

# Rectification directionnelle de frontières pour la segmentation de maillages

G. Lavoué, F. Dupont, A. Baskurt  
LIRIS FRE 2672 CNRS

43, Bd du 11 novembre, 69622 Villeurbanne Cedex, France

[glavoue@liris.cnrs.fr](mailto:glavoue@liris.cnrs.fr)

<http://liris.cnrs.fr/guillaume.lavoue>

## Résumé

*Ce papier présente une méthode originale d'extraction de frontières propres à partir d'une segmentation quelconque de maillages triangulaires. Notre méthode a été appliquée en tant que post-traitement à l'algorithme de segmentation présenté dans [1] qui décompose un maillage 3D en régions surfaciques de courbure quasiment constantes, en considérant une classification des sommets et un mécanisme de croissance de régions. L'algorithme de rectification de frontières présenté dans ce papier est basé sur les directions principales des tenseurs de courbure de l'objet. Il corrige et redresse les frontières des régions extraites, qui, de par leur courbure constante et leurs frontières régulières sont particulièrement adaptées à des tâches telle que le plaquage de surfaces paramétriques ou de subdivision, dans un objectif de compression. Les résultats obtenus sur des objets naturels et issus de la CAO sont très satisfaisants. Ce travail s'effectue dans le cadre du projet national RNRT Semantic-3D, avec la participation de Renault, TGS, INT, ENIC et Eurecom. Les thèmes en sont l'indexation, le tatouage et la compression d'objets 3D.*

## Mots clefs

Segmentation, tenseurs de courbure, lignes de courbure.

## 1 Introduction

Les avancées technologiques récentes dans le domaine de l'infographie (outils pour l'acquisition, la création, la transmission d'objets 3D) ont contribué à un accroissement important de la quantité de modèles 3D créés et stockés. Avec l'expansion d'Internet, le besoin en transmission de ces contenus 3D est de plus en plus aigu. Il en résulte des problématiques de compression adaptatives et multi-résolution, en particulier pour les maillages triangulaires, le format prépondérant en infographie. Dans ce contexte, la décomposition de ces objets 3D en patches surfaciques, devient un enjeu crucial puisqu'elle simplifie la complexité des algorithmes, notamment de compression. En outre, elle leur apporte une notion d'adaptativité. La régularité des frontières de ces patches est un critère important puisqu'elle va faciliter et simplifier les algorithmes tels que le plaquage de surfaces NURBS ou de subdivision avec des objectifs de

compression. Dans ce contexte, nous présentons une méthode de rectification de frontières basée sur les directions principales des tenseurs de courbure. Cette méthode part d'une segmentation préalable d'un maillage 3D et rectifie les frontières, élimine les artefacts des patches extraits de manière à obtenir des frontières propres et régulières, non dentelées. La section 2 détaille l'état de l'art en segmentation de maillages polygonaux tandis que la section 3 présente la méthode de segmentation utilisée et la problématique associée. Notre algorithme est présenté en section 4.

## 2 Travaux précédents

Peu de travaux ont été effectués sur la problématique de la décomposition surfacique de maillages. Garland et al.[2] proposent une algorithme de regroupement de faces selon des critères de planarité plutôt adapté à la simplification et la radiosité. Plusieurs approches combinent l'analyse de la courbure avec un algorithme de type Watershed [3][4]. Dans la même idée Zhang et al. [5] utilisent le signe de la courbure gaussienne pour décomposer l'objet. Dans ces approches, seules les régions entourées par de fortes courbures sont extraites. Lavoué et al. [1] combinent l'étude de la courbure avec un algorithme de classification qui permet une détection plus fine de similarité entre régions et qui détecte notamment toutes les transitions de courbure. La méthode présentée dans ce papier est une extension de cet algorithme. De manière tout à fait différente, Li et al. [6] proposent un algorithme basé sur le squelette qui donne de bons résultats mais induit un lissage trop important qui peut faire disparaître des détails de l'objet. Pour la plupart de ces approches se pose le problème des frontières obtenues, soit elles sont floues (car seuls les sommets sont considérés dans l'algorithme) [5], soit dentelées et non régulières [3][4][1], soit trop lisses et ne collant plus au modèle [6]. Ce problème de frontière vient du fait qu'elles constituent une problématique secondaire dans les approches citées. Peu d'auteurs se sont penchés sur la problématique d'obtenir des frontières lisses. Seuls Katz et Tal [7] utilisent une décomposition floue associée aux distances géodésiques pour extraire spécifiquement les frontières lisses correctes entre les parties significatives de l'objet, mais leur décomposition basée sur des critères de convexité, ne donne pas des résultats assez précis pour notre application.

### 3 Segmentation et problématique.

L'algorithme de segmentation utilisé comme point de départ de notre méthode est issu de [1]. Cet algorithme décompose un maillage triangulaire en patches surfaciques de courbure quasi-constante et connue. Les tenseurs de courbure sont calculés pour chaque sommet, puis ceux-ci sont classifiés en clusters selon leurs valeurs de courbure principale  $Kmin$  et  $Kmax$ . Un algorithme de croissance de régions est ensuite effectué réunissant les triangles en régions connexes à partir des clusters de courbure des sommets. Un graphe d'adjacence des régions est alors construit et réduit afin de fusionner les régions semblables selon plusieurs critères (similitude de courbure, taille et périmètre commun).

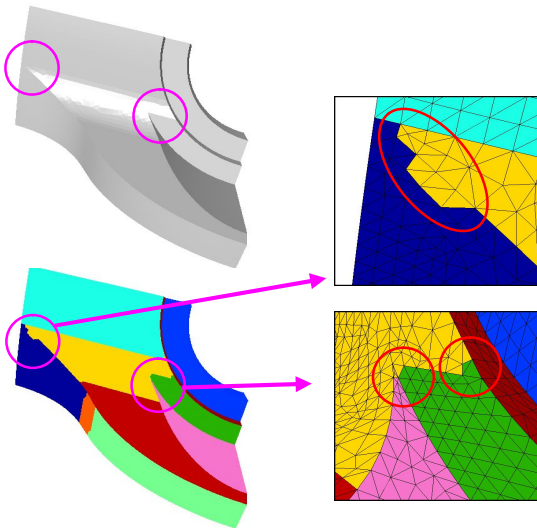


Figure 1 - ZOOMS sur des artefacts (imprécisions sur les frontières) issus de la segmentation de l'objet "Fandisk".

Cette méthode donne de bons résultats qualitatifs en terme de disposition et de forme générale des régions segmentées. Néanmoins, comme la plupart des méthodes existantes, elle n'extrait pas des frontières parfaites, sans discontinuité; généralement les frontières extraites sont dentelées et présentent des artefacts. La Fig.1 présente des exemples d'imprécisions: les régions bleues et jaunes dans l'ellipse ne sont pas correctes, leur frontières devraient être droites. De même, les régions vertes et roses ne sont pas complètes si l'on se réfère à l'objet original. Dans ce contexte, l'objectif de notre algorithme de rectification de frontières est de supprimer ces artefacts, afin d'obtenir des frontières propres, non dentelées, correspondant aux réelles frontières naturelles de l'objet.

### 4 La rectification de frontières

La méthode de rectification se compose de deux principales étapes: premièrement, les arêtes frontières sont extraites et pour chacune d'entre elles, un score de *justesse* est calculé. Puis, à partir des arêtes frontières

estimées *correctes*, les frontières finales des patches sont extraites par un mécanisme de suivi de contours.

#### 1.1 Définition du score frontière.

L'objectif de ce score est de définir une notion de *justesse* pour chaque arête frontière extraite de la segmentation en régions. À cette fin, nous considérons les directions de courbures principales  $dmin$  et  $dmax$ . Elles sont extraites des tenseurs de courbure calculés pour chaque sommets à partir de l'estimateur de Cohen-Steiner et Morvan [8]. Elles définissent les lignes de courbure de l'objet. En effet, elles représentent une information essentielle dans la description de la géométrie de l'objet [9]. Les tenseurs de courbure aux frontières naturelles d'un objet tendent à être très anisotropes avec une direction maximum suivant la transition de courbure et donc orthogonale aux frontières. Ainsi les frontières tendront à être parallèles aux lignes de courbure minimum (voir Fig.4.b). En conséquence l'angle entre une arête frontière et les directions de courbure minimum de ses sommets représente une bonne évaluation de sa *justesse*.

Le score frontière  $S$ , pour une arête  $e_i$ , est défini par :

$$S(e_i) = S_a(e_i) + w_c \times S_c(e_i) \quad (1)$$

$w_c$  est un coefficient de pondération fixé à 1 dans nos exemples ( $S_a$  et  $S_c$  étant normalisés).

Le score d'angle  $S_a$  considère les angles  $Jmin_{i1}$  et  $Jmin_{i2}$  (voir Fig.2) entre l'arête  $e_i$  et les directions minimum de ses sommets. Ce score considère aussi les angles  $Jmax_{i1}$  et  $Jmax_{i2}$  entre l'arête  $e_i$  et les directions maximum de ses sommets, pondérés par les valeurs  $Kmin$  et  $Kmax$  afin de prendre en compte les régions isotropes. Ainsi, le score d'angle  $S_a$  est défini comme suit:

$$S_a(e_i) = \frac{(Jmin_{i1} \times Kmax_{i1} + Jmax_{i1} \times Kmin_{i1})}{Kmax_{i1} + Kmin_{i1}} + \frac{(Jmin_{i2} \times Kmax_{i2} + Jmax_{i2} \times Kmin_{i2})}{Kmax_{i2} + Kmin_{i2}} \quad (2)$$

avec  $Jmin_{i1}$ ,  $Jmin_{i2}$  et  $Jmax_{i1}$ ,  $Jmax_{i2}$  les angles respectifs de l'arête considérée  $e_i$  avec les directions minimum de ses sommets et leur directions maximum.  $Kmin_{i1}$ ,  $Kmin_{i2}$  et  $Kmax_{i1}$ ,  $Kmax_{i2}$  sont les valeurs respectives des courbures minimum et maximum des sommets de l'arête  $e_i$ .

Le score de courbure  $S_c$  correspond à une différence normalisée entre les valeurs de courbure des deux sommets de l'arête considérée. Si ses sommets ont une courbure trop différente, l'arête ne peut pas être considérée comme une frontière correcte.  $S_c$  est défini par l'équation suivante :

$$Sc(e_i) = \frac{|Kmin_{i2} - Kmin_{i1}| + |Kmax_{i2} - Kmax_{i1}|}{\max(Kmin_{i2}, Kmin_{i1}) + \max(Kmax_{i2}, Kmax_{i1})} \quad (3)$$

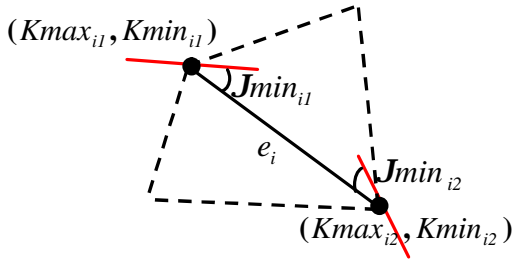


Figure 2 - Éléments pris en compte dans le calcul du score frontière de l'arête  $e_i$ .

## 1.2 Algorithme

L'algorithme de rectification se compose de deux étapes: le marquage des arêtes frontières correctes issues de la segmentation en régions, et le suivi de contours qui vise à compléter les frontières finales de l'objet segmenté.

### 1.2.1 Marquage des frontières correctes.

Pour chaque arête frontière provenant de l'étape de segmentation, le *score frontière* défini précédemment est calculé. Un seuil  $ST$  est ensuite fixé; pour chaque arête, si son *score frontière* est inférieur à  $ST$ , alors l'arête est considérée comme une *arête frontière correcte* (AFC). La Fig.4.c et la Fig.5.c montrent ce processus de marquage, à partir des résultats de la segmentation (voir Fig.4.a, et Fig.5.b), les AFC sont représentées en vert, les autres en rouge.

### 1.2.2 Suivi de contours.

La deuxième étape de l'algorithme de rectification est le suivi de contours. Une fois que les AFC ont été extraites, elles forment des morceaux de contours frontières; notre but est de les compléter pour obtenir un ensemble de contours fermés correspondant aux frontières finales des patches de l'objet. Pour chaque contour frontière non fermé, nous extrayons les arêtes du maillage pouvant potentiellement le compléter (les *arêtes potentielles*), ce sont les arêtes adjacentes à une AFC à une extrémité du contour. La Fig.3.a montre un morceau de contour constitué par deux AFC (représentées en noir), avec les *arêtes potentielles* (AP) associées (représentées en noir pointillé) qui sont des candidates pour compléter le contour ouvert. Ensuite, chaque *arête potentielle* est associée à un poids  $P$  qui détermine ses possibilités d'intégration au contour; plus  $P$  est petit, plus l'*arête potentielle* considérée a de chances d'être intégrée.

Le poids  $P$  dépend du *score frontière* de l'arête considérée mais également de son angle avec son AFC adjacente, afin de limiter la déviation de la frontière.

$$P(e_i) = S(e_i) + w_J \times J(e_i, e_{AFC}) \quad (4)$$

$w_J$  est un coefficient de pondération, il est fixé à 1 dans nos exemples.

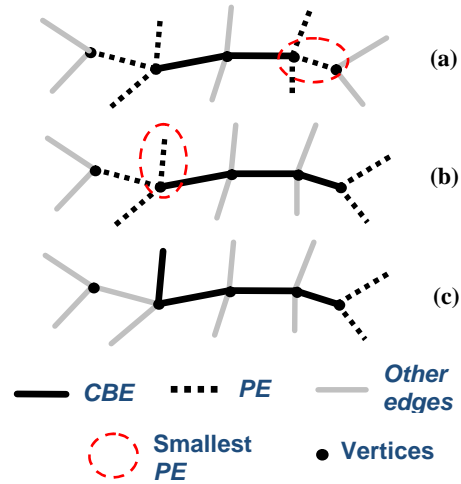


Figure 3 - Trois itérations (a,b,c) de l'algorithme de suivi de contours, avec les positions associées des arêtes frontières correctes (AFC), arêtes potentielles (AP) et de l'arête associée au poids  $P$  le plus faible.

Une fois que chaque AP a été évaluée par un poids  $P$ , elles sont organisées en une liste triée. Puis l'algorithme de suivi de contours s'exécute, son mécanisme est le suivant : une fois la liste créée, l'AP associée au poids  $P$  le plus faible est extraite et intégrée au contour considéré, et donc cette *arête potentielle* devient une *arête frontière correcte* (AFC). La liste est ensuite mise à jour (les AP sont redistribuées) et l'algorithme continue jusqu'à ce que chaque contour de frontière soit fermé. La Fig.3 présente trois itérations de l'algorithme. Dans la Fig.3.a, deux AFC forment un contour ouvert (en noir), et il y a six AP candidats pour le compléter (en noir pointillé). L'AP à l'intérieur de l'ellipse rouge est considérée comme celle associée au plus petit poids  $P$ , et donc à l'itération suivante elle intégrée au contour (voir la Fig.3.b). La position et le nombre des AP sont alors mis à jour. Le processus continue dans la Fig.3.c, avec une autre *arête potentielle* intégrée au contour.

## 1.3 Résultats.

La méthode de rectification est particulièrement adaptée aux objets CAO ou mécaniques, là où existent de vraies frontières régulières définies. Sur les objets naturels ou organiques le fait de rectifier les frontières n'a pas une réelle signification puisque même manuellement, il est souvent impossible de définir des frontières précises et lisses. Nous avons testé notre algorithme de rectification sur différents modèles. La Figure 4 présente les résultats pour l'objet « Fandisk ». Les artefacts provenant de la segmentation en régions sont correctement supprimés; nous obtenons des patches avec des frontières rectifiées, régulières et lisses. Nous avons également effectué des tests sur des objets artificiellement mal segmentés, afin d'étudier le comportement de la méthode dans ces cas limites. La Fig.5 montre les résultats pour l'objet « Erou ». Malgré le petit nombre d'arêtes correctes, celles-ci sont correctement extraites et complétées pour

donner un ensemble très satisfaisant de contours frontières finaux.

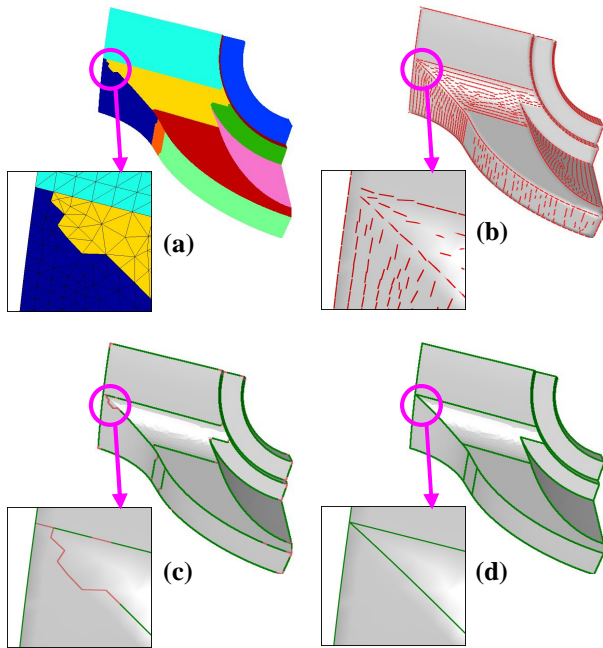


Figure 4 - Les différentes étapes de la rectification de frontières pour l'objet "Fandisk" avec un zoom sur des artefacts et leurs corrections. (a) Objet segmenté. (b) Directions de courbure minimum. (c) Marquage des arêtes correctes (en vert). (d) Frontières finales après suivi de contours.

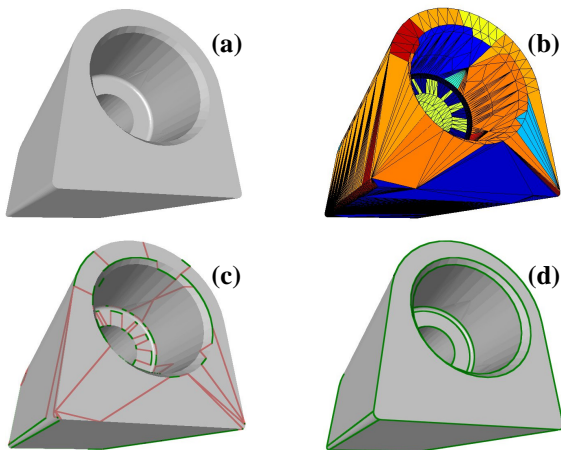


Figure 5 - Les différentes étapes de la rectification de frontières pour un objet CAO artificiellement mal segmenté. (a) Objet original. (b) Objet mal segmenté. (c) Marquage des arêtes correctes. (d) Frontières finales après suivi de contours.

## 2 Conclusion.

Cet article présente une méthode originale de rectification et de lissage de frontières des patches surfaciques issus

d'une décomposition d'un maillage 3D. Notre algorithme est basé sur l'orientation des tenseurs de courbure et permet de supprimer les artefacts généralement produits par les algorithmes de segmentation. Nous obtenons, dans le cas d'objets CAO ou mécaniques, les frontières naturelles correspondant à un découpage intuitif à la main de l'objet. La méthode de rectification est indépendante de la segmentation en régions et peut être employée comme post-traitement à n'importe quel algorithme de décomposition ou détection de contours. Ce travail s'inscrit dans un objectif plus large de compression. L'objectif est d'approximer les patches segmentés par des surfaces de subdivision ou des surfaces paramétriques, ceci afin d'obtenir l'objet sous la forme d'un ensemble de patches « légers » en termes de données qui permettrait une compression et une transmission adaptative et scalable.

## 3 Bibliographie

- [1] G. Lavoue, F. Dupont and A. Baskurt, "Constant Curvature Region Decomposition of 3D-Meshes by a Mixed Approach Vertex-Triangle.", *Journal of WSCG*, 2004, vol. 12, no. 2, pp. 245-252.
- [2] M. Garland, A. Willmott and P. Heckbert, "Hierarchical face clustering on polygonal surfaces.", *ACM Symposium on Interactive 3D Graphics.*, 2001, pp. 49-58.
- [3] A. Mangan and R. Whitaker, "Partitioning 3D Surface Meshes Using Watershed Segmentation", *IEEE Visualization and Computer Graphics*, 1999, vol. 5, no. 4, pp. 308-32.
- [4] A. Razdan and M. Bae, "A hybrid approach to feature segmentation of triangle meshes", *Computer-Aided Design*, 2003, vol. 35, no. 9, pp. 783-789.
- [5] Y. Zhang, J. PAIK, A. Koschan, M. Abidi and D. Gorsich, "A simple and efficient algorithm for part decomposition of 3D triangulated models based on curvature analysis", *IEEE International Conference on Image Processing*, Rochester, NY, USA, 2002, vol. 3, pp. 273-76.
- [6] I. Li, T. Toon, T. Tan and Z. Huang, "Decomposing polygon meshes for interactive applications.", *symposium on Interactive 3D graphics*, 2001, pp. 35-42.
- [7] S. Katz and A. Tal, "Hierarchical Mesh Decomposition Using Fuzzy Clustering and Cuts", *ACM Transactions on Graphics*, 2003, vol. 22, no. 3, pp. 954-961.
- [8] D. Cohen-Steiner and J. Morvan, "Restricted delaunay triangulations and normal cycle", *19th Annu. ACM Sympos. Comput. Geom.*, 2003, pp. 237-246.
- [9] P. Alliez, D. Cohen-Steiner, O. Devillers, B. Levy and M. Desbrun, "Anisotropic Polygonal Remeshing", *ACM Transactions on Graphics, SIGGRAPH '2003 Conference Proceedings*, 2003, vol. 22, no. 3, pp. 485-493.