

---

# Norme MPEG pour la compression multirésolution de maillages tridimensionnels

Faten Chaieb<sup>1</sup>, Khaled Mammou<sup>2</sup>, Christophe Dehais<sup>2</sup>

1. *École Nationale des Sciences de l'Informatique*  
*Université de La Manouba, Laboratoire CRISTAL*  
*Groupe de Recherche Images et Formes de Tunisie (GRIFT)*  
*Campus Universitaire de la Manouba 2010, Tunisie*  
*faten.chaieb@ensi.rnu.tn*

2. *FittingBox*  
*2 Rue de la Roquette, 75011 Paris France*  
*{khaled.mammou, christophe.dehais}@fittingbox.com*

---

**RÉSUMÉ.** Cet article introduit une nouvelle technique de compression de maillages 3D utilisant l'approximation de forme comme stratégie de prédiction. L'approche proposée, appelée Shape Approximation Compression (SAC), consiste à compresser directement les niveaux de détails définis par les créateurs de contenus, en exploitant leurs inter-correlations. La géométrie de chaque niveau est utilisée afin de calculer une approximation lisse du niveau de détails suivant. Une hiérarchie de maillages progressifs est ensuite construite à partir du maillage approché. Cela permet de prédire et de transmettre de façon efficace les erreurs d'approximation. Le codec SAC a été évalué par le groupe de travail ISO/MPEG sur le codage de maillage 3D multirésolution et a été retenu pour une normalisation future.

**ABSTRACT.** This paper introduces a novel scalable 3D mesh compression technique based on a shape approximation prediction strategy. The proposed approach, so-called Shape Approximation Compression (SAC), directly compresses the levels of detail (LoDs) defined by the content creators, while exploiting their inter-correlations. Here, the geometry of each LoD is used in order to compute a smooth approximation of the next layer. A progressive mesh hierarchy is then built on the top of the approximated version making it possible to efficiently predict and progressively transmit the geometry approximation errors. The SAC codec was evaluated within the framework of the MPEG Core Experiments activities on Multi-Resolution 3D Mesh Coding (MR3DMC) and was retained for future standardization.

**MOTS-CLÉS :** compression 3D, MPEG, multirésolution, approximation, maillage progressif.

**KEYWORDS:** 3D compression, MPEG, multi-resolution, approximation, progressive mesh.

---

DOI:10.3166/TS.29.179-192 © 2012 Lavoisier

### Extended abstract

This paper introduces a novel scalable 3D mesh compression technique based on a shape approximation prediction strategy. The proposed approach, called Shape Approximation Compression (SAC), consists in compressing levels of detail (LoDs) defined by the content creators, while taking into account their inter-correlations.

We denote by  $L_i = \{C_i, G_i\}$  the  $i^{th}$  level of detail where  $C_i$  and  $G_i$  are respectively the mesh connectivity and geometry information.

### SAC encoder

First, the SAC encoder (figure 1) compresses the lowest LoD denoted  $L_0$  by using the standardized static mesh encoder TFAN (Mammou *et al.*, 2009). TFAN offers a lower computational complexity and competitive compression performances w.r.t. the state-of-the-art mono-resolution codecs, while handling general topologies (e.g. non-manifold meshes).

Then, the connectivity information of the others LoDs denoted by  $(L_i)_{i \in 1 \dots N-1}$  are compressed using TFAN. The geometry information, which represents more than 80% of the bitstream, is compressed by exploiting a shape approximation-based prediction strategy. In fact, the SAC encoder uses both the connectivity information of the current layer  $L_i$  and the geometry information of the previous layer  $L_{i-1}$  in order to compute a smooth approximation  $L_i^*$  of  $L_i$ . Here, a mapping function denoted by  $\text{Map}(L_{i-1}, L_i)$  describing a correspondence between the vertices of  $L_{i-1}$  and a subset  $C_i^l$  of the vertices of  $L_i$  is explicitly encoded in the bitstream. This subset of vertices described by the above mapping function is used as control points to compute the approximate mesh  $L_i^*$ .

As in (Chen *et al.*, 2005), the encoder may optionally use a set of additional control points  $C_i^a$  different from the subset provided by the mapping function (i.e.  $C_i^a \cap C_i^l = \emptyset$ ), and send explicitly their positions/attributes and indices. In the case of meshes with salient features, an auxiliary information  $S_i$  specifying the salient edges of  $L_i$  is also included in the bitstream. The positions of the additional control points are quantized and arithmetically encoded together with their indices, the mapping function and the edge saliency information.

The SAC codec extends the Laplacian-based approximation technique described in (Chen *et al.*, 2005) to meshes with salient features in order to obtain the approximated mesh  $L_i^*$ . The progressive mesh hierarchy  $PM(L_i^*)$  is then constructed by decimating  $L_i^*$  as described in (Garland, Heckbert, 1997). This progressive mesh is used to predict the approximation errors of  $L_i^*$ . The SAC encoder compresses the predicted approximation errors in the reverse order of  $PM(L_i^*)$ . Finally, the predicted approximation errors are arithmetically encoded and progressively transmitted to the decoder.

### *SAC decoder*

The TFAN decoder (figure 2) is used to decode the lowest LoD. The remaining LoDs are decoded as follows. First, the connectivity  $C_i$ , the positions/indices of the additional control points, the mapping and the edge saliency information are decoded and exploited to compute  $L_i^*$ . Then, the decoder builds exactly the same progressive mesh structure  $PM(L_i^*)$  computed by the encoder. Finally, the predicted approximation errors are progressively decoded and used to reconstruct the different LoDs.

### *SAC performances*

The proposed SAC codec was evaluated in the context of the MPEG's 3D Geometry (3DG) group activities on Multi-Resolution 3D Mesh Coding (MR3DMC). The compression performances reported in figure 5, show best Rate Distortion performances for all the bitrates. The SAC high compression performances are mainly obtained thanks to its approximation-based prediction strategy which outperforms the simple predictors considered by the other techniques.

Because of its high RD performances, its flexibility and its support for both quality and spatial scalabilities, the SAC codec was retained for future MPEG standardization.

## **1. Introduction**

Ces dernières années ont vu le développement notable des capacités de rendu aussi bien des ordinateurs personnels que des consoles de jeu, des téléphones mobiles et des tablettes électroniques. Cette tendance offre un environnement propice au déploiement d'applications exploitant des contenus 3D de plus en plus riches. A titre d'exemples citons le domaine des jeux vidéo qui en est le principal bénéficiaire, mais également les livres virtuels avec des illustrations en 3D, les systèmes de navigation avec rendu 3D, les systèmes d'achat/essayage par internet avec visualisation 3D des produits<sup>1</sup>.

Cependant, le stockage et la transmission de ce type de contenu sur différents terminaux et réseaux (mobiles ou fixes) requièrent d'importantes ressources en mémoire et bande passante. Il s'avère alors indispensable de développer des techniques de compression 3D capables d'adapter ces contenus 3D aux capacités des différents terminaux/réseaux. Afin de répondre à ce besoin, une approche directe consiste à créer plusieurs versions des contenus à diffuser avec des résolutions et des qualités différentes, chacune optimisée pour un couple terminal/réseau visé. Ces différents niveaux de détails sont ensuite diffusés simultanément et de sorte à permettre à chaque terminal de charger le contenu le mieux adapté à ses capacités et à la bande passante du réseau qu'il exploite. Une telle approche de diffusion en *simulcast* est néanmoins sous-optimale vis-à-vis de la compression étant donné que les corrélations inter-niveaux de détails ne sont pas exploitées. Une approche plus efficace serait de concevoir

---

1. Par exemple le système d'essayage virtuel de lunettes disponible sur <http://www.fittingbox.com>

des flux binaires scalables. En effet, des parties de ce flux peuvent être enlevées tout en garantissant un nouveau flux binaire valide permettant de générer un contenu avec une qualité certes plus faible mais suffisamment acceptable par rapport à la quantité d'information envoyée.

On définit deux types de scalabilité :

1. scalabilité spatiale : consiste à adapter la résolution du maillage à la capacité de rendu du terminal ainsi qu'à la bande passante disponible,
2. scalabilité en qualité : il s'agit de raffiner progressivement la précision de la géométrie du maillage au fur et à mesure de la transmission/décodage du flux binaire.

Plusieurs approches de compression 3D offrant les fonctionnalités de scalabilité spatiale et/ou de scalabilité en qualité ont été proposées dans la littérature. La section suivante esquisse l'état de l'art dans ce domaine. Nous attirons l'attention du lecteur que dans cet article nous nous focalisons sur les approches de compression sans re-maillage.

## 2. Etat de l'art

Dans (Hoppe, 1996), la technique de maillage progressif (*Progressive Mesh*) a été introduite. Elle permet de représenter un maillage dense  $M$  par un maillage "grossier"  $M_0$  et un ensemble d'opérations de raffinement de type *vertex split*. La représentation maillage progressif produit des niveaux de détails de haute qualité, ce qui la rend particulièrement adaptée pour des applications de rendu adaptatif au point de vue. Néanmoins, cette technique requiert 10–20 fois plus de débit que le codeur monorésolution de maillage 3D (Touma, Gotsman, 1998) pour coder l'information de connectivité.

La représentation hiérarchique par maillage progressif a été fréquemment exploitée afin de concevoir des techniques de compression plus compactes et ce en introduisant soit des opérateurs de raffinement différents (e.g. *forest split* (Taubin *et al.*, 1998) ou *vertex insertion* (Cohen-Or *et al.*, 1999)), soit en imposant des contraintes plus importantes sur la stratégie de décimation (e.g. décimation par *octree* (Gandoin, Devillers, 2002) ou par valences (Alliez, Desbrun, 2001 ; Valette, Prost, 2004)).

Concernant les performances de compression, les codeurs (Valette, Prost, 2004 ; Alliez, Desbrun, 2001 ; Cohen-Or *et al.*, 1999 ; Pajarola, Rossignac, 2000 ; Taubin *et al.*, 1998) permettent d'atteindre des débits de 2 – 7 bits par sommet (bps) pour l'information de connectivité. En revanche, dans le cas de maillages 3D avec un échantillonnage non uniforme, ces techniques produisent des niveaux de détails de faible qualité, et ce à cause des contraintes topologiques et géométriques qui leur sont inhérentes. De plus, les créateurs de contenus sont le plus souvent réticents à exploiter ces techniques parce qu'elles n'offrent pas la possibilité de contrôler les niveaux de détails intermédiaires générés. Ainsi, les artistes préfèrent créer un ensemble discret de  $N$  niveaux de détails, notés  $(L_i)_{i \in \{0, \dots, N-1\}}$ , chacun manuellement optimisé pour un terminal/plateforme particulier. Ces niveaux de détails sont ensuite compressés en utilisant un codeur monorésolution et transmis séparément.

L'approche de compression par approximation de forme (*Shape Approximation Compression*), proposée dans cet article permet de pallier ces limitations en compressant directement les niveaux de détails spécifiés par le créateur du contenu tout en exploitant les intercorrélations qui existent entre eux.

La suite de l'article est structurée comme suit. La section 3 décrit la méthode de compression de maillages 3D proposée. Les performances de compression de l'encodeur proposé sont objectivement évaluées et discutées dans la section 4. Nous concluons ce travail en donnant des perspectives et les développements futurs.

### 3. Compression par approximation de forme

Les figure 1 et figure 2 présentent respectivement les schémas synoptiques du codeur et du décodeur proposés.

Le codeur SAC compresse le niveau de détails le plus bas  $L_0$  en utilisant le codeur de maillage 3D monorésolution TFAN (Mammou *et al.*, 2009). TFAN a été inclu dans la norme MPEG-4 partie 16 en 2009. Il offre une faible complexité de calcul et des performances de compression compétitives par rapport aux techniques de l'état de l'art, tout en gérant des topologies arbitraires (e.g. maillages non-*manifold*).

Ensuite, seules les connectivités des niveaux de détails  $(L_i)_{i \in \{1, \dots, N-1\}}$  sont codées en utilisant le codeur TFAN. L'information de géométrie, qui représente plus de 80 % de la taille totale du flux binaire, est compressée en exploitant une stratégie de prédiction par approximation de forme. Plus précisément, le codeur SAC combine l'information de connectivité  $C_i$  du niveau de détail courant  $L_i$  avec l'information de géométrie notée  $G_{i-1}$  du niveau de détail précédent  $L_{i-1}$ , afin de calculer une approximation lisse  $L_i^*$  de  $L_i$ . Ici, une information auxiliaire  $Map((i-1) \rightarrow i)$  décrivant la correspondance entre les sommets de  $L_{i-1}$  et un sous-ensemble  $C_i^l$  des sommets de  $L_i$  est explicitement codée dans le flux binaire.  $Map((i-1) \rightarrow i)$  permet d'associer les positions et les attributs des sommets de  $L_{i-1}$  aux sommets  $C_i^l$ , qui sont exploités comme points de contrôle afin de calculer l'approximation  $L_i^*$  (cf. section 3.1).

Comme dans (Chen *et al.*, 2005), le codeur peut de façon optionnelle choisir un ensemble  $C_i^a$  de points de contrôle additionnels (*i.e.*  $C_i^a \cap C_i^l = \emptyset$ ), et transmettre explicitement leurs coordonnées/attributs ainsi que leurs indices. Dans le cas de maillages avec des formes saillantes, une information supplémentaire  $S_i$  spécifiant les arêtes saillantes de  $L_i$  est également incluse dans le flux binaire. Notons que les positions des points de contrôle supplémentaires sont d'abord quantifiées et ensuite compressées avec un codeur arithmétique ainsi que leurs indices, l'information de correspondance entre niveaux de détails  $Map((i-1) \rightarrow i)$  et l'information saillance  $S_i$ .

$L_i^*$  est calculée à partir de la connectivité du  $i^{me}$  niveau de détail  $C_i$ , la géométrie du niveau de détail précédent  $G_{i-1}$ ,  $S_i$ ,  $C_i^l$ ,  $C_i^a$  et  $Map((i-1) \rightarrow i)$ . La hiérarchie de maillage progressif  $PM(L_i^*)$  est ensuite construite en décimant  $L_i^*$  comme décrit dans (Garland, Heckbert, 1997), en n'autorisant que des opérations de type *half-edge collapse*.  $PM(L_i^*)$  est exploitée afin de prédire les erreurs de prédiction de  $L_i^*$  par

rapport à  $L_i$  (cf. section 3.2). Enfin, les résidus de la prédiction des erreurs d'approximation  $(e_v)_{v \in \{1, \dots, V\}}$  ( $V$  étant le nombre de sommets) sont compressés avec un codeur arithmétique et transmis de façon progressive au décodeur.

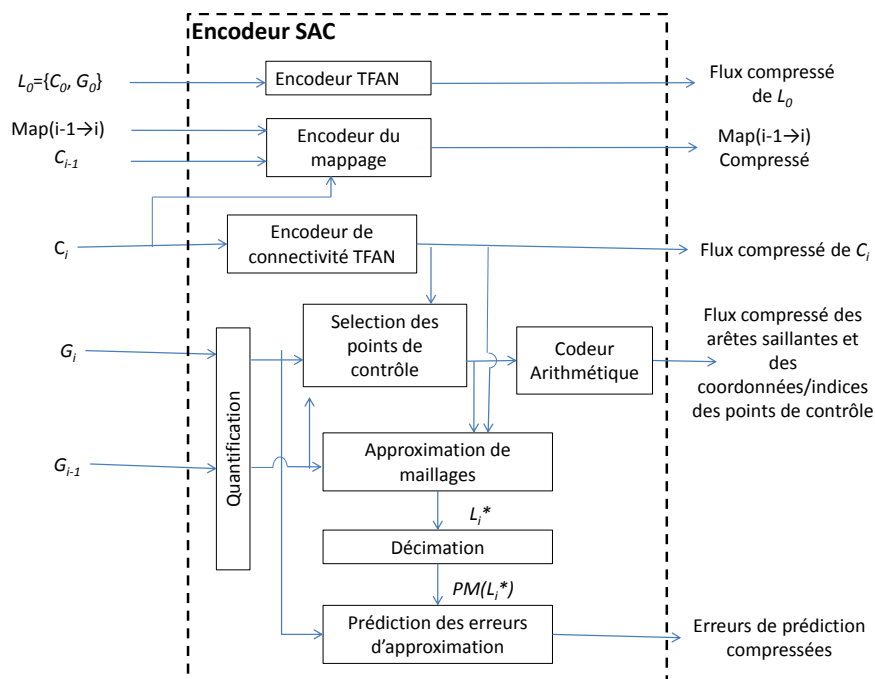


Figure 1. Schéma synoptique du codeur SAC

Le décodeur SAC décompresse le niveau de détails  $L_0$  en appliquant le décodeur TFAN. Les niveaux de détails restants sont décodés comme suit. D'abord, la connectivité  $C_i$ , les positions/indices des points de contrôle additionnels, l'information de correspondance entre niveaux de détails ainsi que l'information de saillance sont décodées et exploitées afin de calculer  $L_i^*$ . Ensuite, le décodeur construit exactement la même hiérarchie de maillage progressif  $PM(L_i^*)$  calculée par le codeur. Notons ici que  $PM(L_i^*)$  est obtenue sans coût supplémentaire puisqu'elle est générée directement à partir de  $L_i^*$ . Enfin, les résidus de la prédiction des erreurs d'approximation  $(e_v)_v$  sont progressivement décodés et utilisés afin de reconstruire les différents niveaux de qualité comme décrit dans la section 3.2.

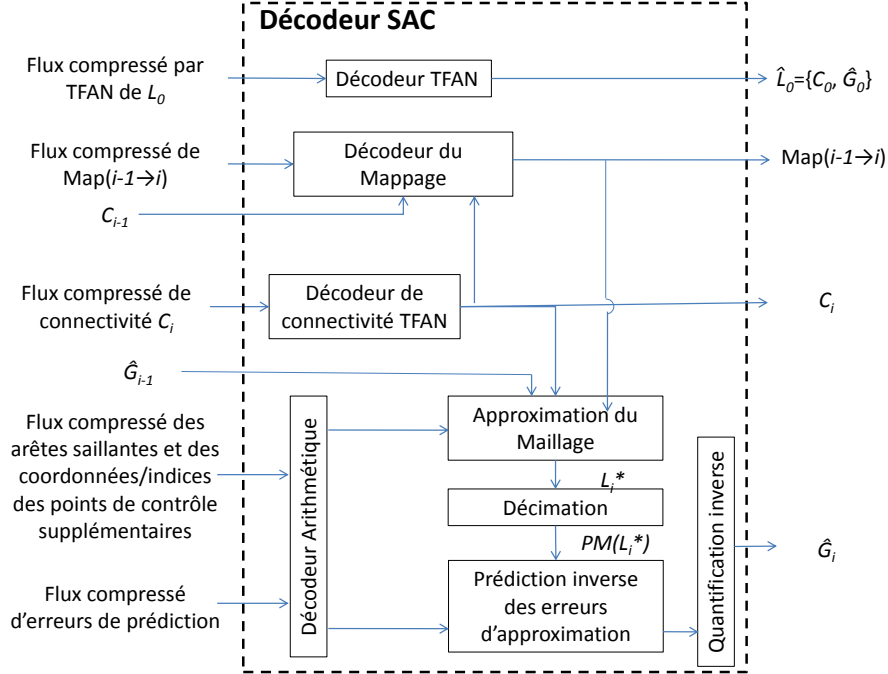


Figure 2. Schéma synoptique du décodeur SAC

### 3.1. Approximation de forme

Le codec SAC étend la technique d'approximation par laplacien décrite dans (Chen *et al.*, 2005) au cas des maillages avec formes saillantes. Dans ce travail, nous avons considéré comme saillante toute arête qui a un angle diédral supérieur à  $\frac{\pi}{6}$ . La figure 3.a illustre l'ensemble des arêtes saillantes détectées pour le modèle "Fandisk".

Nous définissons la matrice laplacienne  $\mathcal{L}_i$  comme suit :

$$\mathcal{L}_i(k, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } j = k \\ -\frac{\alpha}{\alpha \times |k_s^*| + \beta \times |k_n^*|} & \text{if } k \leq V_i, j \in k_s^* \\ -\frac{\beta}{\alpha \times |k_s^*| + \beta \times |k_n^*|} & \text{if } k \leq V_i, j \in k_n^* \\ 1 & \text{if } k > V_i, j \in \mathcal{C}_i \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (1)$$

où

- $\mathcal{C}_i = (\mathcal{C}_i^0, \dots, \mathcal{C}_i^{\Gamma_i-1})$  est l'ensemble des sommets de contrôle et  $\Gamma_i$  sa cardinalité,
- $(k, j) \in \{1, \dots, V_i + \Gamma_i\} \times \{1, \dots, V_i\}$ ,

- $k_s^*$  est l'ensemble des voisins topologiques du sommet  $k$  qui partagent avec lui soit une arête de bord (*i.e.* arête adjacente exactement à un triangle) ou une arête saillante (*i.e.* arête appartenant à  $\mathcal{S}_i$ ),
- $k_n^*$  l'ensemble des voisins topologiques du sommet  $k$  qui n'appartiennent pas à  $k_s^*$ ,
- $|k_n^*|$  et  $|k_s^*|$  sont respectivement les nombres d'éléments de  $k_n^*$  et de  $k_s^*$ ,
- $\alpha$  et  $\beta$  sont les poids associés respectivement aux arêtes spéciales (*i.e.* saillantes ou de bord) et ordinaires (*i.e.* arêtes non spéciales).

Comme dans (Chen *et al.*, 2005), la matrice des positions approchées (de taille  $V_i \times 3$ ), notée  $P^* = (P_v^*(d))_{v \in \{1, \dots, V_i\}}^{d \in \{1, 2, 3\}}$ , est calculée en résolvant le système linéaire creux suivant (Bjorck, 1999) :

$$(\mathcal{L}_i^\top \mathcal{L}_i) \times P = \mathcal{L}_i^\top B. \quad (2)$$

La  $k$ -ième ligne  $B_i(k)$  de la matrice  $B_i$  (de taille  $(V_i + C_i) \times 3$ ) est donnée par :

$$B_i(k) = \begin{cases} P_{\mathcal{C}_i^{k-V_i}}^\top & \text{if } (k > V_i) \\ (0, 0, 0) & \text{sinon} \end{cases}, \quad (3)$$

où  $P_{\mathcal{C}_i^{k-V_i}}^\top$  représente les positions 3D des sommets de contrôle  $\mathcal{C}_i^{k-V_i}$ .

Notons que si les poids  $\alpha$  et  $\beta$  sont égaux ou si l'ensemble des arêtes spéciales est vide alors nous obtenons exactement la définition de la matrice laplacienne proposée dans (Chen *et al.*, 2005). Dans ce travail,  $\alpha$  a été fixé à 100 et  $\beta$  à 1. Cela implique qu'un sommet  $k$  localisé sur un bord du maillage ou sur une arête saillante est influencé 100 plus par ses voisins spéciaux  $k_s^*$  que par ses voisins ordinaires (*i.e.*  $k_n^*$ ). Comme illustré dans la figure 3, cette version modifiée de  $\mathcal{L}_i$  préserve mieux les formes saillantes du maillage.

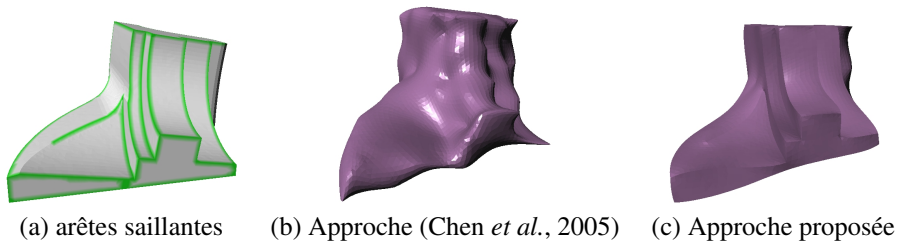


Figure 3. Approximation de forme du modèle Fandisk : (b) laplacien uniforme vs. (c) laplacien avec information de saillance



### 3.2. Prédiction des erreurs d'approximation

Le codeur SAC compresse les résidus de prédiction des erreurs d'approximation dans l'ordre inverse de décimation de  $PM(L_i^*)$ . A chaque étape, l'erreur d'approximation prédite  $e_v$  associée au sommet  $v$  est calculée comme suit :

$$e_v = (P_v - \frac{1}{|v^*|} \sum_{w \in v^*} \hat{P}_w) - (P_v^* - \frac{1}{|v^*|} \sum_{w \in v^*} P_w^*), \quad (4)$$

où  $v^*$  représente les voisins topologiques de  $v$  dans le niveau de détail courant de  $PM(L_i^*)$  et  $(\hat{P}_w)_{w \in v^*}$  sont les positions reconstruites par le décodeur obtenues comme décrit dans la suite de cette section (cf. équation (7)).

L'erreur  $e_v$  obtenue est ensuite décomposée en une composante normale  $e_v^n$  et deux composantes tangentielles  $e_v^t$  et  $e_v^r$ , définies par :

$$e_v^n = e_v \cdot n_v^*, e_v^t = e_v \cdot t_v^*, e_v^r = e_v \cdot r_v^*, \quad (5)$$

où  $n_v^*$  est la normale à  $L_i^*$  au sommet  $v$  et  $r_v^*$  et  $t_v^*$  sont deux vecteurs choisis pour former une base orthonormée directe avec  $n_v^*$ .

Enfin,  $e_v^n$ ,  $e_v^t$  et  $e_v^r$  sont quantifiées et compressées avec un codeur arithmétique. Notons que dans le cas de maillages lisses la composante normale  $e_v^n$  contient plus d'information de forme que les deux composantes tangentielles  $e_v^t$  et  $e_v^r$ . Par conséquent, comme proposé dans (Alliez, Desbrun, 2001), nous quantifions de façon plus finement  $e_v^n$  par rapport à  $e_v^t$  et  $e_v^r$ .

Le décodeur SAC décompresse progressivement les résidus de prédiction des erreurs d'approximation en commençant du niveau de détails le plus faible au plus raffiné. Ici, à chaque étape, les trois composantes  $(\hat{e}_v^n, \hat{e}_v^t, \hat{e}_v^r)$  sont décodées et ensuite utilisées afin de reconstruire les erreurs d'approximation  $\hat{e}_v$ , comme suit :

$$\hat{e}_v = \hat{e}_v^n \cdot \hat{n}_v^* + \hat{e}_v^t \cdot t_v^* + \hat{e}_v^r \cdot r_v^*. \quad (6)$$

Enfin, les positions décodées  $(\hat{P}_v)_v$  sont obtenues par :

$$\hat{P}_v = \hat{e}_v + \frac{1}{|v^*|} \sum_{w \in v^*} \hat{P}_w + (P_v^* - \frac{1}{|v^*|} \sum_{w \in v^*} P_w^*). \quad (7)$$

Notons qu'en codant/décodant des sommets dans l'ordre inverse de la simplification de  $PM(L_i^*)$ , le codeur/décodeur SAC garantit que lorsque le sommet  $v$  est traité, les positions  $(\hat{P}_w)_{w \in v^*}$  des tous ses voisins ont été déjà reconstruites.

### 3.3. Scalabilité spatiale et en qualité

Le codeur SAC offre la fonctionnalité de scalabilité spatiale en exploitant directement les niveaux de détails  $(L_i)_i$  définis par le créateur du contenu. La scalabilité

en qualité est obtenue en transmettant de façon progressive les résidus de prédiction des erreurs d'approximation comme illustré dans la figure 4. En mettant à zéro les erreurs les résidus non décodés  $\hat{e}_v$  dans l'équation (7), le décodeur est capable de calculer une approximation lisse du niveau de détail  $L_i$  à chaque étape du processus de transmission. Notons que la stratégie de simplification par erreur quadratique moyenne (Garland, Heckbert, 1997) exploitée lors de la construction du maillage progressif  $PM(L_i^*)$  assure que les erreurs sont envoyées en commençant par les détails de forme les plus pertinents, ce qui assure des hautes performances débit-distorsion (cf. section 4.2).

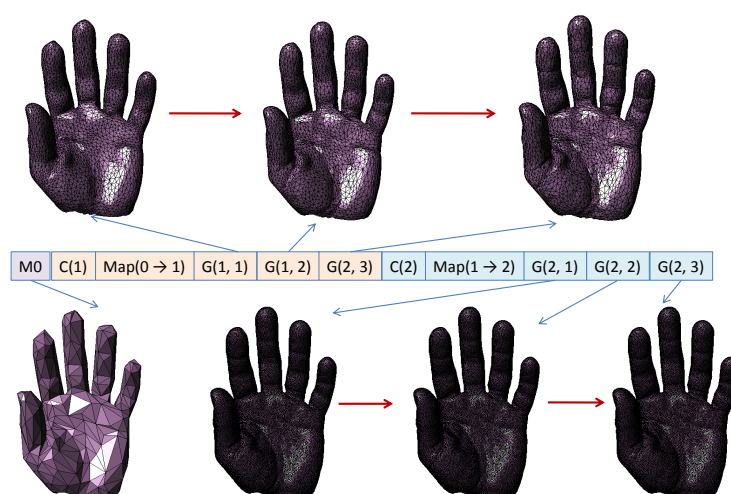


Figure 4. Fonctionnalités de scalabilité spatiale et de scalabilité en qualité

### 3.4. Complexité de calcul

Le complexité de codage/décodage de l'approche SAC proposée est déterminée par l'étape de construction du maillage progressif qui est en  $O(V \log(V))$ . Comme référence, sur une machine 2.4 GHz Core2 CPU avec 3 GB de RAM, l'encodeur SAC traite 10 000 sommets par seconde en moyenne.

## 4. Résultats expérimentaux

### 4.1. Base de test et critères d'évaluation

Le codec SAC a été évalué dans le cadre des travaux du groupe de normalisation MPEG qui portent sur la compression multirésolution de maillages 3D ("Description

of 3D CE”, 2010). La base d’évaluation considérée est composée de 85 maillages 3D triangulaires denses stockés sous le format VRML 2.0. La base couvre différentes applications tels que les systèmes d’information géographique, la conception assistée par ordinateur (CAO), l’imagerie médicale 3D et l’héritage culturel. Les maillages montrent également une grande variabilité en termes de complexité et de topologie. Le nombre de sommets par maillage varient entre 20 000 et 564 000. Le nombre moyen de sommets par modèle est de 133 000. Le nombre de composantes connexes (CC) par modèle varie entre 1 et 168. En moyenne, le nombre moyen de CC est égal à 5. Cette base comprend 52 % de maillages *manifold*, 68 % de maillages fermés et 73 % de maillages orientables.

Les distorsions de compression sont mesurées en utilisant la norme  $L^2$  évaluée par l’outil MESH<sup>2</sup>. Les débits sont rapportés en bps.

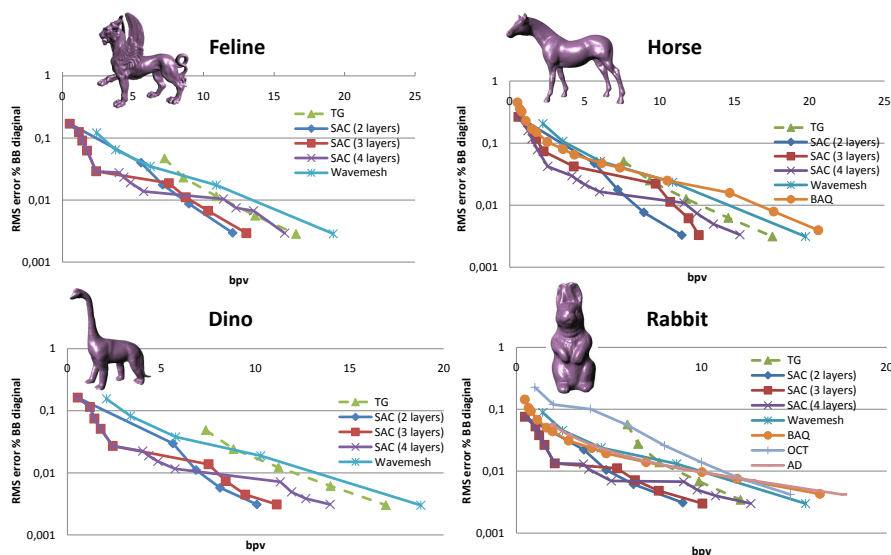


Figure 5. Courbes débit-distorsion : SAC vs. les techniques TG, Wavemesh, AD, OCT et BAQ (SAC 2-layers =  $L_0, L_3$ , SAC 3-layers =  $L_0, L_1, L_3$ , and SAC 4-layers =  $L_0, L_1, L_2, L_3$ )

2. <http://mesh.berlios.de>

#### 4.2. Etude comparative

La figure 5 compare les courbes débit-distorsion de l'approche SAC proposée au codeur monorésolution (Touma, Gotsman, 1998) et aux techniques multirésolutions Wavemesh (Valette, Prost, 2004), AD (Alliez, Desbrun, 2001), OCT (Peng *et al.*, 2005) et BAQ (Lee *et al.*, 2011). Nous avons généré quatre niveaux de détails en appliquant l'approche de simplification (Garland, Heckbert, 1997) à chacun des modèles : (1)  $L_0$  avec 1,5 % des sommets du maillage original, (2)  $L_1$  avec 10 %, (3)  $L_2$  avec 20 % et  $L_3$  avec 100 %.

La figure 5 montre clairement que la technique SAC offre les meilleures performances de compression à tous les débits. De plus, l'approche proposée offre également l'avantage de la flexibilité étant donné qu'elle permet aux créateurs de contenus de spécifier des niveaux de détails qui sont manuellement optimisés pour des plateformes spécifiques. Les bonnes performances de compression du codec SAC sont largement obtenues grâce à la procédure d'approximation de forme qui surclasse les prédicateurs simples considérés par les autres techniques de l'état de l'art.

En raison de ses bonnes performances de compression et des fonctionnalités de scalabilité spatiale et de scalabilité en qualité qu'il offre, le codec SAC a été retenu par le groupe de ISO/MPEG pour une future normalisation.

#### 5. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté une nouvelle méthode de compression multirésolution de maillages 3D exploitant les intercorrélations entre les niveaux de détails. Le niveau de détail courant  $L_i$  est prédit à partir du niveau de détail précédent en calculant une approximation lisse de  $L_i$ . Cette approximation est utilisée pour générer un maillage progressif permettant ainsi au décodeur de reconstruire cette même hiérarchie sans à avoir à lui transmettre les opérations topologiques nécessaires.

Les expérimentations réalisées en se référant au document ("Description of 3DG CE", 2010), ont montré des gains en débits significatifs par rapport aux techniques de l'état de l'art. Suite à cette évaluation objective, l'approche SAC a été retenue pour une future normalisation par le groupe ISO/MPEG.

Les perspectives de recherche concernent principalement l'extension de la méthode pour prendre en considération les attributs photométriques tels que les normales, les couleurs et les coordonnées de texture.

#### Bibliographie

Alliez P., Desbrun M. (2001). Progressive compression for lossless transmission of triangle meshes. In *International conference on computer graphics and interactive techniques*, p. 195-202.

- Bjorck A. (1999). *Numerical methods for least squares problems*. Society for Industrial & Applied Mathematics, U.S.
- Chen D., Cohen-Or D., Sorkine O., Toledo S. (2005). Algebraic analysis of high-pass quantization. *ACM Transactions on Graphics*, vol. 24, p. 1259-1282.
- Cohen-Or D., Levin D., Remez O. (1999). Progressive compression of arbitrary triangular meshes. In *Proceedings of the conference on visualization '99*, p. 67-72.
- Description of 3DG CE. (2010). In *ISO/IEC JTC 1/SC29/WG11 w10885*. Xiang, CN.
- Gandoin P.-M., Devillers O. (2002). Progressive lossless compression of arbitrary simplicial complexes. *ACM Transactions on Graphics*, vol. 21, n° 3, p. 372-379.
- Garland M., Heckbert P. S. (1997). Surface simplification using quadric error metrics. In *International conference on computer graphics and interactive techniques archive*, p. 209-216.
- Hoppe H. (1996). Progressive meshes. In *Proceedings of the 23rd annual conference on computer graphics and interactive techniques*, p. 99-108.
- Lee H., Lavoué G., Dupont F. (2011). Rate-distortion optimization for progressive compression of 3D mesh with color attributes. *International Journal of Computer Graphics*.
- Mammou K., Zaharia T., Preteux F. (2009). TFAN: A low complexity 3D mesh compression algorithm. *Journal of Visualization and Computer Animation*, vol. 20, n° 2-3, p. 343-354.
- Pajarola R., Rossignac J. (2000). Compressed progressive meshes. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 6, n° 1, p. 79-93.
- Peng J., Kim C.-S., Kuo C.-C. (2005, December). Technologies for 3D mesh compression: A survey. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 16, n° 6, p. 688-733.
- Taubin G., Guézic A., Horn W., Lazarus F. (1998). Progressive forest split compression. In *International conference on computer graphics and interactive techniques*, p. 123-132.
- Touma C., Gotsman C. (1998). Triangle mesh compression. In *Proceedings of graphics interface '98*, p. 26-34.
- Valette S., Prost R. (2004). A wavelet-based progressive compression scheme for triangle meshes : Wavemesh. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 10, n° 2, p. 123-129.

Faten Chaieb. *Elle est Maître assistante en Informatique à l'INSAT depuis 2010. Ses activités de recherche sont conduites au sein du Laboratoire CRISTAL, Groupe de Recherche Images et Formes de Tunisie (GRIFT). Elle a obtenu son doctorat de l'Ecole Nationale en Informatique (ENSI), Université de La Manouba en 2009. Aujourd'hui, sa recherche concerne la description et la compression de données 3D*

Khaled Mammou. *Il a obtenu son diplôme d'Ingénieur de l'Ecole Polytechnique de Tunisie en 2004 et son Doctorat en Mathématiques et Informatique de l'Université Paris V - René Descartes en 2008. Depuis 2005, il est impliqué dans les travaux de normalisation du groupe ISO/IEC MPEG. Ses travaux de recherche ont donné naissance aux normes SC3DMC et*

*FAMC de codage de maillages et d'animations 3D. Il est également éditeur du standard SC3DMC et chairman du group MPEG AHG on MR3DMC*

*Christophe Dehais. En Juin 2003, il a obtenu un diplôme en Informatique et Mathématiques Appliquées de l'École ENSEEIHT. La même année, il a également obtenu un DEA de l'INPT Université de Toulouse, France. Il a obtenu son doctorat en mai 2008. Depuis Juin 2008, il travaille en tant qu'ingénieur R&D à FittingBox. Ses activités de recherche concernent principalement le suivi visuel et ses applications à des systèmes de réalité augmentée*