Formes et Maillage 3D

HAI605I

Définition

Modélisation

- Décrire un objet ou un phénomène par un ensemble de nombres et une structure entre ces nombres.
- Thème transverse : biologie, physique, chimie, sociologie, économie.
- Au cœur de la « science » informatique : les ordinateurs ne savent manipuler qu'un ensemble fini de nombres.

Définition

Modélisation Géométrique

- Décrire la forme d'un objet par un ensemble de valeurs.
- En pratique dans un espace de dimension 2, **3** ou 4 (3D+t)
- Cas 3D: **Surfaces** et volumes

Principe

1. Choix d'une **représentation**
2. Spécification des valeurs caractéristiques de cette représentation pour un objet donné
   – Conception virtuelle à l'aide de modeleurs 3D
   – Numérisation 3D
3. Manipulation de ces valeurs
   – Traitement automatique
   – Manipulation interactive

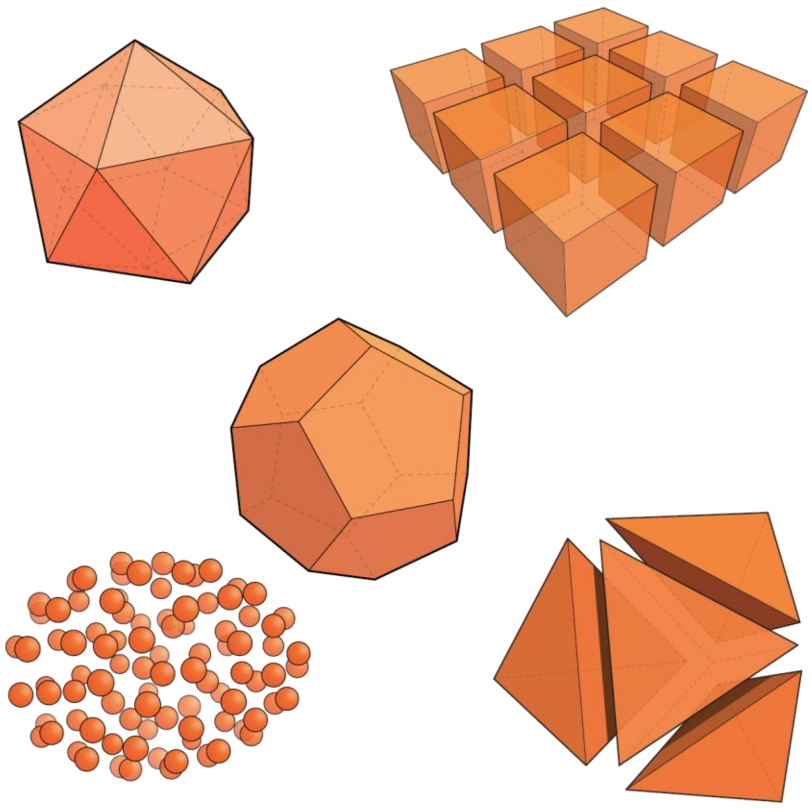
Beaucoup de représentations

Explicites

- Nuages de points
- Maillages polygonaux
- Surface de subdivision, NURBS,
- Grilles de voxels,…

Implicites

- Ensembles de niveaux (level set)
- Surface algébrique
- Fonctions de distance,…



Choix fixé en fonction de la tache et/ou du type de géométrie

Focus

- **Les surfaces 3D** : représentation, génération et traitement
  - Interfaces *volume - volume*
  - «Ce que l'on voit d'un objet» > **informatique graphique**

- Objectif du cours :
  1. Acquérir une vision globale de la modélisation géométrique
  2. En comprendre les principes mathématiques et informatiques de base

SURFACES 3D

Définition

- Une surface 3D :
  - Un objet bidimensionnelle dans une espace tridimensionnel
  - Interface entre deux volumes
- Caractéristiques :
  - Topologie : définit la notion de voisinage entre points sur une surface
  - Géométrie : le « plongement » de la topologie dans un espace

Surface paramétrique

Définit par une fonction de paramétrisation d'un domaine du plan vers l'espace 3D

$$f : \Omega \rightarrow S, \Omega \subset \Re^2, S = f(\Omega) \subset \Re^3$$

Surface Implicite

Iso-surface 0 d’une fonction F :

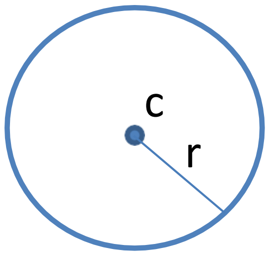
$$F : \Re^3 \to \Re, S = \left\{ x \in \Re^3 \middle| F(x) = 0 \right\}$$

Exemple 2D

Un cercle de centre c et de rayon r

Forme **paramétrique**

$$f: [0,2\pi] \rightarrow \Re^2, u \mapsto c + r\begin{pmatrix}\cos(u)\\ \sin(u)\end{pmatrix}$$



Valeurs caractéristique: {c,r}

Forme **implicite**

$$F: \Re^2 \rightarrow \Re, (x, y) \mapsto \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} - r$$

Comparaison

Selon les opérations de bases

- Itération sur la surface (évaluation, échantillonnage)
- Intersection : définir si un point est à l’intérieur ou à l’extérieur du solide contenu par la surfaces
- Modifications géométriques et topologiques

	Paramétrique	Implicite
Itération	+	-
Intersection	-	+
Mod. Géométrie	+	-
Mod. Topologie	-	+

Surfaces complexes

- Pas de forme analytique simple pour les surfaces complexes
- Composition (implicite ou paramétrique)
- Définition de surface par morceaux à l’aide d’une collection de primitives (implicites ou paramétriques) simples
- **Modèle de Représentation :** structure d’un grand ensemble de valeur modélisant une forme.

Représentation des Surfaces

Familles principales :

- Surfaces discrètes
  - **Maillages Polygonaux**
  - Surfaces de Points
- Surfaces continues
  - Surfaces Spline
  - Surfaces de Subdivision
  - Surfaces Implicites

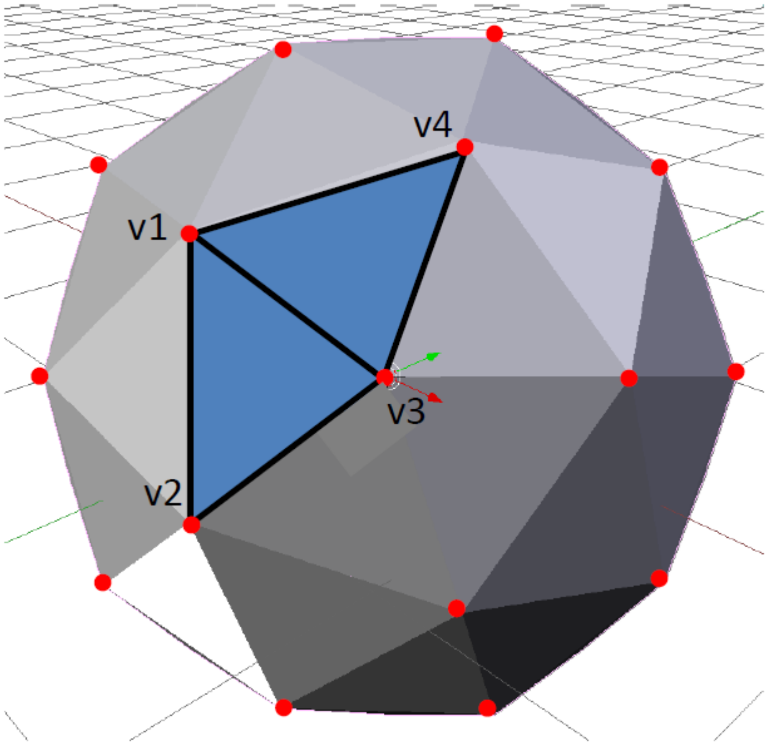
Définition

- Approximation de la surface d'un objet à l'aide d'un ensemble de polygones
- **Soupe de Polygones**: suites de n-uplets de coordonnées 3D correspondants aux polygones
- **Maillages indexés**: graphe avec géométrie et topologie séparés
  - Une liste de sommets (V)
  - Une liste de relation topologique:
    - Arêtes (Edge, E)
    - Faces (F)
- En pratique, {V,F} (example: OpenGL)

Exemple

- Ensemble de sommets (géométrie)
  - v1 (x, y, z)
  - v2 (x, y, z)
  - v3 (x, y, z)
  - v4 (x, y, z)

- Ensemble de faces (topologie)
  - (v1, v2, v3)
  - (v1, v3, v4)

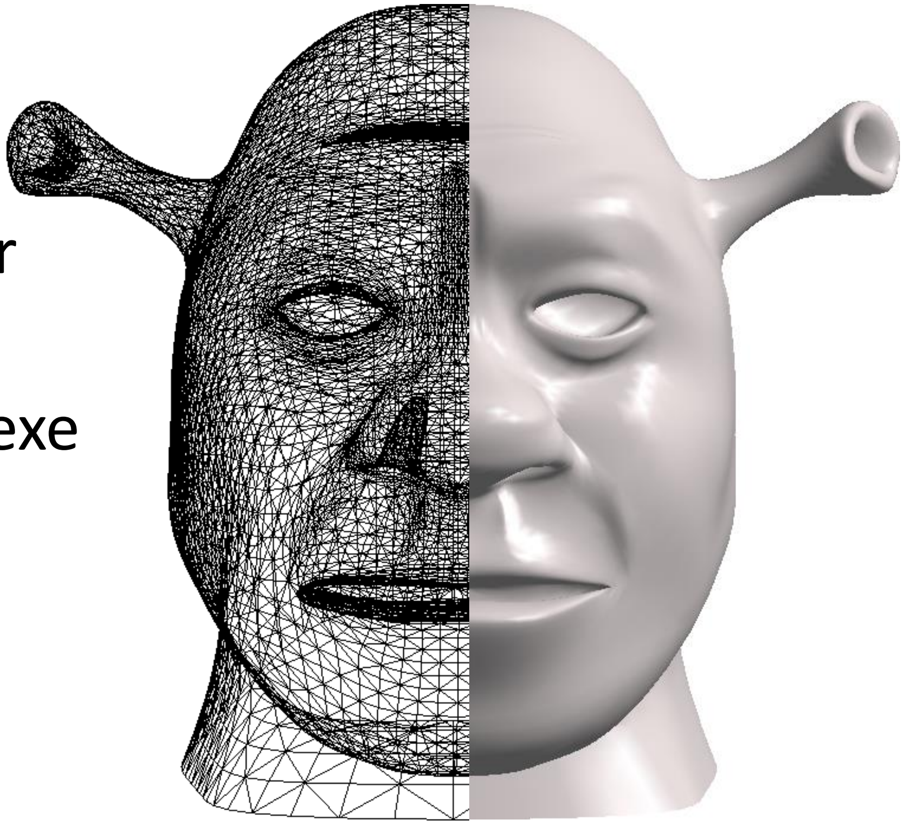


Maillage 3D

- Une structure standard d'affichage de scènes complexes 3D.

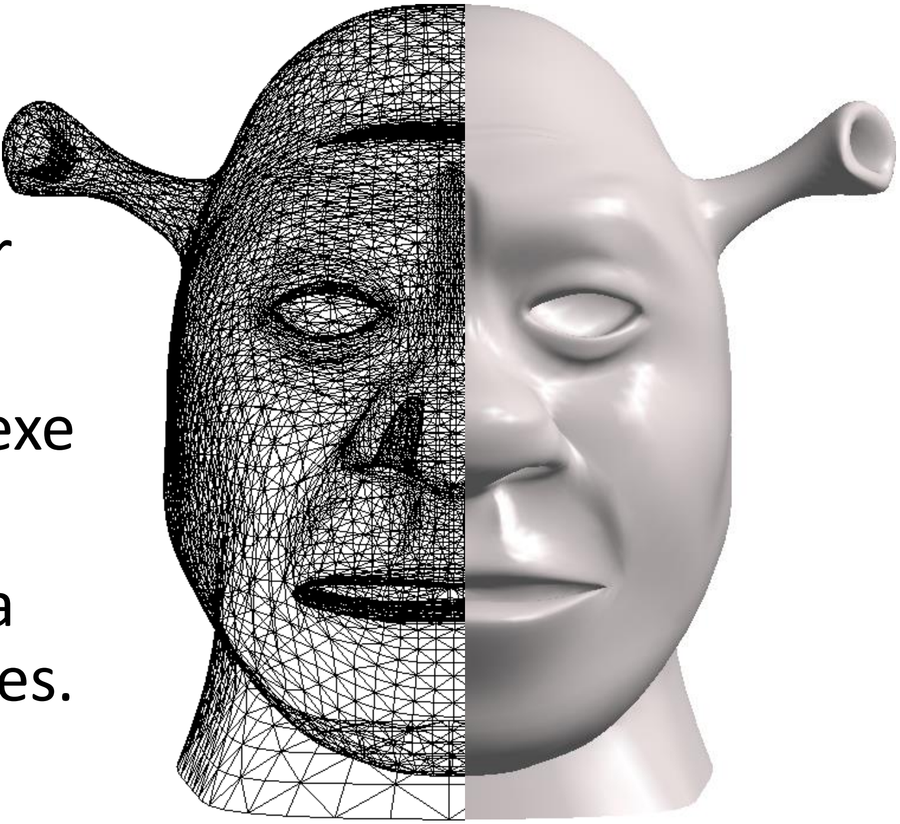
Maillage 3D

- Une structure standard d'affichage de scènes complexes 3D.
- Représentation de la face par un ensemble de polygone.
- Souvent des triangles (simplexe pour une face).



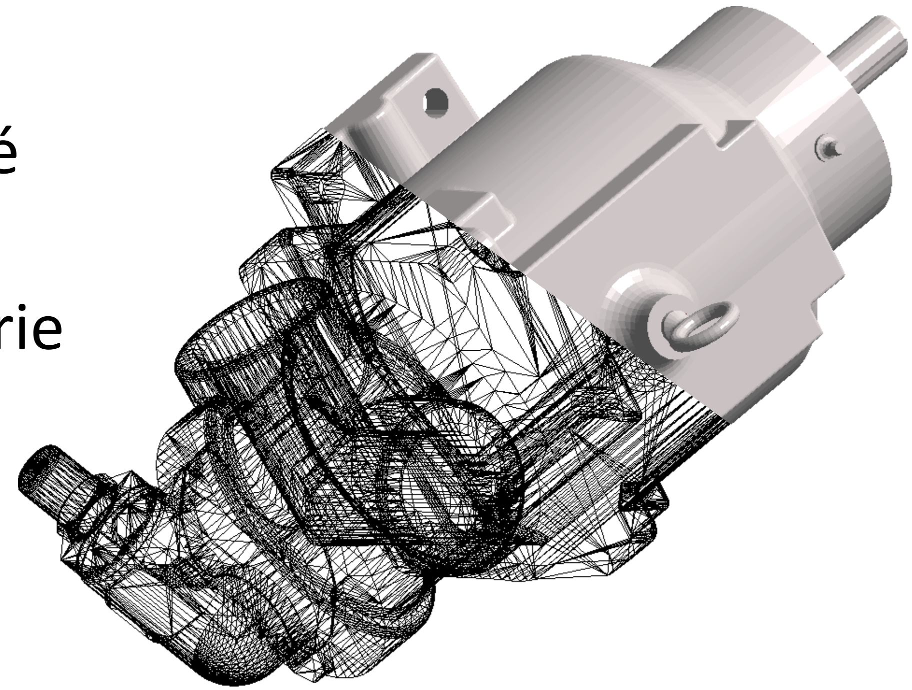
Maillage 3D

- Une structure standard d'affichage de scènes complexes 3D.
- Représentation de la face par un ensemble de polygone.
- Souvent des triangles (simplexe pour une face).
- Visualisation optimisée par la majorité des cartes graphiques.



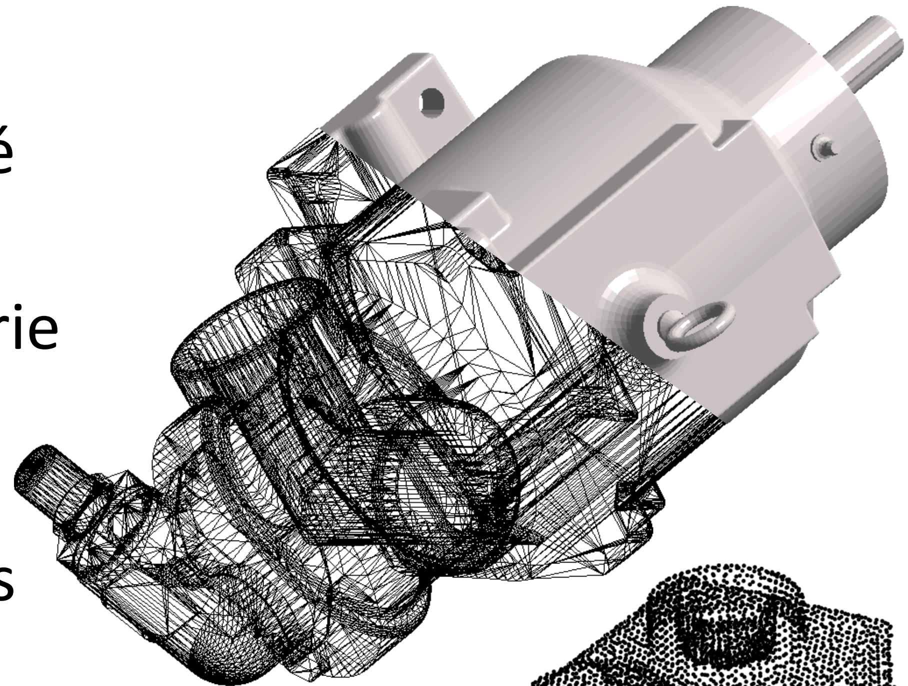
Maillage 3D

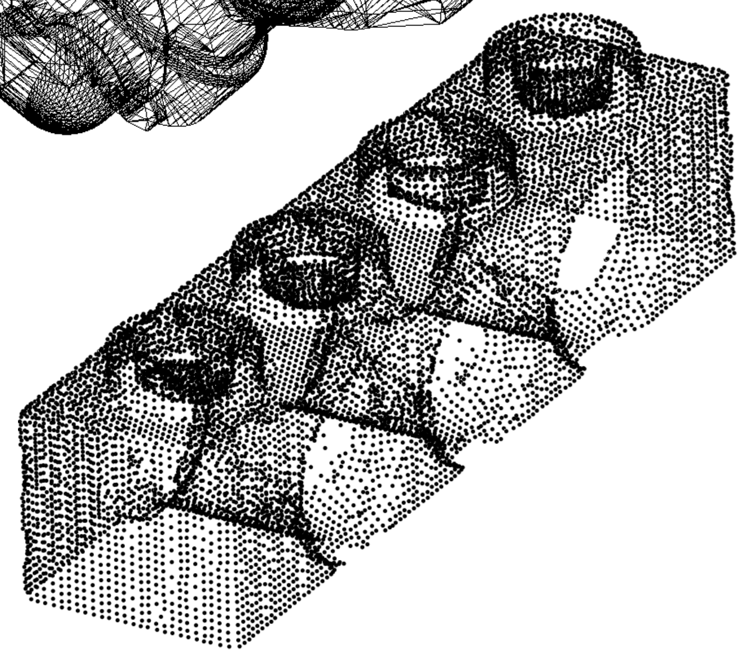
- Continuité C^0 (discontinuité aux arêtes).
- Informations sur la géométrie et sur la topologie de la surface.



Maillage 3D

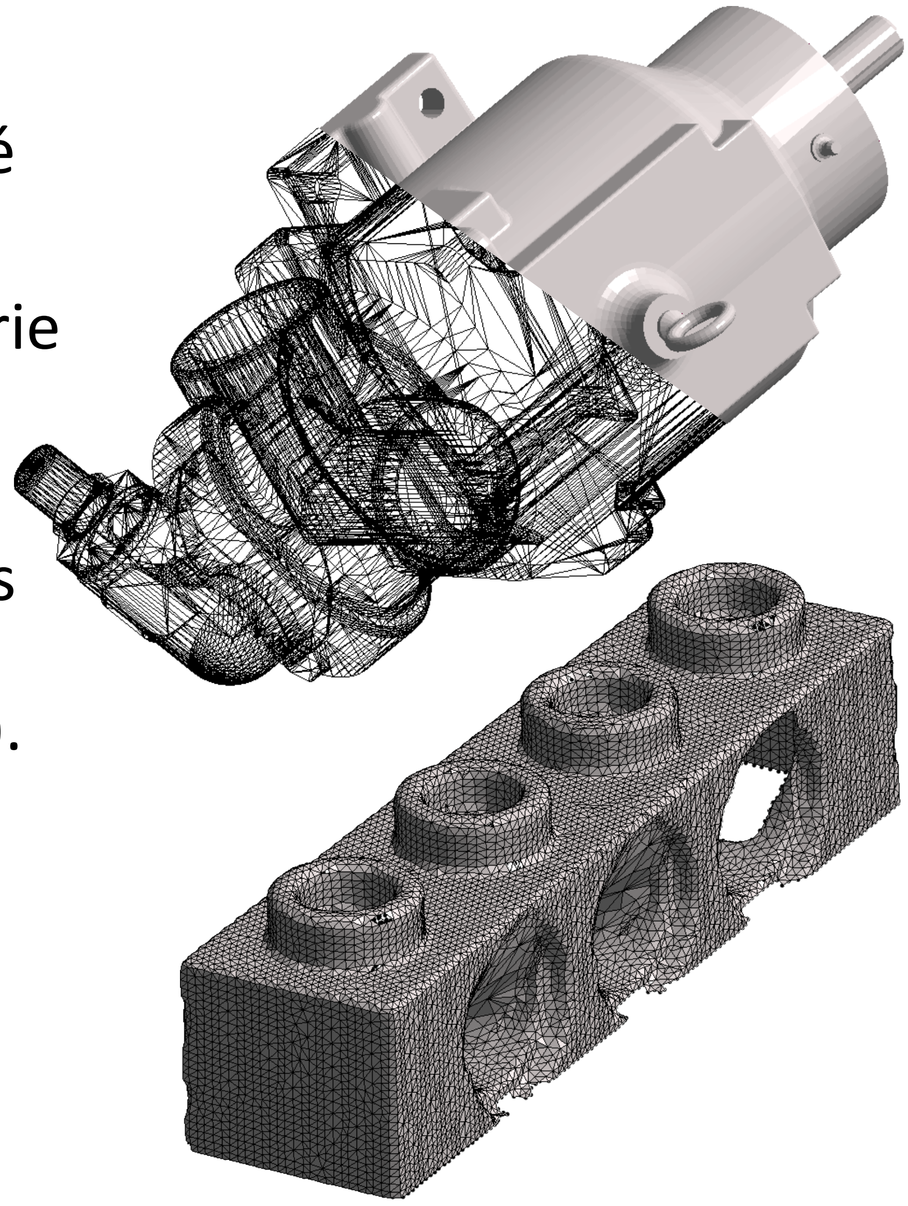
- Continuité C^0 (discontinuité aux arêtes).
- Informations sur la géométrie et sur la topologie de la surface.
- Les équations géométriques des surfaces ne sont pas toujours disponibles (scans).





Maillage 3D

- Continuité C^0 (discontinuité aux arêtes).
- Informations sur la géométrie et sur la topologie de la surface.
- Les équations géométriques des surfaces ne sont pas toujours disponibles (scans).

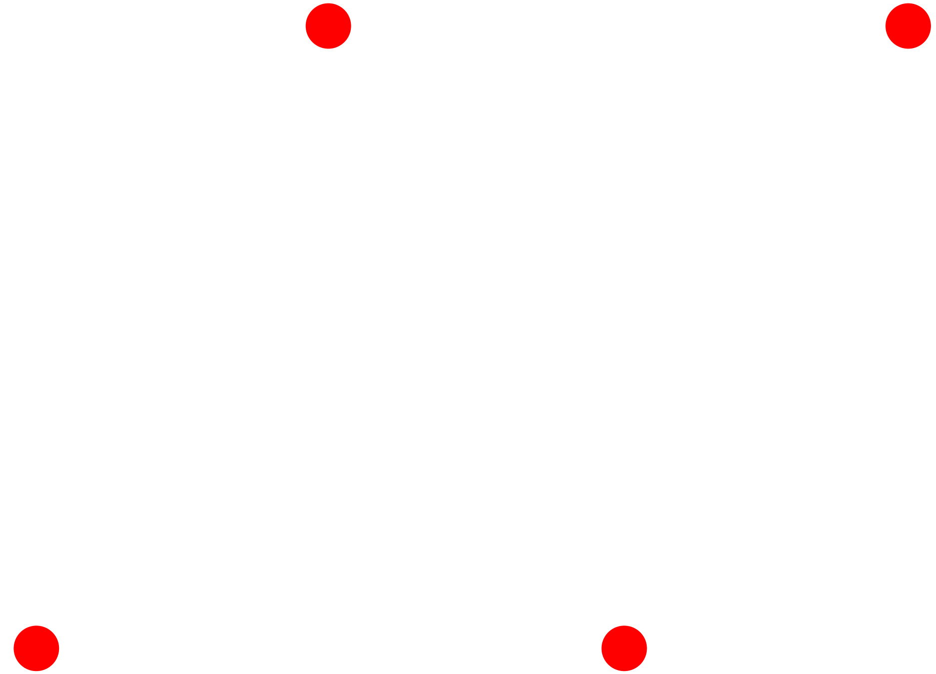


Propriétés

- Entités d’un maillage :

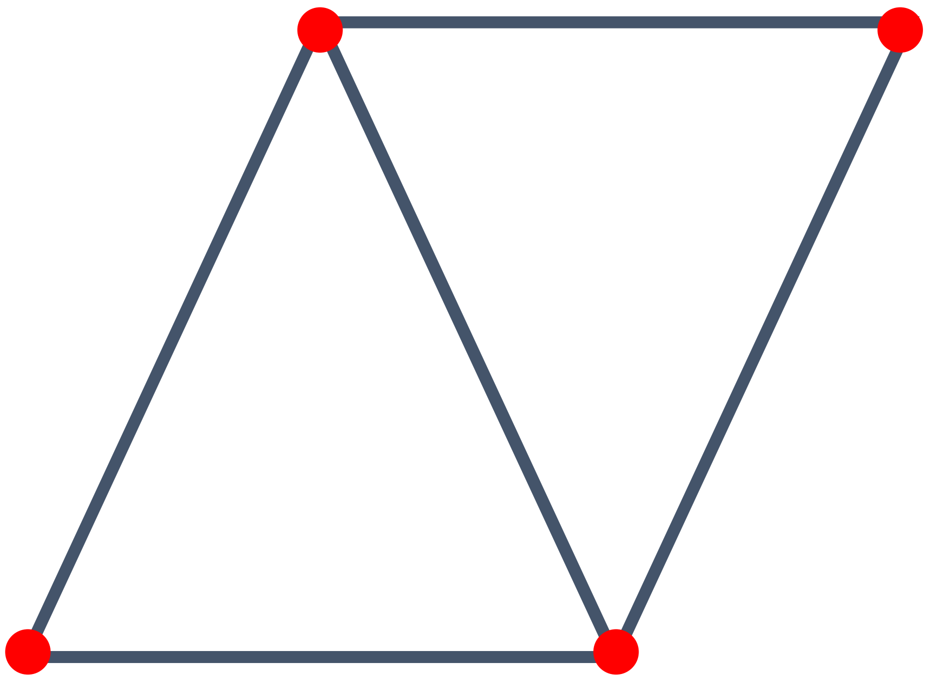
Propriétés

- Entités d'un maillage :
  - sommets (x, y, z)



Propriétés

- Entités d’un maillage :
  - sommets (x, y, z)
  - arêtes :
    - définies par 2 sommets

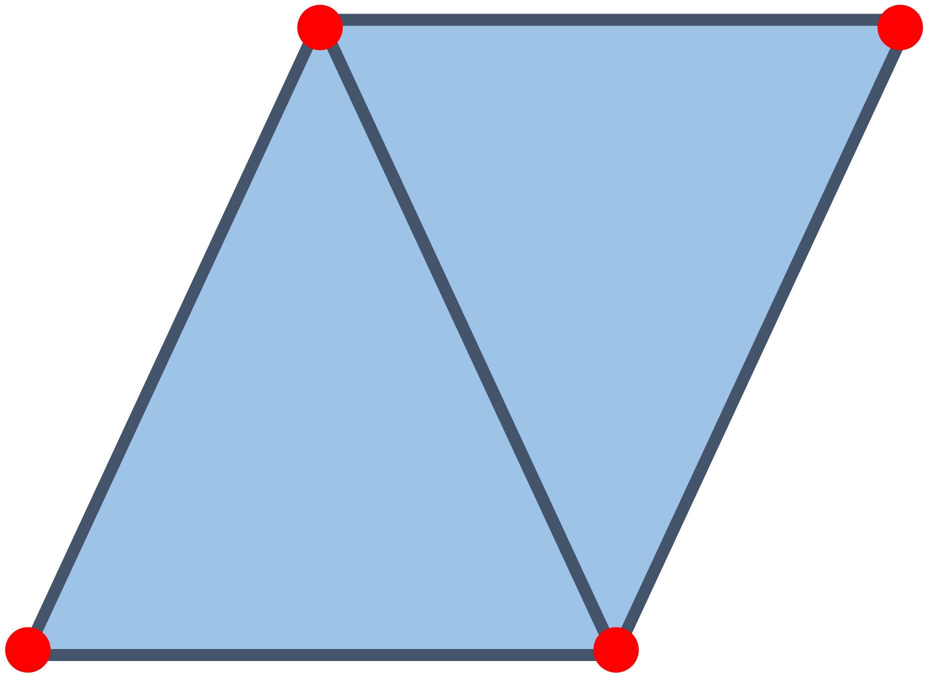


Propriétés

- Entités d'un maillage :
  - sommets (x, y, z)
  - arêtes :
    - définies par 2 sommets
  - faces :
    - définies par n sommets

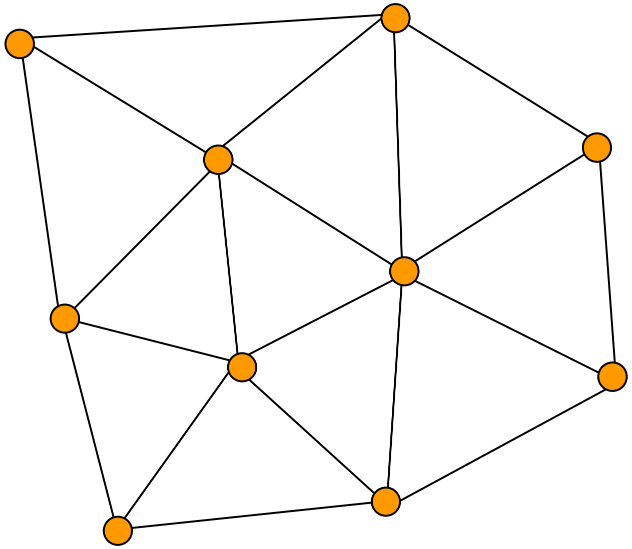
      ou
    - définies par n arêtes

    → en générale des triangles (n = 3)



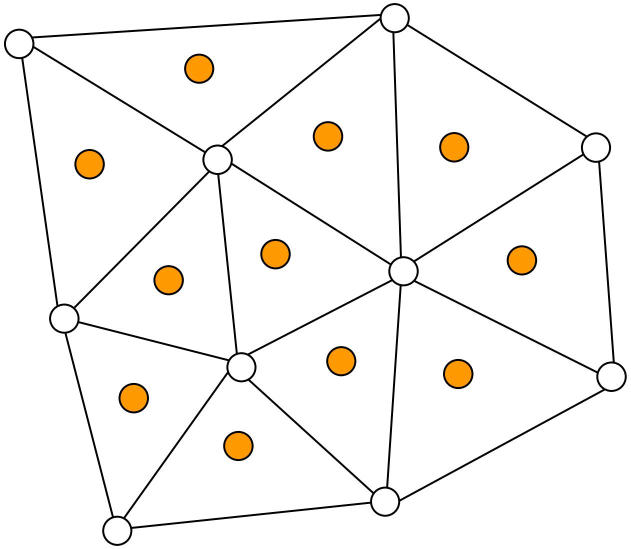
Propriétés : dualité

- Maillage dual



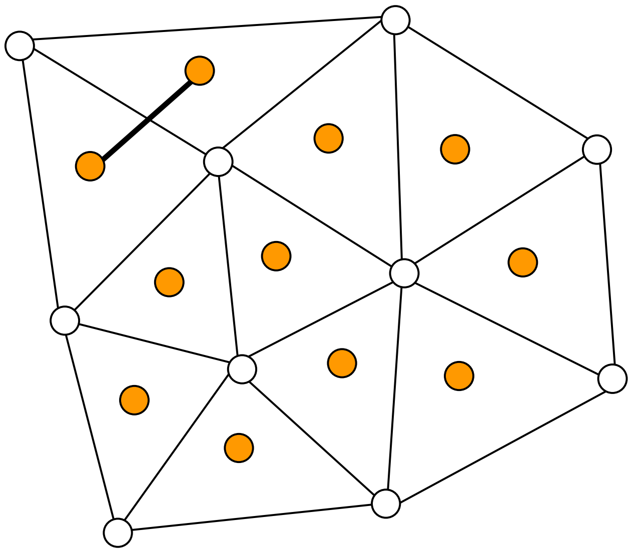
Propriétés : dualité

- Maillage dual :
  - chaque face est remplacée par un sommet → barycentre de la face,



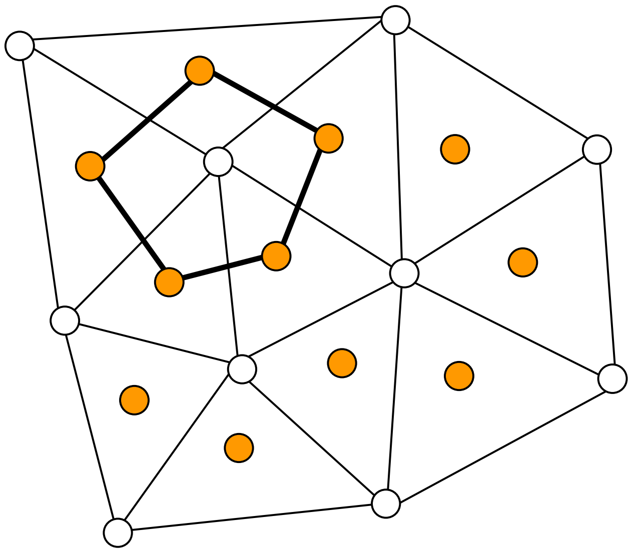
Propriétés : dualité

- Maillage dual :
  - chaque face est remplacée par un sommet → barycentre de la face,
  - une arête du dual relie deux sommets si les faces correspondantes sont voisines dans le maillage d'origine,



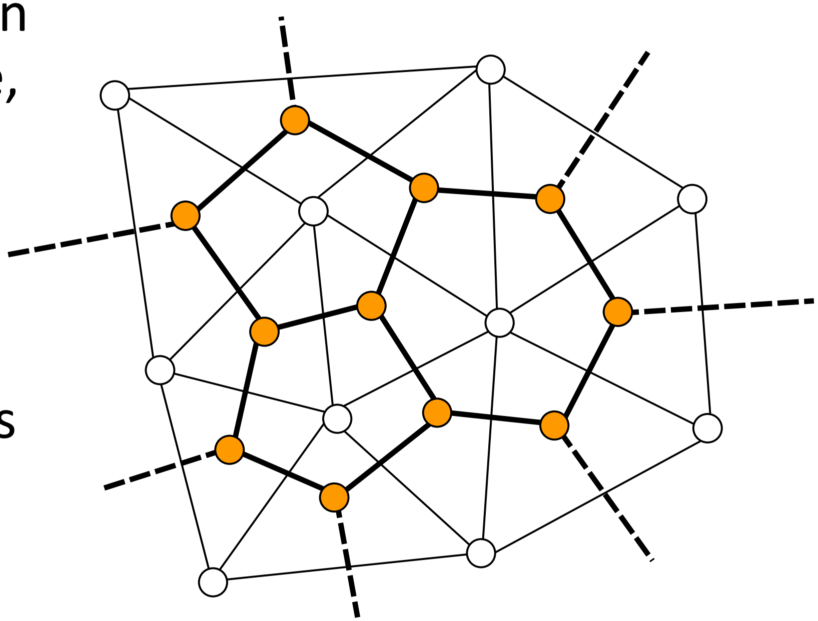
Propriétés : dualité

- Maillage dual :
  - chaque face est remplacée par un sommet → barycentre de la face,
  - une arête du dual relie deux sommets si les faces correspondantes sont voisines dans le maillage d'origine,
  - les points sont remplacés par des faces,



Propriétés : dualité

- Maillage dual :
  - chaque face est remplacée par un sommet → barycentre de la face,
  - une arête du dual relie deux sommets si les faces correspondantes sont voisines dans le maillage d'origine,
  - les points sont remplacés par des faces,

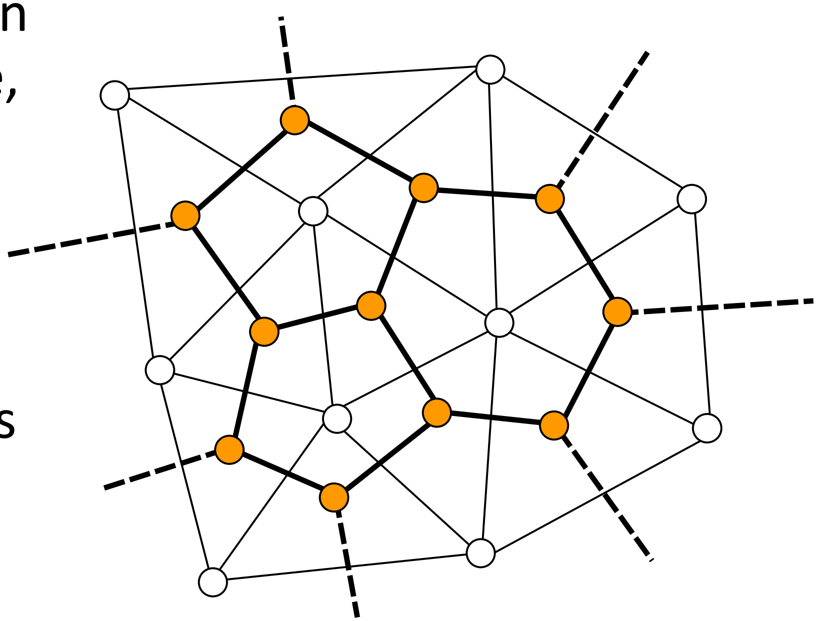


→ les objets de dimension k du maillage original sont remplacés par des objets de dimension (2-k) dans le dual.

Propriétés : dualité

- Maillage dual :
  - chaque face est remplacée par un sommet → barycentre de la face,
  - une arête du dual relie deux sommets si les faces correspondantes sont voisines dans le maillage d'origine,
  - les points sont remplacés par des faces,

→ les objets de dimension k du maillage original sont remplacés par des objets de dimension (2-k) dans le dual.

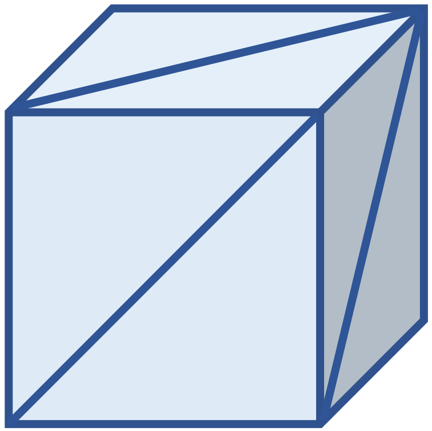


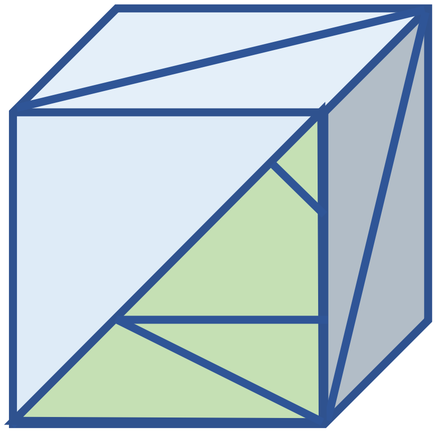
Le maillage dual d'un maillage dual est égal au maillage original si celui-ci est fermé.

Propriétés : fermeture

- Un maillage est dit **fermé** si :
  - il n’a pas de bord,

  → toutes les arêtes du maillage sont au moins partagées par deux triangles

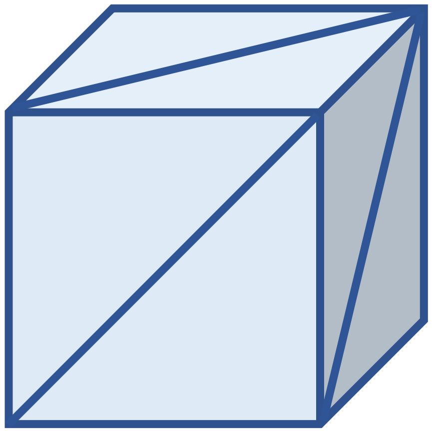




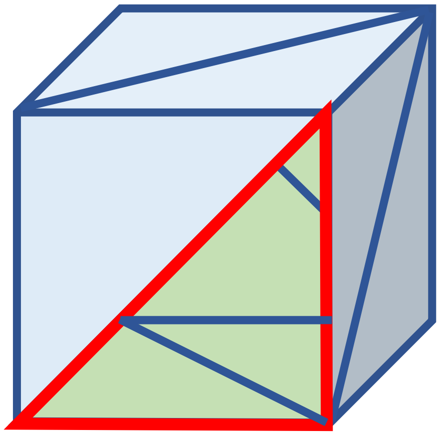
Propriétés : fermeture

- Un maillage est dit **fermé** si :
  - il n'a pas de bord,

  → toutes les arêtes du maillage sont au moins partagées par deux triangles



Fermé



Non-fermé

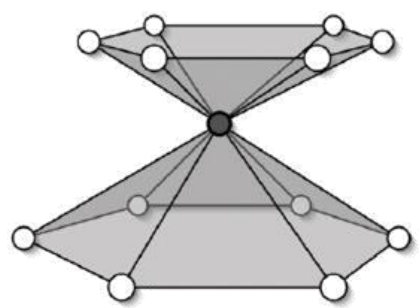
2-variétés (manifold)

- Un maillage est 2-variété si :
  - une sphère (rayon > 0) placée en n’importe quel point à une intersection avec le maillage correspondante à une unique surface,

2-variétés (manifold)

- Un maillage est 2-variété si :
  - une sphère (rayon > 0) placée en n'importe quel point à une intersection avec le maillage correspondante à une unique surface,

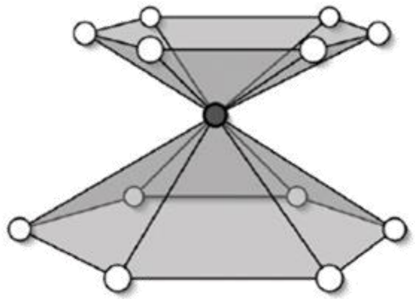
Exemples non 2-manifold

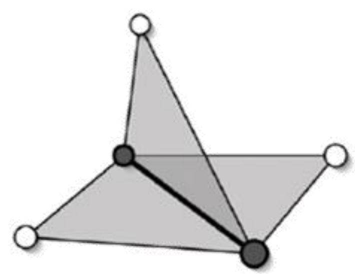


2-variétés (manifold)

- Un maillage est 2-variété si :
  - une sphère (rayon > 0) placée en n'importe quel point à une intersection avec le maillage correspondante à une unique surface,
  - il ne contient que des arêtes partagées par au plus deux triangles,

Exemples non 2-manifold

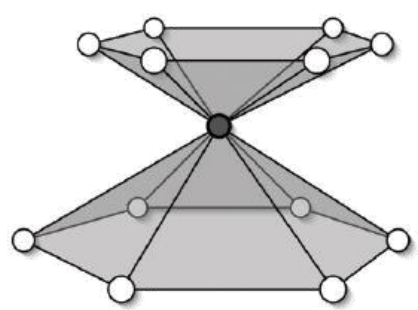


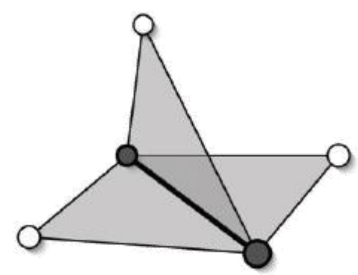


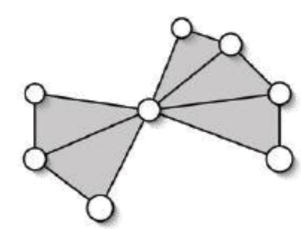
2-variétés (manifold)

- Un maillage est 2-variété si :
  - une sphère (rayon > 0) placée en n’importe quel point à une intersection avec le maillage correspondante à une unique surface,
  - il ne contient que des arêtes partagées par au plus deux triangles,
  - il ne contient aucun sommet correspondant à au plus 2 arêtes du bord,
  - il ne contient pas d’auto-intersection.

Exemples non 2-manifold

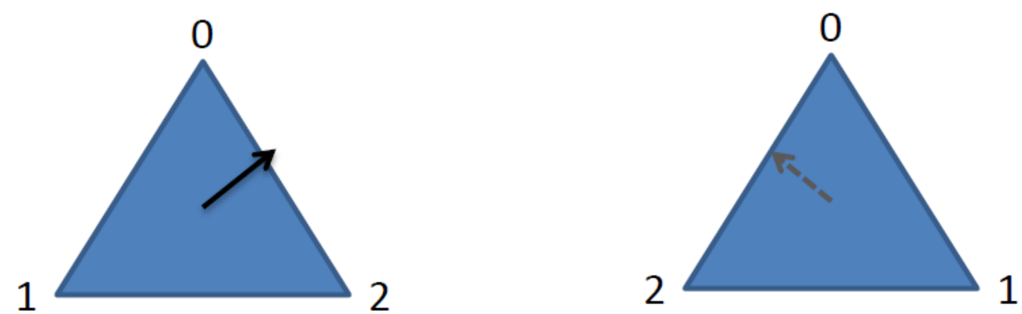






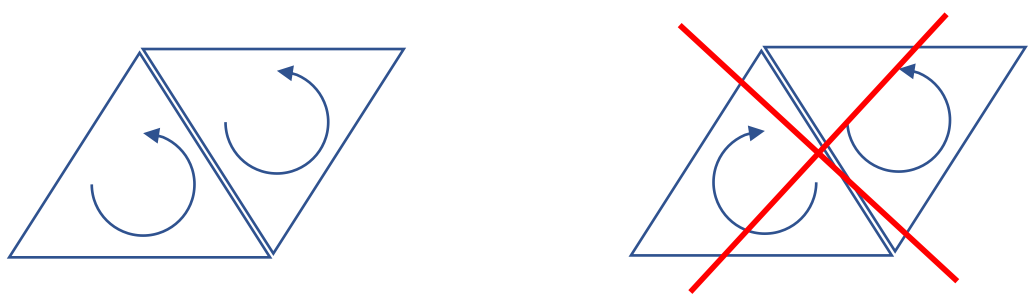
Orientation

- Lorsque le maillage est une variété
- Basé sur l'ordre d'énumération des sommets pour une faces



Sens trigonométrique (CCW)

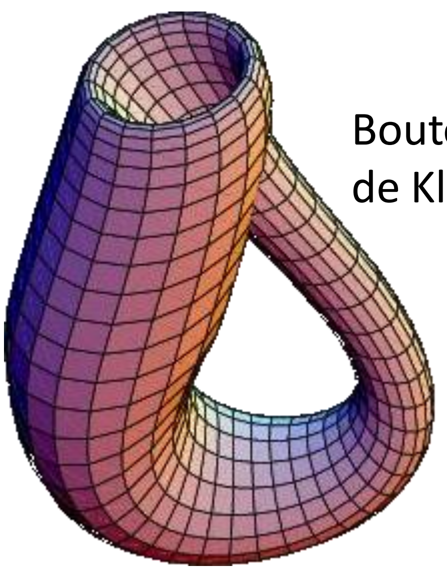
Sens inverse (CW)



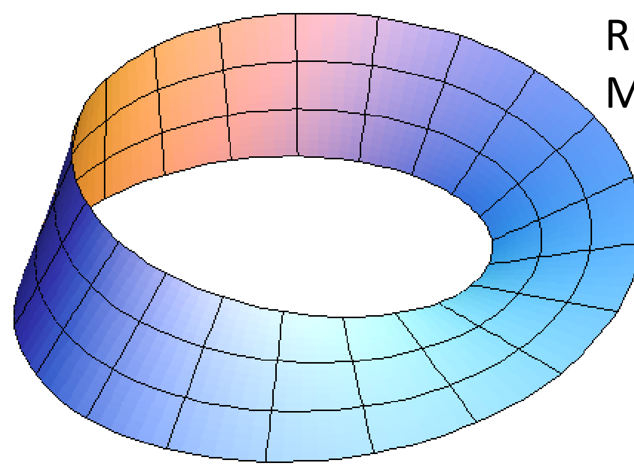
Orientabilité

Variété **orientable**

- Il n'existe aucun sous-ensemble de la surface qui soit homéomorphe au Ruban de Moebius



Bouteille de Klein

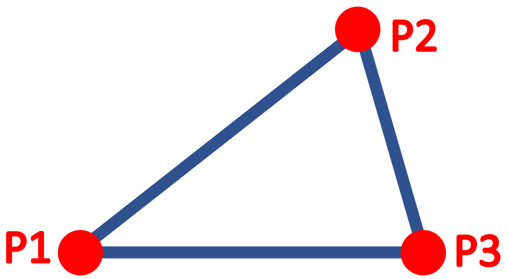


Ruban de Moebius

Normales

- On peut définir une normale par face :
  - elle permet de définir l'orientation de la face
  - elle est égale au produit vectoriel des deux premières arêtes

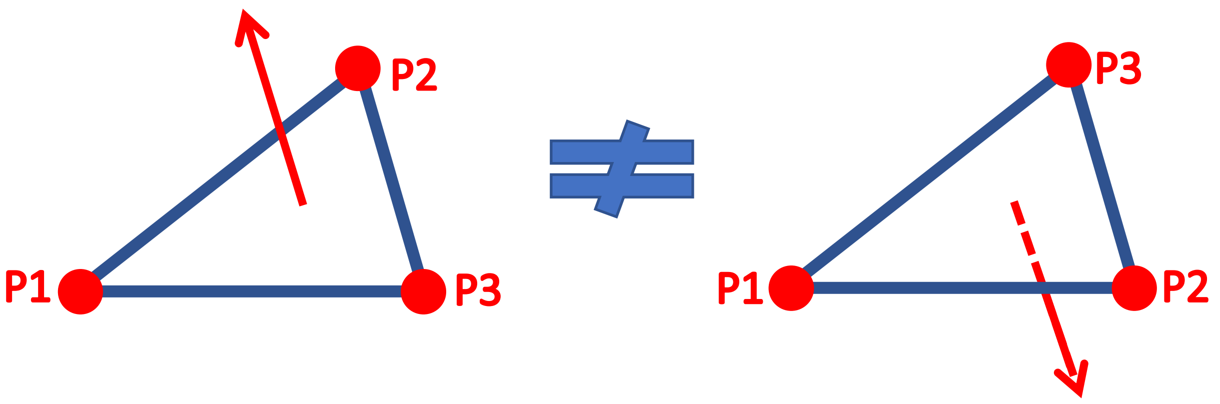
$$N_i = \frac{(P2 - P1)\wedge(P3 - P1)}{\|(P2 - P1)\wedge(P3 - P1)\|}$$



Normales

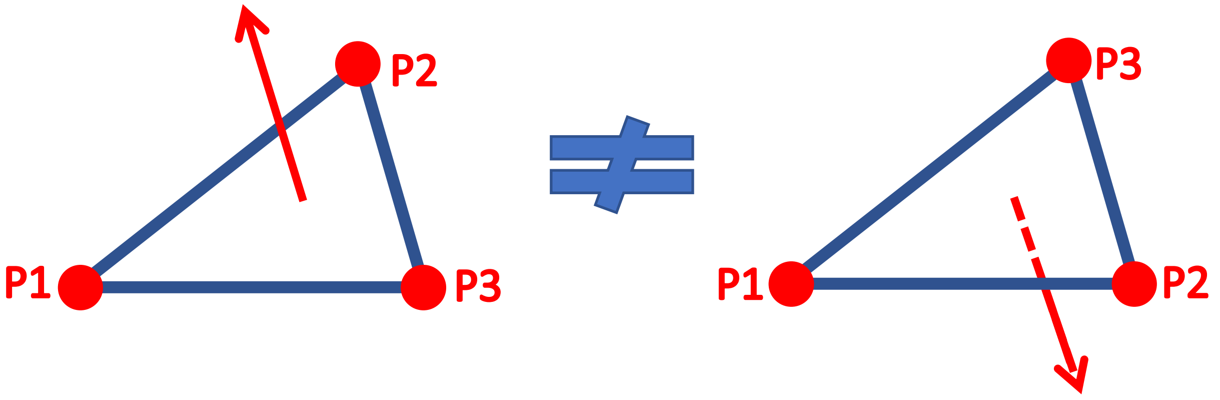
- On peut définir une normale par face :
  - elle permet de définir l'orientation de la face
  - elle est égale au produit vectoriel des deux premières arêtes
  - l'ordre des sommets dans une face est donc important

$$N_i = \frac{(P2 - P1)^\wedge(P3 - P1)}{\|(P2 - P1)^\wedge(P3 - P1)\|}$$



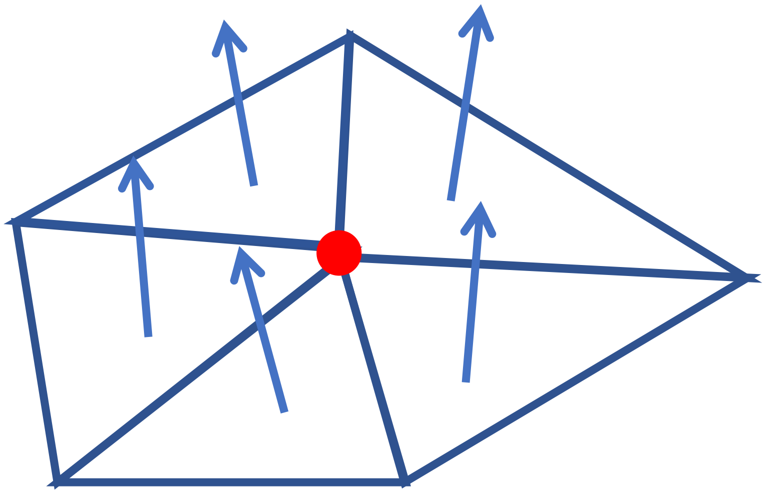
Normales

- On peut définir une normale par face :
  - elle permet de définir l'orientation de la face
  - elle est égale au produit vectoriel des deux premières arêtes
  - l'ordre des sommets dans une face est donc important
  - elle est utilisée pour définir l'extérieur ou l'intérieur ou pour l'éclairage à l'affichage.



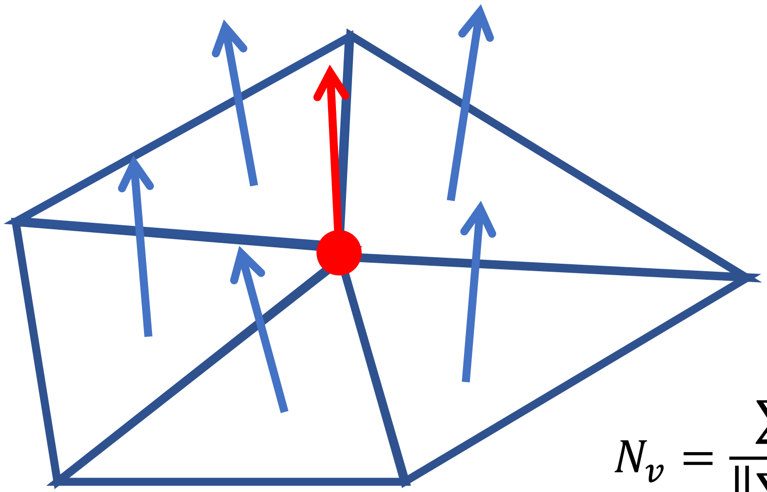
Normales

- On peut définir une normale par sommet :
  - à partir des normales aux faces,



Normales

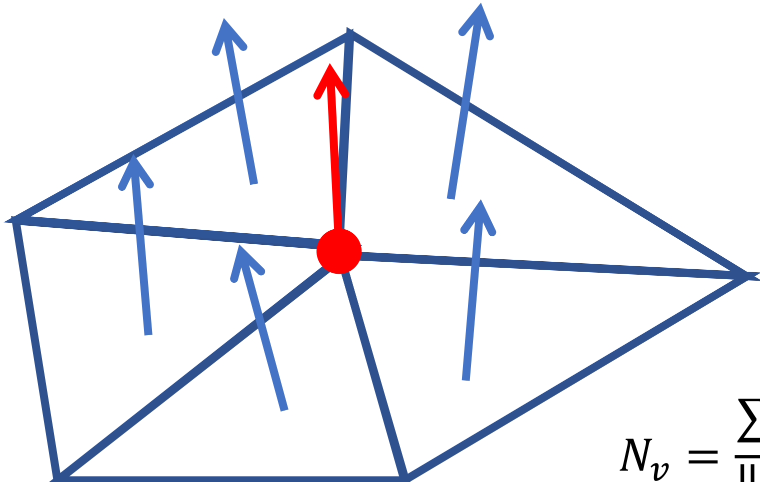
- On peut définir une normale par sommet :
  - à partir des normales aux faces,
  - normale au sommet = moyenne des normales des faces contenant le sommet,



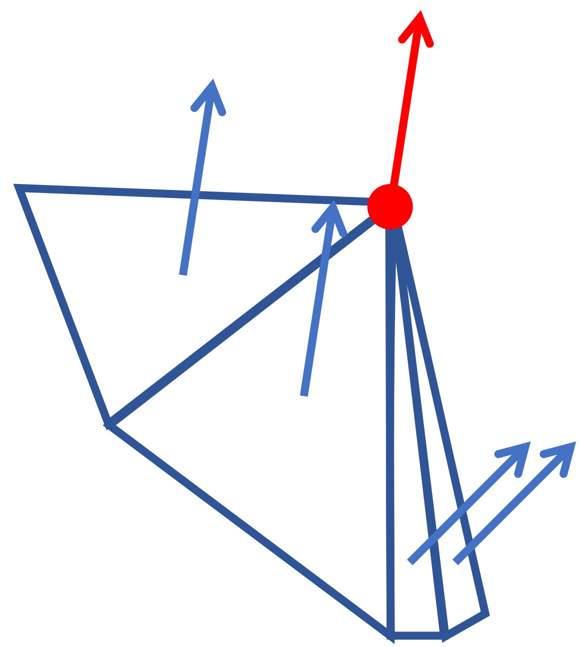
$$N_v = \frac{\sum_i N_i}{\left\|\sum_i N_i\right\|}$$

Normales

- On peut définir une normale par sommet :
  - à partir des normales aux faces,
  - normale au sommet = moyenne des normales des faces contenant le sommet,
  - mieux si on pondère par une propriété du triangle (ex : aire).



$$N_v = \frac{\sum_i w_i N_i}{\left\|\sum_i w_i\right\|}$$



Structure de données

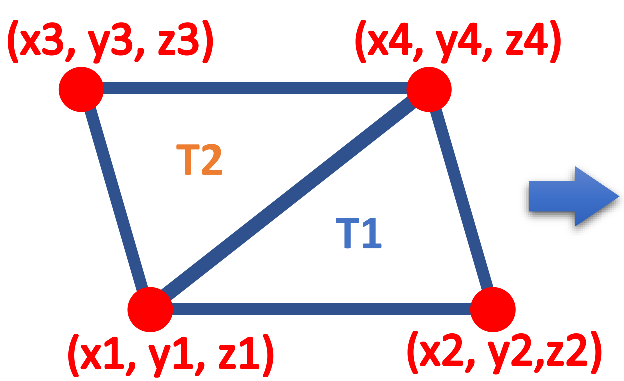
- Ce qu'il y a à stocker :
  - les entités : sommets, arêtes, faces;
  - les normales (par sommet ou face);
  - les couleurs (par sommet ou face), ou les textures …
  - …

Structure de données

- Ce qu’il y a à stocker :
  - les entités : sommets, arêtes, faces;
  - les normales (par sommet ou face);
  - les couleurs (par sommet ou face), ou les textures …
  - …
- Pour stocker un maillage il faut choisir entre :
  - minimiser la taille mémoire,
  - répéter le moins possible les coordonnées des points, …
  - faciliter le parcours dans le maillage,
  - pour passer d’un sommet à l’autre, …
  - permettre d’extraire les informations de topologie.
  - pour connaitre les sommets liés à un autre sommet , les arêtes liées à un sommet, …

Structure de données

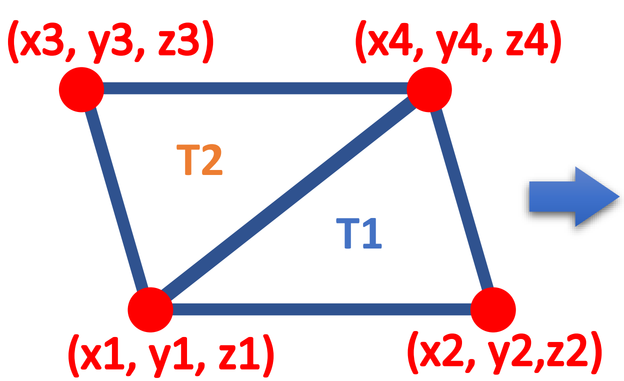
- Approche naïve :
  - maillage représenté par un unique tableau de sommet → maillage non indexé,
  - les coordonnées des sommets sont répétées autant de fois qu'il y a de faces qui les contiennent.



$$\text{tabSommets} = \{\ \overbrace{(x1,y1,z1),(x2,y2,z2),(x4,y4,z4)}^{T1},\ \underbrace{(x1,y1,z1),(x4,y4,z4),(x3,y3,z3)}_{T2}\}$$

Structure de données

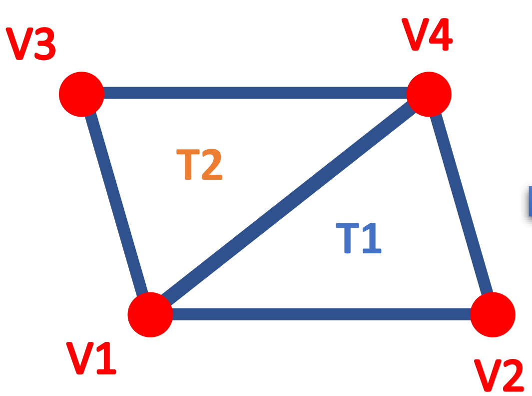
- Approche naïve : ➡ **Prend beaucoup de place**
  - maillage représenté par un unique tableau de sommet → maillage non indexé,
  - les coordonnées des sommets sont répétées autant de fois qu'il y a de faces qui les contiennent.



$$\text{tabSommets} = \{\ \overbrace{(x1,y1,z1),(x2,y2,z2),(x4,y4,z4)}^{T1},\ \underbrace{(x1,y1,z1),(x4,y4,z4),(x3,y3,z3)}_{T2}\}$$

Structure de données

- Approche classique :
  - maillage représenté par un ensemble de tableaux : un pour les sommets, un pour les faces, un pour les couleurs … → maillage indexé,
  - les coordonnées des sommets ne sont plus répétées.



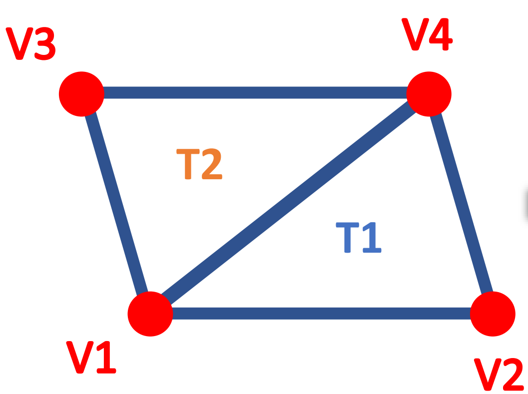
$$\text{tabSommets} = \{\ \overbrace{(x1,y1,z1)}^{\textbf{V1}},\overbrace{(x2,y2,z2)}^{\textbf{V2}}\ ,\overbrace{(x3,y3,z3)}^{\textbf{V3}},\overbrace{(x4,y4,z4)}^{\textbf{V4}}\}$$

$$\text{tabTriangles} = \{\ \underbrace{1,\ 2,\ 4}_{\textbf{T1}}\ ,\ \underbrace{1,\ 4,\ 3}_{\textbf{T2}}\ \}$$

$$\text{tabColors} = \{(\underbrace{r1,g1,b1}_{\textbf{Couleur V1}}),(r2,g2,b2),(r3,g3,b3),(r4,g4,b4)\}$$

Structure de données

- Approche classique : → **Pas pratique pour la topologie**
  - maillage représenté par un ensemble de tableaux : un pour les sommets, un pour les faces, un pour les couleurs … → maillage indexé,
  - les coordonnées des sommets ne sont plus répétées.



$$\text{tabSommets} = \{\ \overbrace{(x1,y1,z1)}^{V1},\overbrace{(x2,y2,z2)}^{V2}\ ,\overbrace{(x3,y3,z3)}^{V3},\overbrace{(x4,y4,z4)}^{V4}\}$$

$$\text{tabTriangles} = \{\ \underbrace{1,\ 2,\ 4}_{T1}\ ,\ \underbrace{1\ ,\ 4,\ 3}_{T2}\ \}$$

$$\text{tabColors} = \{\underbrace{(r1,g1,b1)}_{\text{Couleur V1}},(r2,g2,b2),(r3,g3,b3),(r4,g4,b4)\}$$

Structure de données

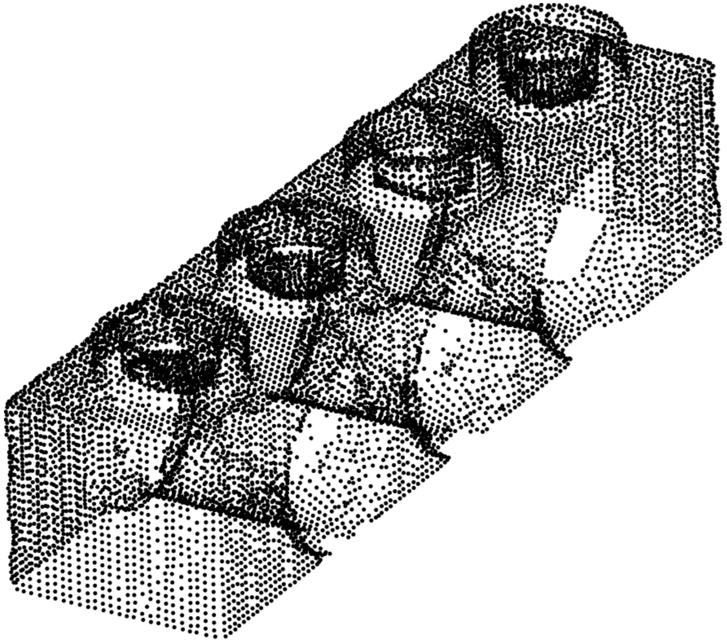
- Formats de fichier :
  - Soit indexé
    - OFF
    - OBJ
  - Soit non indexé
    - STL

Maillage 3D

- Création d’un maillage :
  - à partir d’un nuage de point en utilisant une triangulation,

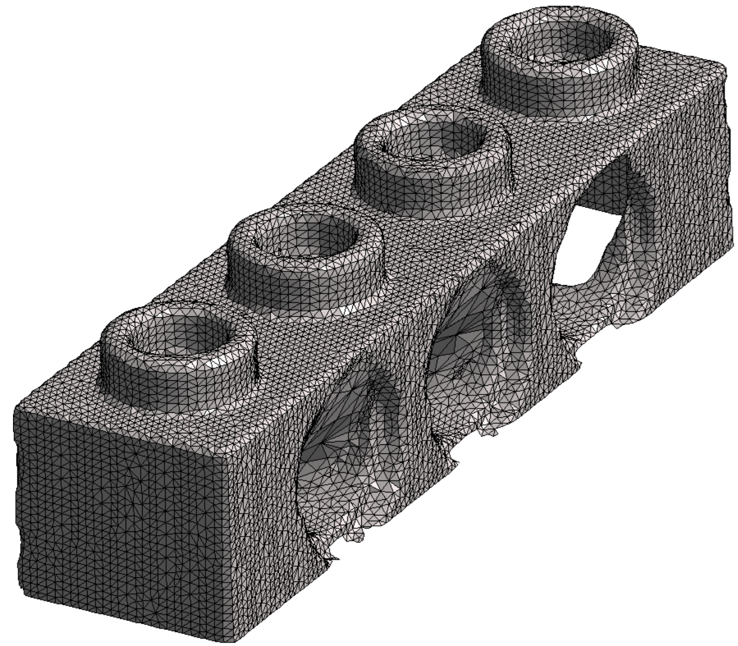
Maillage 3D

- Création d’un maillage :
  - à partir d’un nuage de point en utilisant une triangulation,



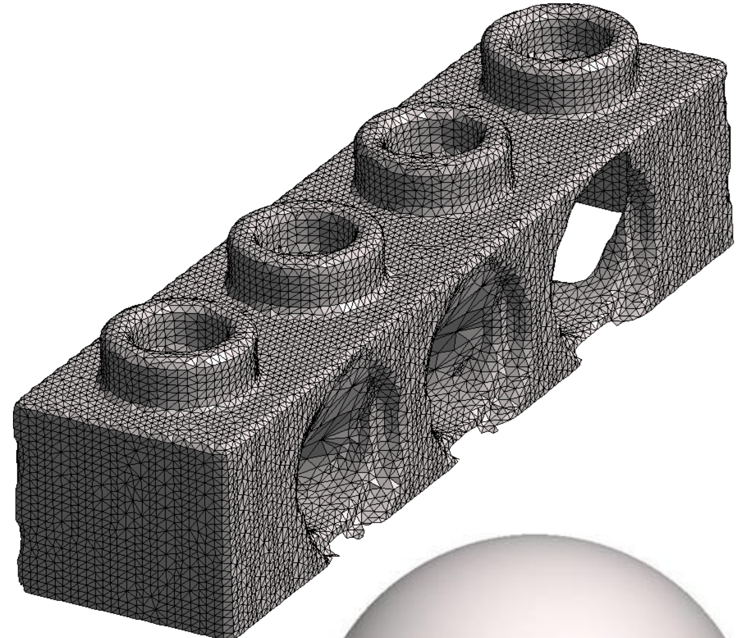
Maillage 3D

- Création d’un maillage :
  - à partir d’un nuage de point en utilisant une triangulation,

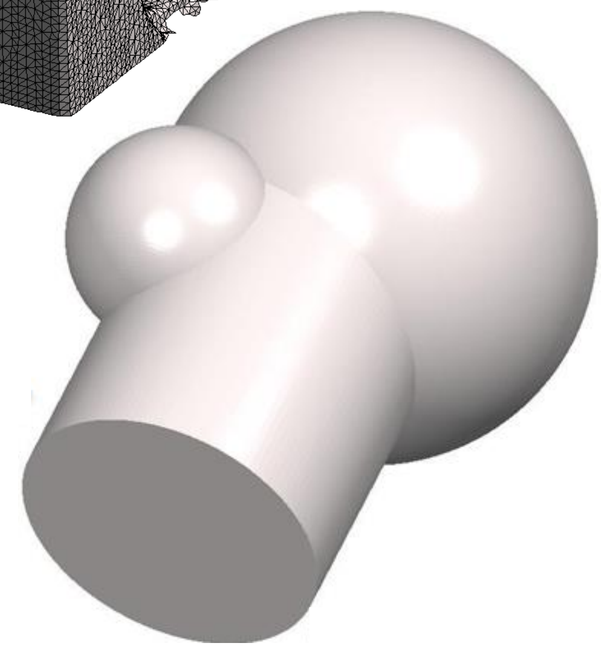


Maillage 3D

- Création d'un maillage :
  - à partir d'un nuage de point en utilisant une triangulation,

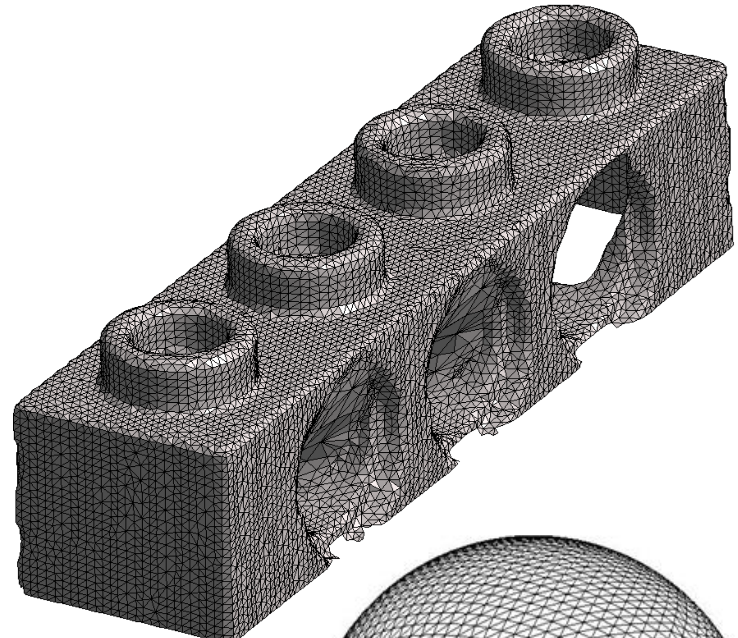


  - à partir d'une surface continue en utilisant une discrétisation.

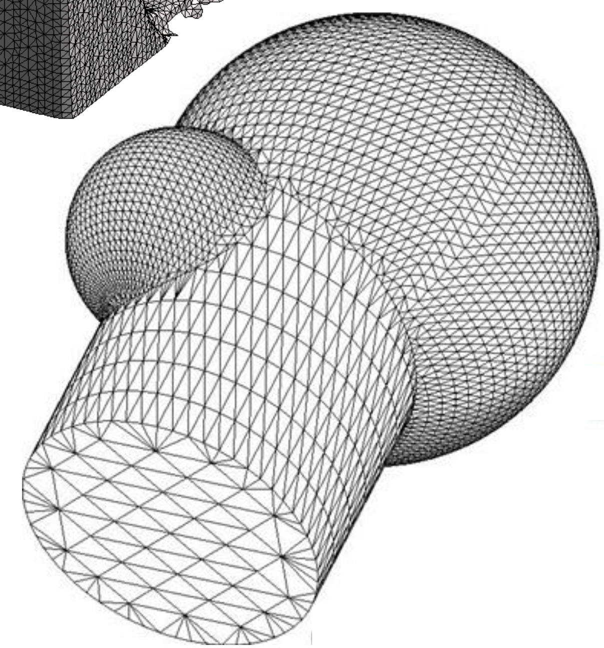


Maillage 3D

- Création d’un maillage :
  - à partir d’un nuage de point en utilisant une triangulation,

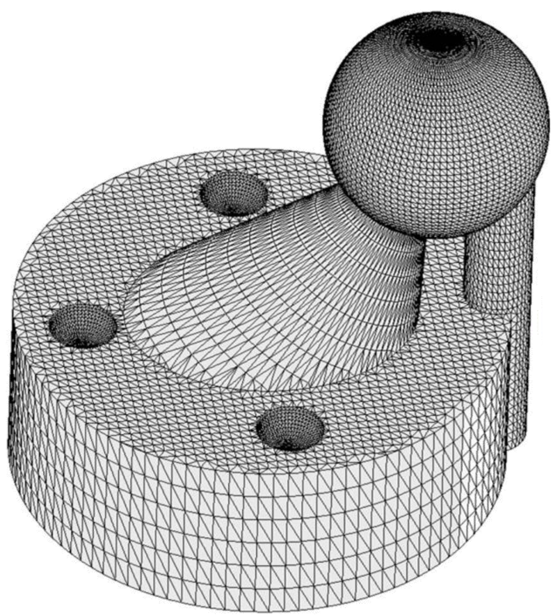


  - à partir d’une surface continue en utilisant une discrétisation.



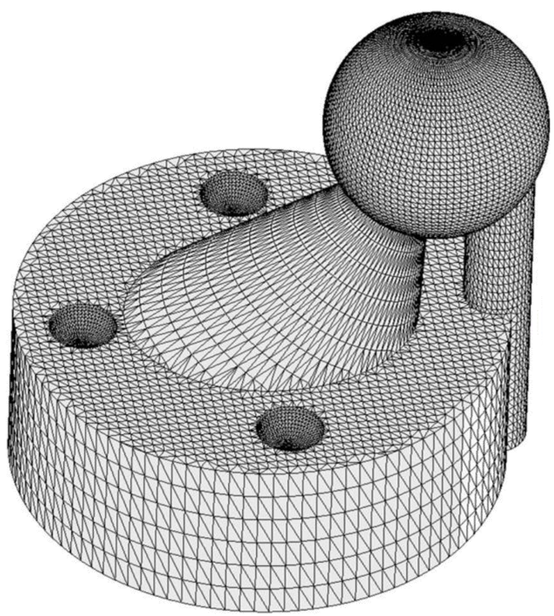
Maillage 3D

- Selon l’utilisation que l’on souhaite faire des maillages il peut être primordial **d’étudier la forme** d’un maillage.



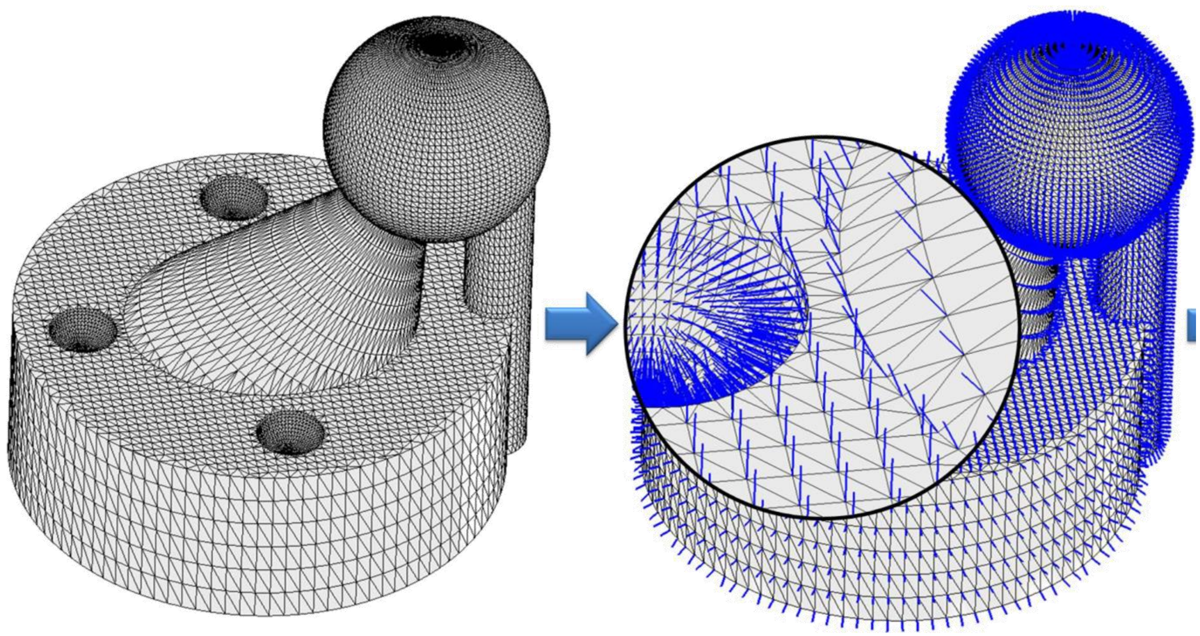
Maillage 3D

- Selon l'utilisation que l'on souhaite faire des maillages il peut être primordial **d'étudier la forme** d'un maillage.
- Les informations de forme sont extraites le plus souvent d'une étude des **variations des normales** voisines.



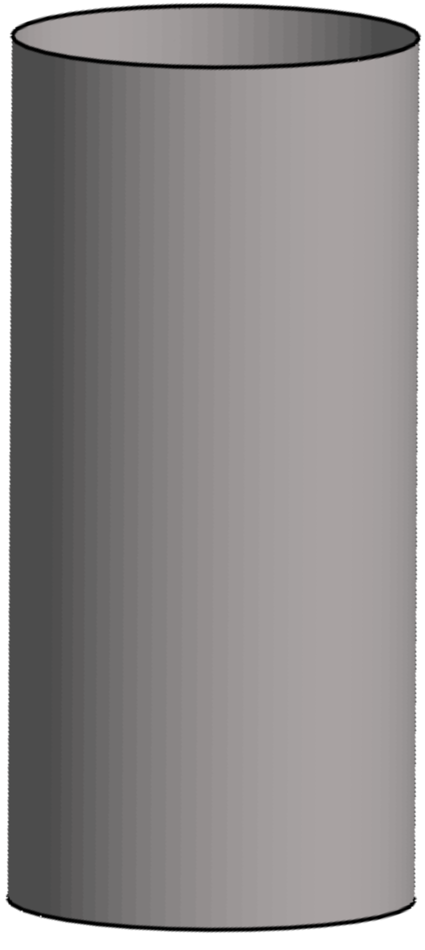
Maillage 3D

- Selon l’utilisation que l’on souhaite faire des maillages il peut être primordial **d’étudier la forme** d’un maillage.
- Les informations de forme sont extraites le plus souvent d’une étude des **variations des normales** voisines.



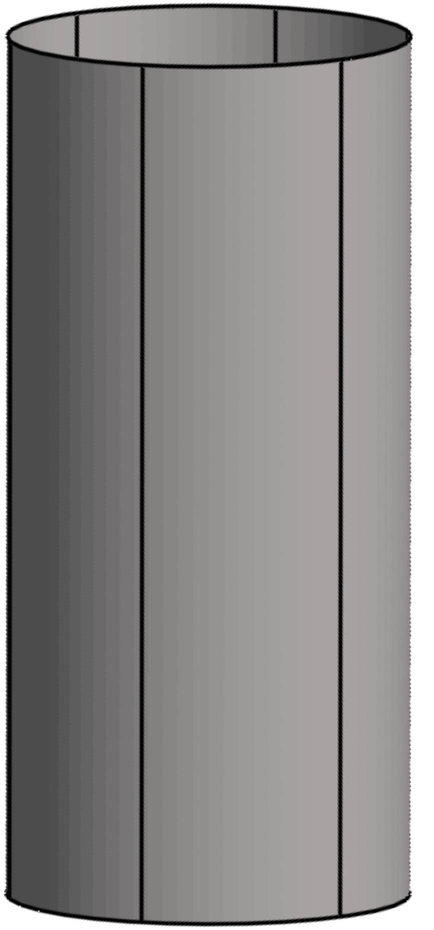
Discrétisation

- A partir d'objet simple, exemple du cas du cylindre



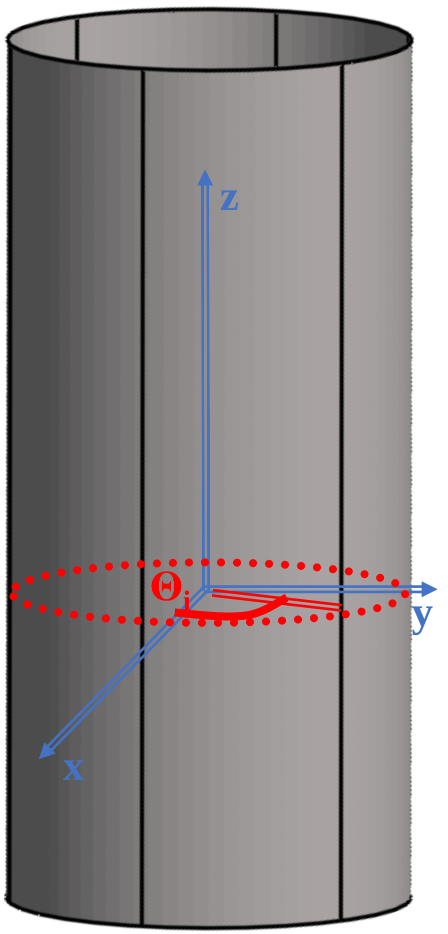
Discrétisation

- A partir d'objet simple, exemple du cas du cylindre :
  - des méridiens sont extraits



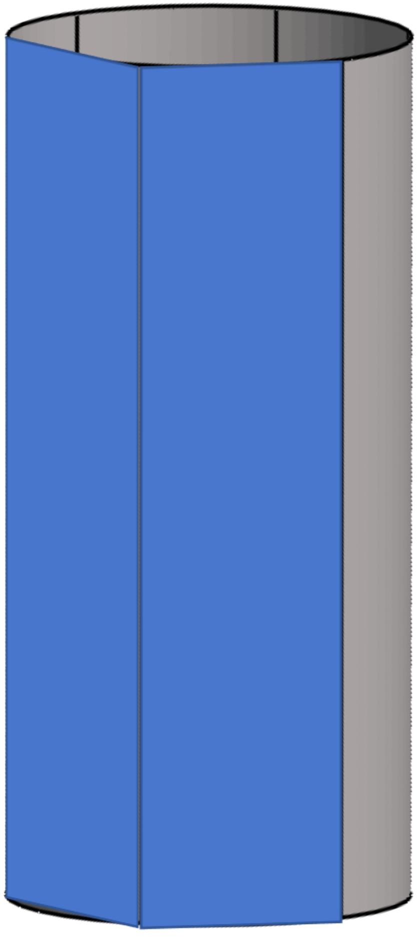
Discrétisation

- A partir d'objet simple, exemple du cas du cylindre :
  - des méridiens sont extraits,
  - à partir des méridiens on calcule des facettes



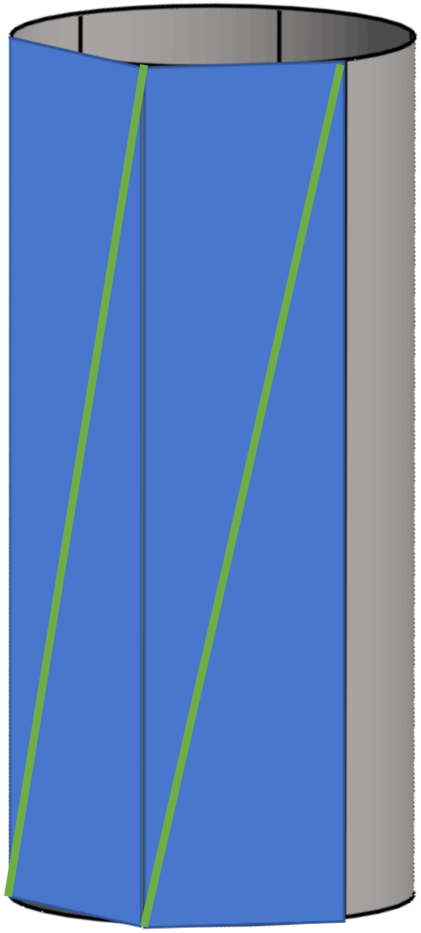
Discrétisation

- A partir d’objet simple, exemple du cas du cylindre :
  - des méridiens sont extraits,
  - à partir des méridiens on calcule des facettes



Discrétisation

- A partir d'objet simple, exemple du cas du cylindre :
  - des méridiens sont extraits,
  - à partir des méridiens on calcule des facettes,
  - chaque facette est découpée en triangle en ajoutant une diagonale.

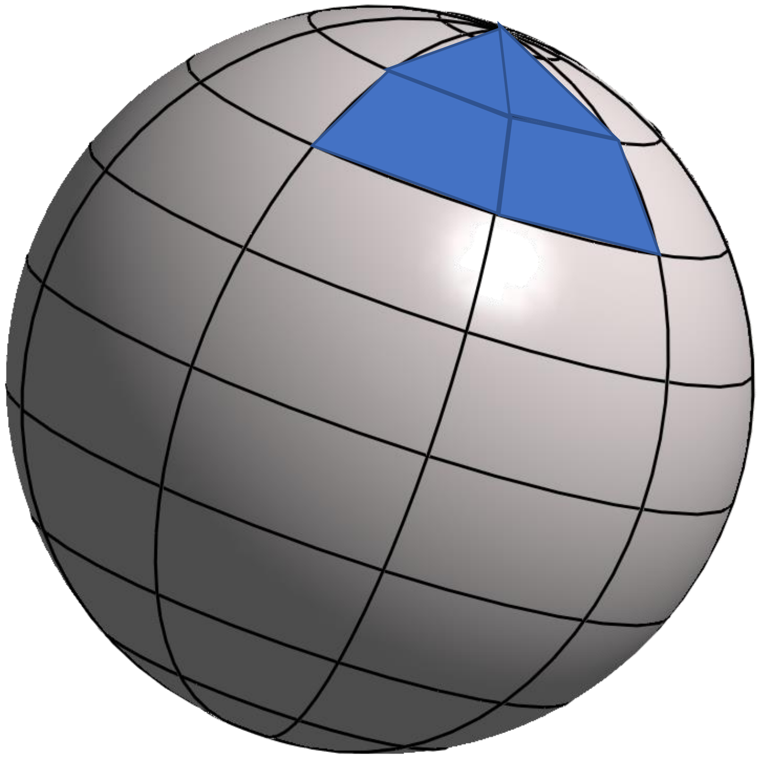


Discrétisation

- Idem pour le cône.
- Pour la sphère certaines facettes sont déjà des triangles.

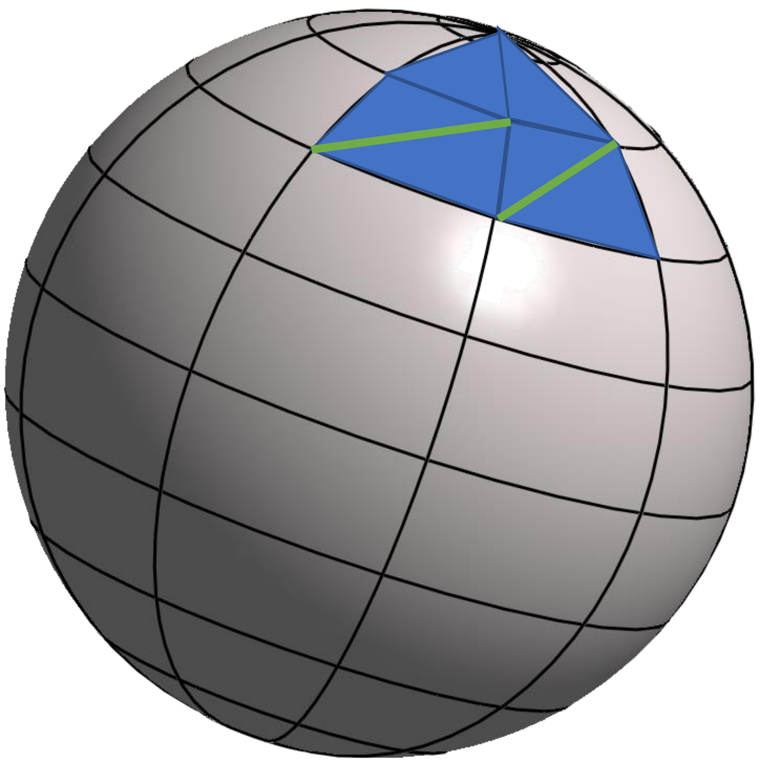
Discrétisation

- Idem pour le cône.
- Pour la sphère certaines facettes sont déjà des triangles.



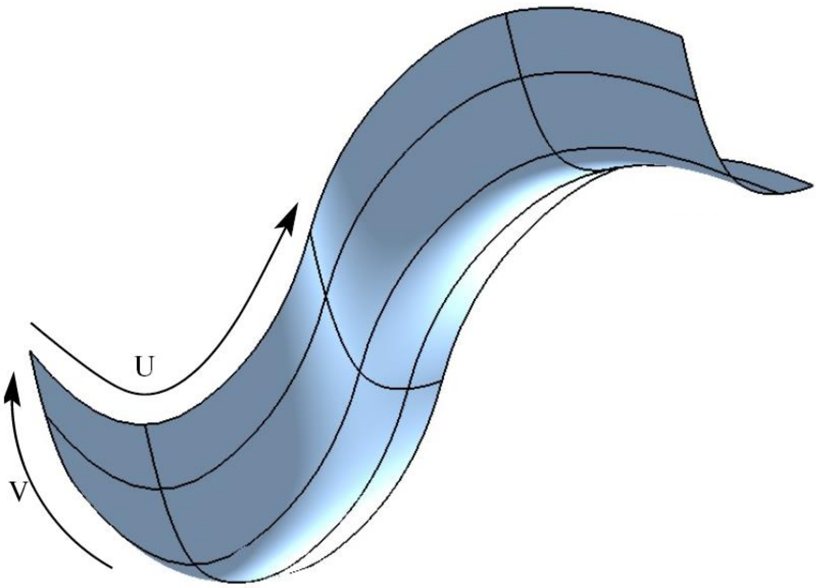
Discrétisation

- Idem pour le cône.
- Pour la sphère certaines facettes sont déjà des triangles.



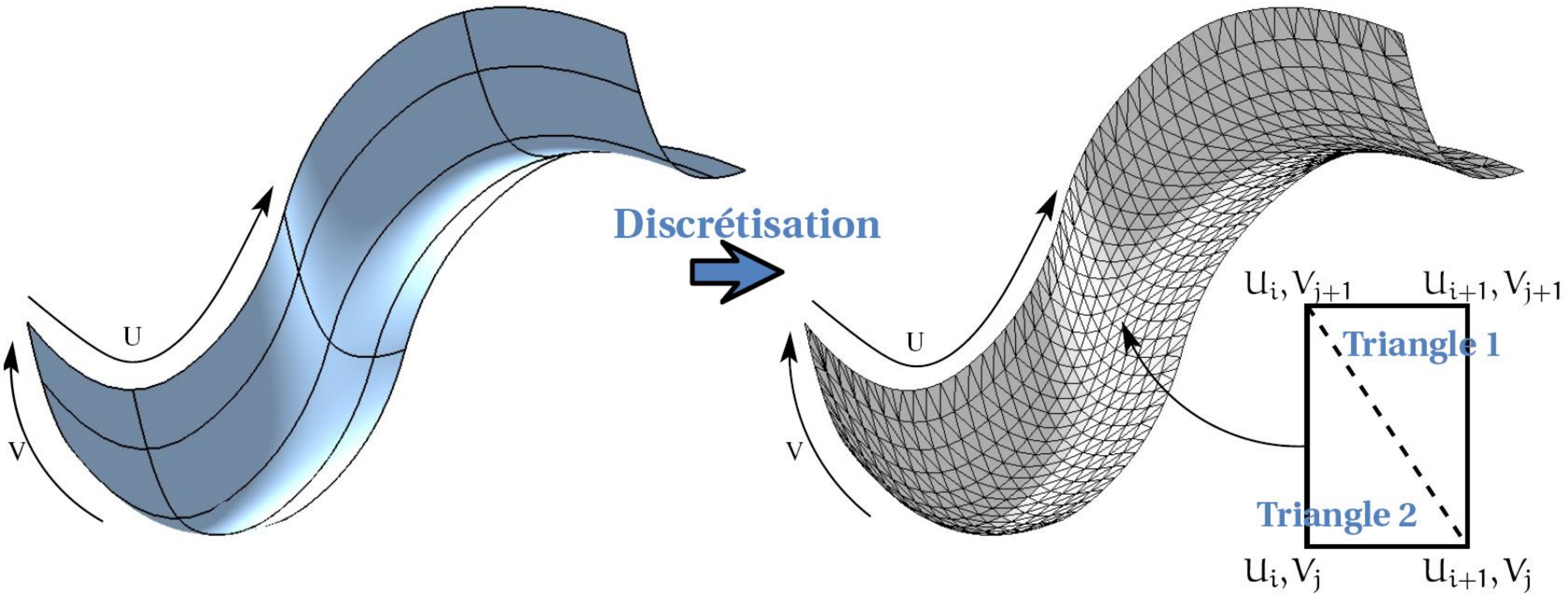
Discrétisation

- Surfaces libres en utilisant les iso-paramétriques :
  - courbes de contrôle en U et V,
  - construction de facettes qui sont ensuite triangulées.



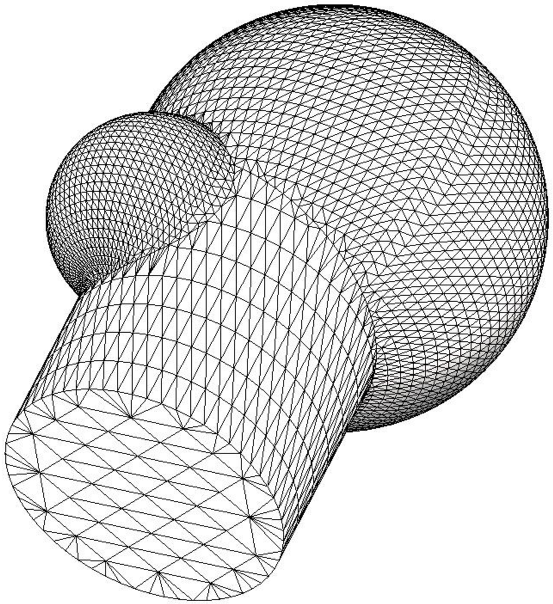
Discrétisation

- Surfaces libres en utilisant les iso-paramétriques :
  - courbes de contrôle en U et V,
  - construction de facettes qui sont ensuite triangulées.



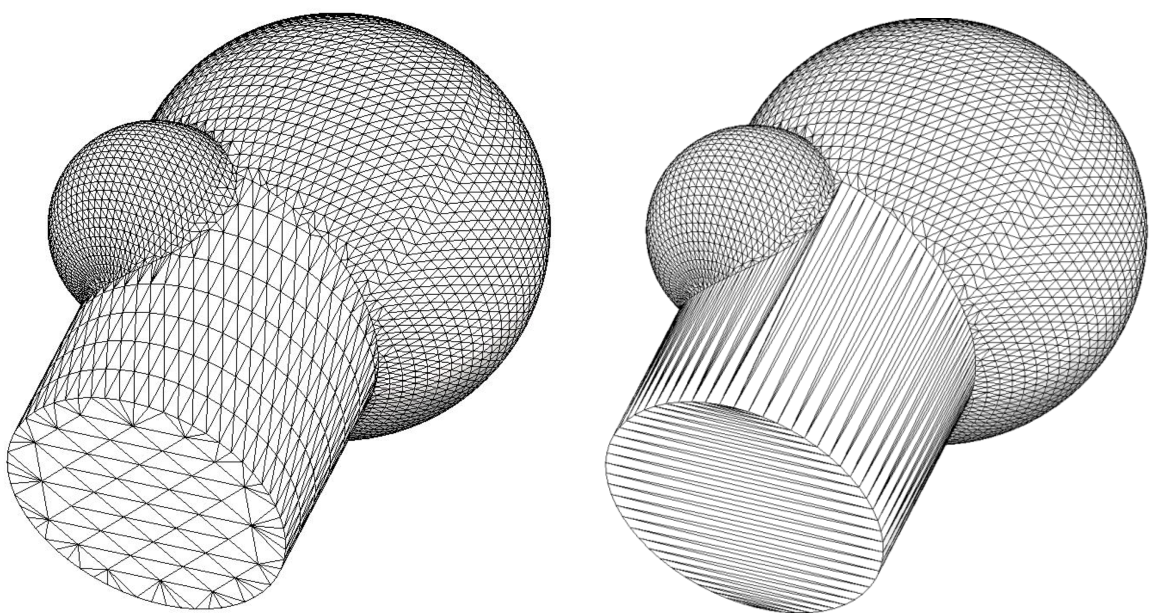
Discrétisation

- La résolution du maillage est induite par le nombre d’iso-paramétriques calculées en U ou en V



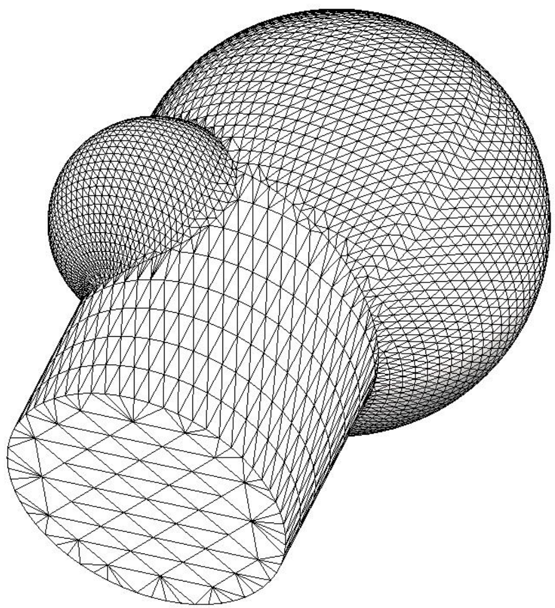
Discrétisation

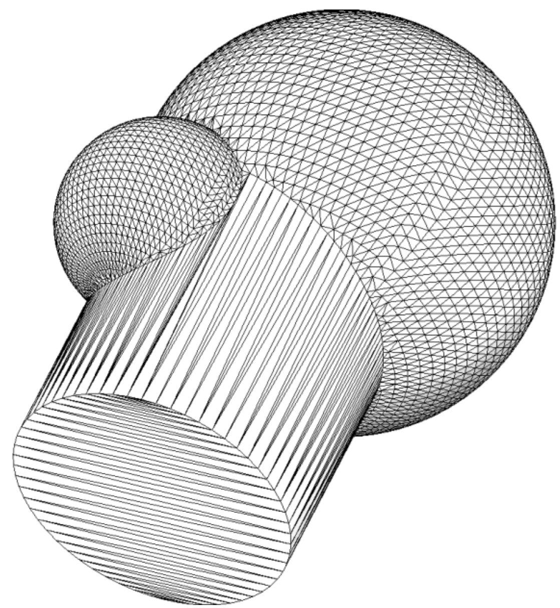
- La résolution du maillage est induite par le nombre d'iso-paramétriques calculées en U ou en V :
  - le nombre d'iso-paramétriques en U ou en V, peut être différent en fonction de l'objet.

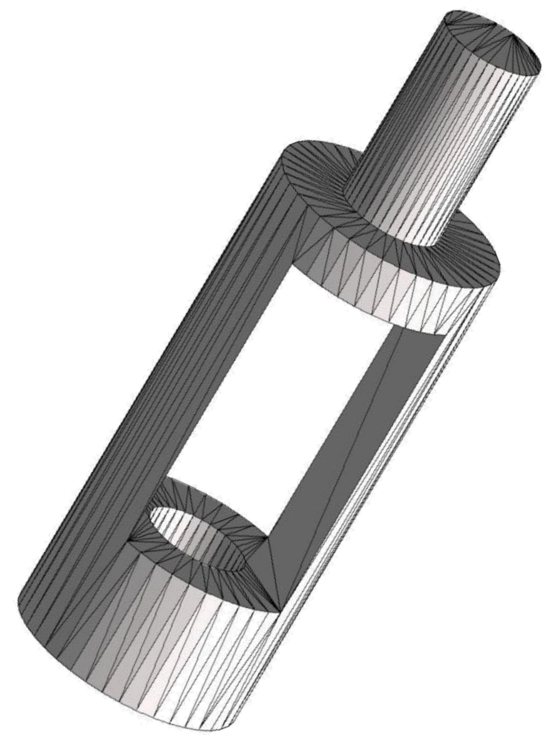


Discrétisation

- La résolution du maillage est induite par le nombre d'iso-paramétriques calculées en U ou en V :
  - le nombre d'iso-paramétriques en U ou en V, peut être différent en fonction de l'objet.

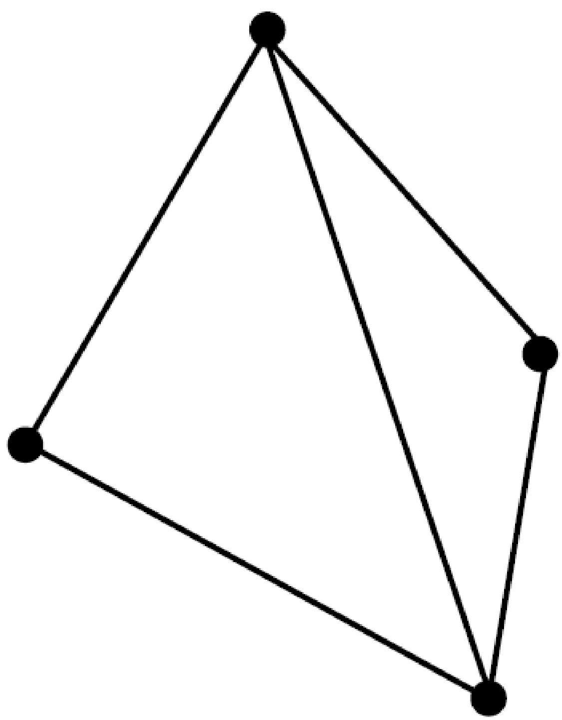






Triangulation

- A partir d’un nuage de points, plusieurs méthodes :
  - par triangulation de Delaunay et diagramme de Voronoï



Connectivité

- 1-anneau voisinage (**1- voisinage**) d'un sommet v : ensemble des sommets reliés par une arête à v
- Valence d'un sommet : taille de 1-voisinage

- Maillage régulier :

– Tous les sommets ont une valence régulière

– Exemple :

  - valence 6 pour les maillages triangulaires
  - valence 4 pour les maillages quadrangulaires

- Maillage semi-régulier :

– La plupart des sommets ont une valence régulière – Peu de sommets *extraordinaires* (valence irrégulière)

- Maillage arbitraire :

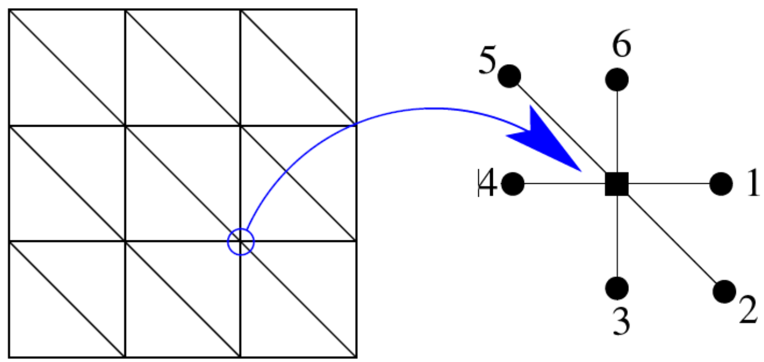
– La plupart des sommets sont extraordinaires

Maillage régulier

- Lors d’une discrétisation il y a deux façons de rajouter les diagonales :
  - toutes les diagonales dans le même sens (valence 6)

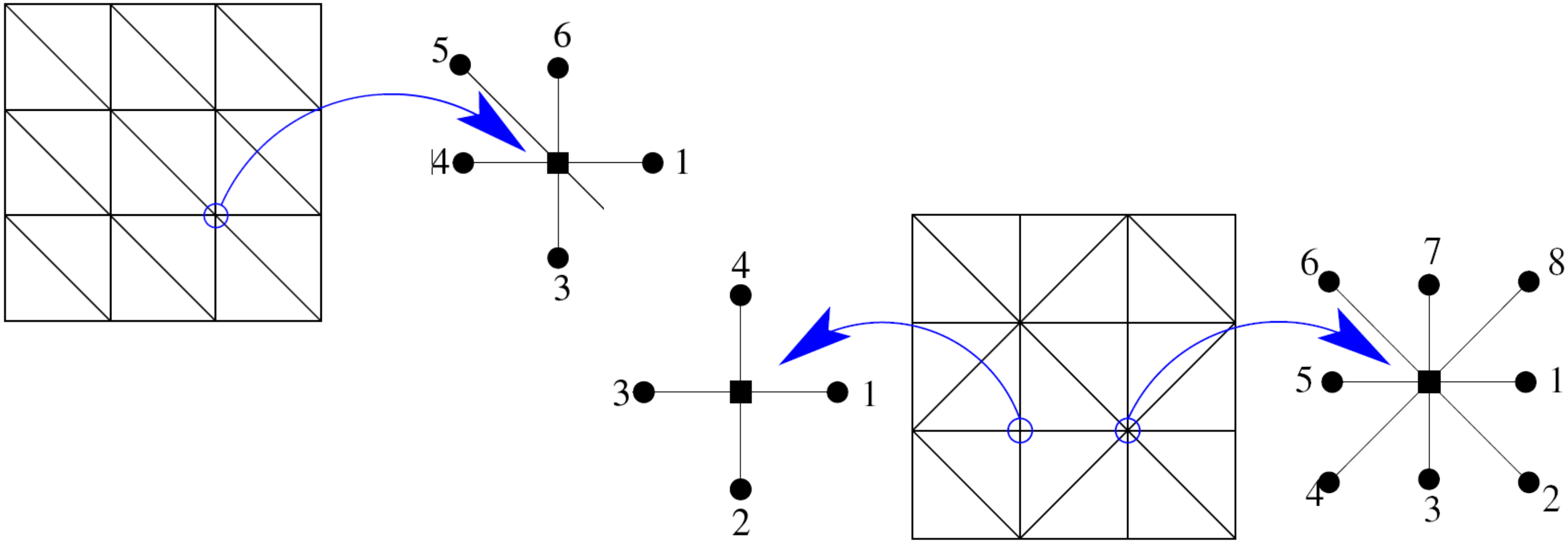
Maillage régulier

- Lors d’une discrétisation il y a deux façons de rajouter les diagonales :
  - toutes les diagonales dans le même sens (valence 6) ,
  - un coup d’un côté, un coup de l’autres (valence 4/8).



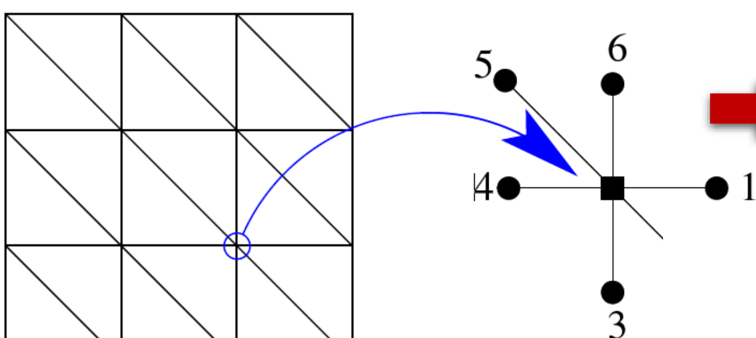
Maillage régulier

- Lors d’une discrétisation il y a deux façons de rajouter les diagonales :
  - toutes les diagonales dans le même sens (valence 6) ,
  - un coup d’un côté, un coup de l’autres (valence 4/8).

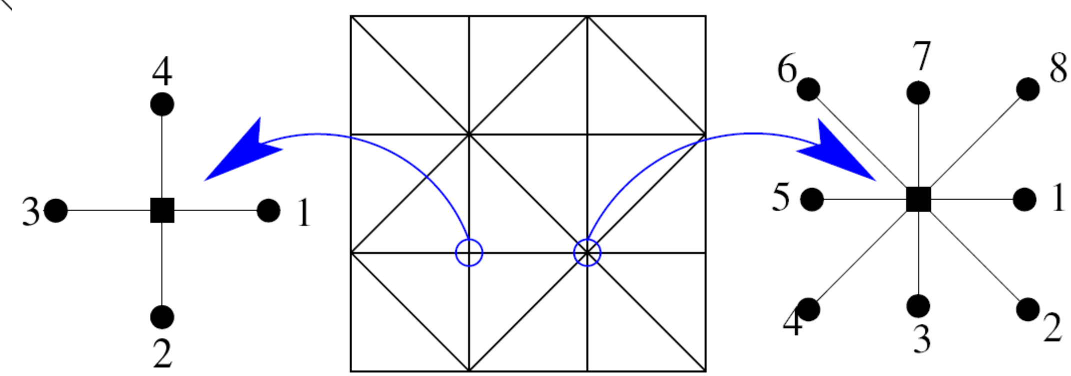


Maillage régulier

- Lors d’une discrétisation il y a deux façons de rajouter les diagonales :
  - toutes les diagonales dans le même sens (valence 6) ,
  - un coup d’un côté, un coup de l’autres (valence 4/8).



dans ce cas : maillage régulier

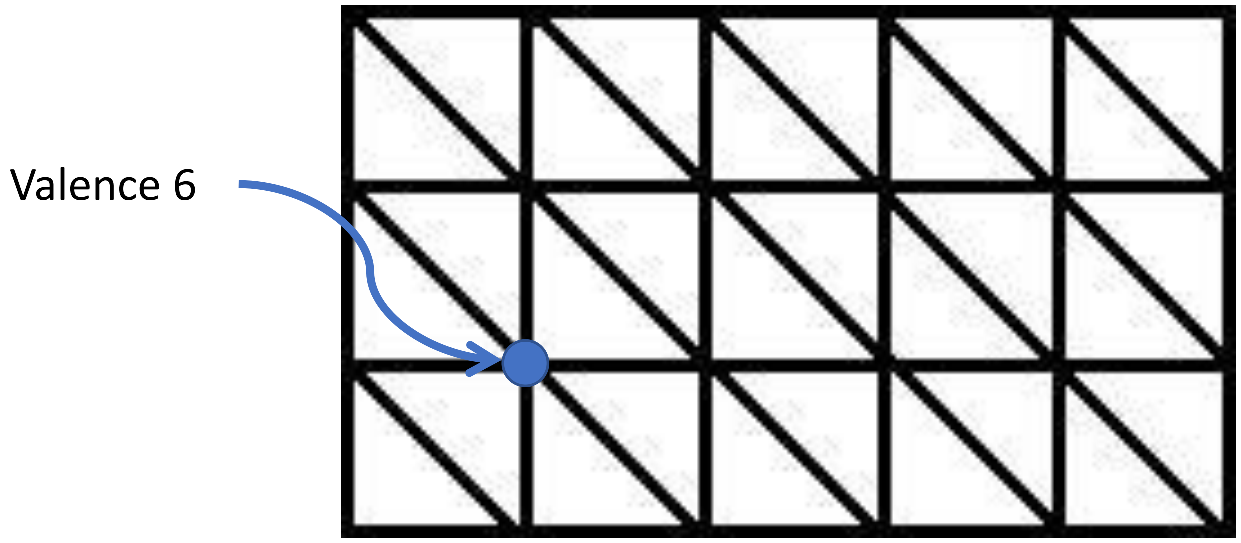


Maillage régulier

- Un maillage est régulier si :

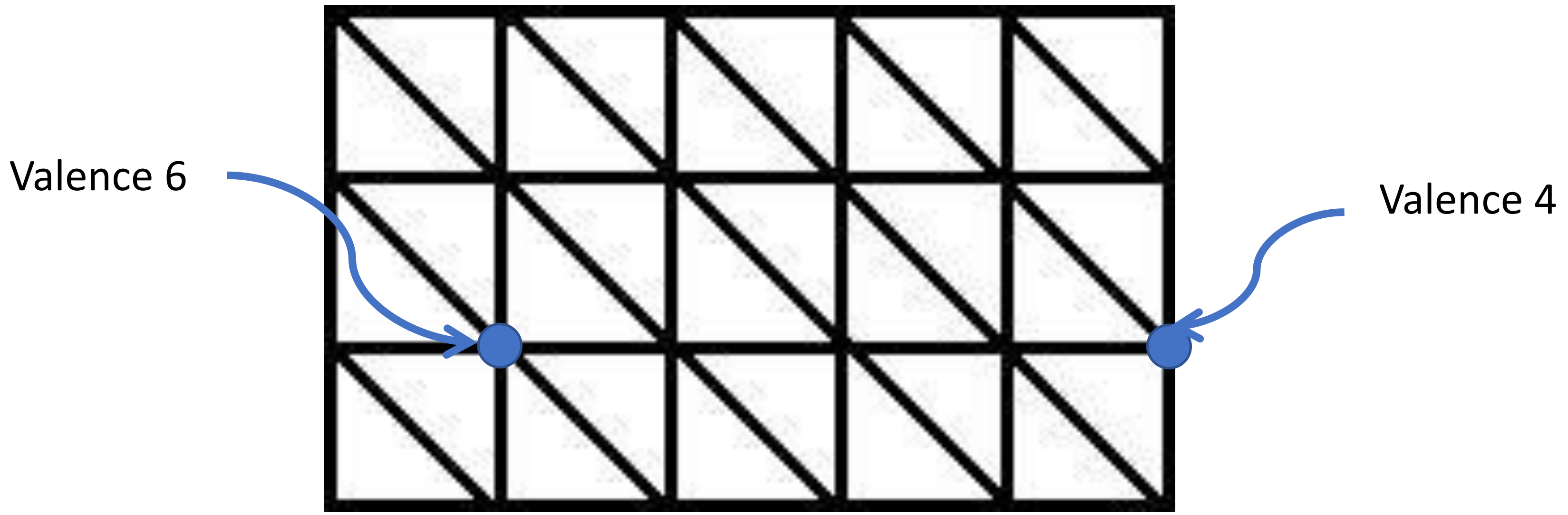
Maillage régulier

- Un maillage est régulier si :
  - tous ses sommets internes sont de valence 6,



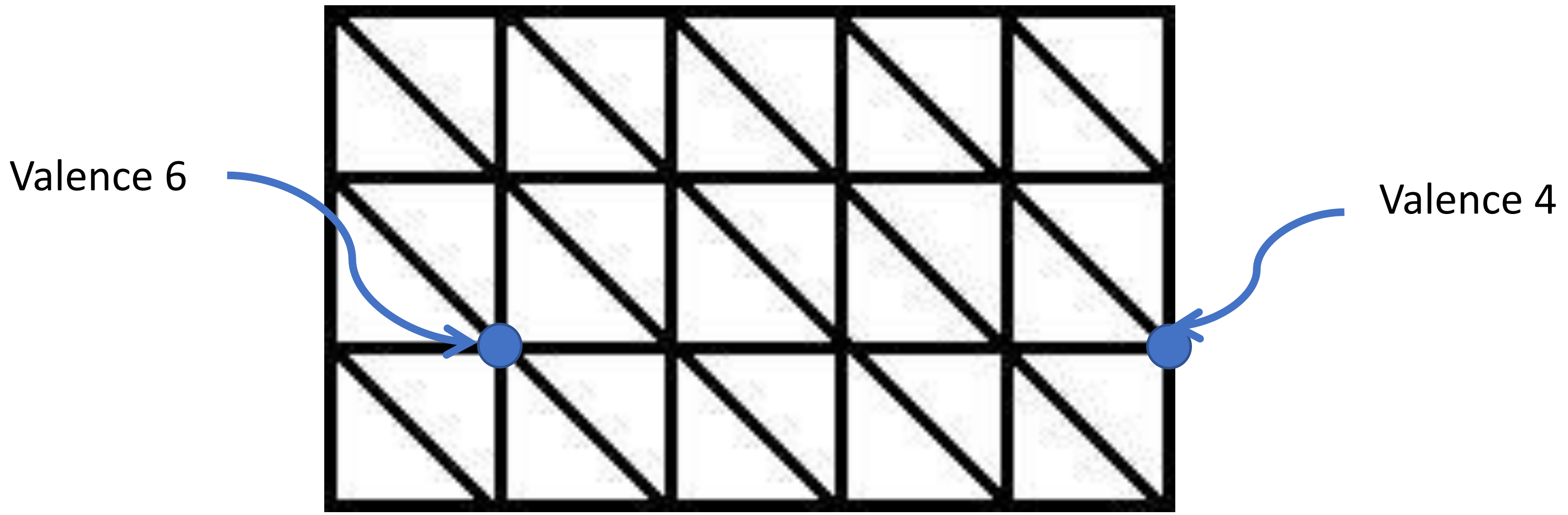
Maillage régulier

- Un maillage est régulier si :
  - tous ses sommets internes sont de valence 6,
  - tous ses sommets du bord sont de valence 4.



Maillage régulier

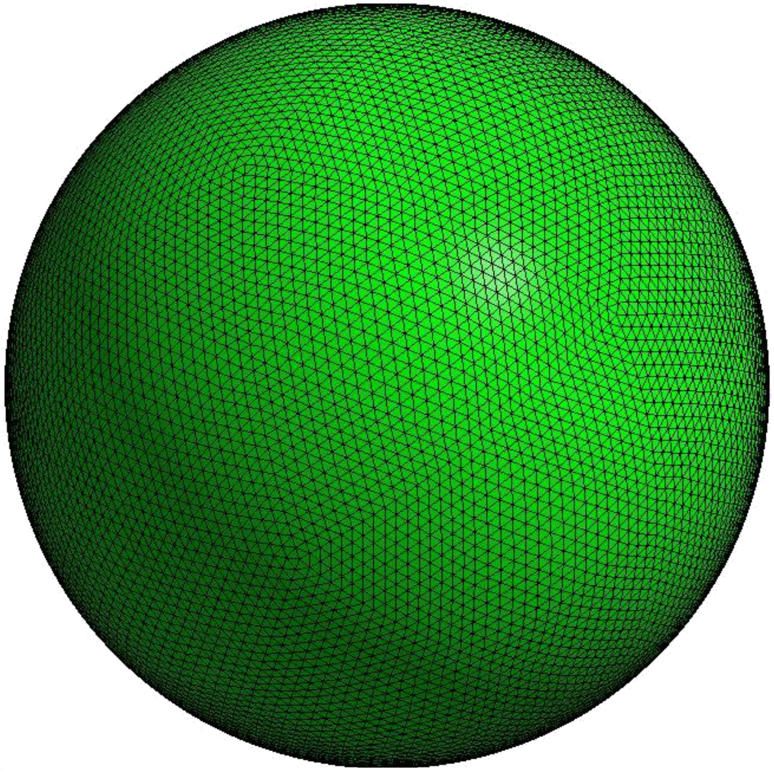
- Un maillage est régulier si :
  - tous ses sommets internes sont de valence 6,
  - tous ses sommets du bord sont de valence 4.



→ utile pour certaines opérations : subdivision, topologie…

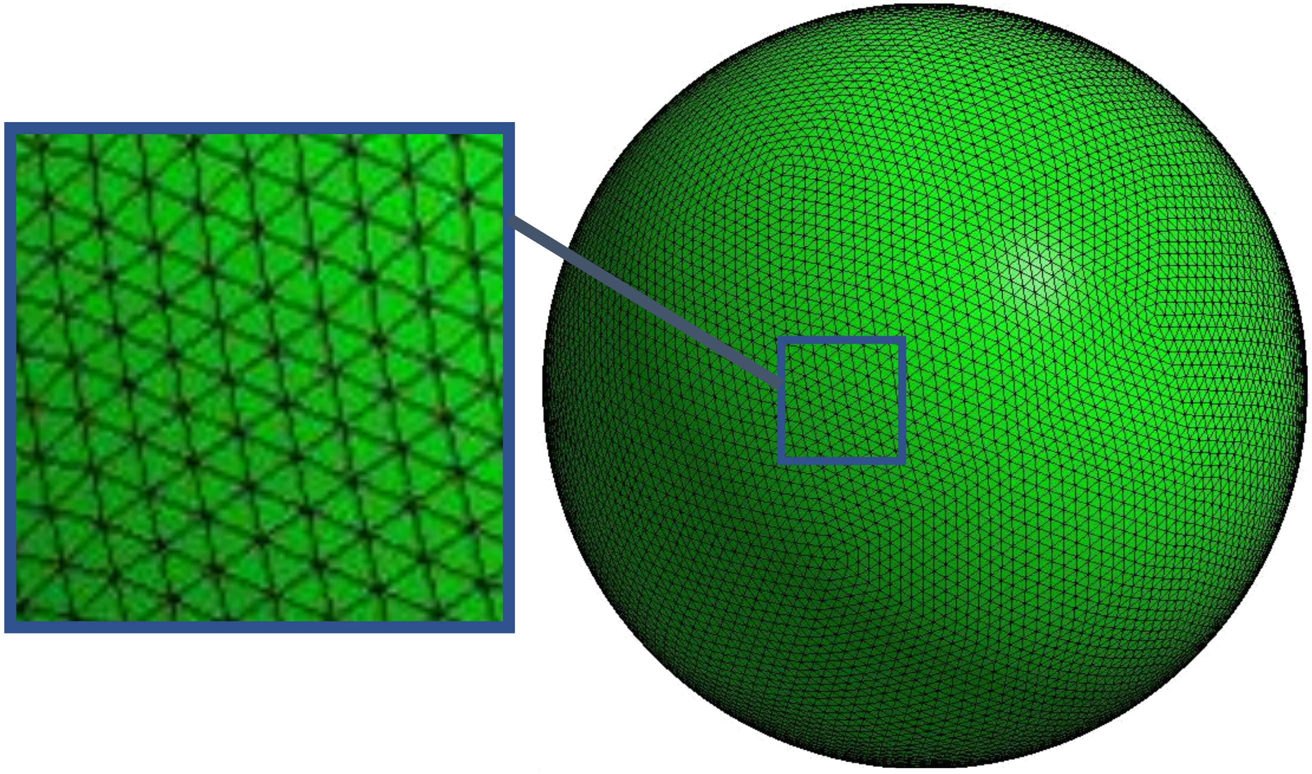
Maillage régulier

- Un maillage est semi-régulier si :



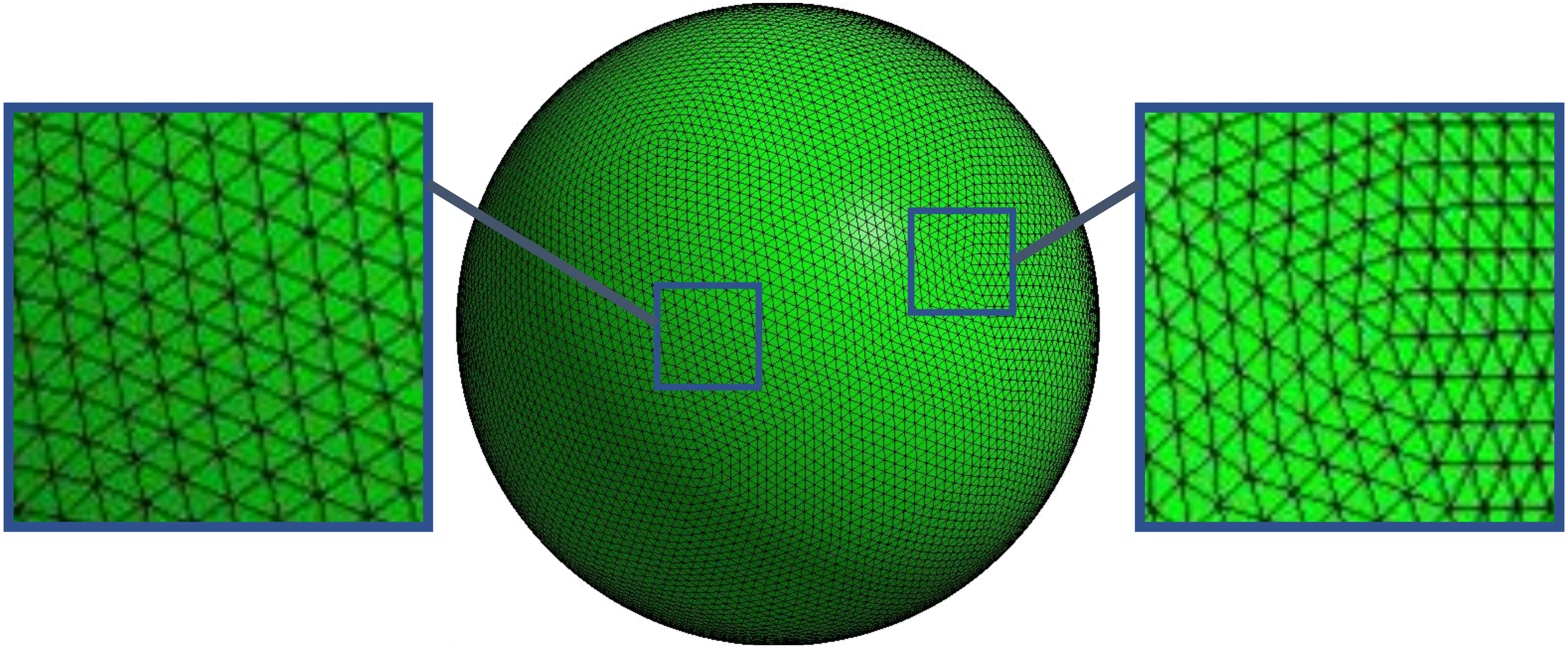
Maillage régulier

- Un maillage est semi-régulier si :
  - la majeure partie de ses sommets sont de valence 6,



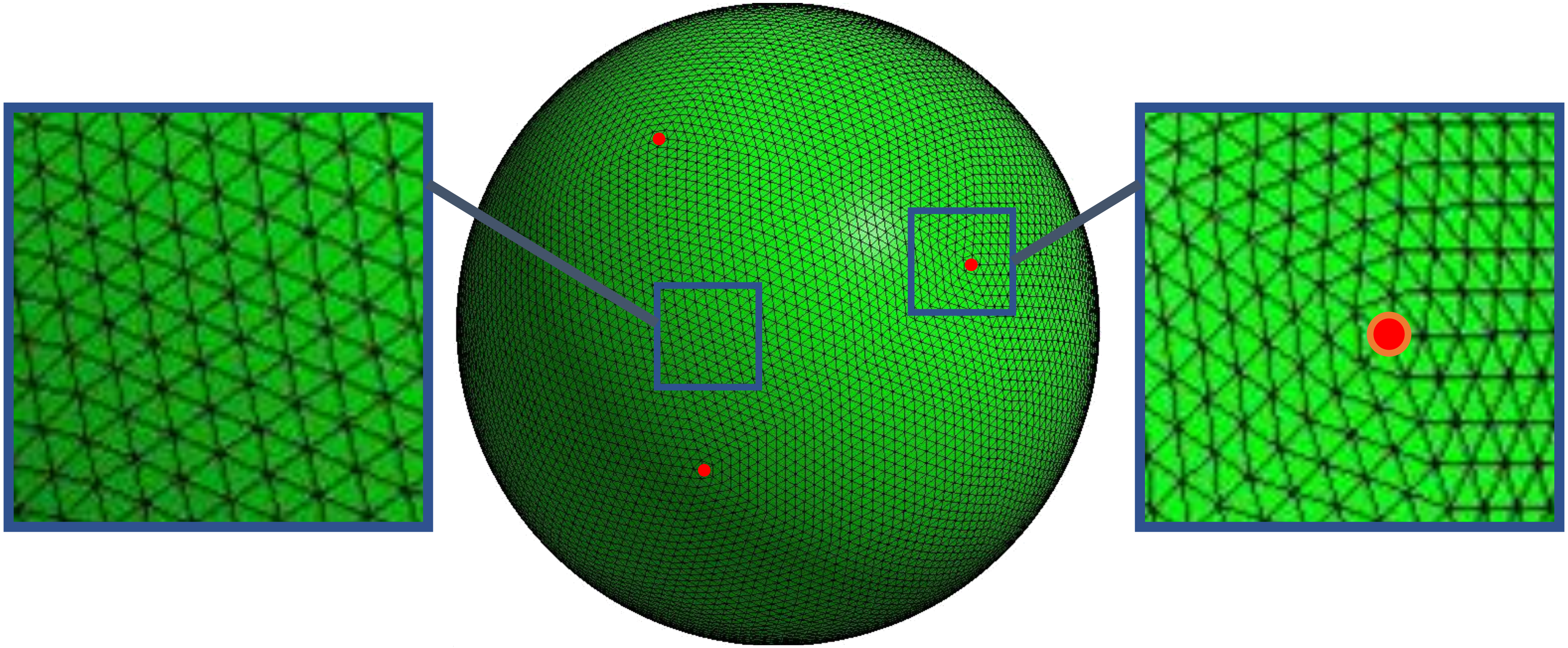
Maillage régulier

- Un maillage est semi-régulier si :
  - la majeure partie de ses sommets sont de valence 6,
  - seulement quelques sommets sont de valence ≠ 6.



Maillage régulier

- Un maillage est semi-régulier si :
  - la majeure partie de ses sommets sont de valence 6,
  - seulement quelques sommets sont de valence ≠ 6.



Isotropie et Anisotropie

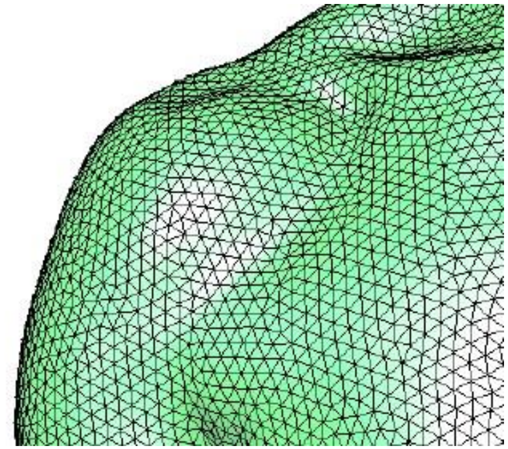
- Isotropie : les polygones ont une forme similaire sur tout le maillage

–Triangles quasi-équilatéraux

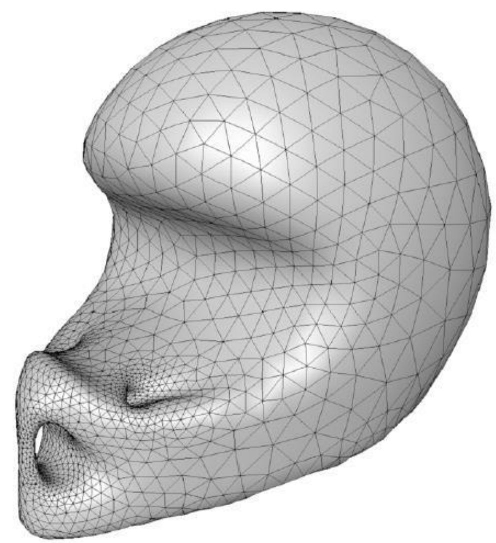
  - Traitement géométrique numériquement plus stables
  - «Neutralité» pour la déformation

–aucune restriction sur la taille

  - Basée courbure
    - e.g, courbure moyenne



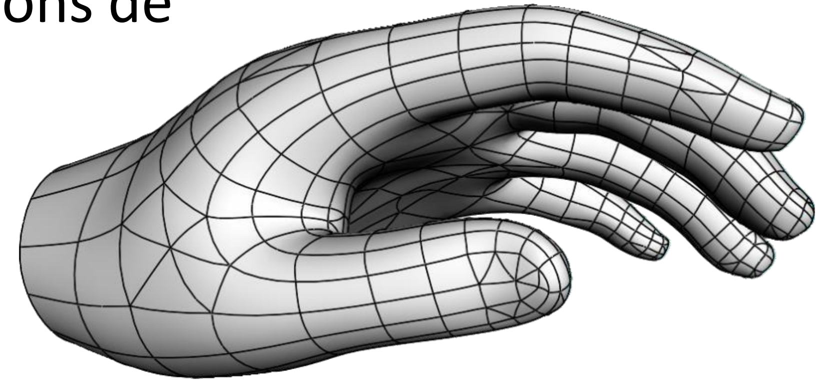
Maillage triangulaire isotrope



Maillage triangulaire basé courbure

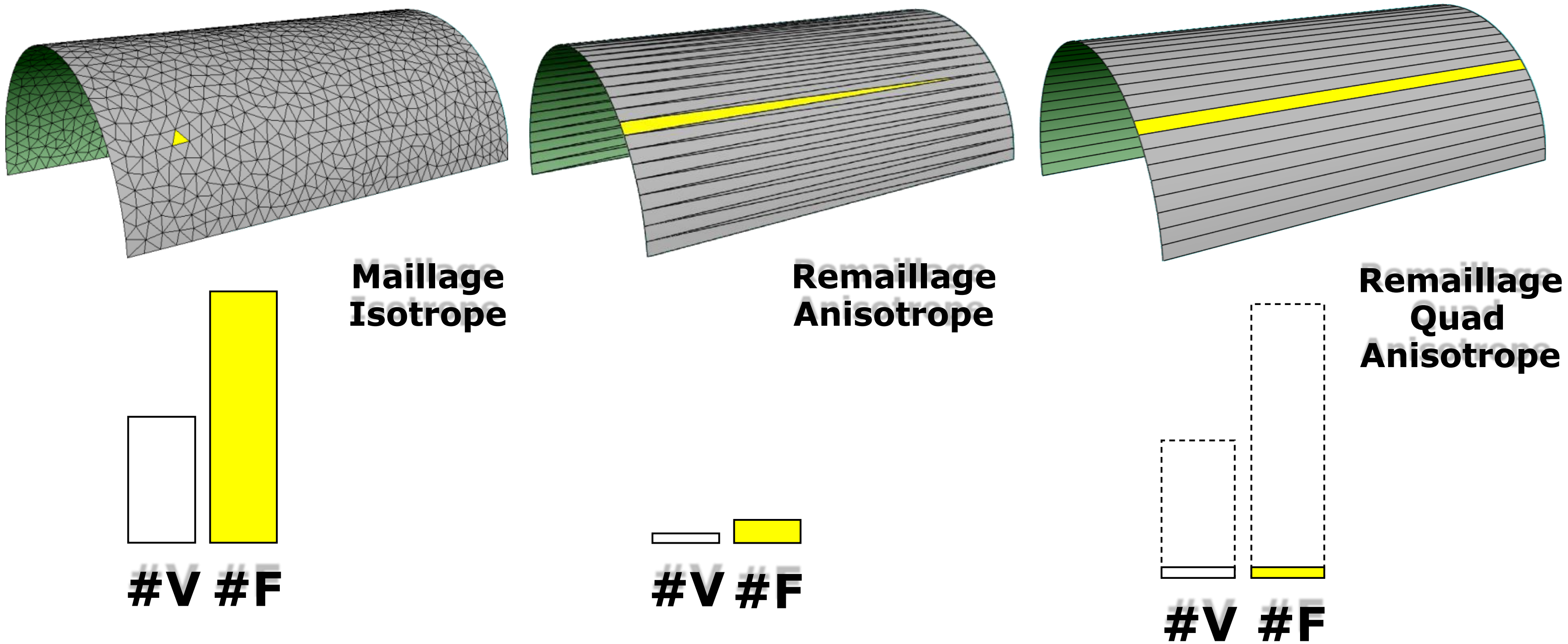
Isotropie et anisotropie

- Anisotropie : la forme des polygones suit la géométrie de la surface
  - Arêtes alignées sur les directions de courbures principales
  - Lignes de flots
  - Distances géodésiques



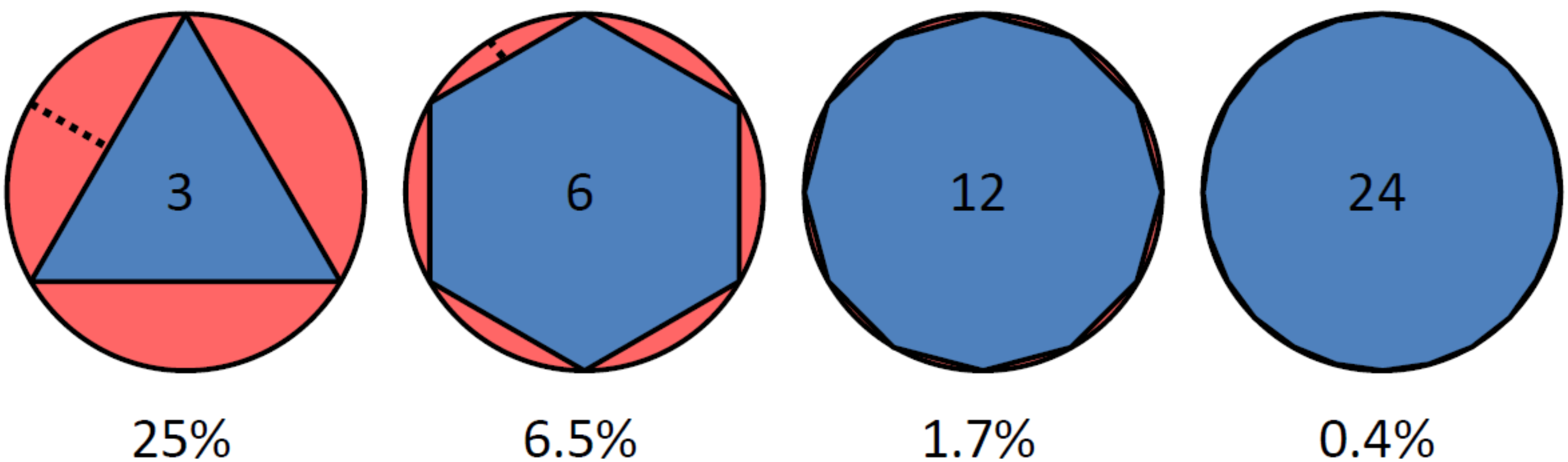
- Notion d’**optimalité** du maillage

Isotropie et anisotropie



Maillages polygonaux

- Approximation linéaire par morceau
  - erreur en $O(h^2)$



Applications

- Maillages très bien adaptés au rendu 3D
  - Format natif des cartes 3D (GPU)
  - Format natif des moteurs de rendu haute qualité
- (Renderman, MentalRay)
- Représentation naturelle pour le traitement géométrique
  - Reconstruction à partir de nuages de points, filtrage, simplification, optimisation, raffinement, subdivision, etc…
  - Topologie arbitraire
  - Outils de géométrie discrète

Conclusion

- **Représentation par maillage :**
  - un ensemble de sommets, un d'arêtes et un de faces,
  - plus les autres propriétés : normales, couleurs…
- **Plusieurs représentations possibles :**
  - les arêtes ou les faces ne sont pas forcement stockées de manière explicite,
  - selon la représentation les liaisons : sommets/faces, sommets/sommets, arêtes/faces … ne sont pas toujours les mêmes,
  - il faut choisir entre taille en mémoire, parcours dans le maillage et extraction de la topologie.

Sources

- Cours utilisés pour ce support :
  - Gilles Gesquière (Gamagora Lyon)
  - Loïc Barthe (IRIT-UPS Toulouse)
  - Nicolas Roussel (Inria Lille)
  - Sylvain Brandel (Liris, Lyon)
  - Roseline Bénière