support naturel de la subdivision adaptative
  - niveau de subdivision d'une cellule dans un maillage de niveau  $i$



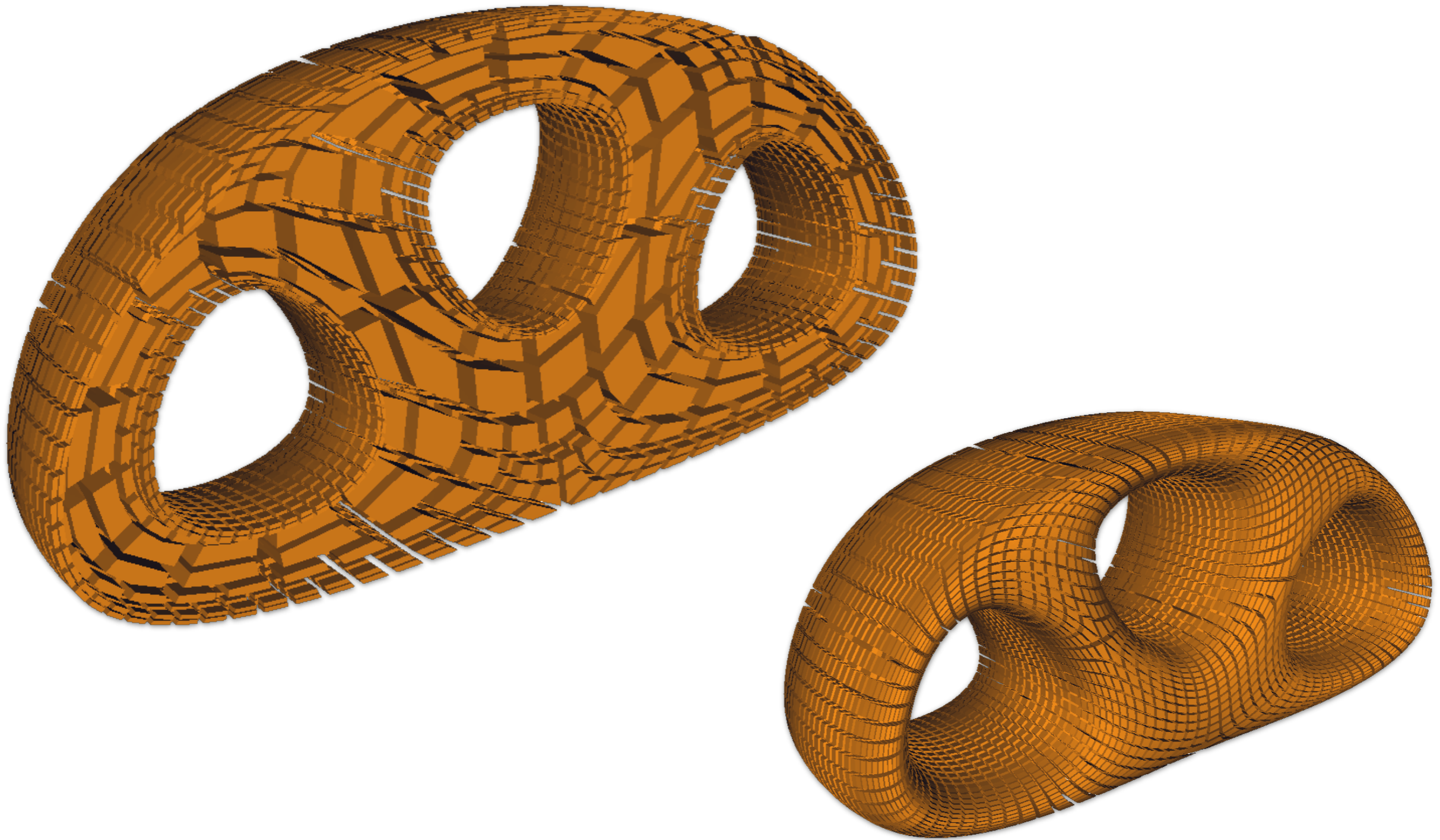
niveau  $i$



niveau  $i+1$



# Subdivision adaptative



# Représentations du modèle



# Différentes représentations

## Objectifs

- proposer plusieurs représentations de la multirésolution
- socle commun en termes de modèle
- balance entre coût mémoire et temps de calcul

## Avantage

- indépendant d'une implantation

# Représentation multirésolution explicite

## Principe

- chaque n-uplet de relations existe en mémoire
- chaque brin connaît son niveau d'insertion
- association d'une relation à un niveau à chaque brin
- seules les relations modifiées sont stockées

# Représentation multirésolution explicite

## Principe

- chaque n-uplet de relations existe en mémoire
- chaque brin connaît son niveau d'insertion
- association d'une relation à un niveau à chaque brin
- seules les relations modifiées sont stockées

## Avantages

- accès direct aux relations du modèle à chaque niveau
- parcours direct de l'ensemble de brins formant les cellules à chaque niveau
- support de tout type d'opération de construction
- indépendant de la dimension de la carte

# Représentation multirésolution explicite

## Principe

- chaque n-uplet de relations existe en mémoire
- chaque brin connaît son niveau d'insertion
- association d'une relation à un niveau à chaque brin
- seules les relations modifiées sont stockées

## Avantages

- accès direct aux relations du modèle à chaque niveau
- parcours direct de l'ensemble de brins formant les cellules à chaque niveau
- support de tout type d'opération de construction
- indépendant de la dimension de la carte

À propos du coût mémoire :

- 30% plus coûteux qu'une forêt d'octree
- en étant plus général
- surcoût faible de l'extension multirésolution

# Représentation multirésolution implicite

## Principe

- représentation compacte d'une hiérarchie
- seuls les brins du niveau le plus fin sont stockés en mémoire
- régularité de la subdivision primale
- ré-écriture des relations du modèle

# Représentation multirésolution implicite

## Principe

- représentation compacte d'une hiérarchie
- seuls les brins du niveau le plus fin sont stockés en mémoire
- régularité de la subdivision primale
- ré-écriture des relations du modèle

## Avantages

- représentation complète de la connectivité à chaque niveau
- coût mémoire très faible
  - équivalent à une structure monorésolution

# Représentation multirésolution implicite

## Principe

- représentation compacte d'une hiérarchie
- seuls les brins du niveau le plus fin sont stockés en mémoire
- régularité de la subdivision primale
- ré-écriture des relations du modèle

## Avantages

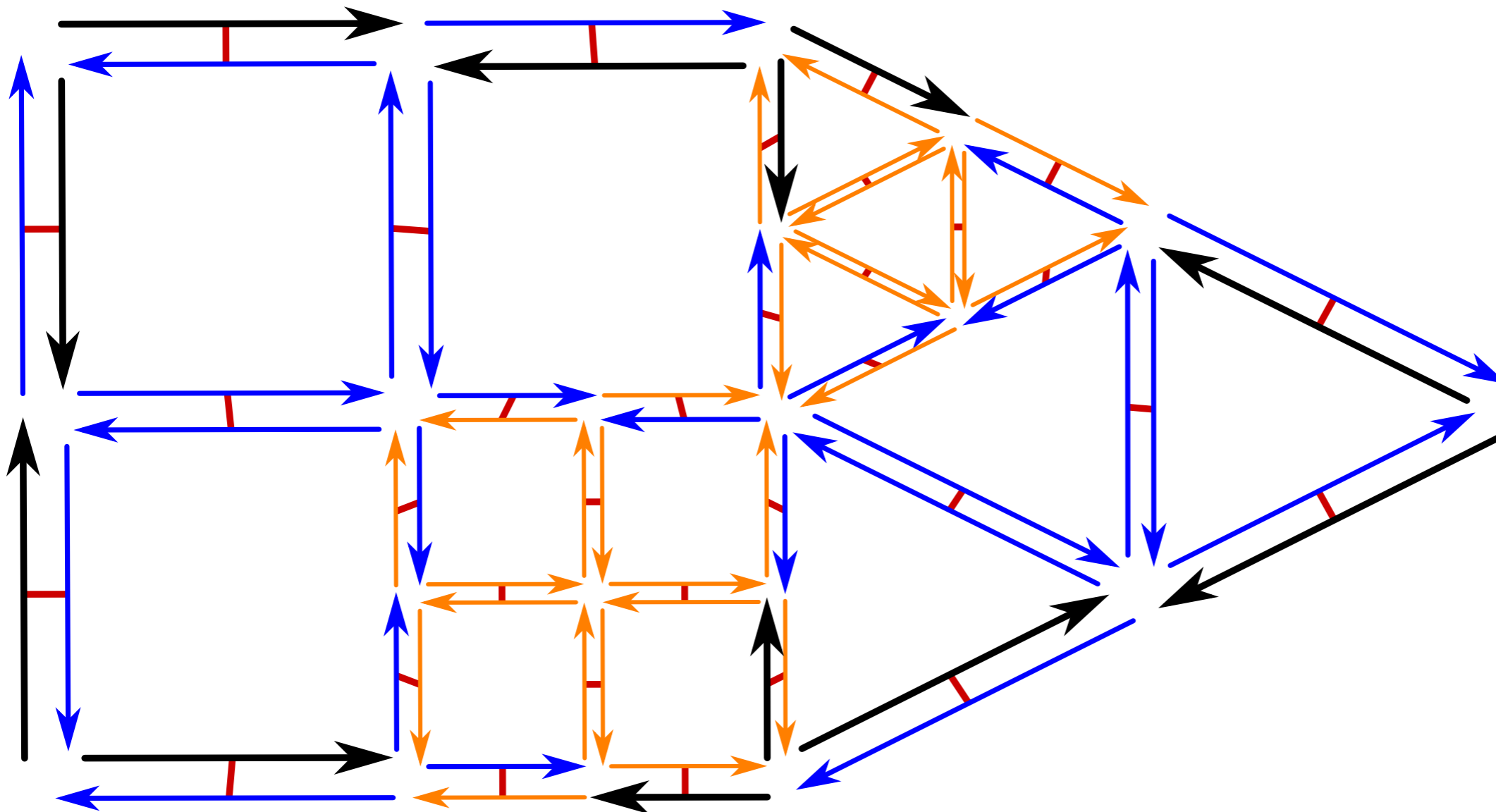
- représentation complète de la connectivité à chaque niveau
- coût mémoire très faible
  - équivalent à une structure monorésolution

## Inconvénients

- surcoût lié à la reconstruction des relations

# Représentation multirésolution implicite

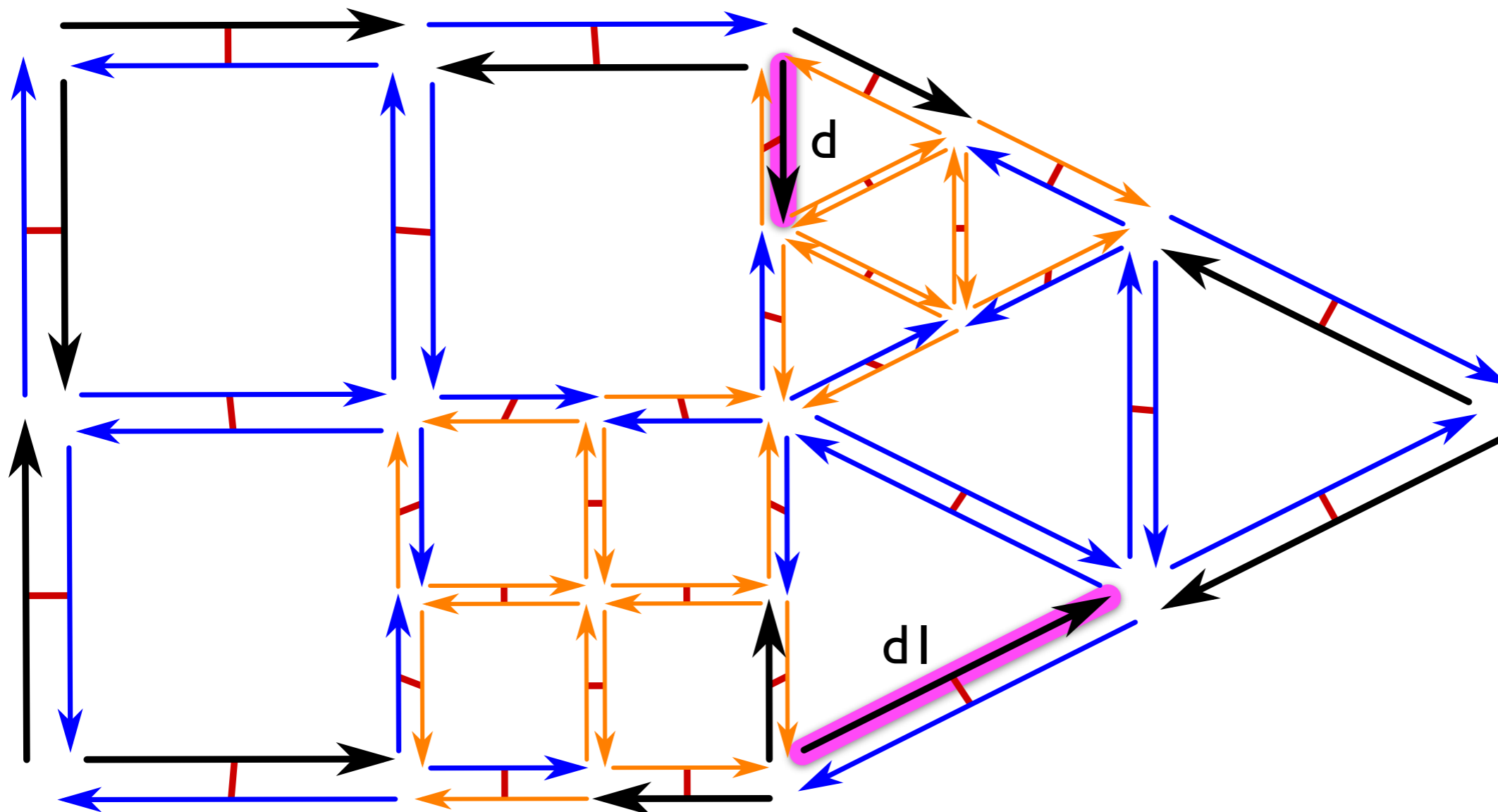
- étiquetage des nouveaux brins par leur niveau d'insertion
  - reconstruction des ensembles de brins imbriqués
- reconstruction des relations





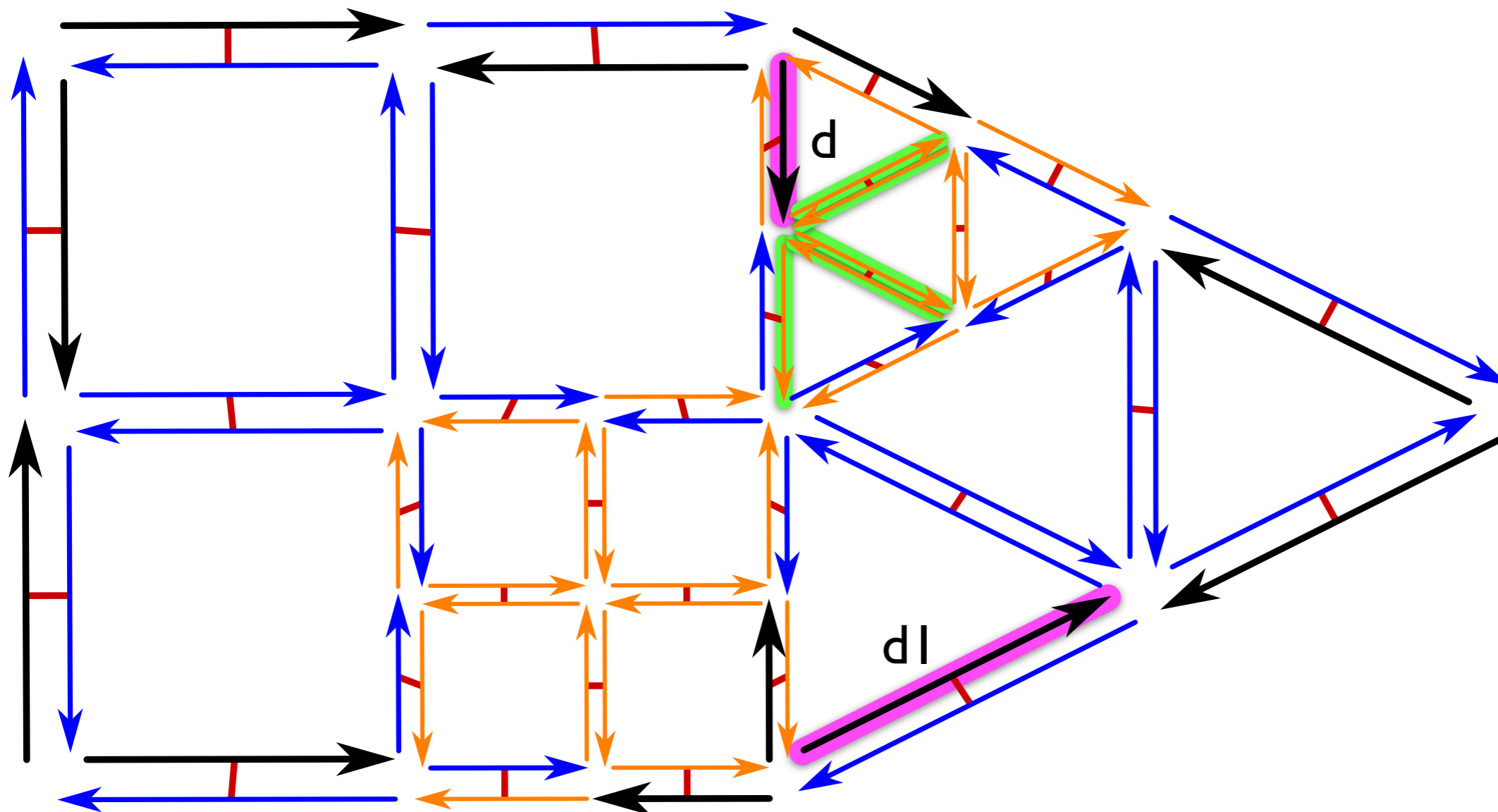
# Représentation multirésolution implicite

- étiquetage des nouveaux brins par leur niveau d'insertion
  - reconstruction des ensembles de brins imbriqués
- reconstruction des relations



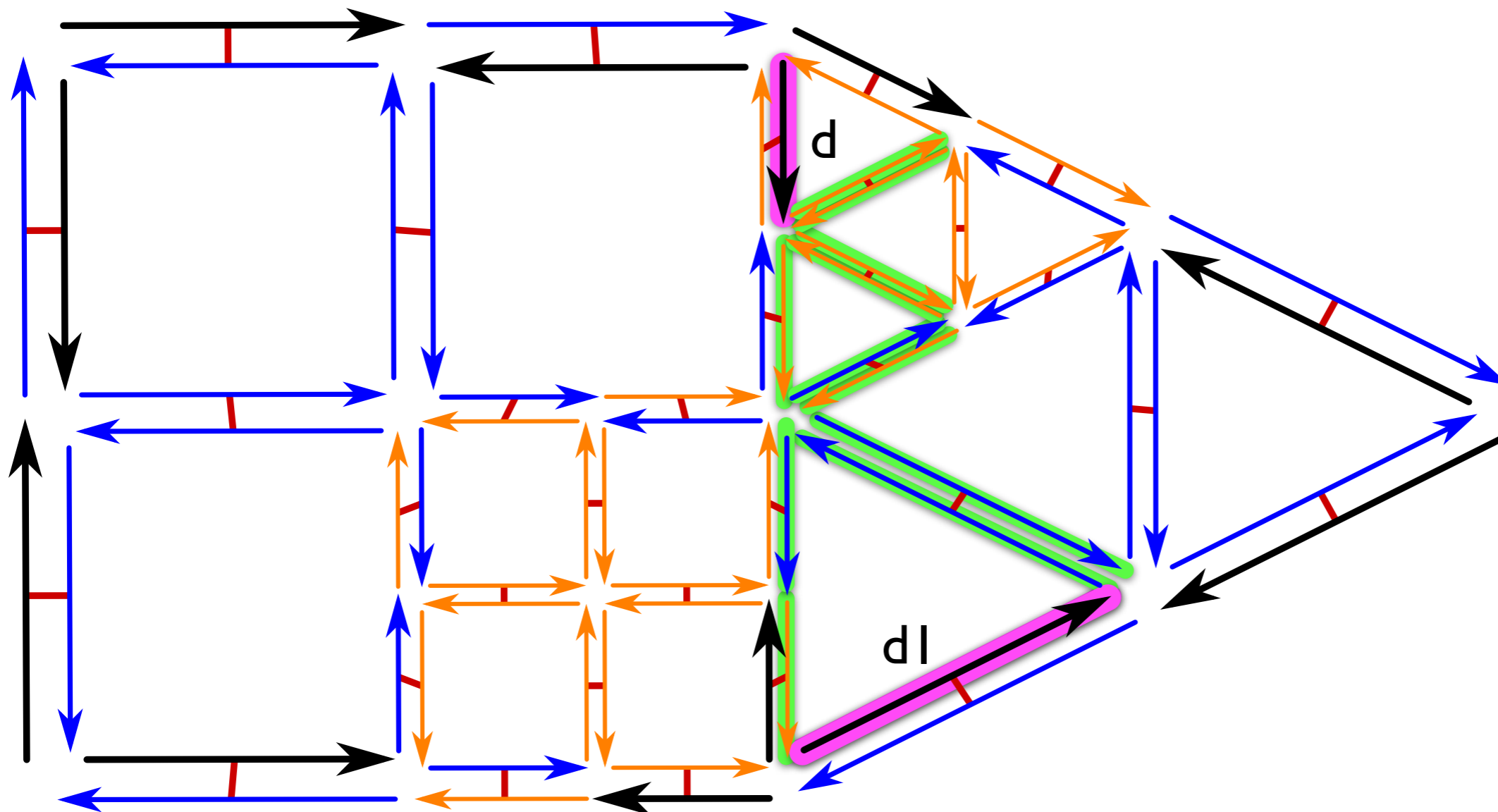
# Représentation multirésolution implicite

- étiquetage des nouveaux brins par leur niveau d'insertion
  - reconstruction des ensembles de brins imbriqués
- reconstruction des relations



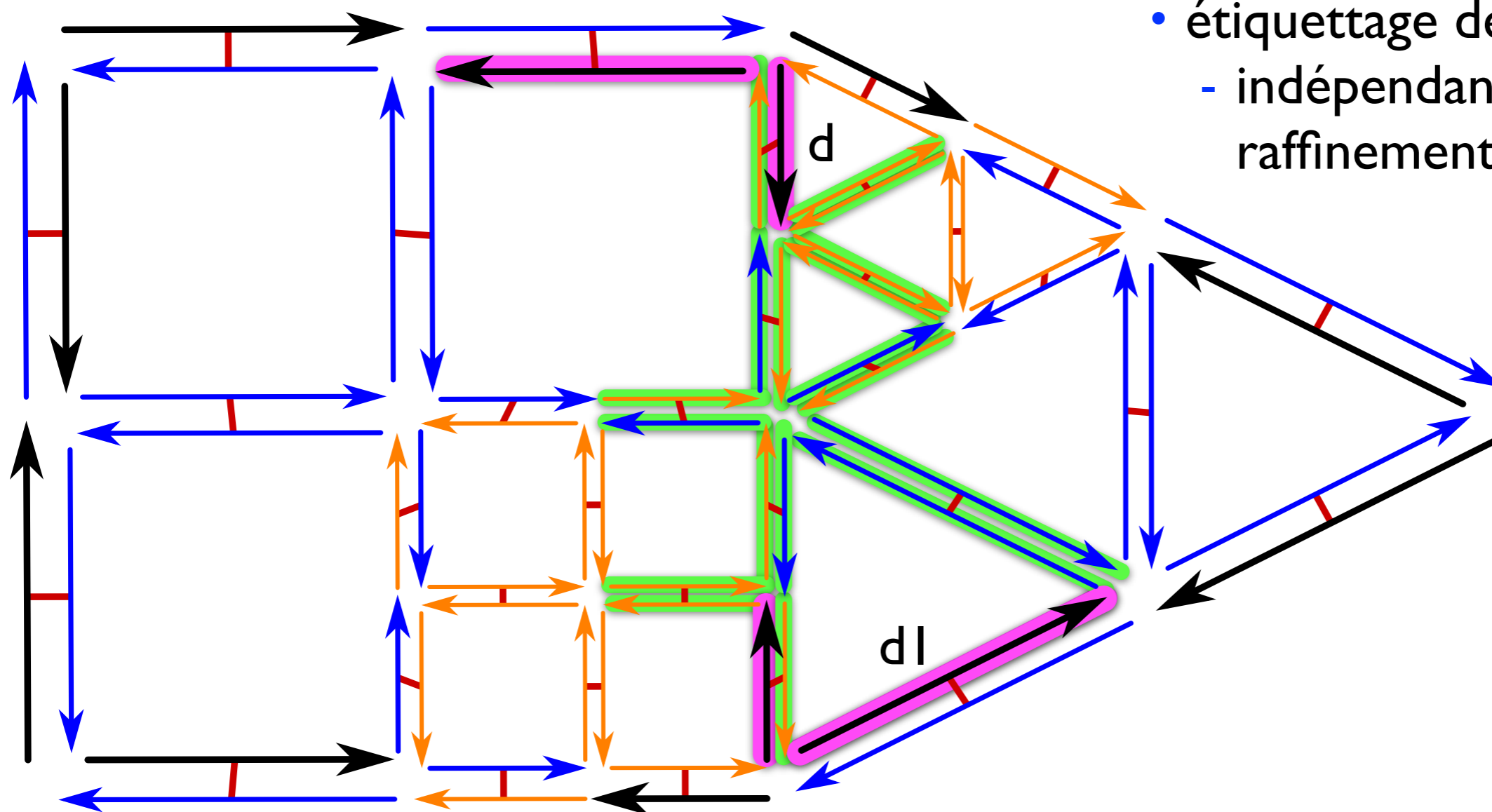
# Représentation multirésolution implicite

- étiquetage des nouveaux brins par leur niveau d'insertion
  - reconstruction des ensembles de brins imbriqués
- reconstruction des relations



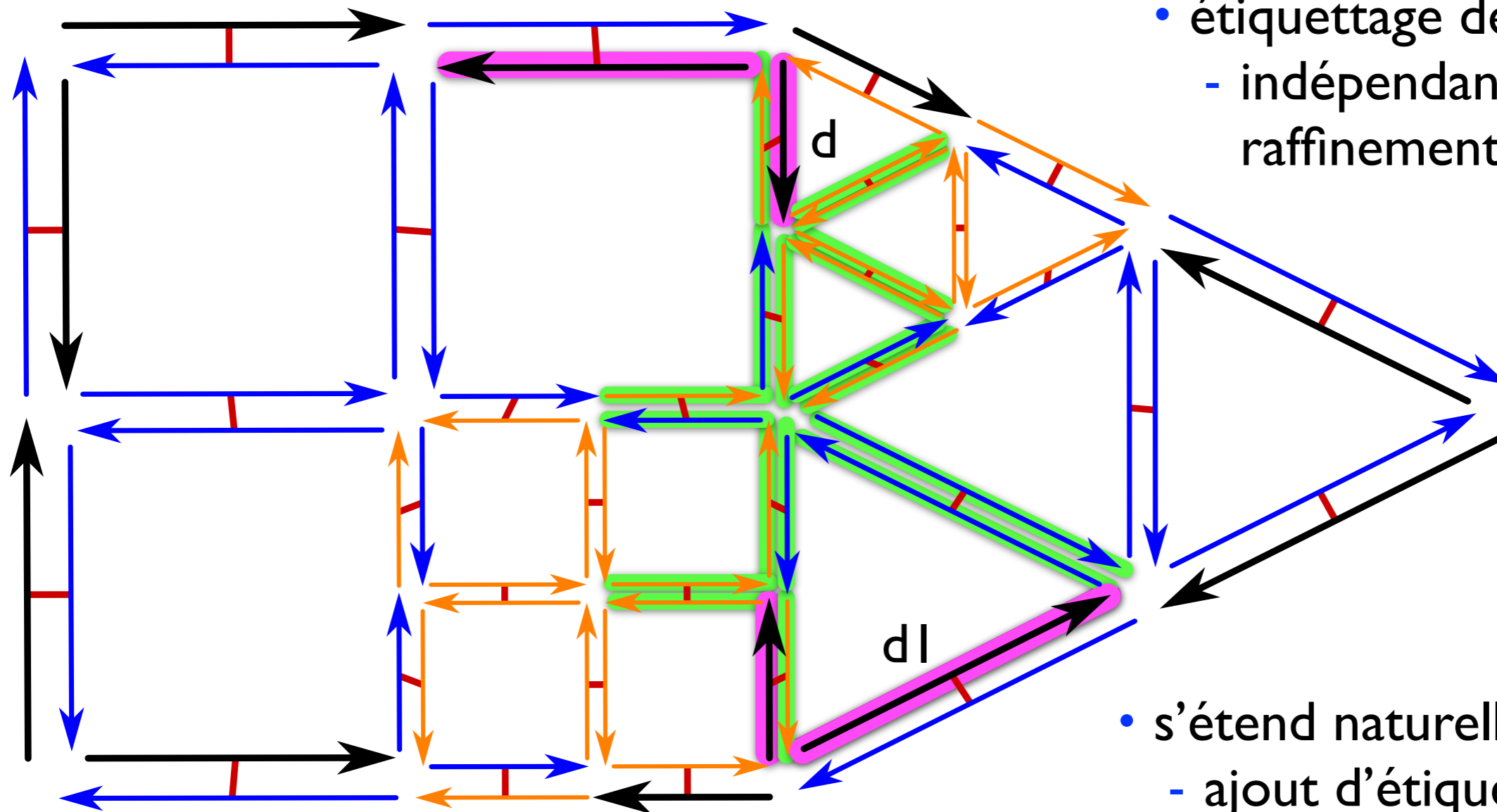
# Représentation multirésolution implicite

- étiquetage des nouveaux brins par leur niveau d'insertion
  - reconstruction des ensembles de brins imbriqués
- reconstruction des relations



# Représentation multirésolution implicite

- étiquetage des nouveaux brins par leur niveau d'insertion
  - reconstruction des ensembles de brins imbriqués
- reconstruction des relations



- étiquetage des arêtes
  - indépendant du type de raffinement

- s'étend naturellement en 3D
  - ajout d'étiquettes de face

# Représentation multirésolution implicite

À propos du coût mémoire : (pour 1 octet/brin)

- en 2D :
  - étiquettes d'arête : max 2bits
  - niveau d'insertion : 6 bits
- en 3D :
  - étiquettes d'arête : max 2bits
  - étiquettes de face : max 2bits
  - niveau d'insertion : 4bits  $\longrightarrow$  16 niveaux de résolutions
- par rapport à la représentation multirésolution explicite :
  - en 2D : 40% de mémoire en moins
  - en 3D : 24% de mémoire en moins

À propos du coût en temps :

- complexité de la reconstruction :  $2^{n-i}$  sauts
- peu de cellules de niveau 0

# À propos de performance pratique

## Objectifs

- évaluation de nos structures de données et algorithmes multirésolutions
- implantation dans la bibliothèque CGoGN [KUJTC14]
  - bibliothèque logicielle C++ - cgogn.unistra.fr
- comparatif inexistant pour des structures multirésolutions
  - introduction d'une méthodologie expérimentale

## Méthode

- basée sur des tests proposés par [SB12] en 2D et [KBK13] en 3D
  - énumération de cellules (incidences et adjacences)
  - opérations de subdivision

[SB12] D. Sieger et M. Botsch, *Design, implementation, and evaluation of the surface\_mesh data structure*, 20th International Meshing Roundtable, 2012

[KBK13] M. Kremer, D. Bommers et L. Kobbelt, *Open volumemesh – a versatile index-based data structure for 3d polytopal complexes*, 21st International Meshing Roundtable, 2013

[KUJTC14] P. Kraemer, L. Untereiner, T. Jund, S. They et D. Cazier, *CGoGN: N-dimensional Meshes with Combinatorial Maps*, 22nd International Meshing Roundtable, 2014

# À propos de performance pratique

- évaluation de notre structure de données
  - globalement aussi efficace que les autres bibliothèques testées (2D/3D)
  - fonctionnalités de haut-niveau (mise en cache de voisinage)
- évaluation de notre structure de données multirésolution
  - 1,5 fois plus lent que la représentation monorésolution
  - performances identiques pour chaque niveau de résolution
  - accès à toute la généricité de notre représentation
- évaluation de nos structures de données multirésolutions
  - résultats pratiques conformes aux résultats théoriques
  - résultats similaires pour tous les tests
  - le niveau 0 est celui qui contient le moins de cellules



# Bilan

## Cartes combinatoires multirésolutions : applications aux volumes de subdivision

- extension multirésolution en dimension quelconque
- algorithmes de raffinement volumique variés
  - subdivision régulière ou adaptative
  - opérations topologiques de bas niveau sur les cartes
- représentations des cartes combinatoires multirésolutions

# Bilan

## Cartes combinatoires multirésolutions : applications aux volumes de subdivision

- extension multirésolution en dimension quelconque
- algorithmes de raffinement volumique variés
  - subdivision régulière ou adaptative
  - opérations topologiques de bas niveau sur les cartes
- représentations des cartes combinatoires multirésolutions

## Points forts

- généricité des méthodes
- préservation de la cohérence topologique
- efficacité
  - parcours de la topologie
- flexibilité
  - définitions indépendantes d'une implantation

# Perspectives

- extension de nos méthodes
  - implantation d'autres algorithmes
  - spécialisation de nos algorithmes et structures de données
- approche par simplification
  - hiérarchie de maillages progressifs
- évolution du modèle des cartes multirésolutions
  - brins à durée de vie limitée
- exploitation du cadre formel
  - formalisation de notre modèle et des algorithmes de subdivision

**Merci de votre attention !**

**Questions ?**