
Mesure de déviation d'attributs pour la comparaison de maillages

Michaël Roy* — **Frédéric Nicolier**** — **Sebti Fofou***** —
Frédéric Truchetet*

* *Le2i, CNRS, IUT du Creusot, 12 rue de la fonderie, 71200 Le Creusot
{m.roy, f.truchetet}@iutlecreusot.u-bourgogne.fr*

** *LAM, IUT de Troyes, 9 rue de Québec, 10026 Troyes cedex
f.nicolier@iut-troyes.univ-reims.fr*

*** *Le2i, CNRS, Université de Bourgogne, BP 47870, 21078 Dijon cedex
sebti.fofou@u-bourgogne.fr*

RÉSUMÉ. Nous proposons une méthode de comparaison de maillages basée sur une nouvelle mesure de déviation d'attributs. Les maillages considérés contiennent des attributs géométriques et des attributs d'apparence (couleur, texture, température, . . .). La mesure de déviation que nous proposons permet de déterminer les différences locales des attributs entre deux maillages. La comparaison de maillages peut être facilement et rapidement effectuée à l'aide de cette mesure. Nous présentons une application à la mesure de qualité des algorithmes de simplification de maillages.

ABSTRACT. We propose a mesh comparison method using a new attribute deviation assessment. Considered meshes contain geometric attributes and appearance attributes (material color, texture, temperature, . . .). The proposed deviation assessment allows the computation of local attribute differences between two meshes. Mesh comparison assessment can be done easily and quickly using this assessment. We present an application to mesh simplification algorithm quality assessment.

MOTS-CLÉS : Maillage, attributs, comparaison, mesure, déviation, simplification, qualité.

KEYWORDS: Mesh, attributes, comparison, assessment, deviation, simplification, quality.

1. Introduction

Les outils graphiques actuels permettent la conception et la visualisation de modèles 3D de plus en plus réalistes et précis. Ces modèles 3D sont des représentations numériques du monde réel ou d'un monde imaginaire. Les techniques d'acquisition ou de conception des modèles 3D (modeleurs, scanners, capteurs, . . .) produisent généralement des ensembles de données très denses contenant à la fois des attributs géométriques et des attributs d'apparence. Les attributs géométriques décrivent la forme et les dimensions de l'objet et incluent les données relatives à un ensemble de points sur la surface de l'objet modélisé. Les attributs d'apparence contiennent des informations décrivant l'aspect extérieur de l'objet telles que les couleurs, les textures, les normales, . . . Dans la plupart des cas, ces données sont stockées sous forme de maillages triangulaires de tailles très importantes. La manipulation de ces maillages (visualisation, rendu, transmission, . . .) est souvent lourde et coûteuse. Beaucoup d'algorithmes de simplification de maillages ont été proposés dans la littérature. L'objectif principal de ces algorithmes est de fournir une simplification fidèle au modèle initial. Dans la majorité des algorithmes de simplification, on utilise une mesure pour quantifier l'erreur introduite par la réduction des données. Mais dans certains cas, nous avons besoin de comparer plusieurs algorithmes ou plusieurs valeurs de paramètres. Ainsi, il serait utile d'avoir un outil de comparaison de maillages pour caractériser les algorithmes de simplification.

Dans cet article nous proposons une méthode de comparaison de maillages basée sur une nouvelle mesure de déviation d'attributs. Cette mesure permet de déterminer les différences locales entre les attributs de deux maillages. Les principaux avantages de notre méthode de comparaison sont les suivants :

- *Généralité* : la méthode gère les maillages contenant des attributs géométriques et des attributs d'apparence. La mesure de déviation d'attributs est indépendante du point de vue.

- *Localité* : la mesure est effectuée pour des points donnés sur la surface du maillage de référence. La résolution de la mesure peut être augmentée par une technique de discrétisation de surface.

- *Applications* : la mesure est adaptée pour les modèles numériques de scènes réelles et aussi pour les modèles de synthèse. La méthode de comparaison de maillages peut être utilisée dans de nombreuses applications : simplification de maillages, *Reverse Engineering* (comparaison d'un modèle CAO et d'un modèle numérique de l'objet réel), segmentation de maillages (filtrage, lissage), applications médicales (comparaison entre différentes acquisitions numériques) . . .

La section 2 présente les différentes mesures d'erreur utilisées dans les algorithmes de simplification. Dans la section 3, nous présentons en détail la mesure de déviation d'attributs utilisée pour la comparaison de maillages. Nous présentons dans la section 4 les algorithmes principaux utilisés pour la mise en oeuvre de la méthode de comparaison de maillages. Pour finir, des résultats sur la mesure de qualité des algorithmes de simplification de maillages sont présentés dans la section 5.

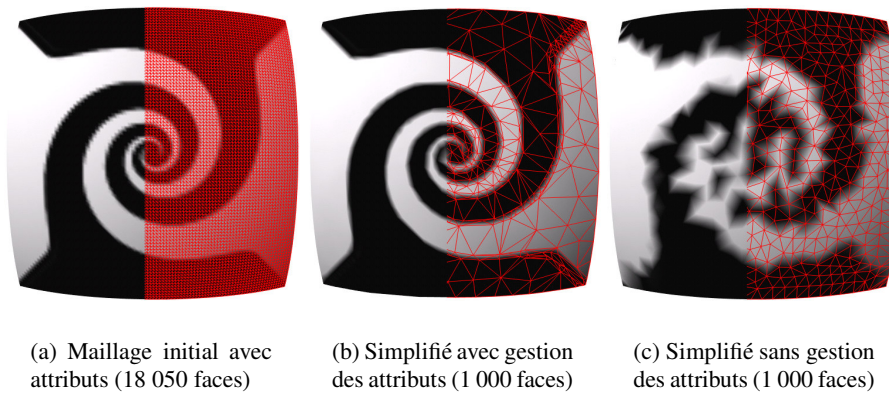


Figure 1. Exemple de simplifications de maillages. L'algorithme de simplification utilisé en (b) gère les attributs d'apparence alors que l'algorithme utilisé en (c) ne les gère pas

2. Travaux précédents

Les maillages complexes contiennent un grand nombre de sommets et de faces. Ces importantes quantités de données ne permettent pas une manipulation interactive. Un niveau de détail plus bas peut être obtenu en simplifiant le maillage. Le but est de réduire le nombre de sommets et de faces. Dans la plupart des cas, la surface simplifiée est différente de la surface initiale. Beaucoup d'algorithmes de simplification utilisent leur propre mesure d'erreur pour guider le processus de simplification. Cignoni *et al.* [CIG 98a] ont présenté une synthèse des différentes techniques utilisées pour évaluer l'erreur introduite par la simplification d'un maillage.

2.1. Algorithmes de simplification et mesures d'erreur

De nombreux algorithmes utilisent des mesures géométriques de distance ou de courbure. Schroeder *et al.* [SCH 92] utilisent la distance sommet-à-plan comme critère de simplification. Reddy [RED 96] utilise une fonction basée sur la courbure pour guider son processus de simplification. Klein *et al.* [KLE 96] utilisent une mesure d'erreur basée sur la distance de Hausdorff. Ronfard *et al.* [RON 96] utilisent deux fonctions d'énergie pour mesurer l'erreur locale de tessellation et l'erreur locale géométrique. Guézic [GUÉ 95] utilise un volume de tolérance comme borne d'erreur. Rossignac [ROS 97] utilise une mesure d'erreur basée sur les distances d'un sommet aux plans communs à ce sommet pour borner l'erreur géométrique. Lindstrom *et al.* [LIN 98] utilisent une mesure basée sur l'aire et le volume du maillage.

Ces algorithmes simplifient la géométrie et ignorent les distorsions causées aux attributs d'apparence. La figure 1 montre un exemple de simplifications de maillages. L'algorithme utilisé sur la figure 1(b) gère les attributs d'apparence et l'algorithme utilisé sur la figure 1(c) ne les gère pas. Sur cette dernière figure nous voyons clairement que l'aspect du modèle est fortement altéré. Pour prendre en compte ces distorsions, il est nécessaire de mettre en oeuvre de nouveaux algorithmes plus complets qui prennent en considération tous les attributs qui caractérisent la surface à simplifier. Hoppe [HOP 96] utilise des fonctions d'énergie pour conserver la géométrie de la surface, les attributs scalaires et les discontinuités. Cohen *et al.* [COH 96] n'utilisent pas de mesure d'erreur mais uniquement une construction géométrique pour minimiser la déviation de la surface. Garland *et al.* [GAR 97, GAR 98] utilisent une mesure d'erreur quadratique (*Quadric Error Metric*) basée sur des calculs de distances sommet-à-plan. Cette métrique fonctionne pour les maillages avec attributs. Hoppe [HOP 99, HOP 00] a amélioré cette technique pour la simplification de maillages avec attributs.

Toubin *et al.* [TOU 00a, TOU 00b] ont défini une méthode d'analyse et de simplification de modèles numériques de scènes réelles comportant diverses informations d'apparence (température, luminance, ...). L'analyse de ces modèles est effectuée à l'aide de la transformée en ondelettes quinconces. Cette technique permet d'extraire les données géométriques et les données d'apparence jugées "pertinentes". Ainsi le modèle initial est simplifié tout en conservant les données considérées comme pertinentes. Suite à cette approche, nous avons étudié les mesures d'erreur proposées dans la littérature afin de déterminer si les données d'apparence jugées pertinentes étaient conservées. Actuellement, il n'existe pas d'outil pour mesurer l'erreur sur les données d'apparence introduite par la simplification. Nos précédents travaux [ROY 01, ROY 02] ont permis de définir une mesure de qualité des algorithmes de simplification de maillages avec attributs d'apparence.

2.2. Déviation géométrique

L'outil Metro [CIG 98b] mesure l'erreur géométrique entre un maillage et sa représentation simplifiée, et retourne des résultats numériques et visuels. La mesure d'erreur effectuée est basée sur la distance *point-à-surface*.

Soit un point p et une surface S , l'erreur géométrique $e(p, S)$ entre p et S est définie comme :

$$e(p, S) = \min_{p' \in S} d(p, p') \quad (1)$$

avec $d(p, p')$ la distance Euclidienne entre deux points.

L'outil Metro est couramment utilisé pour évaluer les performances des algorithmes de simplification et de segmentation. Cependant, il mesure uniquement l'erreur géométrique.

2.3. Déviation de texture

La simplification des données géométriques d'un maillage engendre une modification des coordonnées de texture. La texture est appliquée différemment sur le maillage simplifié. Cohen *et al.* [COH 98] appellent cette distorsion des coordonnées de texture : *déviation de texture*. Ils proposent une mesure de cette déviation pour guider leur processus de simplification.

Cohen définit une application $F_i(p) = (u, v)$ donnant les coordonnées de texture (u, v) associées au point p sur la surface S_i . Cette application permet de passer de l'espace géométrique à l'espace paramétrique de texture. Cohen définit l'application inverse $F_i^{-1}(u', v') = p'$ donnant le point p' sur la surface S_i avec les coordonnées de texture (u', v') . Soient deux maillages M_i et M_j , leurs surfaces respectives S_i et S_j , et un point $p \in S_i$, la déviation de texture $T(p, S_j)$ du point p à la surface S_j est définie par :

$$T(p, S_j) = d(p, F_j^{-1}(F_i(p))) \quad (2)$$

La déviation de texture est donc définie comme étant la distance entre un point donné sur S_i et le point sur S_j avec les mêmes coordonnées de texture. Cette mesure de déviation de texture est appropriée pour guider un processus de simplification de maillage. Mais, les résultats montrent qu'elle n'est pas adaptée à la mesure de la qualité d'une simplification (voir figure 5). On peut noter en particulier qu'en l'absence de réelle déviation de texture, la mesure de Cohen indique une erreur d'origine strictement géométrique.

3. Comparaison de maillages

Différentes méthodes de comparaison de formes ou de maillages ont été proposées [VEL 99, VEL 01, GUÉ 01]. La plus connue est la distance de Hausdorff qui renvoie une comparaison globale entre deux maillages (apparentée à une mesure de ressemblance). Cette méthode ne convient pas pour traiter notre cas car nous désirons déterminer les zones du maillage sensibles à la simplification, il faut donc se baser sur une mesure locale de comparaison.

Nous proposons une mesure de déviation locale des attributs entre deux maillages. Cette mesure est indépendante du point de vue et du type d'attributs. Nous considérons que les attributs sont des vecteurs dans l'espace Euclidien définis à chaque point du maillage. Donc un point peut être représenté comme un vecteur composé de n vecteurs attribut $(\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_n)$ où \mathbf{a}_i représente un vecteur attribut. Nous définissons une application $\mathbf{f}_i(p) = \mathbf{a}_i$ qui renvoie le vecteur attribut \mathbf{a}_i associé au point p . Dans cette configuration, la position géométrique est un attribut essentiel des sommets. Les autres attributs sont dits attributs d'apparence car ils vont caractériser l'aspect ou les composantes physiques du maillage. Parmi ces attributs d'apparence, les plus connus sont les normales, les coordonnées de texture, la couleur diffuse, ... La comparaison de deux maillages que nous proposons repose donc sur la mesure de différence entre les attributs de chaque maillage.

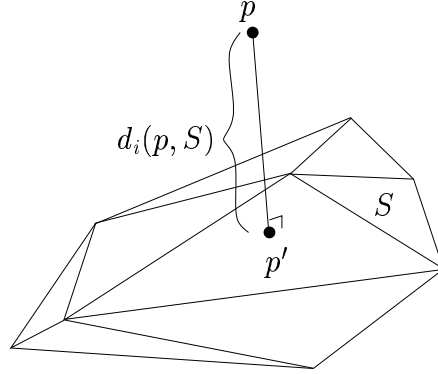


Figure 2. Schéma de mesure de la déviation $d_i(p, S)$ des attributs \mathbf{a}_i entre un point p et une surface S . Le point p' représente le point le plus proche de p sur la surface S

3.1. Mesure de déviation d'attributs

Soient une surface S et un point $p \in \mathbb{R}^3$, la déviation $d_i(p, S)$ des attributs \mathbf{a}_i du point p à la surface S est définie par :

$$d_i(p, S) = \| \mathbf{f}_i(p) - \mathbf{f}_i(N_S(p)) \| \quad (3)$$

avec $N_S(p) = p'$ le point le plus proche de p sur la surface S et $\| \cdot \|$ représentant la norme d'un vecteur. La déviation d'attribut $d_i(p, S)$ est la distance entre l'attribut \mathbf{a}_i du point p et l'attribut \mathbf{a}'_i du plus proche point de p sur la surface S . Plusieurs points sur la surface S peuvent être à la même distance du point p . Dans ce cas, la déviation d'attribut est la distance minimum entre l'attribut \mathbf{a}_i de p et les attributs \mathbf{a}'_i des plus proches points de p sur S .

Le schéma de la mesure de déviation d'attribut est présenté en figure 2. Cette mesure permet d'évaluer les différences locales d'attributs entre deux maillages. Soient deux maillages M_a et M_b , leurs surfaces respectives S_a et S_b , et un ensemble P de points $\{p_j \mid p_j \in S_a \text{ et } j = 1, \dots, m\}$, la déviation D_i de l'attribut \mathbf{a}_i entre $M_a|_P$ et M_b est définie par :

$$D_i(M_a|_P, M_b) = \{d_i(p_j, S_b) \mid j = 1, \dots, m\} \quad (4)$$

La déviation d'attributs entre deux maillages utilise la mesure de déviation donnée par l'équation (3). Le maillage M_a est appelé *maillage de référence* et il est restreint à un ensemble de points pris sur sa surface qui constituent les points de mesure de la déviation d'attributs.

3.2. Discussion

La mesure de déviation d'attributs permet de mettre en évidence les différences locales entre deux maillages. Notons que cette mesure est guidée par la correspondance géométrique entre deux maillages (point sur une surface le plus proche d'un point donné sur l'autre surface). Notons aussi que la mesure de déviation d'attributs entre deux maillages n'est pas symétrique car elle est calculée à partir d'un ensemble de points définis sur la surface du maillage de référence. Si les maillages sont intervertis, les résultats peuvent être différents. En pratique nous mesurons les déviations dans les deux sens c'est-à-dire $D_i(M_a|P_a, M_b)$ et $D_i(M_b|P_b, M_a)$. Les résultats sont souvent différents mais restent toutefois assez proches.

Dans le cadre de la mesure de qualité d'un algorithme de simplification de maillages, la mesure de déviation géométrique est la mesure principale, car la simplification d'un maillage est essentiellement géométrique. La mesure de la déviation des autres attributs peut être utilisée pour quantifier les modifications d'aspect engendrées par la simplification. Après une simplification importante (90% ou plus de faces éliminées), il est normal de noter une importante déviation locale des attributs d'apparence.

Notons que l'équation (4) nécessite deux maillages dont un discrétisé en un ensemble de points pris sur sa surface. Ainsi, nous avons la liberté de prendre des points uniquement dans les zones d'intérêt. Généralement, les déviations sont mesurées sur l'ensemble du maillage de référence. Les points de mesure peuvent donc être les sommets de ce maillage. Une discrétisation plus ou moins fine de la surface du maillage peut être envisagée dans le cas où une plus grande résolution est souhaitable, afin de connaître exactement la déviation à l'intérieur des faces par exemple.

4. Algorithmes

Comme il a été mentionné dans le paragraphe précédent, notre méthode de comparaison de maillages est basée sur la mesure de déviation d'attributs. Pour chaque point donné sur la première surface, nous trouvons les plus proches voisins sur la seconde surface. Ensuite nous mesurons les déviations entre le point donné et ses plus proches voisins sur la seconde surface. Les performances de l'algorithme général dépendent des sous-algorithmes impliqués dans les différentes opérations (recherche des plus proches voisins, discrétisation de faces, ...).

Pour un point donné, ses plus proches voisins sont déterminés efficacement par la distance point-à-surface. Une grille régulière formée de cellules carrées est construite, couvrant la boîte englobant les deux maillages [FRA 88, FRA 97]. Chaque cellule contient une liste de tous les sommets inclus à l'intérieur et de toutes les faces incluses ou intersectant la cellule. Cette technique permet de trouver très rapidement les plus proches voisins d'un point donné qui peuvent être des sommets ou des points situés sur une arête ou une face.

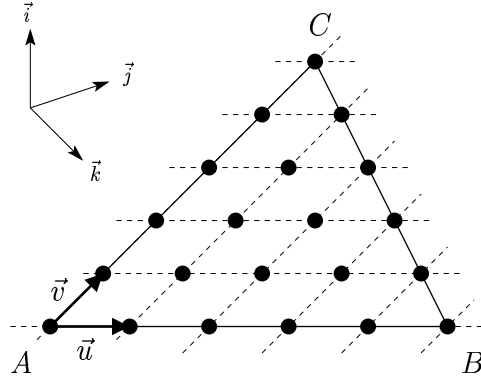


Figure 3. Schéma de discrétisation d'une face triangulaire dans l'espace

Nous avons développé un algorithme rapide de discrétisation de faces triangulaires basé sur l'algorithme de remplissage de surface (*scan conversion*) [FOL 90, HEC 90]. La discrétisation de faces triangulaires est effectuée dans l'espace 3D. Pour conserver une grande précision, nous n'effectuons aucune projection 2D. Notre algorithme génère des points uniformément répartis sur une face (figure 3).

Comme une face triangulaire forme un plan, c'est un problème 2D. Soit une face $f = (A, B, C)$, un repère local (\vec{u}, \vec{v}) est défini par :

$$\vec{u} = \frac{\overrightarrow{AB}}{\|\overrightarrow{AB}\|} \cdot \Delta \quad \vec{v} = \frac{\overrightarrow{AC}}{\|\overrightarrow{AC}\|} \cdot \Delta \quad (5)$$

Le repère (\vec{u}, \vec{v}) est défini dans le plan formé par la face f . La longueur de \vec{u} et de \vec{v} est fonction du pas d'échantillonnage Δ . Nous générons des lignes de balayage horizontales parallèles au vecteur \vec{u} et verticales parallèles au vecteur \vec{v} . Le nombre de lignes de balayage est donné par :

$$n_u = \frac{\|\overrightarrow{AB}\|}{\Delta} \quad n_v = \frac{\|\overrightarrow{AC}\|}{\Delta} \quad (6)$$

Le nombre de points par ligne de balayage horizontale peut être calculé de façon incrémentale en utilisant la pente de l'arête BC . Avec cette technique de discrétisation, les attributs de chaque échantillon sont déterminés de façon incrémentale avec l'interpolation de Phong [FOL 90].

La technique de discrétisation génère des points uniformément répartis sur les faces. Pour avoir un aspect visuel des déviations mesurées en ces points, nous construisons des images de déviation pour chaque faces. Les valeurs de déviation sont codées suivant une échelle de couleurs. Les images construites pour toutes les faces sont ensuite regroupées pour former une texture rectangulaire standard. Nous avons utilisé l'algorithme de paquetage proposé par [CIG 99] pour construire cette texture.

	Maillage M_a	Maillage M_b	Déviation	
Sommets	46 870	2 806	Minimum	0.00013
Faces	93 752	5 624	Maximum	0.4933
Aire	22 090	22 124	Moyenne	0.0398
			Variance	0.00085

Tableau 1. Exemple de résultats numériques retournés par le logiciel MeshDev

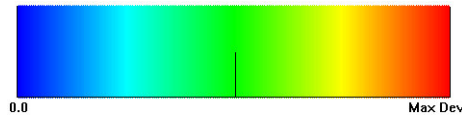


Figure 4. Échelle de couleurs pour la représentation des déviations mesurées

5. Résultats

Nous avons développé un logiciel de comparaison de maillages appelé MeshDev en libre accès sur le Web¹. Ce logiciel accepte deux maillages en entrée, et retourne des résultats numériques et visuels. Les résultats numériques contiennent les caractéristiques des maillages et les statistiques sur les valeurs de déviation mesurées. Le tableau 1 montre un exemple de résultats numériques pouvant être retournés. La partie de gauche indique les caractéristiques relatives à cet exemple. La partie de droite représente les statistiques sur la déviation des normales mesurée entre les deux maillages. Les résultats visuels sont obtenus en coloriant le maillage de référence en fonction de la déviation mesurée. La figure 4 représente l'échelle de couleurs utilisée pour mettre en évidence les valeurs de déviation mesurées. Dans cette échelle, la couleur bleue représente les déviations minimales, la couleur verte les déviations moyennes et la couleur rouge les déviations maximales.

La figure 5 montre des résultats de la mesure des déviations géométriques et d'attributs. La figure 5(a) représente le maillage initial (3 972 faces). La figure 5(b) représente le maillage simplifié (69 faces) avec une faible déviation de texture. La figure 5(c) représente le maillage simplifié (69 faces) avec de fortes déviations de texture dans certaines régions. La figure 5(d) montre la déviation géométrique mesurée entre le maillage initial et les maillages simplifiés. Les figures 5(e) et 5(g) montrent les résultats obtenus par la mesure de déviation de texture de Cohen (section 2.3). Dans le cas où la déviation de texture est faible, la mesure de Cohen donne les mêmes résultats visuels que la déviation géométrique. Toutefois, ces deux mesures ne peuvent pas être comparées numériquement. La déviation géométrique est basée sur la distance du point le plus proche, alors que la déviation de Cohen est basée sur la distance du point correspondant. Les figures 5(f) et 5(h) montrent les résultats obtenus par notre

1. <http://meshdev.sourceforge.net>

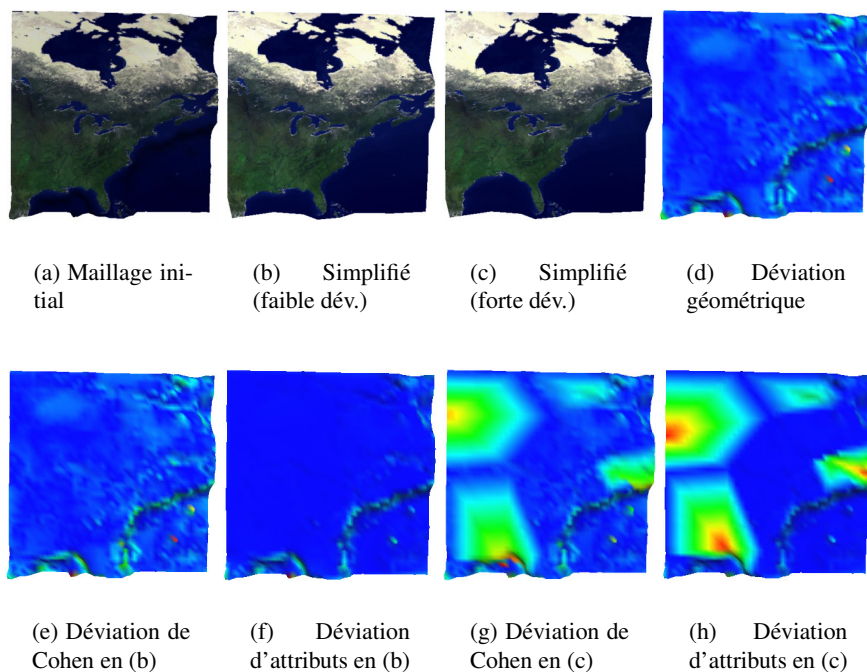


Figure 5. Comparaison entre la mesure de Cohen [COH 98] en (e) et (g) et notre mesure de déviation d'attributs en (f) et (h) (les attributs considérés sont les coordonnées de texture)

déviation d'attributs, où les attributs considérés sont les coordonnées de texture. Nous voyons que notre mesure donne des résultats plus précis que la mesure de Cohen.

Pour notre expérimentation, nous avons utilisé trois logiciels de simplification de maillages :

– *QSlim*² : logiciel développé par Michael Garland basé sur une mesure d'erreur quadratique [GAR 97, GAR 98].

– *Jade*³ : logiciel développé par *Italian Visual Computing Group* basé sur une mesure d'erreur globale [CIA 97].

– *ProgMesh*⁴ : logiciel développé par *Paralelo* basé sur les maillages progressifs de Hugues Hoppe [HOP 96].

2. <http://graphics.cs.uiuc.edu/~garland>

3. <http://vcg.iei.pi.cnr.it/enhadecimation.html>

4. <http://www.paralelo.com.br>

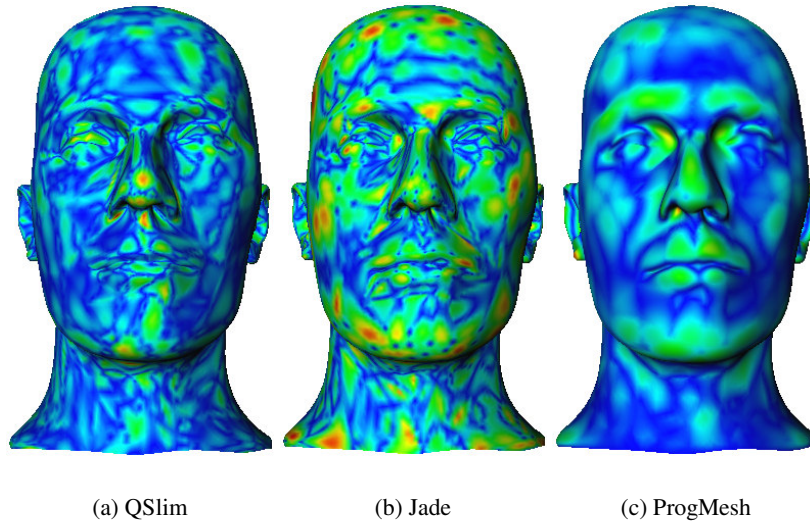


Figure 6. *Mesure de déviation géométrique pour trois algorithmes de simplification différents*

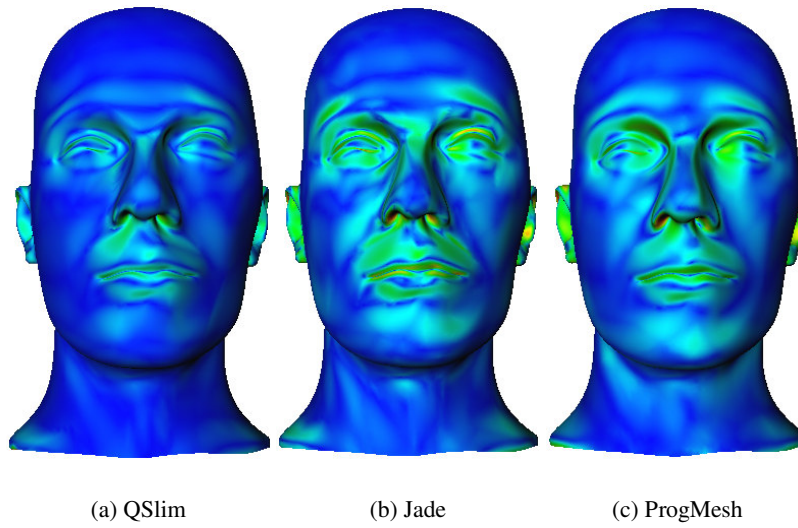


Figure 7. *Mesure de déviation des normales pour trois algorithmes de simplification différents*

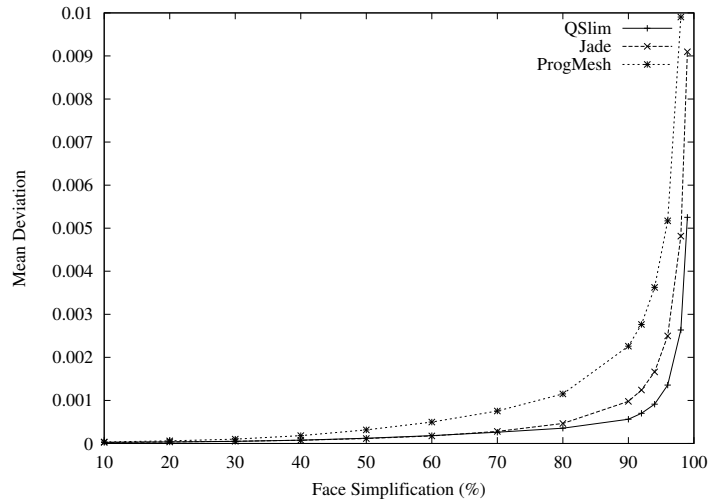
Les figures 6 et 7 montrent des résultats visuels de la mesure de déviation obtenus sur un maillage simplifié par les trois logiciels cités précédemment. La représentation en couleurs de la déviation est normalisée pour chaque maillage, ce qui rend impossible la comparaison visuelle des valeurs de déviation entre les maillages. Nous avons adopté cette représentation normalisée afin de mettre en évidence toute la plage de valeurs mesurées pour chaque méthode utilisée. La figure 6 montre les résultats des mesures de déviation géométrique. Sur la figure 6(a), nous remarquons que QSlim génère des déviations faibles sur l'ensemble du maillage mais nous constatons qu'il y a quelques zones avec des déviations fortes. Sur la figure 6(b), nous remarquons que Jade génère des déviations moyennes sur l'ensemble du maillage. Cet algorithme simplifie en maîtrisant les bornes de l'erreur globale engendrée. Sur la figure 6(c), nous remarquons que ProgMesh génère des déviations faibles et moyennes sur l'ensemble du maillage. La figure 7 montre les résultats des mesures de déviation des normales. Nous retrouvons les mêmes constatations que précédemment. Sur la figure 7(a), QSlim génère des déviations faibles sur l'ensemble du maillage et des déviations élevées dans les zones à fortes courbures. Sur la figure 7(b), Jade génère des déviations moyennes sur l'ensemble du maillage. Sur la figure 7(c), ProgMesh ne génère que très peu de déviations fortes.

La figure 8 présente les courbes des résultats numériques obtenus sur un maillage simplifié par les trois logiciels cités précédemment. La figure 8(a) montrent la déviation moyenne géométrique. La figure 8(b) montre la déviation moyenne des normales. Ces courbes confirment les remarques faites précédemment. Le logiciel QSlim obtient dans tous les cas la plus faible déviation moyenne. Ce logiciel gère parfaitement les attributs d'apparence pendant le processus de simplification et génère de très faibles déviations.

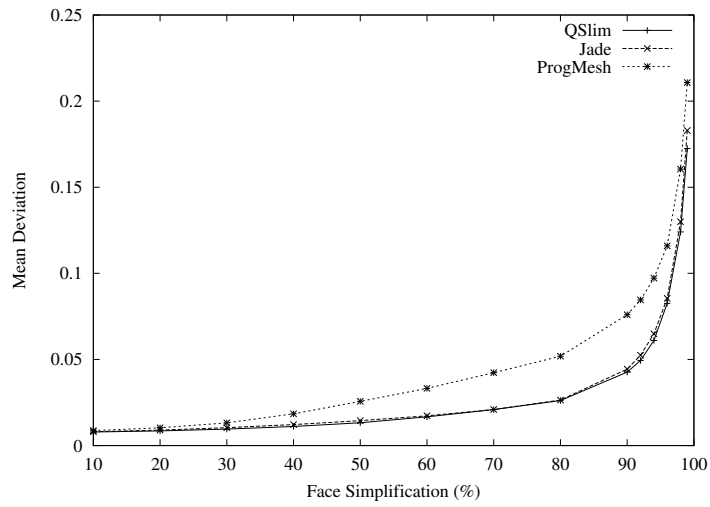
6. Conclusion et perspectives

Nous avons présenté une mesure de déviation pour approximer les différences locales entre les attributs de deux maillages. Cette mesure est à la base d'une méthode de comparaison de maillages qui peut être utilisée à la fois pour mesurer l'erreur locale (relative à une région donnée) ou globale. La mesure locale permet de visualiser précisément les régions modifiées par la simplification d'un maillage ce qui constitue un avantage considérable par rapport aux méthodes classiques de mesure qui se limitent à des évaluations globales (distance de Hausdorff par exemple). La simplification d'un maillage étant essentiellement géométrique, la mesure de déviation géométrique est donc la plus importante. La mesure de déviation des autres attributs permet d'estimer les modifications de l'apparence d'un maillage après simplification.

Comme les attributs sont considérés comme des vecteurs dans l'espace Euclidien, une mesure dans l'espace réel de l'attribut serait peut-être plus appropriée (*e.g.* l'espace RGB pour les attributs de couleur). D'autres métriques peuvent être ajoutées à la mesure de différences entre deux maillages (*e.g.* qualité de triangulation).



(a) Déviation géométrique



(b) Déviation des normales

Figure 8. Comparaison de trois algorithmes de simplification de maillages. En abscisse : pourcentage de simplification. En ordonnée : déviation moyenne

Remerciements

Ces travaux sont effectués en collaboration avec le laboratoire IRIS⁵ (Université du Tennessee, USA). Les auteurs remercient David Page⁶, Yiyong Sun⁷, Andreas Koschan, Mongi Abidi et Tadeusz Sliwa⁸ pour leur collaboration et leurs précieux conseils.

7. Bibliographie

- [CIA 97] CIAMPALINI A., CIGNONI P., MONTANI C., SCOPIGNO R., « Multiresolution Decimation based on Global Error », *The Visual Computer, Springer International*, vol. 13, n° 5, 1997, p. 228-246.
- [CIG 98a] CIGNONI P., ROCCHINI C., SCOPIGNO R., « Comparison of Mesh Simplification Algorithms », *Computer And Graphics*, vol. 22, n° 1, 1998, p. 37-54.
- [CIG 98b] CIGNONI P., ROCCHINI C., SCOPIGNO R., « Metro : Measuring Error on Simplified Surfaces », *Computer Graphics Forum*, vol. 17, n° 2, 1998, p. 167-174.
- [CIG 99] CIGNONI P., MONTANI C., ROCCHINI C., SCOPIGNO R., TARINI M., « Preserving Attribute Values on Simplified Mesches by Re-sampling Detail Textures », *The Visual Computer*, vol. 15, n° 10, 1999, p. 519-539.
- [COH 96] COHEN J., VARSHNEY A., MANOCHA D., TURK G., WEBER H., AGARWAL P., BOOKS F., WRIGHT W., « Simplification Envelopes », *Proceedings of SIGGRAPH*, Août 1996, p. 119-128.
- [COH 98] COHEN J., OLANO M., MANOCHA D., « Appearance-Preserving Simplification », *Proceedings of SIGGRAPH*, Août 1998, p. 115-122.
- [FOL 90] FOLEY J., DAM A. V., FEINER S., HUGHES J., *Computer Graphics : Principle and Praticce*, Addison-Wesley, seconde édition, 1990.
- [FRA 88] FRANKLIN W., AKMAN V., « Adaptative Grid for Polyhedral Visibility in Object Space », *Computer Journal*, vol. 31, n° 1, 1988, p. 56-60.
- [FRA 97] FRANKLIN W., KANKANHALLI M., NARAYANASWAMI C., « Geometric Computing and Uniform Grid Technique », *Computer Aided Design*, vol. 21, n° 7, 1997, p. 410-420.
- [GAR 97] GARLAND M., HECKBERT P., « Surface Simplification Using Quadric Error Metrics », *Proceedings of SIGGRAPH*, Août 1997, p. 209-216.
- [GAR 98] GARLAND M., HECKBERT P., « Simplifying Surfaces with Color and Texture using Quadric Error Metrics », *Proceedings of IEEE Visualization*, 1998, p. 263-270.
- [GUÉ 95] GUÉZIEC A., « Surface Simplification Inside a Tolerance Volume », *Second Annual International Symposium on Medical Robotics and Computer Aided Surgery*, Novembre 1995, p. 132-139.

5. <http://imaging.utk.edu>

6. page@iristown.engr.utk.edu

7. yiyong@iristown.engr.utk.edu

8. t.sliwa@iutlecreusot.u-bourgogne.fr

- [GUÉ 01] GUÉZIEC A., « Meshsweeper : Dynamic Point-To-Polygonal-Mesh Distance and Applications », *IEEE Visualization and Computer Graphics*, vol. 7, n° 1, 2001, p. 47-61.
- [HEC 90] HECKBERT P., « Generic Convex Polygon Scan Conversion and Clipping », *Graphics Gems I*, p. 84-86, Academic Press, 1990.
- [HOP 96] HOPPE H., « Progressive Meshes », *Proceedings of SIGGRAPH*, Août 1996, p. 99-108.
- [HOP 99] HOPPE H., « New Quadric Metric for Simplifying Meshes with Appearance Attributes », *Proceedings of IEEE Visualization*, Octobre 1999, p. 59-66.
- [HOP 00] HOPPE H., MARSCHNER S., « Efficient Minimization of New Quadric Metric for Simplifying Meshes with Appearance Attributes », rapport n° MSR-TR-2000-64, Juin 2000, Microsoft Research.
- [KLE 96] KLEIN R., LIEBICH G., STRAER W., « Mesh Reduction with Error Control », *Proceedings of IEEE Visualization*, Octobre 1996, p. 311-318.
- [LIN 98] LINDSTROM P., TURK G., « Fast and Memory Efficient Polygonal Simplification », *Proceedings of IEEE Visualization*, Octobre 1998, p. 279-286.
- [RED 96] REDDY M., « Scrooge : Perceptually-driven polygon reduction », *Computer Graphics Forum*, vol. 15, n° 4, 1996, p. 191-203.
- [RON 96] RONFARD R., ROSSIGNAC J., « Full-range Approximation of Triangulated Polyhedra », *Proceedings of EUROGRAPHICS*, 1996, p. 67-76.
- [ROS 97] ROSSIGNAC J., « Geometric Simplification and Compression », *SIGGRAPH Course Notes 25*, 1997.
- [ROY 01] ROY M., NICOLIER F., FOUFOU S., TRUCHETET F., « Mesure de la qualité des algorithmes de simplification de maillages », *Proceedings of 17^{es} Journées de l'AFIG*, Novembre 2001, p. 175-184.
- [ROY 02] ROY M., NICOLIER F., FOUFOU S., TRUCHETET F., KOSCHAN A., ABIDI M., « Assessment of mesh simplification algorithm quality », *Proceedings of SPIE Electronic Imaging*, vol. 4661, Janvier 2002, p. 128-137.
- [SCH 92] SCHROEDER W., ZARGE J., LORENSEN W., « Decimation of Triangle Meshes », *Proceedings of SIGGRAPH*, Juin 1992, p. 65-70.
- [TOU 00a] TOUBIN M., « Caractérisation et simplification de modèles numériques de scènes réelles par approche multirésolution dans un contexte multi-capteurs », Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 2000.
- [TOU 00b] TOUBIN M., PAGE D., DUMONT C., TRUCHETET F., ABIDI M., « Multiresolution Wavelet Analysis for Simplification and Visualization of Multi-Textured Meshes », *Proceedings of SPIE Electronic Imaging*, vol. 3960, Janvier 2000, p. 155-163.
- [VEL 99] VELTKAMP R. C., HAGEDOORN M., « State-of-the-art in shape matching », rapport n° UU-CS-1999-27, 1999, Utrecht University.
- [VEL 01] VELTKAMP R. C., « Shape Matching : Similarity Measures and Algorithms », rapport n° UU-CS-2001-03, 2001, Utrecht University.