

Une approche automatique pour la détection de la saillance visuelle sur des maillages 3D colorés

Anass NOURI^{1,2} Olivier LÉZORAY² Zaineb IBORK^{1,2} Christophe CHARRIER²

¹Laboratoire SETIME, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc

²Université de Caen Normandie, ENSICAEN, CNRS, Normandie Univ, GREYC UMR 6072, F-14000, Caen, France

Résumé – Avec la démocratisation des systèmes d’acquisition, les maillages 3D se sont imposés comme la modalité la plus optimale pour représenter, analyser, transmettre, éditer et imprimer des contenus 3D. Tous ces processus ont un point en commun : les observateurs humains qui visualisent le contenu 3D en aval. Pour optimiser ces différents processus, il serait judicieux et pertinent de tirer parti d’une caractéristique présente dans tous les systèmes visuels humains, à savoir la sensibilité à la saillance visuelle. Dans la littérature, très peu de travaux ont été menés sur la prédiction de la saillance colorimétrique sur des maillages colorés, par opposition à des maillages non colorés. Pourtant, l’aspect colorimétrique du contenu visuel (qu’il soit en 2D ou en 3D, statique ou en mouvement) joue un rôle clé dans l’orientation de l’attention visuelle humaine. Dans ce papier, nous proposons une nouvelle approche, ne nécessitant aucune intervention, paramétrage ou apprentissage, permettant la détection de la saillance visuelle des maillages colorés en 3D. Les résultats sont encourageants et démontrent de la nécessité de travaux plus avancés pour corrélérer les modèles de détection de la saillance visuelle à la perception humaine.

Abstract – With the widespread adoption of acquisition systems, 3D meshes have become the optimal modality for representing, analyzing, transmitting, editing, and printing 3D content. All these processes share a common factor: human observers visualizing the content. Leveraging human sensitivity to visual saliency can enhance these processes. However, little research has focused on predicting colorimetric visual saliency in colored meshes, despite the crucial role of color in guiding visual attention. This paper introduces a novel, fully automated, and parameter-free approach for detecting the colorimetric visual saliency of 3D colored meshes, demonstrating encouraging results and the need for more advanced models of visual saliency detection correlated to human perception.

1 Introduction

Dans les domaines de la photographie [11], des interactions multimédia [13], de la télésurveillance, de la navigation pour les personnes, de la préservation du patrimoine culturel [14], les maillages 3D sont devenus incontournables. Ceux-ci sont représentés par des maillages polygonaux et sont utilisés dans plusieurs technologies et domaines tels que la réalité virtuelle, l’impression 3D [7], la reconstruction de visages en 3D [2]. En raison de la complexité des maillages 3D, il est souvent utile de sélectionner les régions à traiter afin de réduire drastiquement le temps d’exécution. Cette sélection peut se faire en fonction du degré de saillance de ces régions. Parmi les traitements d’objets 3D qui peuvent être guidés par la saillance visuelle, on peut citer : la sélection automatique du point de vue [3], l’impression 3D [10], le lissage et le débruitage [5], etc.

Dans la littérature, très peu de travaux ont été consacrés à la saillance visuelle de maillages 3D colorés (caractérisés par une couleur RVB en plus des coordonnées x, y, z associées à chaque nœud du maillage), contrairement à la saillance colorimétrique d’images 2D [9]. Dans [12], Yu et al. calculent la saillance visuelle d’un maillage 3D coloré à des fins de simplification géométrique, en utilisant les différences de luminance moyenne d’un nœud par rapport à son voisinage. Les couleurs RVB des nœuds sont converties en luminance afin de calculer les différences moyennes d’intensité. Ensuite, la carte de saillance, obtenue à partir des degrés de différences d’intensité, est utilisée pour guider la simplification du maillage sur la base de l’erreur quadratique. Cependant, comme seules les

informations de luminance sont utilisées, cela ne permet pas d’exploiter pleinement les informations de couleur en chaque sommet. Dans l’un de nos travaux antérieurs [4], nous avons proposé une nouvelle approche pour prédire la saillance visuelle des maillages colorés en nous basant sur un nouveau descripteur sous forme de patches adaptatifs locaux. Ces derniers agissaient comme des descripteurs locaux de la surface du maillage coloré en chaque nœud, codant la configuration colorimétrique de son voisinage sur un patch 2D tangent. Le degré de saillance mono-échelle d’un nœud a ensuite été calculé comme la similarité pondérée entre son descripteur local et les descripteurs locaux des nœuds voisins. Par ailleurs, le degré de saillance multi-échelle a été défini par la somme des degrés de saillance mono-échelle (en considérant des voisinages successifs plus grands) pondérée par l’entropie des saillances à cette échelle. Dans [5], nous avons proposé, pour la première fois dans la littérature, le concept de saillance globale des maillages 3D, permettant de prédire la saillance d’un objet 3D en tenant compte à la fois des informations géométriques et colorimétriques (comme le système visuel humain). Nous avons également présenté la première base de données de maillages colorés [6] que nous avons construite pour tester nos approches [5]. Plus récemment, Ding et al [1] ont proposé une approche qui permet d’estimer la saillance des maillages 3D colorés sur la base d’approches destinées à la détection de la saillance en 2D. Des vues en 2D sont prises et un algorithme de détection de la saillance en 2D est utilisé pour générer des cartes de saillance des différentes vues. Celles-ci sont ensuite agrégées sur le maillage 3D cible pour

obtenir une carte de saillance 3D. Les auteurs ont pu valider leur approche en constituant un panel d'observateurs équipés d'eye-trackers pour détecter et analyser les mouvements oculaires des observateurs sur la base de données construite dans [6].

Sur la base de la littérature scientifique à ce jour, nous pouvons facilement constater que la saillance des maillages 3D colorés a été peu étudiée. Les quelques approches existantes présentent chacune un défaut non marginal. Pour les approches proposées dans [12], [4] and [5], celles-ci nécessitent un paramétrage manuel des rayons de voisinage à prendre en compte. Afin d'éviter ce paramétrage manuel, ces rayons peuvent être définis par un pourcentage de la longueur de la diagonale de la boîte englobante du maillage. Cependant, certains maillages, dont les formes sont complexes, peuvent mener à des résultats non précis en raison de la non-représentativité de la diagonale de la boîte [12]. Par ailleurs, l'approche proposée dans [1] présente un inconvénient associé à la dépendance des vues 2D dans l'estimation de la saillance colorimétrique. Comme nous l'avons expliqué, les approches de mesure de la saillance en 2D ignorent de facto la profondeur entre les couleurs des nœuds 3D. En effet, des nœuds de couleurs différentes, mais situés à des profondeurs différentes, sont placés sur le même plan lorsqu'une vue 2D est générée.

Dans ce papier, nous proposons une nouvelle approche de détection de la saillance colorimétrique non dépendante de la vue pour les maillages 3D colorés. Notre approche est entièrement automatique et ne requiert aucun paramétrage manuel ou processus d'apprentissage.

La suite du papier est organisée comme suit. Dans la section II, nous présentons les détails de notre nouvelle approche, les notations, les formulations des voisinages et le calcul des saillances colorimétriques sur une ou plusieurs échelles. Dans la section III, nous présentons et discutons les détails de la base de données utilisée pour tester notre approche. Enfin, nous concluons dans la section IV.

2 Saillance des maillages 3D colorés

2.1 Notations

Dans ce qui suit, nous représentons un maillage $\mathcal{M}$ par un graph non-orienté $\mathcal{G} = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$ où $\mathcal{V} = \{v_1, \dots, v_n\}$ est l'ensemble des $\mathcal{N}$ nœuds et $\mathcal{E} \subset \mathcal{V} \times \mathcal{V}$ est l'ensemble des arêtes. L'ensemble des arêtes est déduit des faces du maillages qui connectent les nœuds. Pour chaque nœud v_i sont associés ses coordonnées 3D $\mathbf{p}_i = (x_i, y_i, z_i)^T \in \mathbb{R}^3$ et ses couleurs $\mathbf{c}_i = (r_i, g_i, b_i)^T \in \mathbb{R}^3$. La notation $v_i \sim v_j$ est utilisée pour désigner deux nœuds adjacents dans $\mathcal{G}$ (i.e., $(v_i, v_j) \in \mathcal{E}$).

2.2 Formulation du voisinage non-local

Afin de concevoir une approche colorimétrique de détection de la saillance qui jugerait qu'un nœud est saillant s'il se démarque fortement de son voisinage, nous considérons le voisinage sphérique d'un nœud cible au lieu de son voisinage à 1 anneau, qui est manifestement, plus sensible à la présence de bruit. Nous proposons donc une définition d'un voisinage autour de chaque sommet qui dépend de la longueur des arêtes du maillage et non de la longueur de la boîte de délimitation diagonale, comme le font les approches concurrentes dans la littérature [4] [5] [12].

Ceci permet de rendre notre approche entièrement automatique sans aucune nécessité de fixer en dur les rayons. Pour chaque nœud v_i d'un maillage $\mathcal{M}$, deux voisinages sphériques sont définis $\mathcal{S}_\varepsilon(v_i) = \{v_j \mid \|\mathbf{p}_j - \mathbf{p}_i\|_2 \leq \varepsilon\}$ où $\varepsilon \in \{\varepsilon_1 : \text{maxLongArêtes}, \varepsilon_2 : 3 \times \text{maxLongArêtes}\}$ où maxLongArêtes fait référence à l'arête dont la longueur est maximale et est défini par $\max_{(v_i, v_j) \in \mathcal{E}} \|\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j\|_2$. Les nœuds v_j contenus dans ces sphères $\mathcal{S}_\varepsilon(v_i)$ seront considérés voisins de v_i sur chaque échelle ε .

2.3 Calcul de la saillance mono-échelle

L'approche proposée diffère, de surcroît des approches de l'état-de-l'art, par le fait qu'elle prend en compte à la fois les coordonnées 3D des nœuds ainsi que leurs couleurs pour la détection de la saillance visuelle. Cette caractéristique permet de considérer la tridimensionalité intrinsèque du maillage 3D, qui naturellement, ne l'est pas lorsque des projections (vues) 2D sont utilisées lors du calcul de la saillance. Une fois les voisinages sphériques établis, nous définissons la saillance-mono-échelle colorimétrique en utilisant des rayons de voisinages ε_1 and ε_2 tels que :

$$\text{SCMono}_{\varepsilon_1, \varepsilon_2}(v_i) = \left| \sum_{j=1}^{|\mathcal{S}_{\varepsilon_1}|} \text{diffCIE}(v_i, \varepsilon_1) \exp\left(-\frac{\|\mathbf{p}_j - \mathbf{p}_i\|_2}{2\varepsilon_1^2}\right) - \sum_{j=1}^{|\mathcal{S}_{\varepsilon_2}|} \text{diffCIE}(v_i, \varepsilon_2) \exp\left(-\frac{\|\mathbf{p}_j - \mathbf{p}_i\|_2}{2\varepsilon_2^2}\right) \right| \quad (1)$$

où diffCIE représente la somme pondérée des différences de couleurs entre les composantes couleurs L^*a^*b du nœuds v_i et les nœuds de son voisinage v_j en utilisant la formule ΔE_{00}^* (CIE 2000) :

$$\text{diffCIE}(v_i, \varepsilon) = \left| \sum_{j=1}^{|\mathcal{S}_\varepsilon|} \Delta E_{00}^*(\mathbf{c}_i, \mathbf{c}_j) \right| \quad (2)$$

où $\mathbf{c}_i$ et $\mathbf{c}_j$ représentent respectivement les vecteurs couleurs L^*a^*b des nœuds v_i et v_j . Plus de détails sur la formule ΔE_{00}^* peuvent être trouvées dans [8].

2.4 Calcul de la saillance multi-échelle

Afin de rendre notre approche de prédiction de la saillance plus précise, nous calculons cette dernière sur des échelles différentes. Sur les petites échelles, la saillance mesurée détectera les détails exigus, nets, alors que sur les échelles élevées, la mesure de saillance indiquera les zones étendues et proéminentes. Un autre avantage de l'aspect multi-échelle est sa résistance face au bruit, grâce à perceptibilité sur quelques échelles uniquement. En conséquence, nous considérons deux rayons de plus ($\varepsilon_3 : 6 \times \text{maxLongArêtes}$ and $\varepsilon_4 : 9 \times \text{maxLongArêtes}$) et calculons la saillance mono-échelle colorimétrique en utilisant ces nouveaux rayons ($\varepsilon_3, \varepsilon_4$). La fusion de ces deux nouvelles cartes de saillance, permettant d'obtenir la carte de saillance colorimétrique multi-échelle finale, est définie par :

$$\begin{aligned} \text{SCMulti}(v_i) &= \log(\text{SCMono}_{\varepsilon_1, \varepsilon_2}(v_i) \\ &\quad \times (\mathbf{max}(\text{SCMono}_{\varepsilon_1, \varepsilon_2}) - \overline{\text{SCMono}_{\varepsilon_1, \varepsilon_2}}) + \\ &\quad \text{SCMono}_{\varepsilon_3, \varepsilon_4}(v_i) \times (\mathbf{max}(\text{SCMono}_{\varepsilon_3, \varepsilon_4}) \\ &\quad - \overline{\text{SCMono}_{\varepsilon_3, \varepsilon_4}})) \end{aligned} \quad (3)$$

où $\mathbf{max}$ fait référence au maximum d'un vecteur et $\bar{x}$ représente la moyenne d'un vecteur.

3 Résultats expérimentaux

Contrairement aux maillages 3D non-colorés, il n'existe actuellement qu'une seule base de maillages 3D accessible à la communauté scientifique pour l'évaluation des algorithmes de traitement et d'analyse de maillages 3D colorés : *The GREYC 3D Colored Mesh Database* [6]. Celle-ci a été construite au sein du laboratoire *GREYC 3D Colored Mesh Database* en utilisant un scanner laser *NextEngine 3D* équipé d'une plaque tournante permettant d'acquérir non seulement la géométrie mais aussi les propriétés colorimétriques d'un objet. 15 objets de différentes formes et couleurs ont été acquis puis ont été déformés pour enrichir davantage la base et arriver à un total de 425 maillages 3D colorés. Afin de tester notre approche, nous avons sélectionné deux maillages de la base *GREYC Colored Mesh database* : *4arms.ply* et *RedHorse.ply*. Le premier est caractérisé par de larges régions colorées homogènes, alors que le deuxième comprend plus de variations de couleurs. La figure 1 présente ces deux maillages de référence et leurs cartes de saillance colorimétriques multi-échelles calculées par l'approche proposée. Nous pouvons remarquer que notre approche permet de distinguer les zones à fortes variations de couleurs en les jugeant comme fortement saillantes (les zones en rouge sur les images présélectionnées dans la deuxième colonne de la figure 1). Par ailleurs, les zones à faible variation de couleurs, sont jugées moyennement ou faiblement proéminentes, telles que le ventre des deux maillages (images (b) dans la seconde colonne de la figure 1).



FIGURE 1 : Résultats de détection de la saillance colorimétrique multi-échelle sur deux maillages de la base *GREYC Colored 3D Meshes Database*. La première colonne présente les maillages 3D de référence. La seconde colonne présente leur saillance colorimétrique multi-échelle. Les couleurs chaudes représentent des degrés de saillance importants alors que les couleurs froides représentent de faibles degrés de saillance.

La figure 2 présente les résultats de la saillance colorimétrique sur les maillages 3D de la base *GREYC*, comparés avec les résultats de l'approche proposée dans [5]. Nous pouvons remarquer que l'approche proposée (troisième colonne) permet une détection moins saturée de la saillance colorimétrique (dos de l'objet dinosaure sur l'image (b) sur la deuxième ligne) où les régions bleues indiquent des degrés de saillance proches

de 0 (cas du cheval sur l'image en première ligne). Sur les nouvelles cartes automatiquement générées (3ème colonne de la figure 2), nous pouvons remarquer que la saillance détectée est davantage diffuse, mettant en avant les zones saillantes avec nuance et précision.

Nous comparons également notre approche avec l'approche la plus récente de l'état-de-l'art de Ding *et al.* [1]. Pour cela, nous considérons le même objet Asterix issu de la base *GREYC 3D Colored Mesh Database* (voir figure 3(a)) et prédisons sa saillance colorimétrique avec l'approche proposée (figure 3(d)) que nous comparons avec le résultat de l'approche [1] (figure 3(c)) ainsi qu'avec sa carte de saillance de référence représentant sa vérité terrain (figure 3(b)). A cause de l'indisponibilité des valeurs de saillance prédites par [1], nous ne pouvons procéder à une comparaison quantitative et par conséquent nous nous limiterons à une comparaison qualitative. Au vu des résultats, il apparaît que notre approche est très sensible aux gradients de couleurs (*i.e.*, fortes variations de couleurs) lorsque l'on compare la carte prédite par notre approche (figure 3(d)) avec la vérité terrain (figure 3(b)). L'approche proposée a également tendance à juger faiblement saillantes les zones centrées des régions larges homogènes (comme le dos de l'objet Asterix). Ces deux aspects constitueront un point à améliorer dans nos prochains travaux. Par ailleurs il est difficile de comparer la saillance prédite par l'approche [1] (figure 3(c)) avec celle prédite par notre approche (figure 3(d)) dans la mesure où la nôtre est mappée sur chaque nœud du maillage alors que l'approche de [1] place un overlay 2D sur une vue du maillage (ce qui explique l'absence de couleurs représentant la saillance visuelle à l'extrême gauche du maillage (voir figure 3(c))). Nous pouvons aussi remarquer que la zone uniforme du pantalon rouge d'Asterix est jugée moyennement saillante par notre approche et donc paraît corrélée à la carte de saillance représentant la vérité terrain, alors que l'approche de [1] (figure 3(c)) la juge très saillante. [1].

4 Conclusion

Dans ce papier, nous avons proposé une approche automatique, indépendante du point de vue pour la détection de la saillance colorimétrique sur des maillages 3D colorés. En prenant en compte les localisations spatiales des nœuds ainsi que leurs couleurs dans l'espace $L * a * b$, nous avons pu distinguer avec précision les régions fortement saillantes sur la surface d'un maillage coloré. Une comparaison avec des approches de référence de la littérature a été présentée, concluant que la problématique difficile de l'estimation de la saillance colorimétrique sur les maillages 3D reste sujette à plusieurs améliorations qui seront possibles dorénavant avec la disponibilité d'une vérité terrain proposée dans [1].

Références

- [1] X. DING, Z. CHEN, W. LIN et Z. CHEN : Towards 3d colored mesh saliency : database and benchmarks. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2023.
- [2] R. KUMAR, J. LUO, A. PANG et J. DAVIS : Disjoint pose and shape for 3d face reconstruction. In *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW)*, pages 3107–3117, Paris, France, 2023.

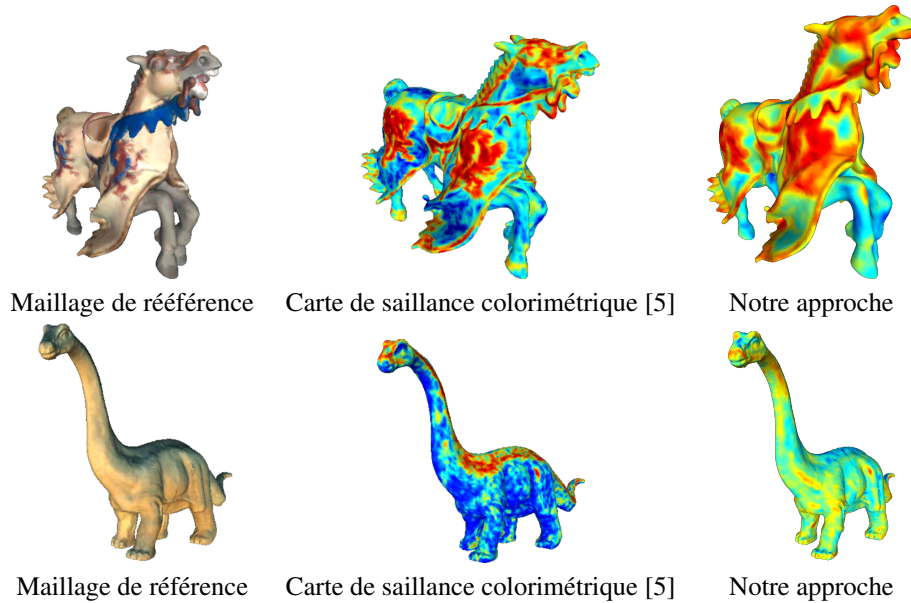


FIGURE 2 : Comparaison entre les résultats de l'approche proposée et ceux de [5].

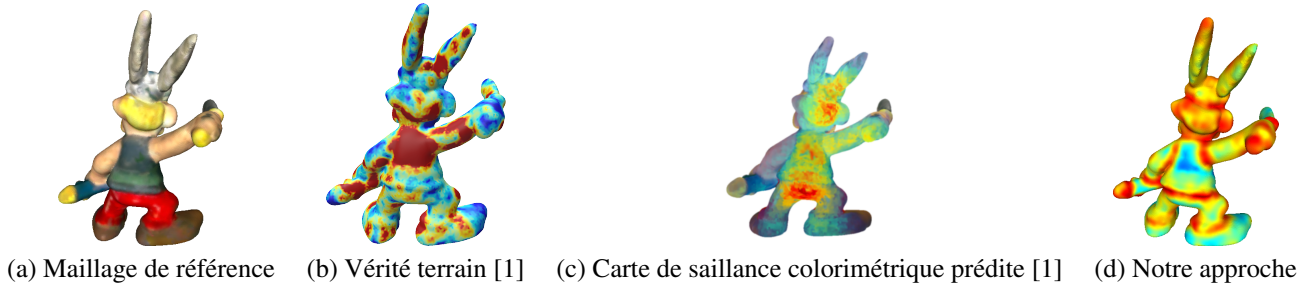


FIGURE 3 : Comparaison entre les résultats de l'approche proposée et ceux de [1].

- [3] A. NOURI, C. CHARRIER et O. LÉZORAY : Multi-scale mesh saliency with local adaptive patches for viewpoint selection. *Signal Processing : Image Communication*, 38:151–166.
- [4] A. NOURI, C. CHARRIER et O. LÉZORAY : Multi-scale saliency of 3d colored meshes. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Québec, Canada, 2015.
- [5] A. NOURI, C. CHARRIER et O. LÉZORAY : Global visual saliency : geometric and colorimetric saliency fusion and its applications for 3d colored meshes. In *IEEE International Conference on Image Processing, Theory, Tools & Applications (IPTA)*, Montréal, Canada, 2017.
- [6] A. NOURI, C. CHARRIER et O. LÉZORAY : Greyc colored mesh database. Rapport technique, Greyc Laboratory, 2017.
- [7] Jungirl SEOK, Sungmin YOON, Chang Hwan RYU, Jun-sun RYU, Seok ki KIM et Yuh-Seog JUNG : Mesh-type three-dimensional (3d) printing of human organs and tumors : Fast, cost-effective, and personalized anatomic modeling of patient-oriented visual aids. *Applied Sciences*, 11, 2021.
- [8] Gaurav SHARMA, Wencheng WU et Edul DALAL : The ciede2000 color-difference formula : Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations. *Color Research & Application*, 30(1):21–30, 2005.
- [9] I. ULLAH, M. JIAN, S. HUSSAIN *et al.* : A brief survey of visual saliency detection. *Multimedia Tools and Applications*, 79:34605–34645, 2020.
- [10] W. WANG, L. LIU, W. SONG, Y. LIU et L. MA : Shape context based mesh saliency detection and its applications : A survey. *Computer Graphics Forum*, 34(6):148–160, 2015.
- [11] Ferruh YILMAZTURK et Ali Ersin GURBAK : Geometric evaluation of mobile-phone camera images for 3d information. *International Journal of Optics*, 2019.
- [12] Y. YU, X. CHEN, J. QIAO et F. LI : Reducing complexity in 3d colored meshes with multi-scale color saliency. In *12th International Conference on Computer Science and Education (ICCSE)*, pages 283–288, Houston, TX, USA, 2017.
- [13] Wenru ZHAO, Liping SU et Fengju DOU : Designing virtual reality based 3d modeling and interaction technologies for museums. *Heliyon*, 2023.
- [14] Wenru ZHAO, Liping SU et Fengju DOU : Designing virtual reality based 3d modeling and interaction technologies for museums. *Heliyon*, 2023.