



**HAL**  
open science

# Approche adaptative de simplification géométrique temps réel de modèles 3D distribués pour la visualisation et l'interaction à distance

Justin-Hervé Noubissi, Christophe Guillet, Jean-Luc Martinez, Frédéric  
Merienne

## ► To cite this version:

Justin-Hervé Noubissi, Christophe Guillet, Jean-Luc Martinez, Frédéric Merienne. Approche adaptative de simplification géométrique temps réel de modèles 3D distribués pour la visualisation et l'interaction à distance. AFIG 2010, Nov 2010, Dijon, France. pp. 109-116. hal-00643402

**HAL Id: hal-00643402**

**<https://ube.hal.science/hal-00643402v1>**

Submitted on 22 Nov 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Approche adaptative de simplification géométrique temps réel de modèles 3D distribués pour la visualisation et l'interaction à distance

Justin-Hervé NOUBISSI<sup>1</sup>, Christophe GUILLET<sup>2</sup>, Jean-Luc MARTINEZ<sup>1</sup>, Frédéric MERIENNE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Arts et Métiers ParisTech, CNRS, Le2I, Institut Image de Chalon-sur-Saône France

<sup>2</sup> Université de Bourgogne, CNRS, Le2I, Institut Image de Chalon-sur-Saône France

---

## Résumé

Deux moyens permettent aujourd'hui d'accéder visuellement à des données 3D volumineuses à distance : le premier consiste à transférer les données entre le serveur et le poste client/utilisateur, le second consiste à générer et à transférer des « photographies » de ces données 3D qui restent alors localisées sur le serveur.

Le goulot d'étranglement principal dans les deux cas est la bande passante du réseau qui ne permet pas de transférer des volumes de données importants. Bien plus, la visualisation de plusieurs centaines de giga-octets d'informations nécessite de grandes capacités de stockage (disque dur ou mémoire) et des équipements de visualisation très performants (cartes graphiques). Le projet PESTIV-3D s'inscrit dans cette problématique scientifique et technologique. Les travaux de recherche présentés sont réalisés à travers ce projet qui met en partenariat Eurocopter, Grooviz, Cimpa-Airbus, le laboratoire Le2I.

Après une étude menée sur les techniques de simplification existantes, nous proposons dans cet article une stratégie adaptative de transfert temps réel de données volumineuses, pour la visualisation et l'interaction à distance. Cette stratégie s'appuie sur le partitionnement et la simplification de modèles ainsi que la composition de modèles. Nous proposons dans un premier temps l'architecture d'un modèle adaptatif permettant la simplification temps réel d'un modèle partitionné pré-calculé, et ceci en fonction du contexte applicatif. En prolongeant notre réflexion et afin de résoudre les problèmes de variations fréquentes du contexte applicatif que ne prend pas en compte le modèle adaptatif, nous proposons finalement un modèle composé permettant non seulement d'effectuer des simplifications temps réel à des niveaux de résolution différents, mais également de composer les parties des modèles simplifiés avec le modèle partitionné. Par ailleurs, la structure proposée doit permettre de remonter l'arborescence d'un modèle déjà simplifié afin de fusionner certaines parties de ce modèle. Cette composition de modèle nous permettra d'obtenir un rendu de meilleure qualité en un temps suffisamment appréciable. Nous utilisons l'outil de persistance homologique pour la validation du modèle simplifié.

---

**Mots clés :** Simplification 3D, visualisation 3D, maillage, topologie, persistance homologique.

## 1. Introduction

Le concept de l'entreprise étendue s'impose petit à petit comme une nécessité économique et industrielle, parfois une stratégie de développement, où l'échange d'information à l'échelon mondial est déjà une réalité quotidienne. Les clients et leurs partenaires sont dispersés sur les cinq continents, alors que la réactivité est elle aussi une exigence impérative. En parallèle de cela, les progrès de l'informatique permettent aux bureaux d'étude de concevoir des modèles 3D de plus en plus détaillés, hyperréalistes, avec un rendu proche de la photo, que l'on peut faire pivoter dans l'espace ou dans lesquels on pénètre de façon virtuelle et l'on parle alors de maquette numérique.

Ces deux exigences demeurent cependant antagonistes : d'un côté, les modèles 3D sont très volumineux, de l'autre les infrastructures de communication sont dédiées principalement à des applications grand public à faible débit, réduisant finalement les deux exigences principales que sont la réactivité et le réalisme des modèles à un niveau sous-exploité.

Afin de permettre le transfert temps réel des données volumineuses, il s'avère nécessaire de trouver une stratégie pour simplifier ces données.

De nombreux travaux de recherche ont été axés sur la simplification géométrique ces quinze dernières années, et de nombreux algorithmes ont été proposés. Différentes approches ont été envisagées comme la reconstruction de nouvelles surfaces par approximation ou la dégénérescence de maillages polygonaux par décimation. Ces algorithmes se sont intéressés aux caractéristiques topologiques et géométriques des objets et s'efforcent de conserver et de restituer leurs formes. D'autres méthodes de simplification proposent de remplacer les données géométriques par des informations visuelles de type textures plus légères à manipuler ou plus facile à compresser.

Plusieurs applications utilisant la surface géométrique comme support de représentation pour des données pas toujours de type numérique, il est alors important d'adapter les techniques existantes pour prendre en compte l'ensemble des applications et d'extrapoler les critères contrôlant les algorithmes de simplification à d'autres facteurs que les seules informations topologiques, géométriques ou de textures.

Par ailleurs, l'augmentation des exigences en termes de volume de données, le fait que la maquette numérique sur laquelle on veut agir peut se trouver sur des lieux distants, fait qu'il est primordial d'améliorer encore les performances des techniques de simplification selon deux axes principaux : le taux de simplification et la vitesse de simplification. Si les traitements de simplification sont réalisables en temps réel, il devient alors possible de prendre en compte des critères instantanés (contexte applicatif) et ainsi espérer obtenir de meilleures répartitions du taux de simplification.

Dans ce contexte, nous nous proposons de mettre en place de nouveaux procédés de simplification adaptés aux contraintes et à l'environnement des données volumiques. Nous considérons que nous travaillons sur des données 3D maillées sous forme surfacique, et plus précisément triangulaire.

L'aéronautique, qui est au cœur de cette problématique distance-réactivité-modèles volumineux, est le secteur choisi pour la démonstration du concept. Les applications mises en œuvre seront la documentation technique et le training du NH90 en collaboration avec EUROCOPTER.

## 2. Workflow des données de CAO

La Figure 1 illustre le workflow actuel des échanges dans la chaîne reliant la conception et les utilisateurs finaux.

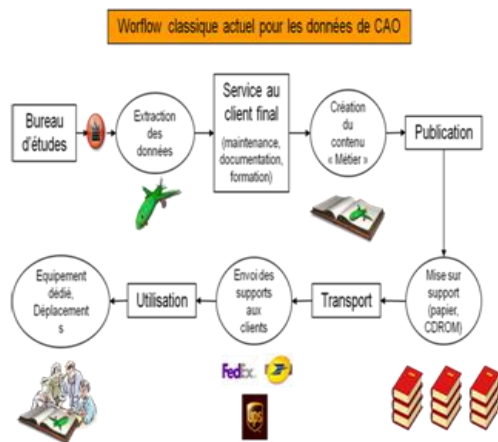


Figure 1 : workflow classique actuel des échanges pour les données CAO.

Deux problèmes majeurs se posent :

- Le ralentissement et le fractionnement des données à cause de la nécessité d'éditer des supports de visualisation à chaque étape,
- L'obsolescence des données avec lesquelles les industriels travaillent car elles évoluent très régulièrement.

Le projet PESTIV-3D propose donc, sans modifier l'organisation et les relations existantes entre partenaires, de simplifier et d'accélérer les échanges d'information en mettant en place un modèle basé sur une plate forme à

travers laquelle on pourrait accéder en temps réel aux informations dont on a besoin, tel que représenté à la Figure 2.

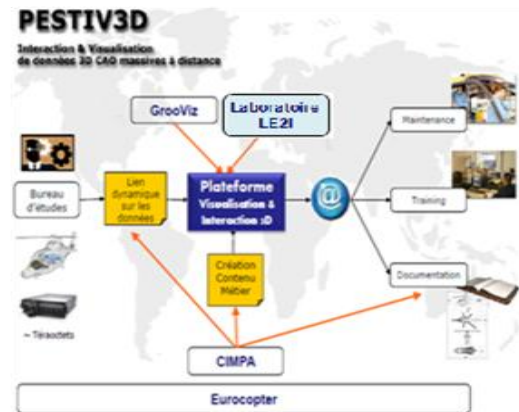


Figure 2 : Modèle PESTIV-3D

## 3. Simplification de surfaces

L'intérêt de la simplification est d'optimiser l'affichage d'objets volumineux en réduisant successivement le nombre de mailles : c'est ce qu'on appelle les niveaux de détails (LOD). La Figure 3 montre différentes versions d'un modèle de base composé de 10000 polygones.

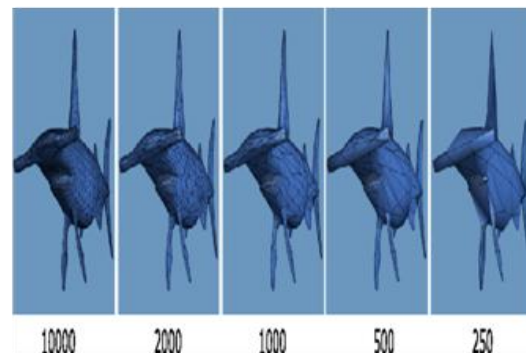


Figure 3 : Simplification géométrique d'un modèle de 10000 polygones en 2000, puis 1000, 500, 250 polygones [HOP 96].

La simplification de surfaces maillées requiert cependant plusieurs exigences :

- La conservation de la topologie du maillage originel,
- La continuité de la transition entre deux niveaux de détails,
- La prise en compte des attributs des sommets.

On distingue 2 grandes classes d'algorithmes de simplification : les algorithmes à LOD statiques et les algorithmes à LOD continus.

### 3.1. Les LOD statiques

Le principe est de générer un ensemble discret de versions simplifiées d'un modèle complexe donné. Pour le rendu, choisir le bon modèle en fonction de la distance d'observation.

Plusieurs types d'algorithmes ont été proposés :

Schroeder et al. [SZL 92] ont mis en place une technique par décimation de maillage. Le principe est de choisir certains sommets dans le maillage initial et de les supprimer. Une fois la suppression effectuée, les trous créés sont remaillés en employant diverses méthodes qui réduisent le nombre final de faces tout en préservant la topologie du modèle.

La méthode par décimation de maillage assure la préservation de la topologie. Cependant, le fait qu'elle préserve la topologie empêche une très grande simplification. D'autre part, ces algorithmes sont longs à calculer [POR 04].

Rossignac [RB 93] propose une approche par regroupement de certains sommets entre eux. Une importance est attribuée à chaque sommet. Des sommets attachés à de grandes faces ou des sommets de grande courbure seront considérés plus importants que les autres et donc seront gardés le plus longtemps possible. Une grille 3D est ensuite superposée au modèle puis tous les sommets appartenant à une cellule sont regroupés au sommet le plus important de la cellule. Ainsi, plus la grille est grande, plus la simplification est importante. La Figure 4 illustre un exemple de regroupement de sommets.

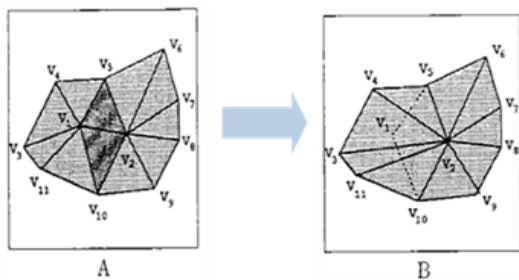


Figure 4 : Exemple de regroupement de sommets, A étant le maillage initial et B le maillage résultant.

Cette technique est très rapide ( $O(n)$ ,  $n$  étant le nombre de sommets), et occupe de façon minimale la mémoire. Nonobstant cela, des inconvénients sont à relever, à savoir : le non respect de la topologie et la prévision impossible du nombre de polygones générés.

[COHEN et al. 96] ont mis en place une méthode de simplification permettant d'obtenir de très bons résultats graphiques en forçant la déviation géométrique entre le modèle original et le modèle simplifié à résider dans un espace fixé. Cet espace défini en positionnant deux surfaces au dessus et en dessous du modèle à simplifier. La création des surfaces se fait par déplacement de la surface originelle d'un petit intervalle  $e$  le long des normales des sommets :  $-e$  pour la surface en dessous et  $+e$  pour la surface au dessus. La Figure 5 présente l'exemple d'une simplification par enveloppes de Cohen et al.

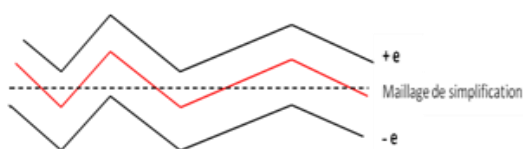


Figure 5 : Simplification par enveloppes de Cohen et al.

La méthode de Cohen et al. présente plusieurs avantages tels que : la très bonne qualité visuelle et aussi la préservation de la topologie pour des simplifications peu strictes. Cependant, des inconvénients sont à noter, à savoir : les calculs sont lourds, et le taux de simplification est limité.

### 3.2. Les LOD continus

Les LOD continus ont été mis en place afin de résoudre le problème de transition brutale entre les différents niveaux de détails. Il ne s'agit plus de générer séparément des maillages et d'en choisir celui qu'on désire, mais de créer une structure permettant de générer le maillage adapté au niveau de détails que l'on souhaite. Les méthodes connues jusqu'ici utilisent pour la plupart la réduction d'arêtes.

L'une de ces méthodes est la simplification avec préservation de l'apparence. Cette méthode se base sur le principe de la simplification par enveloppes (voir LOD statiques). La couleur et la courbure du maillage originel sont enregistrées dans des textures utilisées par la suite pour atténuer l'erreur visuelle de la simplification. Ensuite, le maillage est simplifié en utilisant le vertex Clustering (confère LOD statiques). Enfin, un plaquage de la texture de couleur et de normales est effectué sur le nouveau maillage.

Garland et Heckbert [GH 97] proposent une méthode de simplification basée sur le regroupement des points. Bien plus, avec cette méthode, les points non reliés à une arête peuvent être regroupés. La Figure 6 montre l'exemple d'un regroupement de points par contraction.

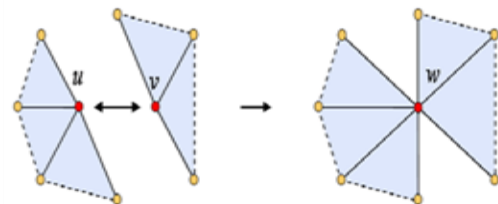


Figure 6 : Contraction de points non reliés à une arête.

Cette méthode ne nécessite pas que le maillage initial soit topologiquement correct pour fonctionner.

De manière générale, l'avantage des LOD continus est qu'il n'est pas nécessaire de stocker en mémoire les différents maillages. Nonobstant cela, les calculs sont lourds. La simplification d'un modèle se fait de façon isolée, alors qu'on pourrait avoir besoin de simplifier simultanément plusieurs parties d'un maillage.

### 3.3. Conformité du maillage résultat [BAR 09]

Lorsqu'on effectue une simplification de maillages, il est nécessaire de tenir compte des relations de voisinage qui existaient entre les faces avant la simplification.

Barbier [BAR 09] qui travaille sur la subdivision de maillages tétraédriques qui est l'opération contraire de la simplification de maillages, propose une approche

nommée Bires permettant de remplacer une partie d'un maillage tétraédrique grossier par une autre plus fine. Pour y arriver, il définit une surjection entre les sommets des deux différentes résolutions. Cette surjection est corrélée au calcul d'une partition spatiale des sommets fins guidée par la répartition spatiale des sommets grossiers.

Remplacer une partie grossière d'un maillage par une autre plus fine implique la construction d'un nouveau maillage composé de trois ensembles distincts : un maillage grossier, un maillage fin et un maillage de lien entre les deux. La Figure 7 illustre l'exemple d'une telle composition.



Figure 7 : Maillage Birésolution composé de tétraèdres grossiers (en bleu), de tétraèdres fins (en rouge) et de tétraèdres de lien assurant la jonction (en vert).

Lorsqu'on effectue le remplacement d'une partie d'un maillage grossier par une autre plus fine, il faut nécessairement s'assurer de la conformité du maillage résultat. Pour cela, Barbier définit un maillage conforme comme étant un complexe simplicial vérifiant les conditions suivantes :

- (i) La partition doit permettre d'obtenir le maillage grossier à partir du maillage fin,
- (ii) Il ne doit pas avoir d'intersection entre les tétraèdres fins et grossiers composant le maillage bi-résolution,
- (iii) Il ne doit pas avoir d'intersection entre les tétraèdres de lien et les tétraèdres fins tout comme avec les tétraèdres grossiers composant le maillage bi-résolution.

La condition (i) valide la topologie du maillage résultat, tandis que les conditions (ii) et (iii) valident la géométrie du maillage ((ii)= validité topologique faible, (ii) + (iii)= validité topologique totale).

La méthode proposée par Barbier permet de vérifier les conditions (i) et (ii) de validité topologique et de validité géométrique faible. Cependant, la condition (iii) n'est pas vérifiée. En effet, il peut y avoir des cas d'intersection entre les tétraèdres de lien et les tétraèdres fins comme l'illustre la Figure 8.

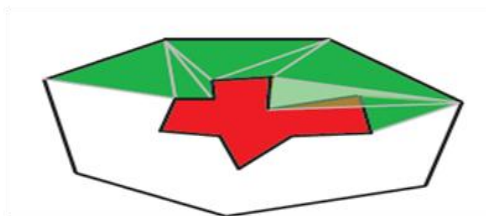


Figure 8 : Exemple d'intersection entre les tétraèdres de lien et tétraèdres fins.

En effet, sur la Figure 8, une intersection a lieu entre les tétraèdres de lien en vert et les tétraèdres fins en rouge. Le triangle causant l'intersection est en couleur claire. La surface du maillage grossier est représentée en noir.

#### 4. Modèle de Grooviz

Les diverses approches de simplification existantes ne permettent pas d'obtenir une solution temps réel efficace et optimale permettant de gagner à la fois en temps et en espace mémoire.

Grooviz, un des partenaires du projet PESTIV-3D, a mis en place une solution permettant de simplifier et de partitionner les données via un pré-calcul. Pour cela, Grooviz a proposé une stratégie utilisant simultanément le partitionnement de maillage pour la précision et la simplification de maillage pour le gain en temps.

La Figure 9 illustre la structure du modèle actuellement fonctionnel au sein de Grooviz.

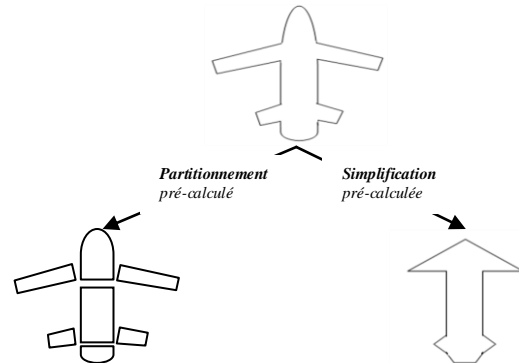


Figure 9 : Modèle de Grooviz.

Le modèle de Grooviz offre la possibilité de pouvoir choisir, en fonction du besoin, entre un modèle partitionné et un modèle simplifié. Bien que ce modèle de Grooviz constitue déjà une avancée, on déplore cependant le fait que ledit modèle effectue un partitionnement et une simplification pré-calculés, et donc l'absence du temps réel. Nous appellerons par la suite le modèle de Grooviz «modèle statique».

#### 5. Approche proposée

Afin de palier à l'inconvénient du modèle statique, nous proposons un premier modèle dit modèle adaptatif qui offre un partitionnement pré-calculé et une simplification temps réel, tels que présentés à la Figure 10.

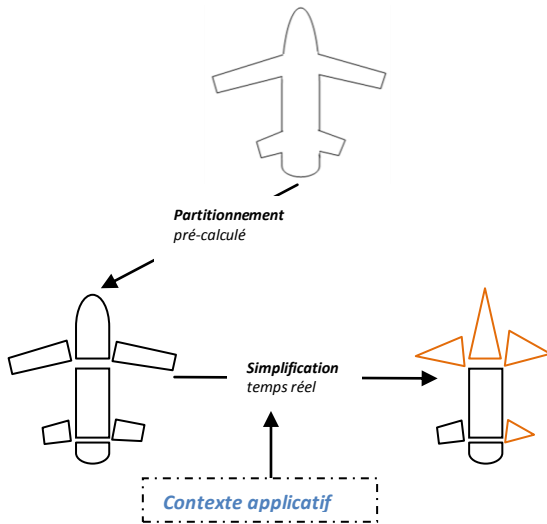


Figure 10 : *Modèle adaptatif*

Rappelons que le partitionnement des données est utile pour le transfert de meilleure qualité des données, mais ce transfert est très coûteux en temps pour la visualisation. Ainsi, une fois le partitionnement effectué, on localise notre zone d'intérêt et cette zone peut ensuite être simplifiée pour réduire le temps de visualisation

Le modèle adaptatif que nous proposons a l'avantage de permettre non seulement le partitionnement, mais aussi, offre cette possibilité de pouvoir effectuer des simplifications locales temps réel du modèle en fonction de nos besoins, et donc du contexte applicatif. On obtient alors un modèle partitionné et simplifié en fonction du contexte applicatif. La Figure 10 montre l'exemple de partitionnement d'un avion dans un premier temps. Ensuite, l'avant de l'avion, ainsi que les ailes supérieures et l'aile inférieure droite de l'avion sont simplifiés en utilisant un des algorithmes de simplification efficace pour notre domaine d'application.

Etant donné le fait que le domaine d'application pourrait varier, ce qui signifierait qu'il serait possible d'avoir plusieurs niveaux de simplifications en fonction du contexte applicatif, on serait alors tenté de se poser la question de savoir s'il existerait une possibilité de pouvoir finalement fusionner plusieurs simplifications de niveaux différents afin d'obtenir un modèle simplifié optimal en fonction de nos besoins.

Le modèle adaptatif apparaît alors comme étant efficace dans le cas où le contexte applicatif change peu. La réalité étant, on est très souvent confronté à des situations où le contexte applicatif varie fréquemment. Afin de palier à ce handicap du modèle adaptatif, nous avons proposé un second modèle que nous nommons modèle composé qui permet de répondre au problème énoncé. La Figure 11 illustre l'exemple d'un modèle obtenu à partir de la composition d'un modèle partitionné et de deux modèles simplifiés.

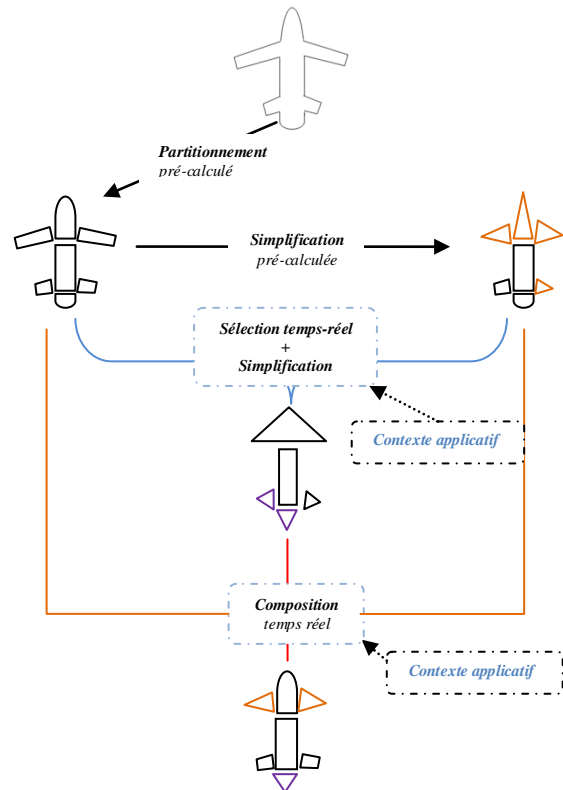


Figure 11 : *Modèle composé.*

Le modèle composé que nous proposons offre de nombreux avantages, notamment celui de permettre de composer un modèle partitionné avec des modèles simplifiés à des niveaux de résolution différents. Le partitionnement de modèle permettant d'obtenir une visualisation de meilleure qualité mais avec une complexité en temps énorme, et la simplification de modèle offrant une meilleure complexité en temps mais avec un rendu de mauvaise qualité, la stratégie de composition de modèles nous permet alors de trouver un compromis entre les deux, et donc d'obtenir un modèle de meilleure qualité en rendu et de complexité intéressante. La simplification de modèle se fait en utilisant la méthode de décimation de maillage vu le fait qu'elle permet de conserver la topologie du modèle, qui est une condition clé pour notre modèle.

## 6. Validité topologique

Les approches de vérification de la topologie les plus connues sont essentiellement basées sur des tests locaux lors de la suppression de sommet ou la contraction d'arêtes.

[SZL 92] ont mis en place des conditions de suppression d'un sommet au cours d'une opération de décimation de maillage. Le respect de ces conditions assure la préservation de la topologie après une opération de simplification par décimation de maillage.

[HDD et al. 93] ont proposé des conditions de préservation de la topologie lors d'une opération de contraction d'arête. La contraction d'une arête  $ab$  préserve la topologie de la surface si : (i) Pour tous les sommets  $c$

adjacents à la fois à  $a$  et  $b$ , alors  $abc$  est une face de la triangulation ; (ii) Si  $a$  et  $b$  sont tous deux des sommets de bord alors l'arête  $ab$  est une arête de bord; (iii) Pour une triangulation avec au moins quatre sommets, ni  $a$  ni  $b$  est un sommet de bord et pour une triangulation avec au moins trois sommets  $a$  ou  $b$  est un sommet de bord, mais pas les deux.

Les approches proposées actuellement ne visent qu'à valider topologiquement le modèle que de façon locale, c'est-à-dire à chaque suppression de sommet ou une contraction d'arête. Or, en considérant par exemple le cas où une opération de décimation de maillage devient répétitive, la somme des petites erreurs autorisées lors de chaque opération de décimation, pourrait donner une erreur assez importante. Dès lors, il s'avère nécessaire de trouver une stratégie de validation de la topologie entre le maillage originel (avant la première opération de décimation), et le maillage final (celui obtenu après la dernière opération de décimation).

Ainsi, afin de vérifier que notre simplification est globalement valide, notons  $A$  la région maillée à simplifier et  $B$  la région simplifiée. Compte tenu du fait que nous voulons que les critères topologiques soient respectés, nous envisageons d'utiliser la technique de persistance homologique qui permet de mesurer l'importance des caractéristiques topologiques entre deux ensembles à valeurs réels.

Nos régions maillées  $A$  et  $B$  peuvent être vues comme étant des complexes simpliciaux. Notons  $C$  le complexe simplicial représentant  $A$  et  $C'$  le complexe simplicial représentant  $B$ . Soit  $K$  un complexe simplicial. Nous définissons deux fonctions  $f, g: K \rightarrow \mathbb{R}$  qui à tout complexe simplicial associent sa valeur réelle. La courbe de  $f$  représente  $C$  et celle de  $g$  représente  $C'$ .

On définit deux conditions de validité de la simplification:

- (i)  $g$  est une  $\varepsilon$ -simplification de  $f$ ,
- (ii) La différence entre le modèle simplifié et le modèle initial (modèle avant toute simplification) doit être inférieure à une valeur  $\varepsilon_0$  fixée.

Nous construisons la matrice de bord  $M$  associée à  $A$  et la matrice de bord  $M'$  associée à  $B$ . Nous construisons par la suite le diagramme de persistance de  $M$  et  $M'$ .

#### Exemple d'utilisation de la persistance homologique

Soient  $a_1 = [\sigma_1; \sigma_5]$ ,  $a_2 = [\sigma_3; \sigma_5]$ ,  $a_3 = [\sigma_3; \sigma_6]$ ,  $a_4 = [\sigma_2; \sigma_6]$  et  $a_5 = [\sigma_2; \sigma_4]$  cinq arêtes représentant un complexe simplicial  $C$ . Soit  $f$  courbe de  $C$  représentée sur la Figure 12 :

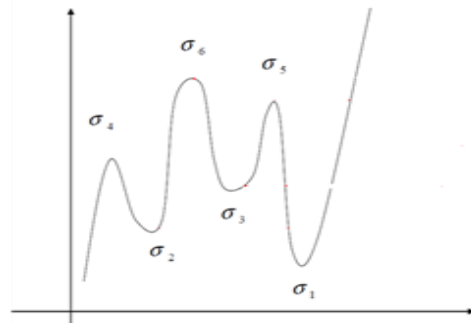


Figure 12 : courbe de  $f$  représentant le complexe simplicial  $C$

La construction du diagramme de persistance de  $f$  se déroule comme suit :

- o Construire la matrice de bord de  $f$ .

$$\begin{pmatrix} \partial(a_1) & \partial(a_2) & \partial(a_3) & \partial(a_4) & \partial(a_5) \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{matrix}$$

- o Calculer les paires de persistance en utilisant l'algorithme de Cohen-Steiner

$$\begin{pmatrix} \partial(a_1) & \partial(a_2) & \partial(a_3) & \partial(a_4) & \partial(a_5) \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \boxed{1} & 0 \\ 0 & \boxed{1} & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \boxed{1} \\ \boxed{1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \boxed{1} & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{matrix}$$

#### Algorithme de Cohen-Steiner

Construire la matrice d'incidence modulo 2:  $A_{ij} = 1$  si et seulement si  $s_j \leq s_i$

**Tant qu'il existe deux colonnes ayant leur dernier 1 sur la même ligne**

**Faire**

ajouter aux valeurs de la colonnes de droite les valeurs de la colonne de gauche

**Fin tant que**

**retourner**  $\{(valeur(s_i); valeur(s_{dernier(i)}))\}$

- Construire ensuite le diagramme de persistance de  $f$ .

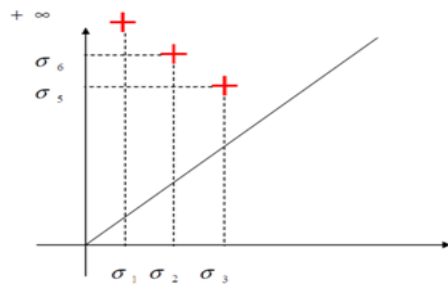


Figure 13 : construction du diagramme de persistance d'une fonction  $f$ .

### Stabilité de la persistance homologique

Soient  $f$  une fonction et  $g$  son approximation représentée dans un même repère comme l'illustre la Figure 14.

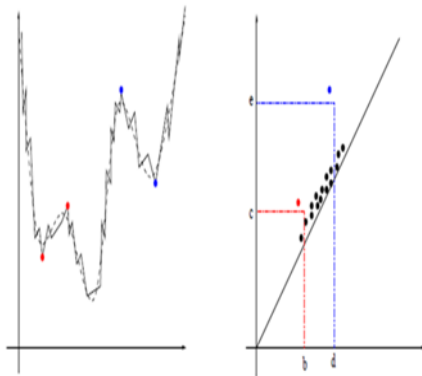


Figure 14 : Construction des diagrammes homologiques de deux fonctions.

Sur la Figure 14, à gauche sont représentées une fonction  $f$  (en pointillés) et son approximation  $g$  en trait continu. À droite sont représentées les diagrammes de persistance homologique de  $f$  (en rouge) et  $g$  (en bleu). Les pointillés noirs représentent le bruit topologique.

**Définition** : on dit que  $g$  est une  $\epsilon$ -simplification de  $f$  si  $\|D(f) - D(g)\| \leq \|f - g\|_\infty$  (Attali et al. [AGHLM 09]).

Ainsi, nous utiliserons la définition de la stabilité de [AGHLM 09] pour vérifier la condition (i). On utilisera ensuite la distance de Hausdorff pour vérifier la condition (ii).

La structure fonctionnelle de notre modèle composé est représentée à la Figure 15.

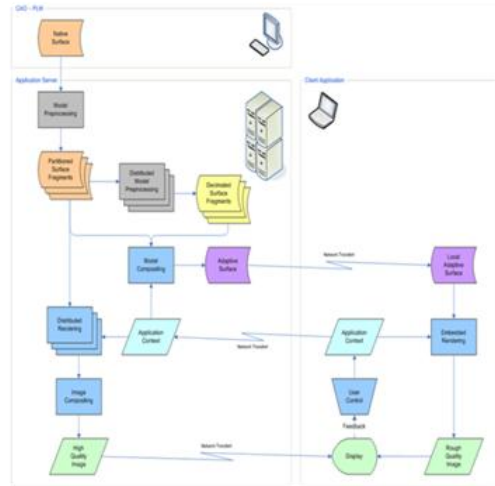


Figure 15 : Schéma fonctionnel du modèle composé.

## 7. Conclusion et perspectives

Notre travail se place dans le cadre du projet PESTIV3D qui vise à développer des technologies innovantes afin de permettre la visualisation et l'interaction à distance et en temps réel de données numériques volumineuses 3D au travers de réseaux à faible bande passante et tout cela à partir d'ordinateurs standards. L'objectif de notre travail est de mettre en place une stratégie permettant une visualisation temps réel de données volumineuses issues de lieux distants et en fonction du contexte applicatif. Après une étude menée sur les différents algorithmes de simplification, et en nous appuyant sur le modèle statique développé par Grooviz (absence de temps réel), nous avons proposé dans un premier temps l'architecture d'un modèle adaptatif permettant la simplification temps réel du modèle partitionné pré-calculé, et ceci en fonction du contexte applicatif. En prolongeant notre réflexion afin de résoudre les problèmes de variations fréquentes du contexte applicatif que ne prenait pas en compte le modèle adaptatif, nous avons finalement proposé l'architecture d'un modèle composé permettant non seulement d'effectuer des simplifications temps réel à des niveaux de résolution différents, mais également de composer les parties des modèles simplifiés avec le modèle partitionné. Nous pouvons également fusionner plusieurs parties issues de simplifications différentes. Cette composition de modèle nous permettra d'obtenir à la fois un rendu de meilleure qualité en un temps suffisamment appréciable.

Afin de valider la conformité de notre modèle résultant après simplification, nous envisageons de nous inspirer de la méthode de Barbier, en définissant cependant une surjection du maillage fin vers le maillage grossier, et en résolvant les problèmes d'intersection entre les maillages de lien et les tétraèdres grossiers.

Etant donné que la composition de modèles à niveaux de résolution différents nécessite la mise en relation de maillages à niveaux de détails différents, il est question pour nous par la suite, de définir de manière précise les conditions topologiques et géométriques de composition



de maillages, ensuite de mettre en place un algorithme de couture de maillages, notamment d'arêtes issues de diverses représentations d'un modèle donné.

## Références

[SZL 92] William J. Schroeder, Jonathan A. Zarge, and William E. Lorensen: Decimation of triangle meshes. In Edwin E. Catmull, editor, Proceedings of the 19th Annual ACM Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pages 65-70, New York, NY, USA, July 1992. ACM Press.

[RB 93] J. Rossignac and P. Borrel: Multiresolution 3d approximations for rendering. In B. Falcidieno and T. L. Kunii, editors, Modeling in Computer Graphics, pages 455-465. Springer-Verlag, June-July 1993.

[HDD et al. 93] H. Hoppe, T. DeRose, T. Duchamp, J. McDonald, and W. Stuetzle. Mesh optimization. Technical Report TR 93-01-01, Dept. of Computer Science and Engineering, University of Washington, January 1993.

[COHEN et al. 96] Jonathan COHEN, Amitabh VARSHNEY, Dinesh MANOCHA, Greg TURK, Hans WEBER, Pankaj AGARWAL, P. Frederick BROOKS,

Jr., and William WRIGH: Simplification envelopes: In Proceedings of the ACM Conference on Computer Graphics, pages 119-128, New Orleans, LA, USA, August 1996. ACM.

[HOP 96] Hugues HOPPE: Progressive Meshes. In Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pages 99-108. ACM Press, 1996.

[GH 97] Michael Garland and Paul S. Heckbert: Surface simplification using quadric error metrics. In Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pages 209-216. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1997.

[COH 00] David COHEN-STEINER: Topological persistence and simplification. ACM, 2000.

[POR 04] Damien PORQUET : Rendu temps réel de scènes complexes. Novembre 2004.

[AGHL 09] Dominique Attali, Marc GLISSE, Samuel HORNUS, Francis LAZARUS: Persistence-sensitive simplification of functions on surfaces in linear time. 2009.

[BAR 09] Sébastien BARBIER. Visualisation Distant Temps-Réel de Grands Volumes de Données. Octobre 2009.