*Revue Électronique Francophone d'Informatique Graphique, Volume 1, Numéro 1, pp. 1–7, 2007*

# Déformation 3D interactive par lignes caractéristiques

Leïla Schemali [1,2], Jean-Marc Thiery[1] et Tamy Boubekeur[1]

[1]Télécom ParisTech CNRS LTCI
[2]Useful Progress

**Résumé**

*Les méthodes de modélisation géométrique interactives permettent d'explorer l'espace des formes possibles d'un objet à l'aide d'une structure simple de contrôle. Il existe aujourd'hui plusieurs catégories de lignes caractéristiques qui peuvent être calculées et dessinées sur de tels modèles 3D. Ces lignes mettent en exergue les éléments importants d'un modèle et permettent de donner une très bonne idée de la forme de l'objet représenté. Lors de l'édition d'un modèle 3D, ce sont souvent ces caractéristiques qui seront affectées. Nous proposons ici un moyen d'utiliser ces lignes caractéristiques pour éditer un modèle. Elles peuvent être sélectionnées puis déplacées, entraînant ainsi la déformation de la région proche de la courbe. Cette méthode permet une édition simple, rapide et intuitive d'un modèle 3D.*

*Interactive geometric modelisation technics give the possibility to explore the space of possible forms of an object using a simple control structure. Today, several types of feature lines can be determined and drawn on these 3D models. These simple lines highlight the principal characteristics of a model and give a very good idea of the object form. While editing a 3D model, there is a good chance that it is these characteristics that will be affected. We propose here a way to use these feature lines to edit a model. They can be selected and then moved, that leads to the deformation of the region close to the curve. These method enable a simple, fast and intuitive edition of a 3D model.*

**Mots clé :** Modélisation interactive, lignes caractéristiques, déformation de maillage

## 1. Introduction

Il est possible de percevoir la forme d'un objet en ne dessinant que quelques lignes. Plusieurs méthodes ont été développées, permettant de faire ressortir les caractéristiques principales d'un modèle 3D et de générer automatiquement des lignes sur celui-ci. On obtient alors une représentation non photoréaliste de l'objet. Elles permettent à elles seules de donner une idée assez juste de la forme de l'objet représenté en générant une faible quantité d'information. Ces lignes caractéristiques dépendent pour certaines du point de vue de l'observateur ainsi que des propriétés du maillage.

L'édition d'un modèle 3D nécessite la sélection d'une sous-partie du modèle qui sera modifiée. Cette sélection peut se révéler fastidieuse si elle doit s'effectuer de manière entièrement manuelle, ou si l'algorithme de sélection automatique ne donne pas les résultats attendus pas l'utilisateur.

Nous proposons ici une méthode de sélection et d'édition d'un maillage triangulaire se basant sur les lignes caractéristiques tracées automatiquement sur ce maillage. L'édition est effectuée en résolvant un système de contraintes représentant le modèle initial et les modifications apportées par l'utilisateur, construites à l'aide de coordonnées intrinsèques linéaires et invariantes à la rotation [LSLCO05].

Notre méthode permet une sélection rapide et intuitive des sommets du maillage à éditer. Il suffit à l'utilisateur de cliquer sur une ligne caractéristique tracée sur l'objet pour la sélectionner, ainsi que la région autour d'elle, et définir de cette façon la zone à modifier. Les courbes représentant les éléments principaux d'un objet, elles correspondent le plus souvent à ce qui est édité. De plus, elles sont pour certaines dépendantes de la position de la caméra. Cette propriété rend accessible l'édition de l'ensemble du maillage tout en se trouvant au point de vue correspondant à la zone d'édition. Lorsque les lignes caractéristiques de l'objet n'offrent pas la sélection souhaitée, l'utilisateur peut à tout moment définir une sélection arbitraire.

© REFIG 2011, Revue Électronique Francophone d'Informatique Graphique.
Publiée par l'Association Française d'Informatique Graphique

### 1.1. Lignes caractéristiques

Les lignes caractéristiques que nous utilisons sont les contours occultants (occluding contours), les contours suggestifs (suggestive contours), les arêtes apparentes (apparent ridges), les arêtes (ridges) et les vallées (valleys). Elles sont toutes dépendantes du point de vue à part les arêtes et les vallées. D'autres types de lignes peuvent être ajoutés dans notre application très facilement et seront directement utilisables comme support d'édition.

Chaque type de ligne met en évidence une caractéristique différente de la géométrie. Les contours occultants quand à eux dépendent principalement du point de vue. Ils passent par les points où le produit scalaire entre la normale à la surface en ce point et la direction de vue est nul. Cela permet de visualiser, entre autre, la silhouette de l'objet. Les contours suggestifs [DFRS03] viennent généralement prolonger ces lignes de contours. Ils correspondent à des contours occultants qui seraient tracés dans des vues proches de la vue actuelle.

Les arêtes apparentes [JDA07] prennent en compte à la fois le point de vue et la géométrie de l'objet. Une courbure dépendante du point de vue est définie. Elle représente la variation de la normale, perçue depuis la caméra, le long de la surface. Les arêtes apparentes apparaissent là où cette courbure est maximale.

Contrairement aux lignes caractéristiques citées précédemment, les arêtes et les vallées [IFP95] ne dépendent que de la géometrie de l'objet et ne prennent pas en compte le point de vue. Les arêtes et les vallées sont tracées le long des points où la courbure de la surface est maximale (négativement ou positivement).

Une illustration des différents types de lignes caractéristiques est présentée figure 1.

### 1.2. Méthode d'édition

Pour l'édition, des sommets du maillage sont sélectionnés comme faisant partie de la "poignée" de déformation, d'autres de la zone déformable et le reste des sommets est fixe. Ceux de la poignée de déformation voient leur position modifiée directement par l'action de l'utilisateur par une transformation rigide. Les sommets de la zone fixe ne sont pas déplacés. La nouvelle position des sommets de la région définie comme déformable est déterminée par la résolution d'un système au sens des moindres carrés. Cette dernière région se situe entre les sommets de la poignée et ceux de la zone fixe.

La méthode de déformation Linear Rotation-invariant Coordinates (LRI) [LSLCO05] permet de conserver au maximum les coordonnées locales des sommets tout en se soumettant aux contraintes imprimées au maillage par le déplacement d'un sous-ensemble des sommets. Pour ce faire, un repère local est defini pour chaque sommet du maillage et les relations entre chacun de ces repères sont déterminées. La position de chaque sommet est encodée selon le repère local. Cela permet d'enregistrer la position d'un sommet en fonction de ses voisins. Lors de la résolution du système, ces coordonnées locales sont conservées au mieux, au sens des moindres carrés, tout en prenant en compte les nouvelles coordonnées des sommets déplacés. La structure mathématique générale de notre approche s'appuie sur une méthode de déformation variationnelle linéaire [BS08].

### 1.3. Etat de l'art

L'utilisation de lignes pour la modélisation et l'édition de maillages a déjà été explorée sous différents aspects. Le premier système de modélisation par lignes, Wires [SE98], permettait de placer des lignes sur une forme puis de transférer la déformation des lignes à la forme.

Le système FiberMesh [NISA07] permet de créer un modèle 3D à partir de lignes tracées à l'écran par l'utilisateur. Ce modèle peut ensuite être édité en ajoutant des caractéristiques à l'objet. Cette méthode se rapproche du dessin au crayon, créant une forme correspondant au mieux aux traits dessinés par l'artiste. Dans notre contexte applicatif, nous partons d'un modèle existant que nous déformons. Les lignes caractéristiques ne sont pas directement définies par l'utilisateur mais dépendent du maillage et du point de vue. FiberMesh nécessite de placer à la main les lignes d'édition et ne permet pas de définir leur zone d'influence.

Une autre façon de se rapprocher du dessin au crayon pour l'édition de modèles 3D est proposée dans SilSketch [ZNA07]. A partir d'un objet 3D, l'artiste dessine une ligne décrivant la nouvelle forme souhaitée pour une partie de l'objet. L'application retrouve la ligne de silhouette correspondant le mieux à la forme tracée et déplace les sommets pour que la nouvelle ligne de silhouette corresponde à ce que l'utilisateur a dessiné. Cette approche ne permet de travailler que sur les courbes de contours occultants et ne donne pas la possibilité à l'artiste de définir la zone qu'il souhaite modifier.

Zhou et al. [ZWS11] proposent une méthode d'édition se basant sur les lignes d'arêtes et de vallées pour définir la poignée de déformation. Les lignes caractéristiques disponibles pour l'édition sont seulement les arêtes et les vallées et elles ne sont pas régularisées. Ils appliquent cependant une optimisation de la courbure sur le zones déformées du maillage afin de conserver au mieux la courbure originelle, ce qui n'est pas le cas dans notre méthode.

Nous décrivons dans le paragraphe 2 la génération des lignes de contrôle à partir des lignes caractéristiques (régularisation et reconnection des lignes). Nous traitons de la méthode employée pour la sélection des régions à éditer dans le paragraphe 3. L'édition du maillage est décrite dans le paragraphe 4. Les résultats sont présentés dans le para-

© REFIG 2011.

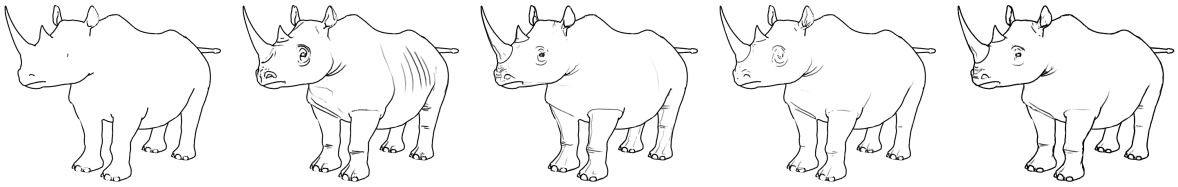


**Figure 1:** *Les différentes types de lignes caractéristiques sur le modèle "rhino" (de gauche à droite) : contours occultants, contours suggestifs, arêtes, vallées et arêtes apparentes.*

graphe 5 et nous terminons par la conclusion au paragraphe 6 .

## 2. Génération des lignes de contrôle

Afin que la sélection des sommets du maillage pour la phase de déformation se fasse au mieux, il est intéressant de reconstruire de grandes lignes de contrôle régulières à partir de l'ensemble éparse et déconnecté des lignes brutes obtenues automatiquement par les algorithmes de détermination de contours. En effet, ces lignes peuvent être irrégulières (crénelées par exemple) ou déconnectées les unes des autres alors qu'elles paraissent continues et régulières à l'écran, comme illustré sur la figure 2. Ces défauts ont pour conséquence un comportement peu intuitif lorsque les lignes sont utilisées directement pour contrôler la déformation. Pour faciliter tous les traitements et les modifications sur les lignes, les points de chaque courbe sont identifiés et ordonnés.

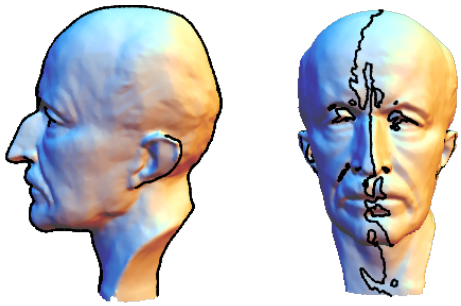


**Figure 2:** *Contours occultants sur le modèle "Max Planck" : lignes vues du point de vue de la caméra et les mêmes courbes depuis un autre point de vue.*

Un aspect important de notre travail a été de régulariser et de reconnecter entre elles les courbes tracées sur le maillage. La méthode mise en place est décrite dans le paragraphe 2.1. La reconstruction de lignes continues à partir de plusieurs lignes est quand à elle évoquée à la section 2.2.

### 2.1. Régularisation des lignes

Les lignes tracées sur le modèle dépendent fortement du point de vue et de la qualité du maillage. Ces deux éléments principaux peuvent amener à ce que les lignes caractéristiques soient très irrégulières, même si elles peuvent paraître continues et régulières depuis le point de vue de la caméra. Il est important que ces lignes soient régularisées avant l'édition afin que le résultat corresponde à ce qui est attendu par l'utilisateur. La position de chaque point de chaque courbe est modifiée en fonction des autres points de la courbe, suffisamment proches du point inspecté. La méthode utilisée ici pour trouver la nouvelle position du point est la méthode des Moving Least Squares (MLS) [Lev98], [ABCO*01]

La longueur de la courbe détermine la taille du rayon utilisé pour le MLS. Si la courbe est trop longue, la taille de la sphère englobante de l'objet est prise en compte. Cela permet d'adapter le taux de régularisation afin de ne pas voir disparaître des courbes courtes ou de ne pas assez régulariser celles plus longues. Par défaut, le rayon est fixé à la valeur minimale entre 5% de la longueur de la courbe et 5% du rayon de la sphère englobante. Ce paramètre est modifiable par l'utilisateur.

Pour un point $p$ d'une ligne, on calcule la moyenne des positions des points $p_i$ de la courbe situés à une distance inférieure au rayon $r$ déterminé plus haut, pondérée par un noyau quartique à support compact [Wen95] :

$$p\prime = \frac{1}{w_{tot}} \sum_i \left(1 - \frac{d_i}{r}\right)^4 \left(4\frac{d_i}{r} + 1\right) p_i \qquad (1)$$

où $d_i = \|p - p_i\|_2$ et $w_{tot}$ est la somme des poids :

$$w_{tot} = \sum_i \left(1 - \frac{d_i}{r}\right)^4 \left(4\frac{d_i}{r} + 1\right) \qquad (2)$$

Le plan qui passe au mieux par tous les points $p_i$, au sens des moindres carrés, est déterminé et le point $p\prime$ est projeté sur ce plan, puis sur la surface de l'objet. La position obtenue devient la nouvelle position du point de la courbe.

La régularisation peut être itérée plusieurs fois, jusqu'à obtenir le résultat souhaité, cette projection MLS convergeant en un point stationnaire [AK04]. Le résultat de la régularisation de lignes caractéristiques après une ou

© REFIG 2011.

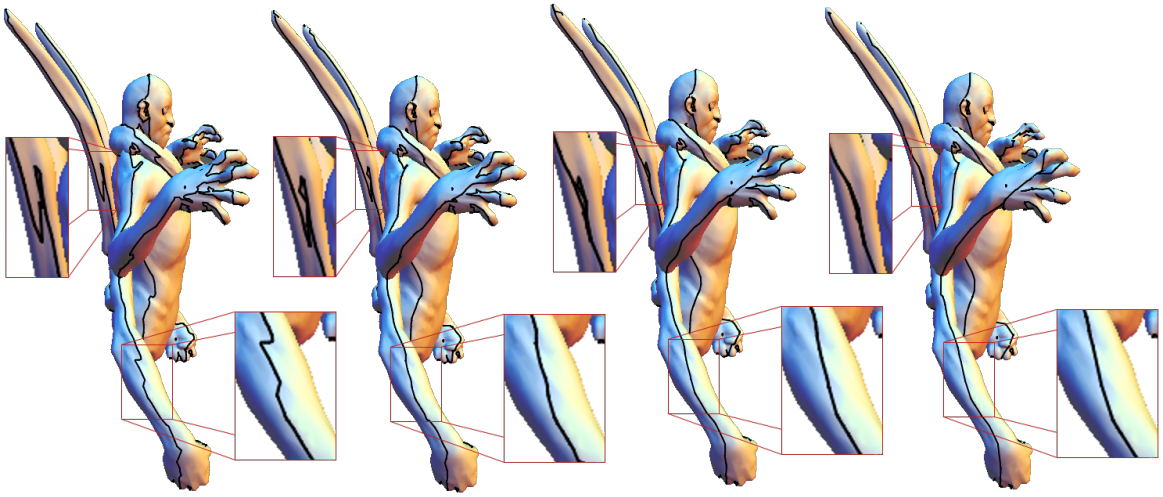


**Figure 3:** *Régularisation des contours occultants : avant régularisation et après 1, 2 et 4 passes de régularisation.*

plusieurs passes de régularisation peut être vu sur les figures 3 et 4.

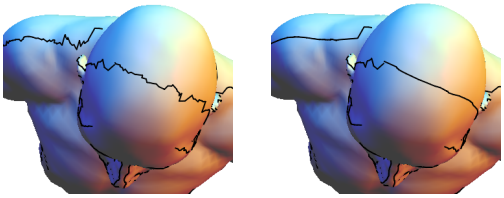


**Figure 4:** *Arêtes apparentes sur le modèle "Man" : avant et après régularisation des lignes.*

### 2.2. Reconstruction des lignes

Les points composant chaque courbe ayant étés ordonnés, seuls les points situés aux extrêmités des lignes sont inspectés. Si une ligne du même type a elle même une extrêmité dans le 1-voisinage du point considéré, les deux lignes sont fusionnées et leurs points réordonnés. Cela permet de limiter grandement le nombre de lignes et ainsi de sélectionner de plus grandes régions lors de la déformation.

## 3. Sélection des zones d'édition

La méthode de déformation du maillage utilisée est celle décrite dans [LSLCO05]. Les sommets du maillage sont marqués comme faisant partie soit de la poignée, soit de la zone de déformation ou de la zone fixe. Ceux qui appartiennent à la poignée seront déplacés (par translation, rotation ou mise à l'échelle) en fonction du mouvement imprimé par l'utilisateur sur le manipulateur. Les sommets de la zone fixe voient leur position inchangée. Enfin, la position des sommets de la zone déformable est calculée en fonction des positions des sommets de la poignée et de la zone fixe ainsi que de leur coordonnées locales au début de la déformation.

La sélection et l'édition d'une partie du maillage est intuitive. Lorsque l'utilisateur clique sur une ligne, tout ou partie de cette ligne est sélectionnée comme étant la poignée de déformation. La région du maillage autour de cette poignée est quand à elle définie comme la zone déformable, par diffusion depuis les sommets de la poignée. Le reste des sommets du maillage est fixe. Il est ensuite possible d'agrandir ou de diminuer la taille de la poignée et de la zone déformable, indépendamment. Une fois la poignée et la zone déformable déterminées, l'utilisateur peut éditer son modèle grâce au manipulateur.

### 3.1. Poignée de déformation

Le concepteur sélectionne un point de la courbe qu'il souhaite utiliser comme poignée de déformation. A partir de ce point de départ, on détermine les sommets du maillage se trouvant dans un rayon autour de ce point. Ils sont marqués comme faisant partie de la poignée.

La sélection des sommets de la poignée de déformation s'effectue en avançant le long de la courbe des deux côtés du point sélectionné au départ. En partant du point de départ, on avance le long de la courbe jusqu'à avoir atteint une certaine distance (par défaut 20% du rayon de la sphère englobante de l'objet) ou une extrêmité de la courbe. Cette distance est approximée en prenant la longueur de chaque segment entre deux points de la courbe. Pour chaque point de la courbe suffisamment proche du point de départ, les sommets du maillage qui se trouvent dans un rayon autour sont définis

© REFIG 2011.

comme poignée de déformation. Un kD-tree est utilisé pour accélerer la recherche des plus proches sommets voisins.

Il peut arriver, surtout après régularisation de la courbe, que deux points successifs de la ligne soient trop éloignés l'un de l'autre. Dans ce cas, les sommets de la poignée pour chacun des points ne sont pas adjacents, ce qui provoque un "trou" dans la poignée de déformation. On vérifie alors pour chaque nouveau point de la courbe que ses sommets proches sont bien adajcents à d'autres sommets appartenant à la poignée. Si ce n'est pas le cas, on recherche alors le plus court chemin le long des arêtes du maillage vers les sommets de la poignée définis pour le point précédent. Les sommets se trouvant sur ce chemin sont ajoutés à la poignée. On assure ainsi la continuité de la poignée le long de la ligne caractéristique sélectionnée par l'utilisateur.

### 3.2. Zone déformable

La sélection des sommets de la zone déformable s'effectue par diffusion géodésique à partir de la courbe afin de respecter la topologie du maillage, et en particulier de ne pas déformer des régions du maillage qui seraient proches de la ligne selectionnée mais qui ne seraient pas représentées par elle. On détermine pour cela une approximation de la distance géodésique $D^*$ des sommets du maillage aux sommets de la poignée de déformation. Cette approximation est nécessaire car la sélection doit pouvoir se faire de façon intéractive et le calcul d'une distance géodésique plus exacte serait trop coûteux. Une valeur pour l'attribut $D^*$ est affectée à chaque sommet.

En partant d'un sommet nouvellement ajouté à la poignée, on inspecte les sommets appartenant à son 1-voisinage. Si leur valeur $D^*(i)$ est supérieure à la longueur de l'arête les reliant au sommet de la poignée, mais toutefois inférieure au seuil prédéfini, son attribut $D^*(i)$ est mis à jour avec la longueur de l'arête et il est ajouté à la zone déformable.

Les sommets appartenant au 1-voisinage et ayant été ajoutés à la zone déformable sont ensuite triés selon leur valeur de $D^*(i)$ croissante. Ceci permet d'augmenter les chances que la distance la plus courte des sommets de la poignée au sommet inspecté soit trouvée en premier. Pour chacun d'eux, qu'on appellera désormais sommet d'origine, on inspecte son 1-voisinage. Les sommets inspectés qui vérifient :

$$D^*(i) > D^*(j) + \|p_i - p_j\|_2 \tag{3}$$

$$D^*(j) + \|p_i - p_j\|_2 < D_{deform} \tag{4}$$

sont ajoutés à la zone déformable, leur attribut $D^*$ est mis à jour avec la nouvelle valeur et leur 1-voisinage est ensuite inspecté. $D^*(i)$ est la valeur de la distance géodésique approximée pour le sommet d'indice $i$, le sommet d'indice $j$ représentant le sommet d'origine. $D_{deform}$ est la valeur maximale de $D^*$ pour la zone déformable. Ce processus est réitéré tant que l'on trouve des sommets vérifiant les conditions 3 et 4.

## 4. Contrôle de l'échelle et édition

Une fois les sommets de la poignée et de la zone déformable déterminés, l'utilisateur peut effectuer quelques ajustements sur ceux-ci. Il peut augmenter ou diminuer la taille de la poignée et celle de la zone déformable.

L'augmentation ou la diminution de la taille de la poignée entraîne une augmentation ou une diminution de la région déformable par l'effet de diffusion décrit plus haut.

La figure 5 présente un exemple de modification de la taille de la poignée et de la zone déformable.

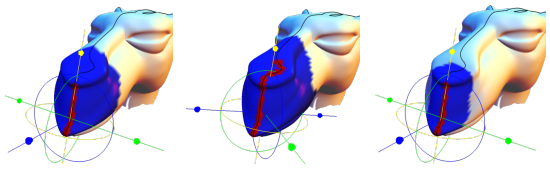


**Figure 5:** *Contrôle de l'échelle : sélection par défaut, augmentation de la taille de la poignée et diminution de la région de déformation. Les sommets de la poignée sont affichés en rouge sur le maillage et ceux déformables en bleu.*

Une fois les lignes régularisées, si besoin, les sommets du maillage sélectionnés pour l'édition, l'utilisateur peut éditer très simplement son modèle en utilisant le manipulateur. Le calcul de la nouvelle position des sommets se fait de manière interactive, en fonction des déplacements imprimés au manipulateur.

Les déplacements possibles sont la translation, la rotation et la mise à l'échelle, et cela sur les trois axes d'un repère orthogonal. L'orientation du repère est déterminée par l'analyse en composante principale (PCA) sur la position des sommets de la zone déformable, comme cela peut être constaté sur le figure 5. Un exemple simple d'édition est illustré à la figure 6.

Par défaut, tous les sommets de la poignée subissent le même déplacement. Il est cependant possible de diminuer le déplacement proportionnellement à la distance au point de départ le long de la courbe. En fonction de l'effet recherché, l'une ou l'autre méthode est mieux adaptée. On peut constater sur la figure 7 que le déplacement des sommets de la poignée pondéré par des poids peut être intéressant sur des lignes courbes.

## 5. Implémentation et Résultats

Nous utilisons le code RTSC [Pri] pour calculer les points de passage des différentes lignes sur le maillage et la bibliothèque OpenMesh [Aac] pour la structure du maillage et ses

© REFIG 2011.

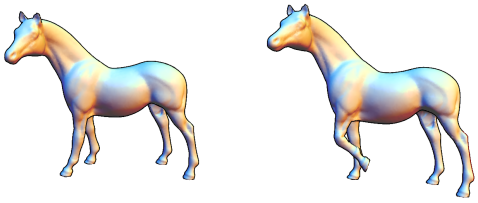


**Figure 6:** *Edition du modèle "horse" à partir des contours occultants.*

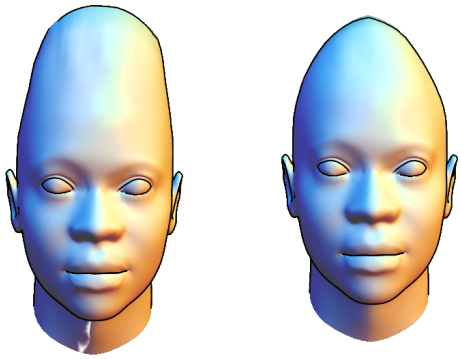


**Figure 7:** *Edition du modèle "Jane" : à gauche les sommets de la poignée ont tous subi le même déplacement, à droite le déplacement est pondéré par la distance au point central.*

attributs. Nous effectuons la résolution du système LRI avec CholMod [oF]. OpenGL sert à l'affichage.

Notre système fonctionne de manière interactive sur des modèles de plusieurs dizaines de milliers de polygones. Les temps d'execution sont présentés dans le tableau 1. Ces temps ont été mesurés sur un pc portable équipé de la version 10 d'Ubuntu, d'un processeur Intel Core2 Duo T6500 (2.1GHz) et de 4Go de RAM.

| | Goro | Max Planck | Horse |
|---|---|---|---|
| Nb de Sommets | 15000 | 25000 | 20000 |
| Nb de triangles | 30000 | 50000 | 40000 |
| Régularisation (5%) | 373ms | 280ms | 637ms |
| Régularisation (10%) | 448ms | 323ms | 711ms |
| Régularisation (20%) | 610ms | 401ms | 880ms |
| Sélection | 192ms | 199ms | 384ms |

**Table 1:** *Temps nécessaires à la régularisation et à la sélection des zones de déformation. La taille du rayon de régularisation est de 5, 10 et 20% de la taille de la sphère englobante. Ils ont été mesurés pour une configuration de courbes comprenant 6462 points pour le modèle Goro, 7646 points pour le modèle Max Planck et 7982 points pour le modèle Horse.*

Contrairement à FiberMesh, notre application ne nécessite pas de tracer soi même les lignes dirigeant la déformation du modèle et laisse la possibilité d'ajuster l'importance de la zone d'influence.

Notre système permet de manipuler les lignes existantes, représentant différents types de caractéristiques du modèle 3D et générées automatiquement. Ceci n'est pas possible dans SilSketch, qui se limite aux lignes de silhouette et ne laisse pas l'utilisateur libre de choisir l'importance de la modification.

## 6. Conclusion

Nous avons présenté une méthode pour éditer un modèle 3D se basant sur les lignes caractéristiques pour la sélection des zones déformables. Cette technique permet une exploration simple, rapide et intuitive de l'espace des formes possibles d'un objet. Pour que l'édition se fasse selon les attentes de l'utilisateur, une solution a été apportée à l'irrégularité et à la discontinuité des courbes tracées sur le maillage. Cette solution peut éventuellement être réutilisée dans un autre contexte.

Nous avons choisi ici de proposer certains types de lignes à l'édition. Il est cependant très facile d'ajouter d'autres courbes si elles se révèlent utiles.

Notre approche permet des déformations qu'il serait difficile d'obtenir avec d'autres méthodes d'édition, telles que les FFD par cage [SP86] [LLCO08].

Les résultats obtenus avec l'algorithme de régularisation sont de bonne qualité, il reste cependant des cas extrêmes de discontinuités de courbes pour lesquelles une autre statégie de génération des lignes de contrôle devrait être envisagée.

© REFIG 2011.

**Références**


[Aac] AACHEN R.-W. T. H. : http ://www.openmesh.org/.

[ABCO*01] ALEXA M., BEHR J., COHEN-OR D., FLEISHMAN S., LEVIN D., SILVA C. T. : Point set surfaces. In *Proceedings of the conference on Visualization '01* (2001).

[AK04] AMENTA N., KIL Y. J. : Defining point-set surfaces. *ACM Trans. Graph.* (2004).

[BS08] BOTSCH M., SORKINE O. : On linear variational surface deformation methods. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* (2008).

[DFRS03] DECARLO D., FINKELSTEIN A., RUSINKIEWICZ S., SANTELLA A. : Suggestive contours for conveying shape. *SIGGRAPH* (2003).

[IFP95] INTERRANTE V., FUCHS H., PIZER S. : Enhancing transparent skin surfaces with ridge and valley lines. In *Proceedings of the 6th conference on Visualization '95* (1995).

[JDA07] JUDD T., DURAND F., ADELSON E. H. : Apparent ridges for line drawing. *ACM Trans. Graph.* (2007).

[Lev98] LEVIN D. : The approximation power of moving least-squares. *Mathematics of Computation* (1998).

[LLCO08] LIPMAN Y., LEVIN D., COHEN-OR D. : Green coordinates. *ACM Trans. Graph.* (2008).

[LSLCO05] LIPMAN Y., SORKINE O., LEVIN D., COHEN-OR D. : Linear rotation-invariant coordinates for meshes. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2005* (2005).

[NISA07] NEALEN A., IGARASHI T., SORKINE O., ALEXA M. : Fibermesh : Designing freeform surfaces with 3d curves. *ACM SIGGRAPH 2007* (2007).

[oF] OF FLORIDA U. : http ://www.cise.ufl.edu/research/sparse/cholmod/.

[Pri] PRINCETON : http ://gfx.cs.princeton.edu/proj/sugcon/.

[SE98] SINGH K., EUGENE F. : Wires : a geometric deformation technique. In *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (1998).

[SP86] SEDERBERG T. W., PARRY S. R. : Free-form deformation of solid geometric models. *SIGGRAPH Comput. Graph.* (1986).

[Wen95] WENDLAND H. : Piecewise polynomial, positive definite and compactly supported radial functions of minimal degree. *Adv. Comput. Math.. Vol. 4*, Num. 4 (1995), 389–396.

[ZNA07] ZIMMERMANN J., NEALEN A., ALEXA M. : Silsketch : automated sketch-based editing of surface meshes. In *SBIM '07 : Proceedings of the 4th Eurographics workshop on Sketch-based interfaces and modeling* (2007).

[ZWS11] ZHOU Q., WEINKAUF T., SORKINE O. : Feature-based mesh editing. In *Proc. Eurographics, Short Papers* (2011).


© REFIG 2011.

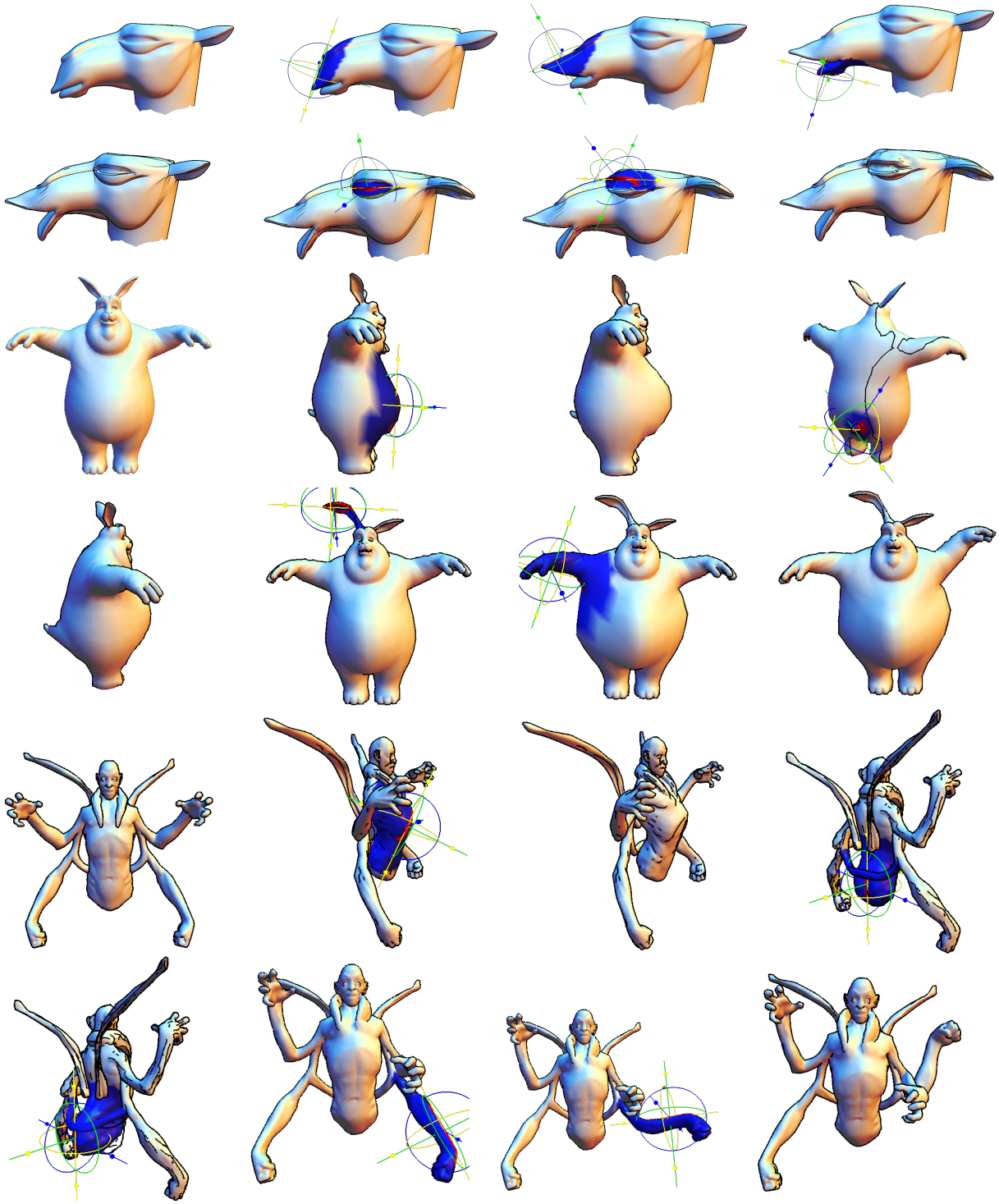


**Figure 8:** *Edition des modèles "Camel Head", "Big Buck Bunny" et "Goro".*

© REFIG 2011.