



HAL
open science

Indice d'évaluation avec référence de la qualité des maillages 3D basé sur la saillance visuelle

Anass Nouri, Christophe Charrier, Olivier Lézoray

► To cite this version:

Anass Nouri, Christophe Charrier, Olivier Lézoray. Indice d'évaluation avec référence de la qualité des maillages 3D basé sur la saillance visuelle. Colloque COmpression et REpresentation des Signaux Audiovisuels (CORESA), Nov 2017, Caen, France. hal-01713962

HAL Id: hal-01713962

<https://hal.science/hal-01713962>

Submitted on 21 Feb 2018

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.

INDICE D'ÉVALUATION AVEC RÉFÉRENCE DE LA QUALITÉ DES MAILLAGES 3D BASÉ SUR LA SAILLANCE VISUELLE

Anass Nouri, Christophe Charrier, Olivier Lézoray

Normandie Université, UNICAEN, ENSICAEN, GREYC UMR CNRS 6072, Caen, France

RÉSUMÉ

Dans ce papier, nous proposons un nouvel indice perceptuel indépendant de la vue pour l'évaluation avec référence de la qualité des maillages 3D. Celui-ci s'inspire de la méthode proposée par Wang *et al.* [1] comparant les informations structurelles du maillage de référence et du maillage dégradé. Afin d'extraire ces informations structurelles, nous utilisons une carte de saillance multi-échelle à partir de laquelle nous calculons des statistiques locales.

Les résultats expérimentaux attestent de la corrélation importante entre les scores de qualité objectifs fournis par notre indice et les scores de qualité fournis par les observateurs humains. Nous comparons également notre approche avec celles proposées dans l'état de l'art et concluons que cette dernière est très compétitive.

Mots-clés— Evaluation objective de la qualité, maillage 3D, Saillance visuelle, graphes.

1. INTRODUCTION

Avec le développement des techniques d'acquisition 3D, une large quantité d'objets 3D est représentée, dans la plupart des cas, sous la forme de maillages 3D triangulaires qui sont utilisés dans plusieurs paysapplications s'articulant dans des domaines différents.

Ce progrès couplé avec le fait que l'être humain se base fortement sur sa vision, requiert que les maillages 3D représentant les cibles à analyser ou à traiter soient de bonnes qualité. Un maillage 3D peut être amené à subir plusieurs traitements avant d'être présenté à un observateur humain comme la compression, le tatouage, le lissage, etc. Dès lors, à supposer qu'une ou plusieurs des distorsions précédemment énumérées soient appliquées, une évaluation de la qualité perceptuelle devient nécessaire pour quantifier l'impact visuel de ces distorsions sur la géométrie du maillage présenté au consommateur final, et qui est en l'occurrence l'observateur humain.

Une première approche pour l'évaluation de la qualité des maillages 3D s'inscrit dans l'évaluation subjective de la qualité lors des campagnes psychovisuelles permettant de collecter les jugements humains. Cependant, cette approche d'évaluation subjective de la qualité est lente, fastidieuse et inadéquate pour les applications réelles.

Une approche alternative s'inscrit dans l'évaluation objective de la qualité ayant pour objectif la prédiction de la qualité perçue d'une manière algorithmique. Cette approche permet de calculer des scores de qualité qui doivent être fortement corrélés avec les scores des observateurs humains. Dans la littérature, les métriques d'évaluation de la qualité sont regroupées en trois grandes familles : les méthodes avec référence (la version de référence est intégralement disponible pour la comparaison), les algorithmes avec référence réduite (des informations partielles du maillage de référence sont disponibles) et les approches sans référence (aucune information relative au maillage de référence n'est disponible).

Il est important de noter que notre métrique s'intègre dans la catégorie de l'évaluation avec référence de la qualité et qu'il est plus adéquat d'utiliser le terme de *mesure de similarité* ou *mesure de fidélité* au lieu de *métrique de qualité* puisque l'objectif final revient à mesurer le degré de conformité du maillage dégradé au maillage de référence.

Les métriques perceptuelles jouent un rôle significatif dans plusieurs applications graphiques telles que l'optimisation et l'évaluation des performances des algorithmes de compression et de restauration, la mise en place de benchmarks autour des algorithmes de traitement des maillages 3D, etc. Dans ce contexte, nous proposons une métrique d'évaluation avec référence de la qualité basée sur la saillance visuelle nommée SMQI (Saliency-based Mesh Quality Index). En effet, la saillance visuelle permet de détecter les régions perceptuellement importantes sur lesquelles l'attention visuelle humaine est focalisée. Ainsi, si les régions perceptuellement importantes sur la surface du maillage sont dégradées, alors la qualité perçue globale du maillage est affectée et vice-versa (voir figure 1).

La suite du papier est organisée de la manière suivante : la section 2 présente l'état de l'art. La section 3 décrit le lien entre la saillance visuelle et l'évaluation de la qualité. Dans la même section, nous présentons le synopsis de la métrique proposée et les détails associés : la carte de saillance visuelle multi-échelle, la carte de rugosité et la distance perceptuelle utilisée. Dans la section 4, nous présentons les résultats des expérimentations en prenant en compte deux bases de maillages évaluées subjectivement et comparons notre approche avec l'état de l'art.

2. ETAT DE L'ART

Alors que les métriques d'évaluation de la qualité des images 2D sont très développées, la littérature est moins importante dans le domaine de l'informatique graphique. L'utilisation des métriques 2D pour les maillages 3D n'est pas pertinente comme démontré par Rogowitz et Rushmeir [2]. Ceci est principalement dû à la non prise en compte de la profondeur et du mouvement des maillages 3D. Par conséquent, nous citons ici uniquement les métriques indépendantes de la vues performant directement sur la surface du maillage 3D. Dans [3], Corsini *et al.* proposent une métrique basée sur les variations de la rugosité globale. La rugosité est calculée avec la variance des angles dièdres. Lavoué *et al.* [4] propose une extension de la métrique 2D SSIM vers les maillages 3D. Des différences de statistiques sont calculées à partir des cartes de courbures des deux maillages comparés au lieu des intensités des pixels utilisés par la métrique SSIM. Dans [5], Lavoué propose une amélioration de la métrique MSDM nommée MSDM2. Cette fois, l'aspect multi-échelle est pris en compte et une étape d'association de noeuds est intégrée dans le pipeline de la métrique pour pouvoir évaluer des maillages de différentes connectivités. Wang *et al* [6] proposent une métrique basée sur les variations de la rugosité locale dérivée du Laplacien de la courbure gaussienne. Torkhani *et al.* [10] proposent une métrique basée sur la différence des tenseurs de courbure. A la différence de MSDM2, celle-ci considère non seulement les amplitudes du tenseur mais également ses directions principales. Aucune approche de l'état de l'art ne prend en compte la saillance visuelle qui pourtant représente une information primordiale pour système visuel humain dans la section de l'information visuelle.

3. LA MÉTRIQUE SMQI

3.1. L'attention visuelle et l'évaluation de la qualité

À chaque regard en direction d'une scène ou d'un objet, notre attention visuelle se fixe sur des régions particulières distinctes de leurs voisinages. Ces zones, essentiellement proéminentes dans le contexte d'un objet 3D sont dépendantes du contenu de l'objet ou de la scène et indépendantes du comportement ou du vécu de l'observateur [7]. Ceci a été le constat de deux études dans lesquelles des séries d'expérimentations psychovisuelles ont confirmé qu'une dégradation est davantage perçue lorsqu'elle est située sur une région saillante du contenu [8]. Le même résultat peut être constaté sur la figure 1. Trois métriques significatives de l'état de l'art ([4], [5] et [10]) ont été testées dans ce cas de figure et ont échoué à évaluer la qualité du contenu d'une manière similaire à la perception humaine. Ceci est principalement dû à la non prise en compte de l'information relative à la saillance.

3.2. Synopsis de la métrique

L'indice de qualité proposé est inspiré de la métrique 2D SSIM [1] et de la métrique MSDM [4] pour les maillages

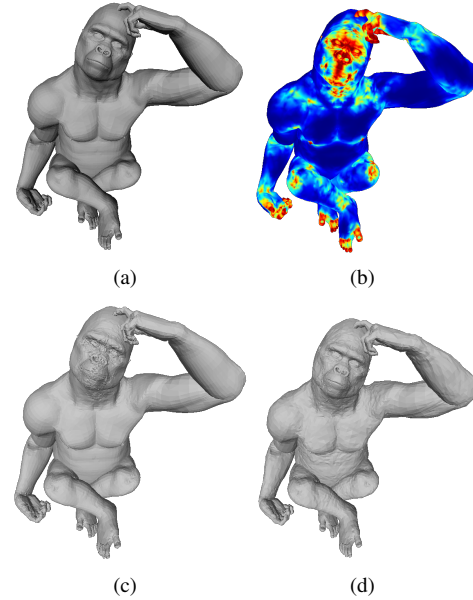


Fig. 1: Comparaison de la qualité de différents maillages 3D. (a) Maillage 3D Gorille de référence. (b) Carte de saillance de (a) avec [11]. (c) Maillage 3D Gorille bruité sur les zones saillantes. FMPD=0.15, MSDM2=0.36, SMQI=0.49. (d) Maillage 3D Gorille bruité sur des zones moins saillantes. FMPD=0.54, MSDM2=0.414, SMQI=0.41. (Notons qu'un score de qualité important fait référence à une mauvaise qualité et vice-versa). SMQI est l'indice proposé.

3D. Cependant, à la différence des métriques SSIM calculant les statistiques locales à partir des intensités des pixels et MSDM calculant les statistiques locales reflétant les informations structurelles à partir d'une carte de courbures, nous proposons de calculer une carte de saillance multi-échelle qui sera utilisée comme base pour le calcul des statistiques locales sur les surfaces des deux maillages. En effet, nous supposons que la qualité d'un maillage 3D est fortement associée à la modification de la saillance locale et globale du maillage 3D. De plus, pour les deux maillages, nous considérons une carte de rugosité à partir de laquelle nous calculons les différences de la moyenne locale de rugosité de chaque noeud. Ceci nous permet de prendre en compte le masquage visuel qui peut avoir lieu lorsqu'une région rugueuse est apte à dissimuler une distorsion. Par la suite, nous introduisons quatre fonctions de comparaison entre les voisinages locaux correspondants sur les surfaces des deux maillages afin d'évaluer les différences de structures. Finalement, nous combinons ces fonctions en utilisant la somme de Minkowski pondérée pour obtenir le score de qualité final.

3.3. Carte de saillance multi-échelle

Afin de d'estimer les régions perceptuellement importantes sur la surface d'un maillage 3D, nous utilisons notre approche de détection de la saillance proposée dans [11]. C'est une mesure de saillance visuelle multi-échelle basée sur une car-

actéristique importante du système visuel humain (SVH) qui est la forte sensibilité aux fortes fluctuations et aux fortes discontinuités. Nous présentons dans cette section les principales étapes de cette mesure de saillance. Premièrement, nous représentons un maillage \mathcal{M} par un graphe non orienté $\mathcal{G} = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$ où $\mathcal{V} = \{v_1, \dots, v_N\}$ est l'ensemble des nœuds N et $\mathcal{E} \subset \mathcal{V} \times \mathcal{V}$ représente l'ensemble des arêtes. L'ensemble des arêtes est déduit à partir des faces connectant les nœuds. Pour chaque nœud v_i sont associés des coordonnées 3D $\mathbf{p}_i = (x_i, y_i, z_i)^T \in \mathbb{R}^3$. Pour un nœud 3D cible sur la surface du maillage, nous estimons son plan tangent 2D. Ensuite nous considérons un voisinage sphérique de rayon ε centré autour du nœud cible et projetons sur le plan 2D tous les nœuds voisins localisés dans la sphère. Une fois les nœuds projetés, nous définissons la taille du patch relatif au nœud cible en calculant la distance maximale entre les projections 2D le long des axes x et y . Par la suite, nous divisons le patch en un nombre de cellule l et les incrémentons par le champ des hauteurs de projections des nœuds voisins compris dans la sphère. L'étape suivante consiste à calculer les similarités entre le patch du nœud cible et les patches associés aux nœuds voisins. Ces similarités sont affectées aux poids des arêtes reliant les les nœuds voisins au nœud cible :

$$w_{\mathcal{P}}(v_i, v_j) = \exp \left[-\frac{\kappa(v_j) \cdot \|\mathcal{P}(v_i) - \mathcal{P}(v_j)\|_2^2}{\sigma_{\mathcal{P}}(v_i) \cdot \sigma_{\mathcal{P}}(v_j) \cdot \|\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j\|_2^2} \right] \quad (1)$$

où $\mathcal{P}(v_i) \in \mathbb{R}^{l \times l}$ est le vecteur des hauteurs cumulées dans les cellules du patch, $\kappa(v_j)$ est la courbure du nœud v_j , et $\|\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j\|_2^2$ représente la distance Euclidienne entre les nœuds v_i et v_j . Nous proposons de calculer localement le paramètre d'échelle $\sigma_{\mathcal{P}}(v_i)$ par $\sigma_{\mathcal{P}}(v_i) = \max_{v_k \sim v_i} (\|\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_k\|_2)$. Par conséquent, la saillance visuelle mono-échelle du nœud cible est définie son degré moyen :

$$\text{Saillance mono-échelle}_{\mathcal{P}}(v_i) = \frac{1}{|v_j \sim v_i|} \sum_{v_i \sim v_j} w_{\mathcal{P}}(v_i, v_j) \quad (2)$$

Afin d'améliorer la qualité de la mesure de saillance, nous calculons celle-ci sur trois échelles en variant le rayon ε du voisinage sphérique lors de la constructions des patches locaux adaptatifs. La saillance multi-échelle d'un nœud v_i , $MS(v_i)$, est définie par la moyenne des valeurs de saillance mono-échelles pondérées par leurs entropies respectives. La figure 1(b) présente un exemple de résultat de saillance multi-échelle.

3.4. Carte de rugosité et distance perceptuelle

Afin de calculer les statistiques locales reflétant les informations structurelles d'un maillage 3D, nous utilisons la carte de saillance multi-échelle décrite. Pour un voisinage local $N(v_i)$ représentant l'ensemble des nœuds adjacents au nœud cible v_i sur la surface du maillage, nous définissons la moyenne locale de la saillance et l'écart-type local de la saillance notés respectivement $\mu_{N(v_i)}$ et $\sigma_{N(v_i)}$ par :

$$\mu_{N(v_i)} = \frac{1}{|N(v_i)|} \sum_{v_j \in N(v_i)} MS(v_j) \quad (3)$$

$$\sigma_{N(v_i)} = \sqrt{\frac{1}{|N(v_i)|} \sum_{v_j \in N(v_i)} (MS(v_j) - \mu_{N(v_i)})^2} \quad (4)$$

où $|N(v_i)|$ est la cardinalité du voisinage $N(v_i)$. Pour deux voisinages correspondants $x = N_{\mathcal{M}_1}(v_i)$ et $y = N_{\mathcal{M}_2}(v_i)$ de deux maillages 3D \mathcal{M}_1 et \mathcal{M}_2 , nous définissons la covariance σ_{xy} par :

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{|x|} \sum_{v_j \in x, y} (MS_{\mathcal{M}_1}(v_j) - \mu_x)(MS_{\mathcal{M}_2}(v_j) - \mu_y) \quad (5)$$

où $MS_{\mathcal{M}_1}$ et $MS_{\mathcal{M}_2}$ représentent respectivement les cartes de saillance multi-échelles des deux maillages \mathcal{M}_1 et \mathcal{M}_2 .

Ensuite, similairement à [4], nous définissons trois fonctions de comparaisons entre deux voisinages correspondants x et y sur les deux maillages \mathcal{M}_1 et \mathcal{M}_2 pour quantifier la déformation affectant les informations structurelles du maillage dégradé :

$$L(x, y) = \frac{\|\mu_x - \mu_y\|_2^2}{\max(\mu_x, \mu_y)} \quad (6)$$

$$C(x, y) = \frac{\|\sigma_x - \sigma_y\|_2^2}{\max(\sigma_x, \sigma_y)} \quad (7)$$

$$S(x, y) = \frac{\|\sigma_x \sigma_y - \sigma_{xy}\|_2^2}{\sigma_x \sigma_y} \quad (8)$$

où L , C et S font référence respectivement à la fonction de comparaison de la saillance, la fonction de comparaison du contraste, et la fonction de comparaison de structure. Ayant ces trois fonctions de comparaison, nous avons remarqué que le masquage visuel n'était pas suffisamment pris en compte lorsqu'une région rugueuse était présente sur la surface du maillage. En effet, ayant une surface rugueuse et une surface lisse, une distorsion serait davantage visible sur la surface lisse que sur la surface rugueuse dans la mesure o une surface rugueuse masque la distorsion. Pour prendre en compte l'effet du masquage visuel, nous avons utilisé une carte de rugosité basée sur le Laplacien de la courbure Gaussienne [12]. Nous avons introduit ensuite une quatrième fonction basée sur la comparaison de la moyenne locale de la rugosité. L'objectif de cette fonction est d'induire une large différence lorsqu'une région lisse devient une région rugueuse :

$$R(x, y) = \frac{\|\delta_x - \delta_y\|_2^2}{\max(\delta_x, \delta_y)} \quad (9)$$

où $\delta_x = \frac{1}{|x|} \sum_{v_j \in x} \text{RoughnessMap}(v_j)$ o RoughnessMap représente la carte de rugosité. Il est important de noter qu'une carte de saillance est différente d'une carte de rugosité dans la mesure où la carte de saillance fait ressortir uniquement les informations nouvelles et non-redondantes. Finalement, notre indice d'évaluation avec référence de la qualité (SMQI)

entre deux maillages 3D \mathcal{M}_1 et \mathcal{M}_2 est défini par la somme de Minkowsky de leurs distances locales pondérée :

$$SMQI(\mathcal{M}_1, \mathcal{M}_2) = \left(\frac{1}{|\mathcal{V}|} \sum L(x, y) \right)^\alpha + \left(\frac{1}{|\mathcal{V}|} \sum C(x, y) \right)^\beta + \left(\frac{1}{|\mathcal{V}|} \sum S(x, y) \right)^\gamma + \left(\frac{1}{|\mathcal{V}|} \sum R(x, y) \right)^\delta \quad (10)$$

où α, β, γ et δ sont obtenus à partir d'une optimisation basée sur les algorithmes génétiques. Les détails associés à cette optimisation sont présentés dans la section suivante.

4. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

4.1. Bases de maillages

Pour comparer la métrique proposée avec les méthodes de l'état de l'art, deux bases de maillages évaluées subjectivement sont utilisées : 1) Liris/Epfl General-Purpose [4] et 2) Liris-Masking [15]. La première base contient quatre maillages de référence. Ces derniers sont affectés par deux types de distorsions : un bruit additif et un lissage. Ces distorsions sont appliquées suivant trois degrés d'intensité sur différentes régions du maillage : 1) uniformément sur la surface du maillage, 2) spécifiquement sur les zones rugueuses ou lisses du maillage (pour la simulation de l'effet du masquage) et 3) spécifiquement sur les zones de transitions entre les zones rugueuses et les zones lisses. Au total, 22 maillages 3D dégradés de chaque maillage de référence sont générés et évalués par 12 observateurs humains. La base de maillages Liris Masking consiste en 4 maillages de référence dégradés par un bruit additif suivant trois degrés d'intensités sur les zones lisses ou rugueuses pour générer 6 versions dégradées de chaque maillage de référence. 12 observateurs humains ont évalué cette base. La performance de notre méthode est mesurée par le coefficient de corrélation de Spearman (SROCC : Spearman Rank Ordered Correlation Coefficient). Le choix de la corrélation de Spearman est motivée par la non vérification de la normalité des scores objectifs pour pouvoir calculer la corrélation avec les scores subjectifs.

4.2. Resultats

Avant d'évaluer la performance de notre approche et étant donné que notre métrique dépend de quatre paramètres indépendants (α, β, γ et δ) dont l'optimisation empirique ou manuelle serait difficile et inefficace, nous avons choisi d'utiliser une optimisation basée sur un algorithme génétique pour les fixer. Il est important aussi de souligner que le nombre de maillages 3D que contiennent les deux bases de maillages subjectivement évaluées (et décrites pralablement) sont de tailles très réduites en comparaison des bases d'images 2D. Pour faire face à ce problème, nous effectuons

un apprentissage de type Leave-One-Out sur les deux bases de maillages. L'objectif est alors d'effectuer un apprentissage du modèle sur $k - 1$ observations et de le valider sur la k -ème. Ce processus est répété $k \times 1000$ fois. Dans notre contexte, une observation fait référence aux MOS (Mean-Opinion-Score) d'un maillage 3D de référence et de ses versions dégradées. La fonction de fitness utilisée pour effectuer l'optimisation génétique est définie par :

$f(\alpha, \beta, \gamma, \delta) = \sqrt{\sum_{i=0}^{k-1} (MOS_i - SMQI_i(\mathcal{M}_1, \mathcal{M}_2))^2}$ où MOS_i est le vecteur des valeurs MOS de l'observation i et $SMQI_i(\mathcal{M}_1, \mathcal{M}_2)$ représente la distance perceptuelle calculée avec l'équation 10. Après l'optimisation, nous obtenons : $\alpha = 23.63, \beta = 3.26, \gamma = 5.04$ et $\delta = 0.77$. Notons que sur la figure 1, le maillage 3D Gorille a été évalué avec ces paramètres.

Le tableau 1 présente la performance de notre approche en terme de corrélation de Spearman avec les scores subjectifs fournis par la base Liris/Epfl General Purpose. Nous pouvons remarquer que notre métrique SMQI produit d'importantes valeurs de corrélation pour tous les maillages 3D et plus particulièrement pour les maillage Venus et RockerArm où les valeurs de corrélations sont les plus élevées. Le résultat de la régression psychométrique entre les scores objectifs et subjectifs est présenté sur la figure 2(a) et confirme ce résultat pour le maillage 3D Venus. La fonction choisie dans notre étude est la fonction cumulative de la loi normale Gaussienne :

$$g(m, n, R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{m+nR}^{\infty} e^{-t^2} dt \quad (11)$$

où m et n sont estimés avec une régression non-linéaire par la méthode des moindres carrés et R représente le score objectif. De plus, il apparaît que la métrique SMQI est classée deuxième meilleure métrique derrière TPDM en ce qui concerne la corrélation sur toute la base de maillages (les valeurs de corrélations sont 89.6% pour TPDM, 84.6% pour SMQI et 80.4% pour FMPD). Cette corrélation importante associée la base Liris/EPFL General-Purpose peut être confirmée par la courbe présentée sur la figure 2(b) où les points SMQI - MOS sont très proches de la courbe psychométrique. Cette courbe indique aussi une forte capacité de généralisation sur tous les maillages 3D.

Nous avons également testé et comparé notre métrique avec les métriques de l'état de l'art sur la base de maillages Liris-Masking. Le tableau 2 présente les valeurs de corrélation de Spearman des différentes métriques sur cette base de maillage. A partir de ces résultats, trois observations peuvent être formulées. La première est que SMQI est très compétitive avec TPDM et MSDM2 et réussit à prendre en compte le masquage visuel. La deuxième observation concerne la légère infériorité de la valeur de corrélation de Spearman associée au maillage 3D Lion en comparaison avec les valeurs de corrélations de FMPD et MSDM2. Ceci pourrait être expliqué par le fait que la carte de saillance multi-échelle du maillage dégradé sur laquelle sont calculées les

Liris/Epfl General-Purpose	HD	RMS	3DWPM1	3DWPM2	MSDM2	FMPD	TPDM	SMQI
Armadillo	69.5	62.7	65.8	74.1	81.6	75.4	84.9	77.5
Venus	1.6	90.1	71.6	34.8	89.3	87.5	90.6	91.6
Dinsaure	30.9	0.3	62.7	52.4	85.9	89.6	92.2	84.8
RockerArm	18.1	7.3	87.5	37.8	89.6	88.8	92.2	91.8
Base entière	13.8	26.8	69.3	49.0	80.4	81.9	89.6	84.6

Table 1: Valeurs de corrélation de Spearman (%) des différentes métriques sur la base de maillages Liris/Epfl General Purpose database

Liris Masking	HD[2][3]	RMS[2][3]	3DWPM1	3DWPM2	MSDM2	FMPD	TPDM	SMQI
Armadillo	48.6	65.7	58.0	48.6	88.6	88.6	88.6	88.6
Lion-vase	71.4	71.4	20.0	38.3	94.3	94.3	82.9	83.0
Bimba	25.7	71.4	20.0	37.1	100.0	100.0	100.0	100.0
Dinsaure	48.6	71.4	66.7	71.4	100.0	94.3	100.0	100.0

Table 2: Valeurs de corrélation de Spearman (%) des différentes métriques sur la base de maillages Liris-Masking

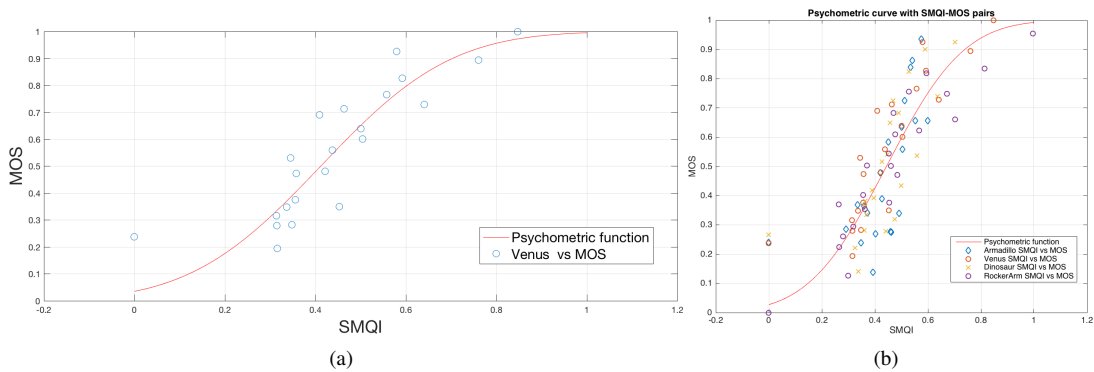


Fig. 2: Fonction de régression psychométrique tracée pour les paires SMQI-MOS appliquée sur les maillages de référence et les maillages dégradés du corpus Liris/Epfl General-purpose : (a) Maillage 3D Venus et (b) Corpus intégral.

statistiques locales ne reflète pas convenablement les zones saillantes dégradées. En effet, le maillage de référence et le maillage dégradé utilisent le même rayon (défini empiriquement) des voisinages sphériques lors du calcul des patches locaux adaptatifs pour l'estimation de la carte de saillance multi-échelle. Nous pensons qu'une méthode automatique définissant un rayon propre à chaque maillage mènera à une meilleure estimation de la carte de saillance pour le maillage dégradé. Ceci constitue une de nos perspectives. La troisième observation se rapporte aux valeurs de corrélation sur tout le corpus de la base Liris-Masking. Nous ne présentons pas les résultats de corrélation sur tout le corpus car comme confirmé dans [16], le protocole utilisé lors des évaluations subjectives spécifiait un référentiel d'évaluation différent pour chaque maillage et par conséquent les valeurs de corrélation sur tout le corpus des maillages 3D ne sont pas significatives. À partir des résultats et comparaisons précédents, il apparaît que la métrique SMQI est fortement corrélée à la perception humaine en raison de l'intégration de la saillance et du masquage visuel à la fois. En sus, SMQI est classée deuxième en terme de corrélation sur la base Liris/Epfl General-Purpose et est concurrentielle sur la base Liris-Masking.

5. CONCLUSION

Nous avons proposé dans ce papier une nouvelle métrique d'évaluation avec référence de la qualité des maillages 3D appelée SMQI. Cet indice compare les informations structurelles d'un maillage 3D de référence avec sa version dégradée. Pour cela, nous utilisons une carte de saillance multi-échelle sur laquelle nous calculons les statistiques locales reflétant les structures du maillage. Dans le but de prendre en compte l'effet du masquage visuel, une carte de rugosité est calculée pour mesurer les différences des moyennes de rugosité. Par conséquent, nous combinons quatre fonctions de comparaisons en utilisant la somme de Minkowski pondérée afin de fournir un score quantifiant la similarité visuelle entre deux maillages. Les résultats expérimentaux ainsi que les comparaisons avec les méthodes de l'état de l'art ont montré la forte corrélation de notre approche avec les scores de qualité fournis par les observateurs humains et attesté de sa forte compétitivité.

6. REFERENCES

- [1] Z. Wang, A.C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity," *IEEE T IMAGE PROCESS*, vol. 13, no. 4, pp. 600–612, 2004.
- [2] Bernice E. Rogowitz and Holly E. Rushmeier, "Are image quality metrics adequate to evaluate the quality of geometric objects?," in *Proc. SPIE*, 2001, vol. 4299, pp. 340–348.
- [3] M. Corsini, E.D. Gelasca, T. Ebrahimi, and M. Barni, "Watermarked 3D mesh quality assessment," *IEEE T MULTIMEDIA*, vol. 9, no. 2, pp. 247–256, Feb 2007.
- [4] G. Lavoué, E. Drelie Gelasca, F. Dupont, A. Baskurt, and T. Ebrahimi, "Perceptually driven 3D distance metrics with application to watermarking," in *Proc. SPIE*, 2006, vol. 6312, pp. 63120L–63120L–12.
- [5] G. Lavoué, "A multiscale metric for 3D mesh visual quality assessment," *Computer Graphics Forum*, vol. 30, no. 5, pp. 1427–1437, 2011.
- [6] K. Wang, F. Torkhani, and A. Montanvert, "Technical section: A fast roughness-based approach to the assessment of 3D mesh visual quality," *Comput. Graph.*, vol. 36, no. 7, pp. 808–818, Nov. 2012.
- [7] L. Itti, C. Koch, and E. Niebur, "A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 20, no. 11, pp. 1254–1259, 1998.
- [8] F. Boulos, B. Parrein, P. Le Callet, and D. Hands, "Perceptual effects of packet loss on H.264/AVC encoded videos," in *VPQM workshop*, 2009.
- [9] U. Engelke, R. Pepion, P. Le Callet, and H. Zepernick, "Linking distortion perception and visual saliency in h.264/avc coded video containing packet loss," in *Proc. SPIE*, 2010.
- [10] Fakhri Torkhani, Kai Wang, and Jean-Marc Chassery, "A curvature-tensor-based perceptual quality metric for 3d triangular meshes," *Machine Graphics and Vision*, pp. 1–25, 2014.
- [11] A. Nouri, C. Charrier, and O. Lézoray, "Multi-scale mesh saliency with local adaptive patches for viewpoint selection," *Signal Processing: Image Communication*, vol. 38, pp. 151–166, 2015.
- [12] K. Wang, F. Torkhani, and A. Montanvert, "Technical section: A fast roughness-based approach to the assessment of 3D mesh visual quality," *Comput. Graph.*, vol. 36, no. 7, pp. 808–818, Nov. 2012.
- [13] N. Aspert, Diego S. Cruz, and T. Ebrahimi, "Mesh: Measuring error between surfaces using the hausdorff distance," in *ICME*, 2002, vol. 1, pp. 705–708.
- [14] P. Cignoni, C. Rocchini, and R. Scopigno, "Metro: Measuring Error on Simplified Surfaces," *Computer Graphics Forum*, vol. 17, no. 8, pp. 167–174, 1998.
- [15] G. Lavoué, "A local roughness measure for 3D meshes and its application to visual masking," *ACM Trans. Appl. Percept.*, vol. 5, no. 4, pp. 21:1–21:23, Feb. 2009.
- [16] G. Lavoué and M. Corsini, "A comparison of perceptually-based metrics for objective evaluation of geometry processing," *IEEE T MULTIMEDIA*, vol. 12, no. 7, pp. 636–649, Nov 2010.