

---

# Indexation d'objets 3D par spectre de formes géodésiques 3D (SFG3D)

Faten Chaieb, Wieme Gadacha, Faouzi Ghorbel

Laboratoire CRISTAL, ENSI, Université La Manouba  
Campus Universitaire de La Manouba, 2010, Tunisie  
{faten.chaieb, wieme.gadacha, faouzi.ghorbel}@ensi.rnu.tn

---

*RÉSUMÉ.* Dans ce papier, nous nous intéressons au problème d'indexation d'objets 3D par descripteurs de formes. L'approche proposée consiste à construire un nouveau descripteur intrinsèquement invariant aux transformations géométriques et robuste aux changements de topologie et au remaillage. Il s'agit de calculer au voisinage des points d'intérêts de la surface externe de la forme, le spectre de forme 3D (SF3D) retenu dans le standard MPEG-7 (Zaharia, 2001). Le voisinage autour de chaque point d'intérêt est obtenu par intersection des courbes de niveaux géodésiques et des lignes radiales. Les courbes de niveaux correspondent aux points situés à égales distances géodésiques du point d'intérêt.

Les expériences effectuées sur les bases de test de SHREC'09 et de SHREC'11 montrent les propriétés du descripteur proposé et valident la pertinence de notre approche par rapport aux descripteurs proposés dans la littérature (Lian, 2009 ;2011).

*ABSTRACT.* In this paper, we address the problem of 3D object retrieval based on 3D shape descriptors. The proposed approach builds a new descriptor intrinsically invariant to geometric transformations and robust to topology changes and remeshing. The 3D shape spectrum Descriptor (3D SSD), proposed in the MPEG-7 (Zaharia, 2001), is computed on an intrinsic interest point neighborhood. The neighborhood around each interest point is composed of a set of geodesic level curves and radial ones. The level curves correspond to the points at equal geodesic distances from the interest point. The experiments carried out on the SHREC'09 and SHREC'11 datasets show the performance of the proposed descriptor and compare it to further descriptors proposed in the literature (Lian, 2009;2011).

*MOTS-CLÉS :* indexation 3D, descripteur de formes 3D, voisinage géodésique, mesure de similarité, distance hausdroff, point d'intérêt.

*KEYWORDS:* 3D retrieval, 3D shape descriptor, geodesic neighborhood, similarity distance, hausdroff distance, interest point.

---

DOI:10.3166/TS.31.279-291 © 2014 Lavoisier

### Extended abstract

The continuous development of multimedia technologies and virtual reality has led to an increasing interest in the use of three-dimensional content (3D) in many applications such as medical imaging, games, archeology, etc. The growth of such data requires efficient and rapid content-based 3D shape retrieval systems. To achieve this idea, shape descriptors can be used to provide a unique, compact and significant content description of a 3D object. These descriptors should verify invariance properties with respect to a class of rigid and non-rigid transformations, the robustness to topology changes and stability (insensitivity to noise).

Several 3D-model retrieval approaches and shape descriptors have been introduced in the literature (Zaharia, 2001; Wang, 2007; Kazhdan, 2003; Novotni, 2003; Vranic, 2001; Lian, 2013). Global descriptors describe the geometrical properties of the object in its totality. However, they can only discriminate between general categories. Local descriptors describe the local surface region around a number of sample points on an object. They are known to be sensitive to non-rigid transformations of 3D objects.

To deal with the problem non-rigid objects retrieval, several methods based on local descriptors have been proposed (Lian *et al.* 2013). In this context, we propose a 3D shape description approach which calculates global descriptors in a geodesic neighborhood around interest points (see figure 1).

The first step is to refine the initial 3D mesh by Mid-Edge subdivision scheme (see Figure 2). This mesh subdivision step will provide a smoother mesh and will make the description more robust to various topological representations. Then, a set of 3D interest points is extracted using the 3D Harris detector (Sipiran and Bustos, 2011) which is an extension of 2D images Harris (Harris and Stephens, 1988). Then a geodesic neighborhood is defined around each interest point. It consists of a set of iso-geodesic closed curves and radial lines. An iso-geodesic closed curve corresponds to vertices located at the same geodesic distance from the interest point. Radial curves segment the neighborhood into a set of sectors. The intersection of radial lines and iso-geodesic curves provide a set of patches (connected set of adjacent triangles). Finally, the 3D shape spectrum is calculated for each patch.

The proposed descriptor, called geodesic spectrum shape or 3D SSD-Harris3D was evaluated and tested on a variety of 3D objects data sets. In fact, the experiments carried out on the SHREC'09 and SHREC'11 datasets show the performance of the proposed descriptor and compare it to further descriptors proposed in the literature (Lian, 2009; 2011). Obtained results are promising and show the interest of this approach.

Furthermore, the neighborhood size (number of iso-geodesic curves and radial lines), and its resolution (the distance between curves) affect the accuracy and quality of the proposed descriptor. Therefore, further study on curves resolution will be the subject of future work. Also, the geodesic neighborhood will define a local parameterization around each interest point which will motivate the use of other global descriptors such as Fourier descriptors.

## 1. Introduction

Le développement continu des techniques multimédias et de la réalité virtuelle a suscité un intérêt croissant pour l'utilisation de contenus tridimensionnels (3D) dans de nombreuses applications telles que l'imagerie médicale, les jeux, l'archéologie, etc. Ces données 3D sont généralement représentées par des maillages polygonaux définis par un ensemble de sommets et de facettes. L'expansion de ces données 3D requiert des méthodes efficaces et rapides d'indexation et de recherche par le contenu. Pour cela, des descripteurs de formes peuvent être utilisés pour fournir une description unique, compacte et significative du contenu d'un objet 3D. Ces descripteurs doivent vérifier les propriétés d'invariance par rapport à une classe de transformations (géométrique et topologique), de discrimination et de stabilité.

Plusieurs descripteurs de formes ont été proposés dans la littérature (Zaharia, 2001 ; Wang, 2007; Kazhdan, 2003 ; Novotni, 2003 ; Vranic, 2001 ; Lian, 2013). Ces descripteurs permettent de décrire d'une manière locale ou globale la surface externe d'un objet 3D. Les descripteurs globaux décrivent les propriétés géométriques de l'objet dans son intégralité. Les descripteurs locaux étudient les caractéristiques locales de l'objet. Ces descripteurs sont sensibles aux transformations non rigides des objets 3D. Pour traiter le problème de description des objets non rigides, plusieurs méthodes ont été proposées (Lian *et al.* 2013).

La méthode de décomposition spectrale locale par sacs de mots (Lavoue *et al.*, 2011) considère un ensemble de points échantillonnés uniformément sur la surface auxquels sont associés des descripteurs de Fourier locaux. Ces descripteurs sont calculés sur le voisinage de chaque point en projetant la géométrie sur les vecteurs propres de l'opérateur de Laplace-Beltrami. Le voisinage de chaque point caractéristique  $I_r$  est défini par l'ensemble connexe de facettes appartenant à une sphère de centre le point  $I_r$  et de rayon  $r$ . Ensuite, un dictionnaire visuel est construit en regroupant un grand nombre de descripteurs. Chaque forme 3D est alors décrite par un histogramme des occurrences de ces mots visuels. Ce descripteur est pénalisé par le choix du voisinage qui est sensible aux opérations de remaillage et ne tient pas compte de la nature intrinsèque de la surface de l'objet.

De plus, dans (Smeets *et al.*, 2009), une nouvelle méthode de description intrinsèque d'objets 3D non rigides a été proposée, qui se base sur une décomposition spectrale de la matrice des distances géodésiques. Elle consiste à choisir un nombre  $n$  de points de l'objet puis calculer la matrice des distances géodésiques entre ces  $n$  points. Les  $k$ -premières valeurs propres de la décomposition spectrale de la matrice géodésique sont retenues. Le calcul de ce descripteur est assez complexe  $O(k n^2)$  puisque la taille de la matrice géodésique est très grande.

Dans ce contexte, nous proposons d'introduire une nouvelle méthode de description d'objets 3D qui calcule des descripteurs globaux au voisinage de chaque point d'intérêt. Nous définissons pour cela, un voisinage géodésique intrinsèque construit pour chaque point d'intérêt.

Le présent travail est organisé comme suit : la deuxième section est consacrée à la présentation des étapes de l'approche de construction du descripteur de formes

proposé. Nous détaillons en particulier la construction du voisinage géodésique autour d'un point d'intérêt. Ensuite, nous explicitons le calcul du spectre de formes géodésique 3D (SFG3D). Dans la troisième section, nous spécifions la mesure de similarité utilisée pour comparer les descripteurs 3D générés. Des expérimentations sur des modèles de la base SHREC'09 et SHREC'11 font l'objet de la section 4. Les propriétés topologiques et géométriques du descripteur sont discutées. Dans la section 5, nous présentons une conclusion et nous donnons quelques perspectives du présent travail.

## 2. Approche proposée

La figure 1 montre les étapes de calcul du descripteur de forme 3D proposé.

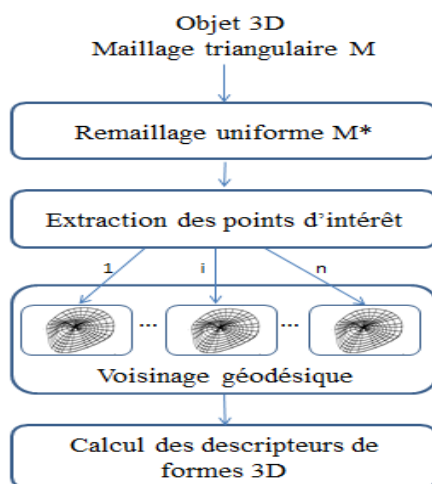


Figure 1. Schéma général de génération des descripteurs de formes 3D proposés

La première étape consiste à affiner le maillage initial de l'objet 3D en le subdivisant récursivement. À chaque itération  $i$ , de nouveaux sommets qui correspondent aux milieux des arêtes du maillage à l'itération  $i-1$ , sont obtenus (voir figure 2).



Figure 2. Principe de subdivision du maillage

Cette étape de subdivision de maillages fournira un maillage plus lisse et permettra de rendre notre description plus robuste aux représentations topologiques multiples des objets 3D. Il est important de noter que deux itérations suffisent pour atteindre cet objectif.

Ensuite, un ensemble de points d'intérêt 3D est extrait à partir du maillage remaillé. Plusieurs méthodes de détection de points d'intérêt 3D ont été proposées dans la littérature (Schmid, 1997 ; Laganière, 1998).

Dans le présent travail, les points d'intérêts sont obtenus en utilisant le détecteur de Harris 3D (Sipiran and Bustos, 2011) qui est une extension du Harris 2D pour les images (Harris and Stephens, 1988). Le choix de ce détecteur de points d'intérêt a été guidé par sa performance en termes de répétabilité pour différentes classes de transformations telles que les transformations affines, topologiques (remaillage, simplification de maillages) et destructives (bruit gaussien).

Puis, un voisinage géodésique est formé autour de chaque point d'intérêt détecté. Il est composé d'un ensemble de courbes de niveaux et de courbes radiales. Les courbes de niveaux correspondent aux points situés à une même distance géodésique du point d'intérêt. Les courbes radiales subdivisent le voisinage en un ensemble de secteurs. Cela permettra de partitionner le voisinage d'un point d'intérêt en un ensemble de *patches* (ensemble connexe de triangles adjacents) intersection entre les lignes radiales et les courbes de niveaux. Enfin, le spectre de forme 3D est calculé pour chaque patch obtenu autour d'un point d'intérêt donné.

Dans ce qui suit, nous détaillons la formation du voisinage géodésique autour d'un point de référence puis nous décrivons la construction du descripteur local 3D.

### 2.1. Voisinage géodésique sur un maillage

Considérons une surface  $S$  supposée une variété différentielle de dimension 2 et de genre 0. Le champ potentiel géodésique issu d'un point de référence  $r$  et noté par  $U_r$  est défini par :

$$\begin{aligned} U_r : S &\rightarrow \mathbb{R} \\ p &\mapsto d_g(r, p) \end{aligned} \quad (1)$$

où  $d_g(r,p)$  est la longueur de la courbe géodésique entre les points  $r$  et  $p$ .

Les points de la surface, situés à une même distance géodésique  $\lambda$  du point de référence  $r$ , forment une courbe appelée *géodésique de niveau  $\lambda$*  relative au champ potentiel issu de  $r$ .

Soient  $\lambda_{1 \leq j \leq n}$   $n$  valeurs réelles. Notons par  $\xi_r^{\lambda_j}$ , la famille des courbes géodésiques de niveau  $\lambda_j$ . Elle est donnée par l'équation suivante :

$$\xi_r^{\lambda_j} = \left\{ p \in S; U_r(p) = \lambda_j \right\} \subset S \tag{2}$$

De plus, le champ du vecteur gradient de  $U_r$ , noté  $\text{grad}(U_r)$ , est tangent à la surface  $S$ . La courbe  $C(t)$  de ce champ de vecteurs issue de  $r$  et solution du système d'équations (equ. 3) est appelée ligne de champ selon une direction angulaire  $\theta$  (Cohen, 1997). Elle est notée par  $\xi_r^{\theta_k}$ .

$$\begin{cases} \frac{dC(t)}{dt} = -\text{grad}U_r(C) \\ C(0) = r \\ \left. \frac{dC(t)}{dt} \right|_{t=0} = \theta \end{cases} \tag{3}$$

Ainsi, les lignes radiales  $\xi_r^{\theta_k}$  issues du point de référence  $r$  et des niveaux angulaires de  $\theta_{1 \leq k \leq m}$  définissent  $m$  lignes radiales.

La superposition des  $n$  courbes de niveau  $\left\{ \xi_r^{\lambda_j} \right\}, \lambda_{1 \leq j \leq n}$  et des  $m$  lignes radiales  $\left\{ \xi_r^{\theta_k} \right\}, \theta_{1 \leq k \leq m}$  donne  $n \cdot m$  patchs définis sur la surface (voir figure 3).

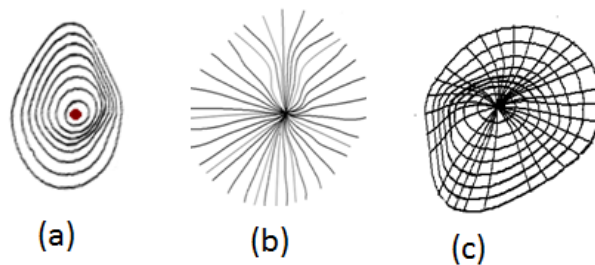


Figure 3. Étapes de construction du voisinage géodésique autour d'un point de référence (en rouge) : (a) courbes de niveau géodésique, (b) courbes radiales, (c) superposition des deux familles de courbes

### 2.2. Spectre de forme géodésique 3D (SFG3D)

Le voisinage de chaque point d'intérêt est subdivisé en un ensemble de  $p \times q$  patchs obtenus par intersection entre les  $q$  lignes radiales et les  $p$  courbes de niveaux définies dans la section précédente (voir figure 3).

Pour chaque patch, nous calculons le spectre de forme 3D (SF3D), retenu comme descripteur de forme dans MPEG-7 (Zaharia, 2001). Il se base sur la notion d'index de forme qui caractérise localement la forme d'une surface. En effet, l'index de forme est défini par l'équation 4.

$$I_P = \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \arctan \left( \frac{K_P^1 + K_P^2}{K_P^1 - K_P^2} \right) \quad (4)$$

où  $K_P^1$  et  $K_P^2$  les courbures principales au point p.

Les valeurs de l'index de forme sont dans l'intervalle [0,1]. On subdivise uniformément cet intervalle en  $N_{bins}$  intervalles  $\{I_k\}_{k=1..N_{bins}}$ . Le SF3D correspond à un vecteur à  $N_{bins}$  éléments. La valeur du  $k^{\text{ème}}$  élément correspond à la somme des aires relatives des facettes ayant un index de forme dans l'intervalle  $I_k$ .

Ainsi, le SFG 3D d'un maillage M est composé de  $N \times p \times q$  vecteurs de dimensions  $(N_{bins} \times 1)$  notés  $\{J_i^j(M)\}_{i=1..p \times q, j=1..N}$ . N est le nombre de points d'intérêts calculés pour ce maillage et  $J_i^j$  est le vecteur spectre de forme 3D associé au  $i^{\text{ème}}$  patch relatif au  $j^{\text{ème}}$  point d'intérêt.

### 3. Mesure de similarité

Nous considérons deux maillages triangulaires  $M_1$  et  $M_2$  de deux objets 3D  $O_1$  et  $O_2$ . Soient  $N_1$  et  $N_2$  le nombre de points d'intérêt obtenus respectivement pour l'objet  $O_1$  et l'objet  $O_2$ .

Soient  $\{J_i^j(M_1)\}_{i=1..p \times q, j=1..N_1}$  et  $\{J_i^j(M_2)\}_{i=1..p \times q, j=1..N_2}$  les descripteurs de formes SFG 3D calculés respectivement pour les maillages  $M_1$  et  $M_2$ . L'ensemble de ces descripteurs forment deux ensembles de points de  $\mathbb{R}^{N_{bins}}$  de dimensions respectives  $N_1 \times p \times q$  et  $N_2 \times p \times q$ . Afin de comparer ces deux ensembles nous proposons d'utiliser la distance de Hausdorff définie par l'équation (5) pour r un réel supérieur ou égal à 1 :

$$d_H(M_1, M_2) = \max(\rho(M_1, M_2), \rho(M_2, M_1))$$

$$\rho(M_1, M_2) = \max_{i=1..N_1} \min_{j=1..N_2} \left( \sum_{k=1}^{p \times q} \left| J_k^i(M_1) - J_k^j(M_2) \right|^r \right)^{\frac{1}{r}} \quad (5)$$

### 4. Résultats expérimentaux

Dans cette section, nous nous proposons d'expliciter les résultats expérimentaux auxquels nous avons abouti.

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

Les expérimentations ont été conduites sur un sous ensemble de la base SHREC'09 et sur la base SHREC'11 (Lian, 2009 ; 2011). Cette dernière est composée de modèles classés en 40 classes (humain, animaux, insectes, verre, table, etc.) (Voir figure 4). Chaque classe comporte le même nombre de modèles, ce qui permet de rendre l'évaluation objective et non biaisée par rapport à la variabilité de taille des classes.



Figure 4. Échantillon de la base SHREC'11

Pour évaluer quantitativement et objectivement les performances du descripteur proposé pour l'indexation d'objets par le contenu, plusieurs mesures ont été calculées : soit  $B$  une base de modèles 3D et  $\{C_1, C_2, \dots, C_N\}$  ses classes d'objets similaires.

##### Nearest Neighbour (NN)

Cette métrique caractérise le plus proche voisin. Elle est définie pour chaque objet de la base comme un score binaire, égal à 1 si le plus proche voisin retourné appartient à la même classe de la requête et à 0 sinon. Le NN est donné par :

$$\begin{aligned}
 NN(O) &= p_1(O) \\
 NN(C_i) &= \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} NN(O_j^i) \\
 NN(B) &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^{n_i} NN(O_j^i)
 \end{aligned} \tag{6}$$



*First-Tier (FT)*

Cette mesure est aussi connue sous le nom de R-précision. Elle est définie pour un objet requête par le pourcentage des réponses pertinentes obtenues au rang  $(n_i-1)$ ,  $n_i$  étant le nombre d'éléments de la classe de la requête.

$$\begin{aligned}
 FT(O) &= \frac{P_{n_i} - 1(O)}{n_i - 1} \\
 FT(C_i) &= \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} FT(O_j^i) \\
 FT(B) &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^{n_i} FT(O_j^i)
 \end{aligned} \tag{7}$$

*Discounted Cumulative Gain (DCG)*

Cette métrique consiste à cumuler les contributions de tous les objets de la base, avec des poids dépendant du rang des objets retournés par la requête  $R_{n-1}(O)$ ,  $n$  étant le nombre d'objets dans la base.

$$\begin{aligned}
 DCG(O) &= \frac{1 + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{g_k}{\log_2(k+1)}}{1 + \sum_{k=1}^{n_i-1} \frac{g_k}{\log_2(k+1)}} \text{ avec } \{1 \text{ si } Q_k \in C_i, 0 \text{ sinon}\} \\
 DCG(C_i) &= \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} DCG(O_j^i) \\
 DCG(B) &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^{n_i} DCG(O_j^i)
 \end{aligned} \tag{8}$$

*Second-Tier (ST)*

Le rappel mesure la capacité du système à retrouver les modèles pertinents, alors que la précision mesure la capacité du système à rejeter tous les modèles non pertinents. Pour  $P_k$  le nombre d'objets pertinents retournés et  $n_i$  le nombre d'éléments de la classe de la requête, la métrique ST est définie comme suit :

$$ST(O) = \text{Rappel}_{2(n_i-1)}(O) \tag{9}$$

$$\text{rappel}_k(O) = \frac{P_k}{n_i - 1}(O)$$

#### 4.2. Discussion

Nous proposons d'étudier les propriétés topologiques et géométriques du descripteur SFG3D proposé. Pour une sous base  $B_0$  de SHREC'09 (Lian, 2009), nous appliquons différentes transformations (isométrie, transformations rigides, topologie, simplification de maillage, échelle, l'ajout de bruit). Le tableau 1 présente le score Bull-Eye calculé pour les différentes classes d'objets. Les résultats obtenus montrent la robustesse du descripteur proposé aux différentes transformations.

Tableau 1. Propriétés du descripteur SFG3D

Classes/ Bases+ transformations	Humain	Loup	Chevaux	Chat
$B_0$	86%	91%	86.4%	84.2%
$B_0$ +isométrie	80.9%	88.2%	81%	80%
$B_0$ +Rigides	85%	87%	81%	80%
$B_0$ +Topologie	79%	85%	79.8%	82%
$B_0$ +Simplification	81%	90.8%	77.3%	82%
$B_0$ +Echelle	80%	89.1%	84.4%	78.2%
$B_0$ +Bruit	82.7%	88.9%	82%	78%

Il est important de noter que dans toutes les expérimentations, le voisinage géodésique est obtenu en utilisant 5 courbes de niveaux et 16 courbes radiales. Le voisinage est par conséquent composé de  $5 \times 16$  patchs. Les courbes radiales correspondent aux courbes géodésiques reliant le point d'intérêt aux points issus d'un reparamétrage curviligne de la dernière courbe de niveaux.

Le tableau 2 présente les résultats de comparaison des performances du descripteur proposé exprimés en termes de NN, FT, ST, E et DCG en utilisant la base SHREC'11. Les méthodes utilisées pour réaliser cette comparaison sont celles décrites dans (Lian, 2011 ; 2013).

Les résultats obtenus montrent l'efficacité du descripteur proposé pour les différents critères d'évaluation (NN, FT, ST, E et DCG). Nous remarquons que les performances du descripteur SF3D-Harris3D sont comparables à celles de SD-GDM, ShapeDNA et MeshShift.

Bien que le descripteur proposé et le descripteur Harris3DGeoMap utilisent le même détecteur des points d'intérêts, les résultats de Harris3DGeoMap sont faibles. En effet, Harris3DGeoMap calcule l'histogramme des distances géodésiques entre tous les points d'intérêts du maillage. Cette description est sensible à la phase de détection des points d'intérêts : une erreur de détection au niveau d'un point se propagera et affectera la description entière.

Tableau 2. Comparaison avec différents descripteurs de formes 3D  
(Base SHREC'11)

Méthodes	NN	FT	ST	E	DCG
<b>FOG</b>	96.8	81.7	90.3	66	94.4
<b>BOW-LCD</b>	95.5	67.2	80.3	57.9	89.7
<b>MDS-CM-BOF</b>	99.5	91.3	96.9	71.7	98.2
<b>BOGH</b>	99.3	81.1	88.4	66.7	94.9
<b>LSF</b>	99.5	79.9	86.3	63.3	94.3
<b>ShapeDNA</b>	99.2	91.5	95.7	70.5	97.8
<b>Harris3GeoMap</b>	56.2	32.5	46.6	32.2	65.4
<b>HKS</b>	83.7	40.6	49.7	35.3	73
<b>MeshShift</b>	99.5	88.4	96.2	70.8	98
<b>SD-GDM</b>	100	96.2	98.4	73.1	99.4
<b>PatchBOF</b>	74.8	64.2	83.3	58.8	83.7
<b>SF3D-Harris3D</b>	99.8	88.1	49.7	35.3	73

Les résultats d'indexation des figures 5 et 6 sur les bases SHREC'09 et SHREC'11 montrent que le descripteur SF3D-Harris 3D est plus performant que les descripteurs retenus par MPEG-7, Hough 3D et SF3D.

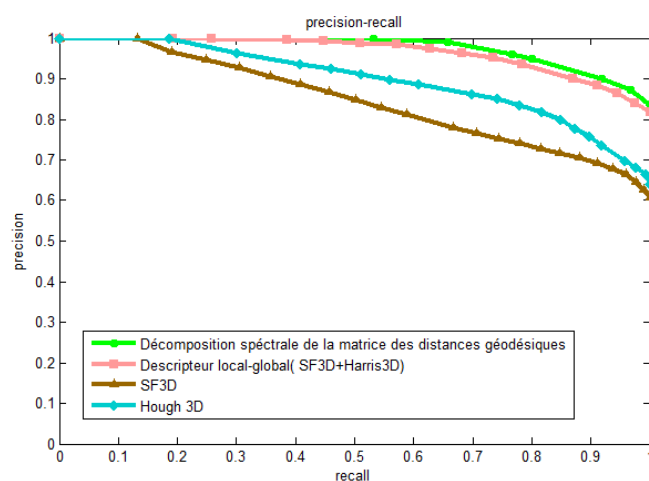


Figure 5. Rappel-précision de descripteurs de formes 3D pour la base Shrec'11

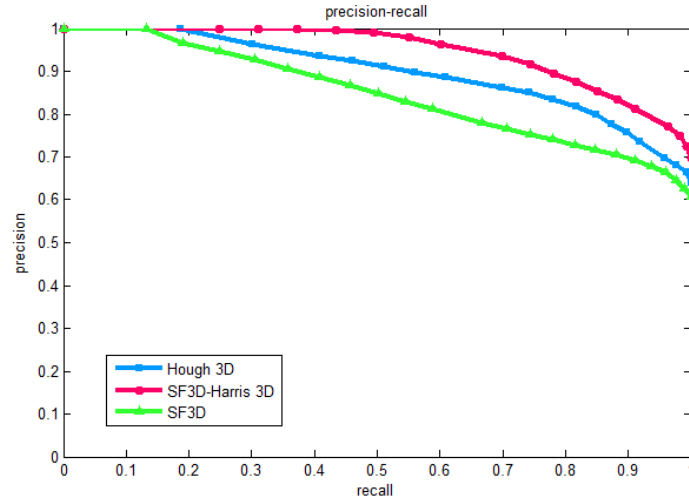


Figure 6. Rappel-précision de SF3D-Harris 3D pour la base Shrec'09

## 5. Conclusion et perspectives

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la problématique d'indexation d'objets 3D représentés par des maillages triangulaires en utilisant des descripteurs de formes 3D. Une nouvelle approche basée sur l'association de descripteurs globaux et locaux a été proposée. Il s'agit de calculer le spectre de forme 3D (SF3D) de patches associés aux points d'intérêt et caractérisés par l'intersection des courbes de niveaux géodésiques et des courbes radiales.

Le descripteur proposé, appelé spectre de forme géodésique ou encore SF3D-Harris3D, a été évalué et testé sur des bases variées d'objets 3D. Les résultats expérimentaux obtenus sont prometteurs et montrent l'intérêt de cette approche.

La taille du voisinage (nombre de courbes de niveaux et des courbes radiales), ainsi que sa résolution (l'espacement entre les courbes) affectera la précision et la qualité du descripteur proposé. Par conséquent, une étude plus approfondie sur la résolution de courbes à considérer fera l'objet d'un futur travail. Par ailleurs, le voisinage géodésique permettra de définir une paramétrisation locale autour de chaque point d'intérêt ce qui motivera l'utilisation d'autres descripteurs globaux tels que les descripteurs de Fourier.

## Bibliographie

Bronstein A. M., Bronstein M. M., Kimmel R. (2008). *Numerical geometry of non-rigid shapes*. Springer-Verlag, New York.

- Cohen L.D., Kimmel R. (1997). Global minimum for active contour model: A minimal path approach. *International Journal of Computer Vision*, vol. 24, n° 1, p. 57-78.
- Harris C., Stephens M. (1988). A combined corner and edge detection. *Proceedings of Fourth Alvey Vision Conference*. p. 147-151.
- Kazhdan M., Funkhouser T., Rusinkiewicz S. (2003). Rotation invariant spherical harmonic representation of 3D shape descriptors. *Symposium on Geometry Processing*. Lavoisier.
- Laganière R. (1998). A morphological operator for corner detection. *Pattern Recognition*, vol. 31, n° 11, p. 1643-1652.
- Lavoué G. (2011). Bag of words and local spectral descriptor for 3D partial shape retrieval. *Proceedings of the Eurographics Workshop on 3D Object Retrieval (3DOR11)*, p. 41-48.
- Lian Z., Godil A., Bustos B., Daoudi M., Hermans J., Kawamura S., Kurita Y., Lavoué G., Nguyen H.V., Ohbuchi R., Ohkita Y., Reuter M., Sipiran I., Smeets D., Suetens P., Tabia H., Vandermeulen D. (2013). A comparison of methods for non-rigid 3D shape retrieval. *Pattern Recognition* vol. 46, n° 1. p. 449-461.
- Lian Z., Godil A., Bustos B., Daoudi M., Hermans J., Kawamura S., Kurita Y., Lavoué G., Nguyen H.V., Ohbuchi R., Ohkita Y., Reuter M., Sipiran I., Smeets D., Suetens P., Tabia H., Vandermeulen D. (2011). *Shape Retrieval Contest of Non-rigid 3D Watertight Meshes*. <http://www.itl.nist.gov/iad/vug/sharp/contest/2011/NonRigid/>
- Lian Z., Godil A., Bustos B., Daoudi M., Hermans J., Kawamura S., Kurita Y., Lavoué G., Nguyen H.V., Ohbuchi R., Ohkita Y., Reuter M., Sipiran I., Smeets D., Suetens P., Tabia H., Vandermeulen D. (2009). *Shape Retrieval Contest on a New Generic Shape Benchmark*. <http://www.itl.nist.gov/iad/vug/sharp/benchmark/shrecGeneric/>
- Novotni M., Klein R. (2003). 3D Zernike descriptors for content based shape retrieval. *ACM SIGGRAPH symposium on Geometry processing*, p. 156-164, Switzerland.
- Peyré G., Cohen L. D. (2005). Progress in Nonlinear Differential Equations and Their Applications, *Geodesic Computations for Fast and Accurate Surface Remeshing and Parameterization*, vol. 63, p. 157-171. Springer.
- Schmid C., Mohr R. (1997). Local gray level value invariant for image retrieval, *IEEE Trans. Pattern Anal. Match. Intell.* vol. 19, n° 5, p. 530-535.
- Sipiran I., Bustos B. (2011). Harris 3D: a robust extension of the Harris operator for interest point detection on 3D meshes. *The Visual Computer*, vol. 27, n° 11.
- Smeets D., Fabry T., Hermans J., Vandermeulen D., Suetens P. (2009). Isometric deformation modelling for object recognition. *CAIP'09: Int. Conf. Computer Analysis of Images and Patterns*, LNCS 5702, p. 757-765.
- Vrani D.V., Saupe D. (2001). 3D shape descriptor based on 3D Fourier transform. *EURASIP Conference on Digital Signal Processing for Multimedia Communications and Services (ECMCS'01)*, p. 271- 274, Budapest.
- Wang D., Zhang J., Wong H., Li Y. (2007). 3D model retrieval based on multi-shell extended gaussian image. *Advances in Visual Information Systems*, p. 426-437, Shanghai, China.
- Zaharia T.B. (2001). *Indexation de vidéos et de maillages 3D dans le contexte MPEG-7*. Thèse en Informatique, Université René Descartes, Paris V.

