

Tatouage d'objets 3-D via la carte de profondeur associée

J. Bennour¹ J-L. Dugelay¹

¹ Institut Eurecom

2229 route des crêtes, BP 193, 06904 Sophia Antipolis
Cedex - France

{bennour, dugelay}@eurecom.fr

Mots clefs :

Tatouage, objet 3-D, carte de profondeur cylindrique.

Tatouage d'objets 3-D via la carte de profondeur associée

Résumé

Dans cet article ¹, nous proposons une nouvelle approche pour le tatouage d'objets 3-D. L'originalité de cette approche est l'utilisation d'une technique 2-D afin de tatouer un objet 3-D. Pour cela on réexprime le maillage 3-D sous la forme d'une carte de profondeur cylindrique afin de pouvoir ensuite appliquer une technique classique de tatouage d'images fixes.

Après avoir détaillé notre approche nous présentons quelques premiers résultats illustrant le potentiel et les limites de cette méthode.

Mots clefs

Tatouage, objet 3-D, carte de profondeur cylindrique.

1 Introduction

Les progrès en imagerie 3-D ont largement facilité la création d'objets 3-D et leurs utilisations dans de nombreuses applications. L'expansion d'internet, la multiplication des réseaux à haut débit font que les objets 3-D sont de plus en plus présents dans les bases de données distribuées liées au services multimédia. Le problème de la protection des objets 3-D est devenu par conséquent un problème d'actualité. On voudrait par exemple vérifier si l'utilisation d'un objet 3-D est autorisé ou non, ou obtenir des informations supplémentaires sur l'objet (e.g pour l'authentification ou l'indexation), sur le propriétaire (copyright), ou bien encore l'acheteur (e.g pour la non répudiation).

Les algorithmes de tatouage d'objets 3-D déjà existants se basent sur des modifications du maillage via les données géométriques (changement de la position des sommets, la taille des normales...) et/ou topologiques (renumérotation des sommets ou des triangles...). La performance de cet article est la reformulation du tatouage d'objets 3-D de telle sorte qu'il sera possible d'utiliser une technique classique de tatouage d'images fixes. Une étape intermédiaire est de réexprimer le maillage associé sous la forme d'une carte de profondeur cylindrique.

Ce papier est organisé comme suit : La section 2 présente un court état de l'art des algorithmes de tatouage d'objets 3-D. La section 3 décrit notre procédé de tatouage. La section 4 présente et discute les expériences menées afin de mesurer le potentiel et les limites de notre approche. On conclut dans la section 5 en précisant nos perspectives.

¹Ces travaux ont été réalisés en partie par le projet RNRT SEMANTIC 3-D (www.semantic-3d.net)

2 Etat de l'art

Peu de travaux existent à ce jour sur le tatouage d'objets 3-D (classés parmi les nouveaux objets).

Dans le domaine du multimédia un objet 3-D est le plus souvent représenté par un maillage associé à une texture. Les représentations sous formes de Nurbs, arbres CSG et nuages de points sont moins répandues.

La majorité des algorithmes de tatouage déjà publiés se basent sur une modification du maillage. [1] permet de coder de l'information supplémentaire dans un maillage décrit par une liste de sommets et une liste de triangles. Pour cela il modifie l'ordre des sommets, l'ordre des triangles, ou l'ordre des sommets d'un triangle dans le fichier qui décrit l'objet. [2] se base sur la position des sommets. A chacun des sommets est associé un voisinage ellipsoïdal. Pour coder un 0, le sommet est déplacé à l'extérieur de son voisinage et pour coder un 1 il est déplacé à l'intérieur. D'autres algorithmes se basent sur la répartition des normales [3], [4] et [5], sur la taille des normales [6] ou même sur les invariants géométriques comme le rapport des longueurs de deux côtés ou le rapport de la hauteur sur la longueur de la base [7].

On peut aussi citer l'algorithme de tatouage de Ohbuchi, Masuda et Aono [8], [9] qui enfouit la marque dans un objet 3-D représenté par des NURBS ou l'algorithme de Fornaro et Sanna [10] qui dissimule de l'information dans un modèle 3-D décrit par un arbre de construction CSG (Constructive Solid Graph).

Tous ces algorithmes de tatouage d'objets 3-D agissent directement sur les données géométriques et/ou topologiques de l'objet. L'originalité de notre approche est l'utilisation d'une technique 2-D afin de tatouer un objet 3-D via l'expression de son maillage sous la forme d'une carte de profondeur cylindrique.

3 Description de notre procédé de tatouage d'objets 3-D

Dans cette section, on décrit notre approche de tatouage d'objets 3-D. On commence par présenter le principe général de notre algorithme et on détaille par la suite les principales étapes.

3.1 Principe générale

La figure 1 donne un aperçu général de notre procédé de tatouage d'objets 3-D.

Les étapes 1-4 concernent l'insertion. Les étapes 5-7 concernent la récupération.

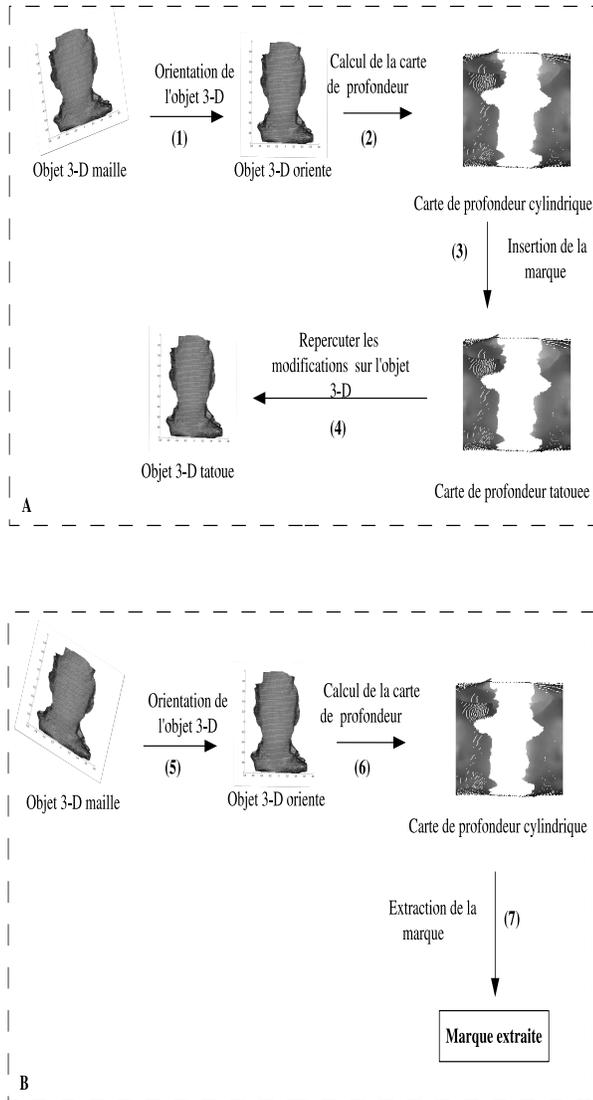


Figure 1 – Principe général de l'algorithme de tatouage. A : Insertion de la marque. B : Récupération de la marque.

Etant donné un objet 3-D représenté sous la forme d'un maillage.

Insertion de la marque.

- **Étape 1** : On oriente le modèle suivant les axes d'inertie (voir paragraphe 3.2).
- **Étape 2** : On réexprime le maillage 3-D sous la forme d'une carte de profondeur cylindrique (voir paragraphe 3.3).
- **Étape 3** : On cache des informations dans l'objet en tatouant sa carte de profondeur cylindrique à l'aide d'un algorithme de tatouage d'images fixes (voir paragraphe 3.4).

- **Étape 4** : Une fois la carte de profondeur cylindrique tatouée on répercute les modifications sur l'objet 3-D. On agit uniquement sur la position des sommets affectés par le marquage (voir paragraphe 3.5).

Récupération de la marque.

- **Étape 5** : On oriente le modèle suivant les axes d'inertie (voir paragraphe 3.2).
- **Étape 6** : Pour vérifier que l'objet est bien marqué et/ou récupérer l'information cachée, on commence par recalculer sa carte de profondeur cylindrique comme décrit à l'étape 1 (voir paragraphe 3.3).
- **Étape 7** : On extrait le message avec l'algorithme de tatouage d'images fixes à partir de la carte calculée précédemment (voir paragraphe 3.4).

3.2 Orientation suivant les axes d'inertie

Le changement de repère dans lequel est décrit un objet 3-D résulte en l'application à l'objet d'une translation, rotation et/ou changement d'échelle. Ces transformations ne changent pas la forme de l'objet 3-D mais peuvent rendre impossible la vérification et/ou la récupération de la marque enfouie.

Dans le cas particulier de notre approche, ces transformations subies par l'objet 3-D modifient la carte de profondeur par conséquent on peut plus vérifier si l'objet 3-D est marqué et/ou récupérer l'information cachée.

Une étape de réorientation de l'objet 3-D selon les axes d'inertie avant le tatouage permet de protéger le tatouage vis-à-vis ces attaques malveillantes. On suppose dans ce cas que le tatouage a un impact négligeable sur ce repère. Nous avons mené des expériences pour vérifier ce point ; les résultats sont exposés dans la section 4.2.

3.3 Calcul de la carte de profondeur cylindrique

Dans ce paragraphe nous présentons la méthode utilisée pour le calcul de la carte de profondeur cylindrique.

Etant donné un objet 3-D quelconque on peut aisément construire sa carte de profondeur cylindrique en considérant un axe vertical qui traverse l'objet et en projetant la surface de l'objet sur un cylindre autour de cet axe (voir figure 2).

Trois étapes sont nécessaires pour le calcul de la carte de profondeur bidimensionnelle $r(\theta, y)$.

1. On calcule le rayon R et la hauteur H du cylindre englobant de sorte qu'il couvre au mieux l'objet 3-D.
2. Pour chaque sommet S_i on exprime ses coordonnées cartésiennes (X_i, Y_i, Z_i) sous forme de coordonnées cylindriques (θ_i, y_i, r_i) .
3. On déduit la carte de profondeur bidimensionnelle $r(\theta, y)$.
Par convention, pour deux sommets $S1(\theta_1, y_1, r_1)$ et

$S2(\theta_2, y_2, r_2)$ qui ont les mêmes projections θ et y , on choisit pour $r(\theta, y)$ la valeur minimale entre r_1 et r_2 . Les pixels de la carte de profondeur non renseignés sont mis à zéro.

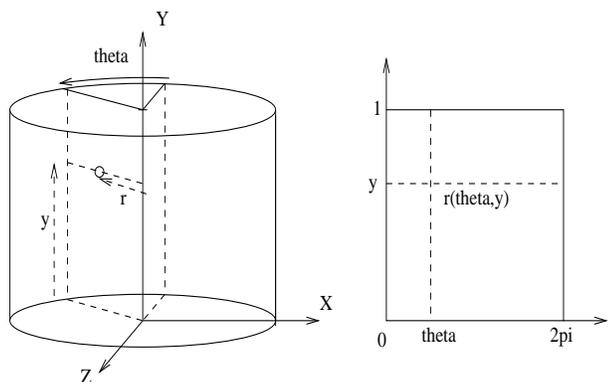


Figure 2 – Passage des coordonnées cartésiennes (X, Y, Z) aux coordonnées cylindriques (θ, y, r) et à la carte de profondeur bidimensionnelle $r(\theta, y)$

3.4 Tatouage de la carte de profondeur

Notre schéma de tatouage d’objets 3-D repose sur un algorithme de tatouage d’images fixes à choisir. Il est clair que le choix de cet algorithme a une influence sur les performances de la chaîne de tatouage 3-D. On peut a priori choisir parmi tous les algorithmes de tatouage d’images fixes existants ou en développer un qui soit spécialement conçu pour notre approche afin de maximiser les performances du tatouage d’objets 3-D.

Afin de valider notre chaîne complète de tatouage d’objets 3-D, nous avons réalisé nos premières simulations en utilisant l’algorithme de Cox [11]. Cet algorithme est simple à mettre en œuvre mais il est non aveugle et sans capacité. L’extraction du tatouage est une réponse binaire oui/non quant à la présence de la marque.

Dans un second temps, nous avons utilisé l’algorithme de tatouage d’images fixes Euremark développé en interne et documenté dans [12] et [13]. Cet algorithme présente l’avantage d’être aveugle et avec capacité. Il permet d’enfouir le nombre voulu de bits dans une image puis de les extraire de l’image tatouée (éventuellement modifiée). La force de marquage (c-à-d la visibilité) est paramétrable mais un réglage par défaut fixant le PSNR à 38dB entre l’image originale et tatouée a été utilisé.

A l’extraction l’algorithme fournit le message binaire lequel peut être plus ou moins erroné par rapport au message caché initialement si l’image a subi des attaques après tatouage.

La robustesse de l’algorithme est évaluée en termes de bits erronés.

Les résultats obtenus sont exposés dans la section 4.

3.5 Report des modifications de la carte de profondeur sur l’objet 3-D

Après tatouage, la carte de profondeur est modifiée. On doit reporter ces modifications sur l’objet 3-D en agissant sur la position des sommets, on génère ainsi l’objet 3-D tatoué.

La coordonnée cylindrique r est la seule susceptible de changer après tatouage (marquage de la carte bidimensionnelle $r(\theta, y)$). Chaque sommet $S_i(\theta_i, y_i, r_i)$ se déplace conformément à sa nouvelle profondeur r_i sur la droite D_i définie par le point $A(0, 0, y_i)$ et le vecteur $U(\cos \theta_i, \sin \theta_i, 0)$ (voir figure 3).

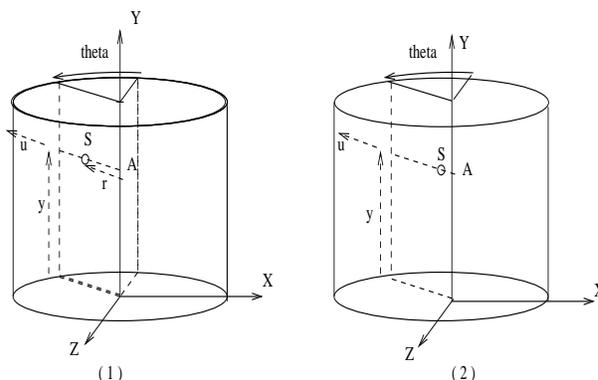


Figure 3 – Transposition des modifications sur les sommets du maillage de l’objet 3-D. 1- Avant tatouage. 2- Après tatouage

4 Résultats et discussions

La mesure des performances d’un algorithme de tatouage est une question assez délicate dans la mesure où il faut tenir compte des trois critères (deux à deux antagonistes) de capacité, visibilité et robustesse. Et en tatouage d’objets 3-D la définition de ces trois critères est de surcroît plus complexe qu’en tatouage d’images fixes. Pour simplifier le problème on fixe souvent le paramètre de visibilité c.à.d la force de tatouage et on étudie l’évolution de la robustesse en fonction de la capacité.

Dans le cas précis de notre approche, comme signalé dans la section 3.4, nous avons effectué une première expérience avec l’algorithme de tatouage d’images fixes de Cox [11] (algorithme non aveugle et sans capacité) afin de tester la chaîne complète de notre approche. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 4.

Pour les autres simulations, et afin de mieux évaluer les performances et les limites de notre approche nous avons marqué la carte de profondeur à l’aide de l’algorithme de tatouage d’images fixes Euremark (algorithme aveugle et avec capacité). La force du tatouage (c.à.d la visibilité) est fixée à 38dB.

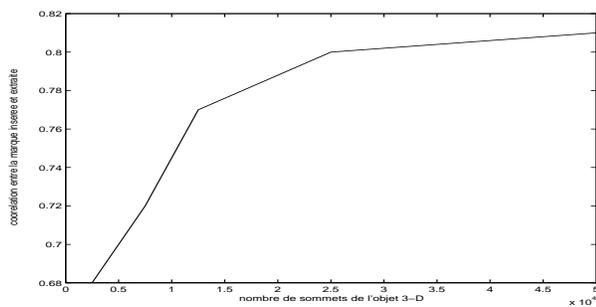


Figure 4 – Résultats obtenue en utilisant l’algorithme de tatouage d’images fixes de Cox dans un contexte sans attaque. Le modèle utilisé est celui de visage 3-D.

Deux bases différentes d’objets 3-D : des visages et des pièces automobiles (dans le cadre du projet RNRT SEMANTIC 3-D) ont été utilisées pour mesurer le potentiel et les limites de notre approche. Les résultats obtenus sont exposés ci-dessous.

4.1 Expériences de références

L’algorithme que nous avons utilisé permet d’enfouir un message binaire et de le récupérer, éventuellement entaché d’erreurs. On peut donc évaluer la robustesse du tatouage en comptabilisant le nombre de bits erronés dans le message récupéré.

Premier objet. Les figures 5 et 6 montrent respectivement l’objet 3-D utilisé : il s’agit d’un modèle 3-D de visage représenté par un maillage triangulaire et la carte de profondeur correspondante.

Deux expériences ont été menées :

1. La première expérience que nous avons menée consiste à mesurer la robustesse de l’extraction en fonction du nombre de sommets de l’objet 3-D dans le cas où il n’y a pas d’attaque.

Le résultat obtenu pour une marque insérée de 64 bits est présenté sur la figure 7.

2. La deuxième expérience que nous avons menée consiste à mesurer la robustesse de l’extraction en fonction de la taille de la marque enfouie dans le cas d’un visage 3-D présentant 50000 sommets. Le résultat obtenu est présenté sur la figure 8.

Deuxième objet. Pour vérifier la validité des résultats précédents nous avons effectué les mêmes expériences (figures 11 et 12) mais en utilisant un objet 3-D différent : une pièce automobile (voir figure 9).

Conclusions. En comparant les résultats des figures 7 et 8 avec ceux des figures 11 et 12 respectivement, on s’aperçoit que les résultats sont beaucoup moins bons avec le second objet. Cette forte baisse de performances est expliquée par le fait que les performances et robustesse de

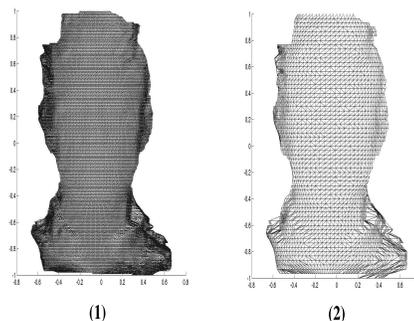


Figure 5 – Modèle 3D de visage. 1- Visage 3-D avec 2.10^4 sommets. 2- Visage 3-D avec 2.10^3 sommets.

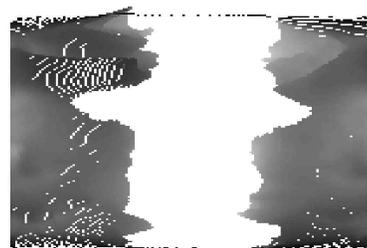


Figure 6 – Carte de profondeur du visage 3-D formé par 2.10^3 sommets.

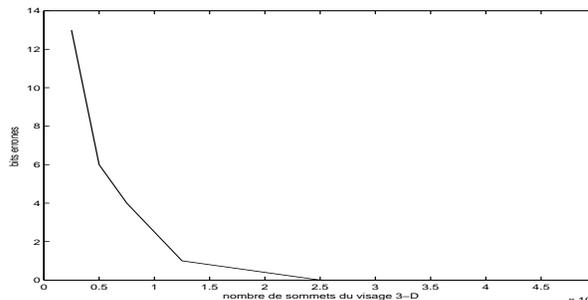


Figure 7 – Robustesse de l’extraction en fonction du nombre de sommets du visage 3-D pour une marque insérée de 64 bits dans un contexte sans attaque.

l’algorithme de tatouage d’images fixes dépend fortement de la quantité d’information présente dans l’image de profondeur.

Le second objet étant de forme relativement compacte (les sommets du maillage 3-D sont peu dispersés), sa carte de profondeur présente des informations regroupés sur une faible zone de l’image, le reste de l’image n’est pas exploitable (voir figure 10).

On en déduit que l’algorithme de tatouage développé dans cette approche est plus adapté à des objets 3-D non compacts (sommets du maillage 3-D relativement

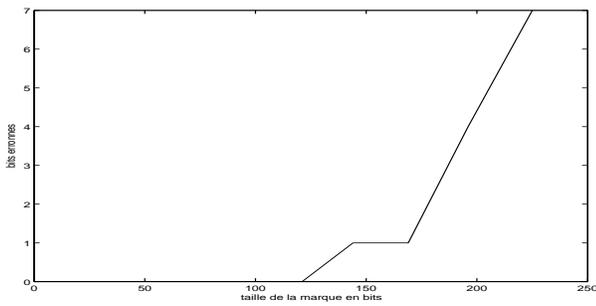


Figure 8 – Robustesse de l'extraction en fonction de la taille de la marque enfouie pour un visage 3-D dans un contexte sans attaque.

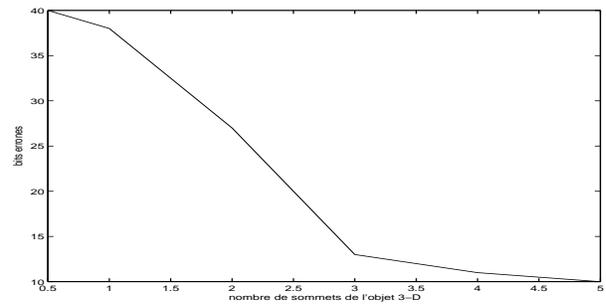


Figure 11 – Robustesse de l'extraction en fonction du nombre de sommets de la pièce automobile pour une marque insérée de 64 bits dans un contexte sans attaque.

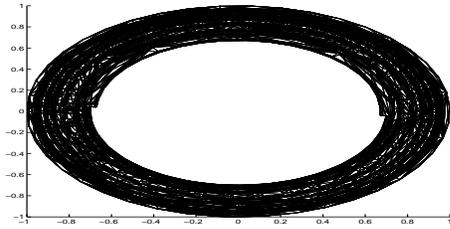


Figure 9 – Pièce automobile formé de $5 \cdot 10^3$ sommets.

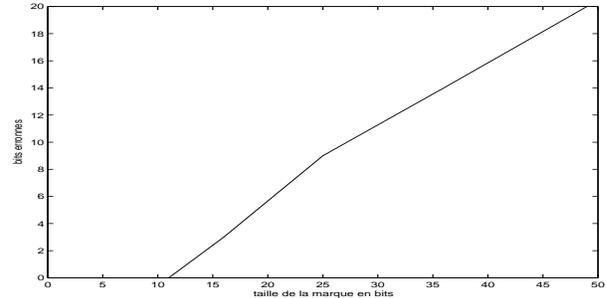


Figure 12 – Robustesse de l'extraction en fonction de la taille de la marque enfouie pour une pièce automobile de 50000 sommets dans un contexte sans attaque.

dispersés comme est le cas des visages 3-D). Autrement dit, on retrouve ici les limites bien connues du tatouage d'images fixes, à savoir il est difficile de tatouer une image fixe à peu de pixels ou uniforme. Il faut se rendre compte que, dans le cas de notre approche, un objet 3-D avec peu de sommet ou assez compact présente une carte de profondeur à peu de pixels ou uniforme respectivement. A titre d'exemple, un objet 3-D avec 5000 sommets correspond à une image de 75×75 pixels.

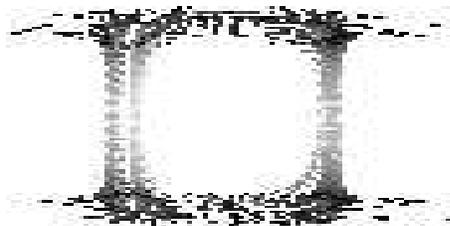


Figure 10 – Carte de profondeur de la pièce automobile formé de $5 \cdot 10^3$ sommets.

4.2 Robustesse aux transformations géométriques

D'autres expériences ont été menées afin de mesurer la robustesse de notre approche aux transformations géométriques (translation, rotation et changement d'échelle).

Comme signalé dans la section 3.2 une étape de réorientation de l'objet 3-D selon les axes d'inertie avant

le tatouage permet de le protéger de ces attaques malveillantes, à condition que le tatouage ait un impact négligeable sur ce repère. Nous avons alors calculé l'influence du tatouage sur les axes d'inertie. On a approximé l'impact sur les axes principaux à la différence maximale entre les coordonnées des axes d'inertie avant et après le tatouage. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 13. L'impact est de l'ordre de 10^{-3} (les coordonnées des axes d'inertie sont comprises entre 0 et 1) ; l'approche développée est robuste aux transformations géométriques de translation et rotation.

Une normalisation de la carte de profondeur de l'objet 3-D permet de protéger le tatouage des attaques de changement d'échelle.

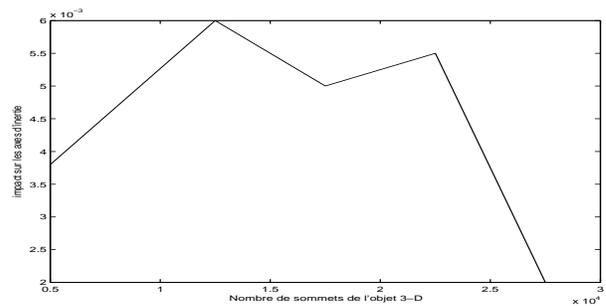


Figure 13 – Impact du tatouage sur les axes d'inertie.

5 Conclusion

Nous avons présenté dans cet article une nouvelle approche pour le tatouage d'objets 3-D via la carte de profondeur cylindrique. Plusieurs expériences réalisées sur des objets 3-D issus de deux bases différentes ont permis d'estimer les performances et les limites de cette approche. Les résultats obtenus, pour des objets assez complexes (cas des visages 3-D) sont satisfaisants.

On peut espérer améliorer notre approche dans le cas d'objets simples ou compacts (cas des pièces automobiles) grâce à une différente méthode de calcul de la carte de profondeur et/ou le développement d'un algorithme de tatouage d'images fixes spécialement conçu pour notre approche.

Références

- [1] S. Ichikawa, H. Chiyama, et K. Akabane. Redundancy in 3D polygon models and its application to digital signature. *Journal of WSCG*, 10(1) :225–232, 2002.
- [2] T. Harte et A. G. Bors. Watermarking 3D models. Dans *IEEE International Conference on Image Processing*, Rochester, NY, USA, Septembre 2002.
- [3] O. Benedens. Watermarking of 3D polygon based models with robustness against mesh simplification. Dans *SPIE Security and Watermarking of Multimedia Content*, pages 329–340, 1999.
- [4] K.R. Kwon, S.G. Kwon, S.H. Lee, T.S. Kim, et K.I. Lee. Watermarking for 3d polygonal meshes using normal vector distributions of each patch. Dans *IEEE International Conference on Image Processing*, pages II : 499–502, 2003.
- [5] O. Benedens. Geometry-based watermarking of 3D models. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 19(1) :46–55, 1999.
- [6] M. G. Wagner. Robust watermarking of polygonal meshes. Dans *Geometric Modeling and Processing*, Hong Kong, China, Avril 2000.
- [7] R. Ohbuchi, H. Masuda, et M. Aono. Watermarking three-dimensional polygonal models. Dans *ACM Multimedia*, pages 261–272, Seattle, Washington, Novembre 1997.
- [8] R. Ohbuchi, H. Masuda, et M. Aono. A shape-preserving data embedding algorithm for NURBS curves and surfaces. Dans *Computer Graphics International*, pages 170–177, Juin 1999.
- [9] R. Ohbuchi et H. Masuda. Managing cad data as a multimedia data type using digital watermarking.
- [10] C. Fornaro et A. Sanna. Public key watermarking for authentication of CSG models. *Computer Aided Design*, 32(12) :727–735, 2000.
- [11] I. J. Cox, J. Killian, T. Leighton, et T. Shamoan. Secure spread spectrum watermarking for multimedia. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1997.
- [12] E. Garcia et J.-L. Dugelay. Texture-based watermarking of 3D video objects. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 13(8), Août 2003.
- [13] J.-L. Dugelay et C. Rey. Method of marking a multimedia document having improved robustness, Mai 2001.