



Filtrage de surfaces obtenues à partir de structures M-Rep

Mémoire de Master 2

Rémi Flamary
Encadrants : Christophe Odet, Jérôme Velut

18 juillet 2008

INSA de Lyon, Département Génie Electrique
Laboratoire CREATIS-LRMN

Table des matières

I	Introduction	2
1	Contexte	3
2	Problématique	4
II	État de l'art	5
3	Structures M-Rep	6
3.1	Les Atomes	6
3.2	La Figure M-Rep	7
3.3	Le Slab	8
4	Filtrage par splines lissantes	9
4.1	Principe du filtrage B-Spline	9
4.2	Caractérisation du filtre $SB_\lambda(z)$	10
4.2.1	Réponse fréquentielle	10
4.2.2	Liens entre λ et la fréquence de coupure	10
4.3	Filtrage variant en fonction de l'échantillonnage	11
4.4	Filtrage de surface	11
III	Filtrage de surfaces M-Rep	12
5	Obtention de la surface extérieure	13
5.1	La surface M-Rep primale	13
5.2	La surface M-Rep duale	15
6	Filtrage de surface	16
6.1	Application du filtrage	16
6.2	Étude du filtre pour une forte régularisation	16
IV	Validation du filtrage	18
7	Filtrage de surfaces	19
7.1	Comparaison avec le maillage sphérique	19
7.2	Filtrage de bruit	21

8 Filtrage de vecteurs	24
8.1 Filtrage de vecteurs aléatoires	24
8.2 Application à une surface active	25
V Conclusion et perspectives	27
9 Conclusion	28
10 Perspectives	29
10.1 Structure M-Rep	29
10.2 Surface M-Rep	29
Bibliographie	30
Annexes	30

Première partie
Introduction

Chapitre 1

Contexte

L'analyse et l'interprétation d'images médicales nécessitent souvent une étape dite de segmentation pour isoler des organes ou parties d'organe de leur environnement anatomique. Afin d'être robustes et efficaces, les méthodes de segmentation doivent pouvoir intégrer de l'information *a priori* (forme, géométrie ...). Cette information *a priori* est portée par un modèle de l'objet d'intérêt. Les caractéristiques de ce modèle sont fondamentales pour pouvoir incorporer certains types d'*a priori* et conduire ensuite à des algorithmes de segmentation rapides.

Parmi les nombreux modèles géométriques disponibles, la représentation à base de M-Rep est relativement légère et synthétique. Elle permet d'obtenir ensuite un maillage de la surface de l'objet, pour des besoins de visualisation ou dans le cadre de l'algorithme de segmentation lui-même. De plus elle permet d'obtenir une surface maillée par patches rectangulaires qui permettra de faciliter la mise en œuvre des méthodes de régularisation à base de filtrage de type splines lissantes 2D récemment développées au CREATIS-LRMN [Velut 07b].

Chapitre 2

Problématique

Les structures M-Reps sont un bon moyen de description de forme, elles permettent de décrire un organe à partir de peu de coefficients (les paramètres M-Reps) et elles sont faciles à utiliser pour la modélisation d'organe. De plus, sous certaines conditions, ces structures permettent d'obtenir un maillage quadrangulaire.

Or les méthodes de régularisation par splines lissantes développées par [Velut 07b] s'appliquent sur des maillages quadrangulaires contenant des points de valence 4.

On ne peut pas appliquer directement ces méthodes de régularisation sur les surfaces générées à partir de structures M-Reps. En effet, bien qu'elles soient quadrangulaires, elles ne répondent pas à la seconde condition qui est la valence 4 pour chaque point.

La problématique du stage sera donc de trouver une solution pour pouvoir appliquer la régularisation par splines lissantes aux surfaces obtenues à partir de figures M-Reps.

Deuxième partie

État de l'art

Chapitre 3

Structures M-Rep

La structure M-Rep a été développée par [Pizer 03] en 1999 pour segmenter des images médicales. Elle permet de décrire simplement un objet à partir des informations contenues dans le plan médian et ainsi d'en reconstruire la surface extérieure. Elle facilite l'intégration d'*a priori* géométrique lors de la segmentation. En effet, le plan médian définit la forme de la figure et les rayons son épaisseur. L'information de plan médian est contenue dans une liste d'Atomes qui en définissent un échantillonnage.

De plus la figure M-Rep permet d'utiliser des liaisons entre figures. On pourra ainsi créer des sous-figures définissant une excroissance qu'il faudra lier à la figure mère. Ceci permet de définir des objets de forme complexe.

Dans le cadre de ce stage, nous avons choisi d'utiliser différemment la structure M-Rep de Pizer : au lieu de considérer les Atomes et vecteurs, nous considérons la surface obtenue à partir de ces informations de plan médian. La structure M-Rep est donc pour nous plutôt un support d'*a priori* géométrique plutôt qu'un outil de segmentation.

3.1 Les Atomes

La figure M-Rep est définie par un échantillonnage du plan médian : Les Atomes (Figure 3.1). Chaque Atome contient comme information la distance de la surface à sa position, les directions vers cette surface et la normale à la surface (Tableau 3.1) . Il est donc possible de reconstituer la surface extérieure d'une figure M-Rep par interpolation.

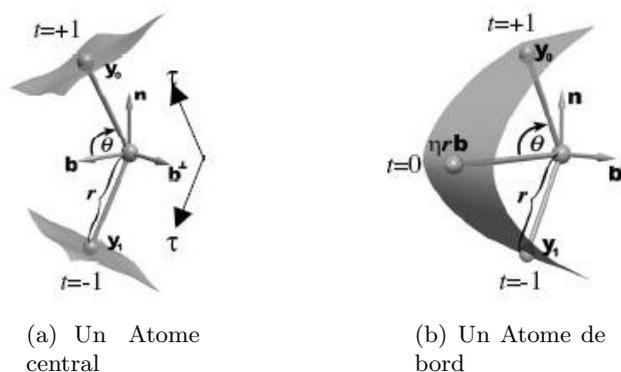


FIG. 3.1 – L'Atome M-Rep (source :[Pizer 03])

Il y a deux types d'Atomes :

Les Atomes centraux : Ils correspondent aux Atomes à l'intérieur de l'échantillonnage du plan. Ils contiennent donc uniquement les informations permettant de retrouver la surface extérieure du dessus et du dessous.

Les Atomes de bord : Ils sont situés sur le bord de l'échantillonnage du plan médian. Ils contiennent, en plus des Atomes centraux, l'information de la distance du bord de la surface extérieure (Paramètre η).

Paramètre	Définition
\vec{x}	Position spatiale de l'Atome.
r	Distance de la surface extérieur à l'Atome.
θ	Angle d'ouverture pour les vecteurs de distance à la surface.
η	Distance du bord à l'Atome (pour les Atomes de bord).
$(\vec{n}, \vec{b}, b^\perp)$	Repère local (défini par des quaternions) .

TAB. 3.1 – Définition d'un Atome M-Rep

Ce modèle a de multiples intérêts et en particulier celui d'être déformable et facilement utilisable pour la segmentation. Mais nous allons l'utiliser principalement pour la génération de surfaces quadrangulaires.

3.2 La Figure M-Rep

La figure M-Rep peut contenir une hiérarchie de figures et des liens entre ces figures. Comme on le voit dans la Figure 3.2 on peut obtenir des formes complexes. Dans la mise en œuvre qui a été faite par Pizer, ces liaisons entre figures ont été gérées par des fonctions implicites, ce qui permet de gérer de manière transparente les changements de topologie.

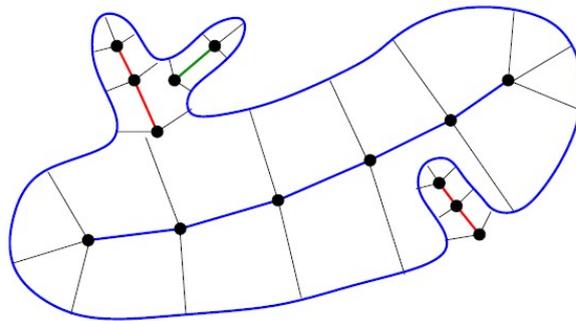


FIG. 3.2 – Une M-Rep multi-figure 2D (source : [Thall 04])

Ces fonctions implicites expriment la distance aux plans médians. Pour obtenir la surface extérieure d'une M-Rep multi-figure on aura juste à additionner les fonctions implicites et on obtiendra une fonction implicite globale définissant la surface. Il est donc ensuite possible de générer le type de maillage voulu (triangulaire ou quadrangulaire).

Cette méthode a l'avantage d'avoir des surfaces lissées lors des contacts entre figures (Figure 3.3). Néanmoins, bien qu'il puisse être quadrangulaire le maillage obtenu à partir

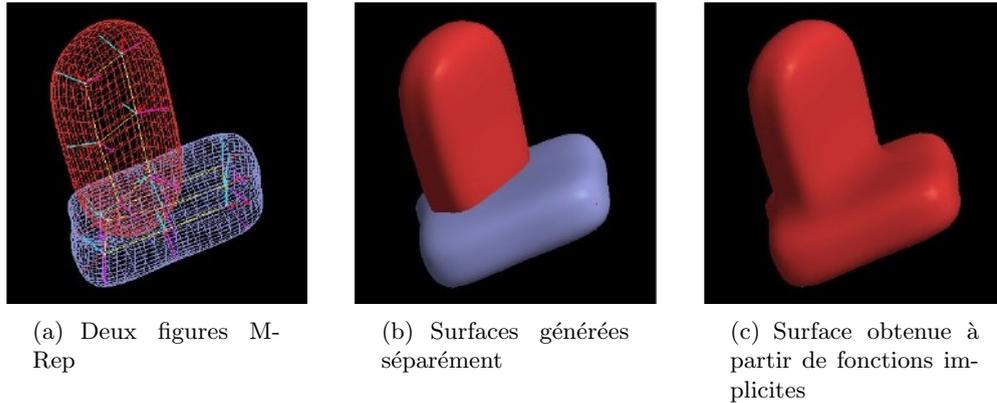


FIG. 3.3 – Un exemple de liaison entre deux figures M-Rep avec les fonctions implicites (source : [Thall 04])

de fonctions implicites ne présente pas de propriétés spécifiques permettant de simplifier le filtrage.

3.3 Le Slab

A partir des Atomes décrits précédemment, on peut générer une surface extérieure à maillage quadrangulaire. Ceci impose d'avoir un échantillonnage quadrangulaire du plan médian. Pizer propose un maillage quadrangulaire : le Slab (voir fig 3.4). C'est une structure M-Rep dont le plan médian est défini par un tableau 2D d'Atomes.

L'intérêt de cette structure M-Rep pour notre application est que l'on peut directement en tirer une surface quadrangulaire. Il suffit en effet de la générer par patch en faisant d'abord la surface du dessus en parcourant les Atomes, puis ensuite la surface du dessous et enfin la surface des bords.

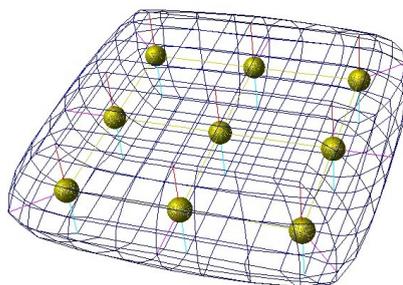


FIG. 3.4 – Un Slab m-rep avec surface extérieure interpolée (3 subdivisions)

On pourra aussi utiliser des algorithmes d'interpolation pour obtenir des patches plus petits. En effet, pour chaque Atome, non seulement on stocke la position dans l'espace de deux points de la surface mais on stocke aussi la normale à cette surface. Il est donc tout indiqué d'utiliser une interpolation pour obtenir la position des points de la surface (Figure 3.4).

Chapitre 4

Filtrage par splines lissantes

Les fonctions splines interpolent un ensemble discret de points par des polynômes, la continuité aux points étant donnée par l'ordre de la spline [Salomon 06]. Lorsqu'une approximation est préférable à une interpolation, les fonctions splines deviennent lissantes et sont mises en œuvre par filtrage [Unser 93]. C'est ce type de filtrage que l'on va implanter sur les surfaces quadrangulaires utilisées comme modèle déformable.

4.1 Principe du filtrage B-Spline

Un signal est une suite de points qui peuvent contenir plusieurs composantes (3 pour un signal dans l'espace). Le signal étant échantillonné, on adopte une approche traitement du signal et on travaille dans l'espace des transformées en z . Le principe du filtrage par spline lissante est d'appliquer au signal la fonction de transfert $SB_\lambda(z)$ (Figure 4.1) qui effectue un filtrage de paramètre λ .

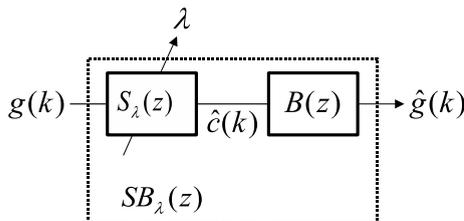


FIG. 4.1 – Principe du filtrage par splines lissantes 1D

Le filtrage B-Spline minimise la fonctionnelle :

$$\varepsilon_s^2 = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (g(k) - \hat{g}(k))^2 + \lambda \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{\partial^2 \hat{g}(s)}{\partial s^2} \right)^2 ds \quad (4.1)$$

Avec $g(k)$ signal à filtrer, $\hat{g}(k)$ signal filtré et $\hat{g}(s)$ fonction continue passant par les points de $\hat{g}(k)$. Cette fonction prend en compte à la fois l'attachement aux données avec le premier terme et une régularisation de part la minimisation du second terme qui mesure la courbure du signal en sortie. Le compromis entre ces deux termes est réglé par λ .

La fonction $SB_\lambda(z)$ est de la forme :

$$SB_\lambda = \frac{z^{-1} + 4 + z}{z^{-1} + 4 + z + 6\lambda(z^{-1} - 4z^{-1} + 6 - 4z + z^2)} \quad (4.2)$$

qui caractérise une fonction de transfert RII¹ symétrique du quatrième ordre.

4.2 Caractérisation du filtre $SB_\lambda(z)$

4.2.1 Réponse fréquentielle

On trace le module de la réponse en fréquence de $SB_\lambda(z)$ (Figure 4.2). L'allure des courbes est semblable à un filtre passe bas. On voit aussi que λ permet de régler la fréquence de coupure. Une forte valeur pour λ imposera en effet une dérivée seconde nulle sur le signal filtré et limitera les variations rapide de signal, donc les hautes fréquences.

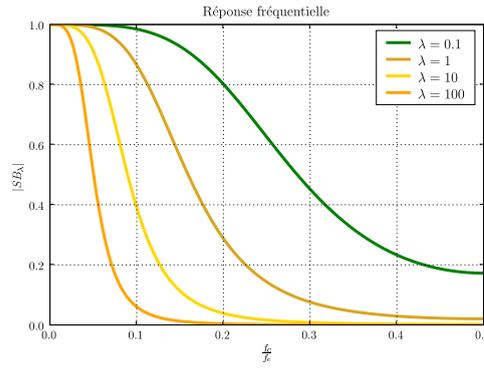


FIG. 4.2 – Module de la réponse fréquentielle de $S_\lambda(z)$ pour différentes valeurs de λ

4.2.2 Liens entre λ et la fréquence de coupure

[Velut 07a] a déterminé les fonctions qui lient λ et la fréquence de coupure.

$$\lambda = r_g\left(\frac{f_c}{f_e}\right) = \frac{(-1 + A) \left(2 + \cos\left(2\pi \frac{f_c}{f_e}\right)\right)}{12 \left(\cos\left(2\pi \frac{f_c}{f_e}\right) - 1\right)^2} \quad (4.3)$$

f_c représente la fréquence de coupure, f_e représente la fréquence d'échantillonnage. On prendra $A = \sqrt{2}$ pour une atténuation de -3dB à la fréquence de coupure.

On peut aussi obtenir $\frac{f_c}{f_e}$ en fonction de λ :

$$\frac{f_c}{f_e} = r_g^{-1}(\lambda) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2\pi} \arccos\left(\frac{A(-24\lambda + 1) - 1 + \sqrt{(1-A)(144A\lambda + (1-A))}}{24A\lambda}\right) \quad (4.4)$$

D'après les travaux de [Velut 07b], le paramètre de régularisation peut varier localement. Une des conséquences est de pouvoir rendre le filtrage indépendant de l'échantillonnage. Dans le cas d'une implantation 2D du filtre, cela permet d'avoir un même effet de filtrage d'une surface en tout point.

¹RII : Réponse Impulsionnelle Infinie

4.3 Filtrage variant en fonction de l'échantillonnage

Dans [Velut 07b], il propose un paramètre Λ global à partir duquel les équations 4.3 et 4.4 permettent d'obtenir les λ locaux. La f_e choisie est alors :

$$\frac{1}{f_e}(k) = \frac{\|g(k) - g(k-1)\|_2 + \|g(k+1) - g(k)\|_2}{2} \quad (4.5)$$

On calcule ensuite le λ correspondant au point k avec l'équation 4.3. On a ainsi pour chaque point un λ qui correspond à une fréquence de coupure spatiale constante.

4.4 Filtrage de surface

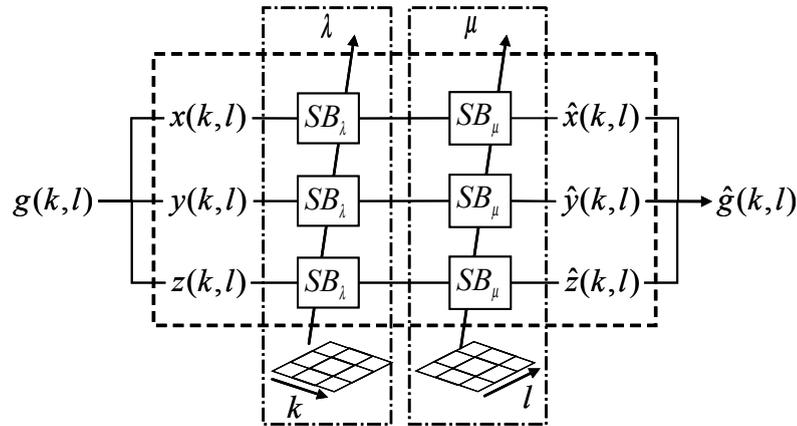


FIG. 4.3 – Filtrage *B-Spline* lissant bidimensionnel.

Pour filtrer une surface, il est indispensable d'utiliser le filtre variant pour prendre en compte la variation d'échantillonnage local. Pour chaque point de la surface, on filtre chaque composante selon deux directions (Figure 4.3). On voit clairement que ceci se fait très facilement sur des plans quadrangulaires mais posera des problèmes pour des surfaces plus complexes.

Pour le filtrage de vecteur lors de la segmentation, on procédera de la même manière que pour le filtrage de surface mais en filtrant les composantes des vecteurs de déplacement à la place des composantes des points sur la surface.

Dans cette partie, nous avons vu comment certaines structures M-Rep permettent de générer des surfaces maillées par patches quadrangulaires. Nous avons aussi défini le filtrage par splines lissantes et son application à des surfaces quadrangulaires grâce au filtre variant. Dans la partie suivante, nous définirons la surface M-Rep et nous présenterons notre solution pour l'application du filtrage par spline lissante à cette surface.

Troisième partie

Filtrage de surfaces M-Rep

Chapitre 5

Obtention de la surface extérieure

Nous voulons filtrer les surfaces générées à partir de structures M-Rep.

Pour cela, nous devons définir la configuration de ces surfaces. Toutes les structure M-Rep présentant un échantillonnage quadrangulaire du plan médian fournissent une surface extérieure quadrangulaire, mais nous nous intéresserons au Slab. La surface extérieure d'une structure M-Rep sera appelée par la suite la surface M-Rep.

Ensuite nous expliqueront la solution apportée pour l'application des filtres. On doit adapter soit la méthode de filtrage, soit la surface pour pouvoir appliquer le filtre.

5.1 La surface M-Rep primale

Chaque Atome permet de retrouver la position d'un point de la surface et la normale à la surface en ce point, ceci pour la surface au dessus du Slab et au dessous du Slab. Les Atomes de bord permettent aussi de retrouver un point et une normale sur la surface des bords. On peut ainsi reconstruire la surface extérieure du Slab par patches (Figure 5.1).

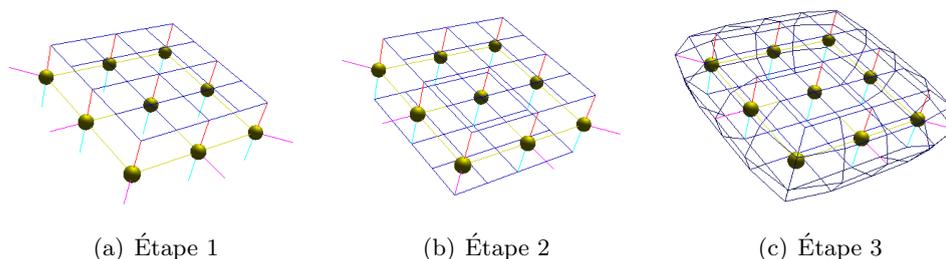


FIG. 5.1 – Génération d'une surface extérieure par patch

On remarque que la surface extérieure aura toujours la même configuration constituées de 6 patches (Figure 5.2) :

- 1 patch pour le dessus du Slab
- 1 patch pour le dessous du Slab
- 4 patches pour les bords

Chaque patch contient uniquement des quadrangles et chaque point à l'intérieur des patches est de valence 4. Néanmoins, les 8 coins des patches sont définis par des points de valence 3 (Figure 5.2). Ce sont ces derniers qui posent un problème lors du filtrage.

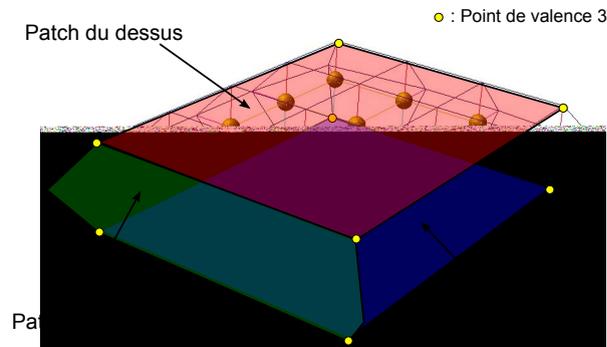


FIG. 5.2 – Vision par patches de la surface extérieure

Il est en effet facile de trouver deux directions de filtrage lorsque l'on a 4 voisins (2 voisins par direction), mais ceci s'avère impossible pour 3 voisins (Figure 5.3).

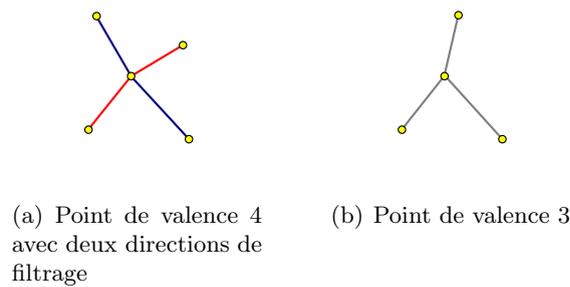


FIG. 5.3 – Filtrage des points

D'après [Velut 07b], pour pouvoir appliquer une régularisation par splines lissantes, il faut avoir une surface quadrangulaire dont chaque point est de valence 4. Il fournit des filtres s'appliquant sur des plans quadrangulaires ainsi qu'une méthode de gestion des pôles pour le filtrage de maillage sphérique.

Mais notre surface quoique homéomorphe à une sphère ne peut pas être filtrée par cette méthode car elle contient 8 pôles et non pas 2.

Cependant, il est possible de régulariser la surface extérieure du Slab en la régularisant par patches. On peut en effet utiliser les bords des patches pour l'initialisation du filtre et effectuer la régularisation pour chaque patch de la surface.

Cette méthode est possible mais elle pose des problèmes dus aux propriétés du filtrage par splines lissantes. Ce filtre est en effet un filtre IIR qui prend du temps de calcul lors de l'initialisation. Le fait de devoir initialiser chaque point des bords des patches diminue donc un de ses avantages : la rapidité d'exécution.

Nous proposons une méthode permettant de s'affranchir des bords des patches, basée sur le maillage duale de la surface M-Rep.

5.2 La surface M-Rep duale

La surface duale, définie dans [Taubin 02], est la surface que l'on obtient en remplaçant chaque face de la surface initiale par un point et chaque point de la surface initiale par une face (Figure 5.4).

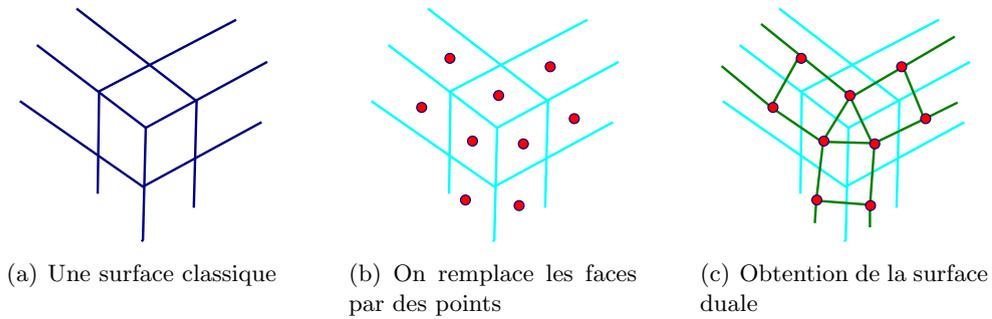


FIG. 5.4 – Principe de la surface duale

Comme la surface de départ est quadrangulaire, on obtient une surface duale dont chaque point est de valence 4. Par ailleurs, on voit que les points particuliers de valence 3 se transforment en triangles. On perd donc lors de cette transformation la propriété de surface à maillage quadrangulaire, mais on gagne la possibilité d'avoir deux directions de filtrage pour chaque point car chaque point possède 4 voisins.

Il y a un autre avantage à l'utilisation de la surface duale pour le filtrage, on obtient pour la surface extérieure d'un Slab une surface qui contient uniquement des signaux échantillonnés fermés. De plus, si on parcourt tous ces signaux à la suite, on passe par chaque point de la surface deux fois et selon deux directions (Figure 5.5).

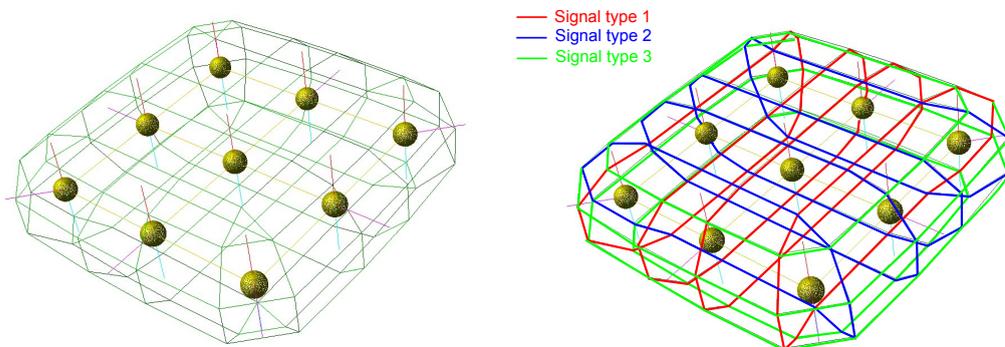


FIG. 5.5 – La surface duale et ses trois types de signaux

Le fait d'avoir uniquement des signaux fermés est très intéressant pour le filtrage de surface par splines lissantes. En effet, ceci permet de revenir à l'application 1D du filtre sur des signaux échantillonnés. De plus, la configuration de la surface héritée d'un Slab permet d'obtenir des méthodes de parcours qui simplifieront l'accès aux signaux et donc l'application du filtre.

Chapitre 6

Filtrage de surface

6.1 Application du filtrage

Le filtrage de la surface extérieure est basé sur l'application d'une régularisation 1D vue en 4 sur les signaux contenus dans la surface. La configuration de la surface duale permet d'assurer que chaque point de la surface est filtré selon deux directions de filtrage.

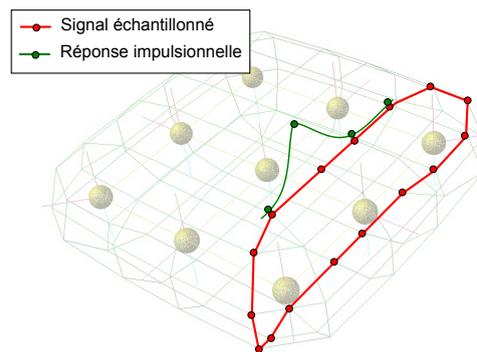


FIG. 6.1 – Application du filtre sur un signal 1D

Cette régularisation correspond à la convolution d'un signal 1D par la réponse impulsionnelle du filtre (Figure 6.1). Cette réponse impulsionnelle est symétrique et de largeur infinie car c'est un filtre IIR.

Mais selon la valeur du paramètre de régularisation λ elle prend en compte un nombre plus ou moins grand de points du voisinage. Nous allons maintenant discuter des effets d'une forte régularisation sur la surface.

6.2 Étude du filtre pour une forte régularisation

[Velut 07b] a observé un effet du filtrage qui est du à la géométrie des signaux filtrés. Dans son cas, pour un maillage sphérique, il obtient pour de fortes régularisations une déformation en forme de citron. Cette déformation est en plus dépendante du sens d'application des filtres.

Nous avons déterminé l'origine de cette déformation. Pour de fortes régularisation, la réponse impulsionnelle est très large et elle englobe tous les points du signal. Le filtrage

d'un point correspond à une moyenne pondérée de tous les points du signal. Il en résulte un déplacement des points vers le centre d'inertie du signal.

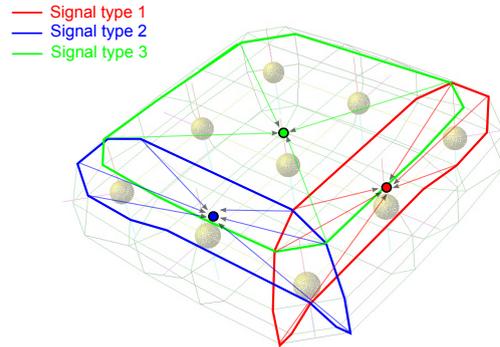


FIG. 6.2 – Signaux et leur centre d'inertie pour les points du triangle

Le fait que les points tendent vers un centre d'inertie entraîne une discontinuité dans le déplacement des points de la surface et donc dans la surface elle-même pour de fortes régularisations.

On voit Figure 6.2 que sur les triangles de la surface M-Rep duale, les centres d'inertie vers lesquels tendent les points sont différents. Chaque point du triangle aura donc lors du filtrage, un déplacement incohérent avec celui de ses voisins. Ce qui entraîne une discontinuité dans la surface.

Cette discontinuité apparaît différemment selon l'ordre d'application des filtres. Les deux points du triangle qui seront filtrés en dernier vont se déplacer vers le centre d'inertie du signal et le troisième restera inchangé.

Cette discontinuité se traduit par l'ajout de hautes fréquences aux signaux de la surface. On a ainsi déterminé qu'elle était fortement atténuée par l'application d'un nouveau filtrage de λ plus faible. Une méthode pour limiter l'impact de cette discontinuité est donc de régulariser une seconde fois après application de la forte régularisation.

Nous avons présenté la solution apportée pour effectuer le filtrage d'une surface M-Rep : la surface duale.

Nous avons vu que cette solution permet de décrire la surface par des signaux 1D échantillonnés, ce qui est un avantage pour l'application du filtrage. Mais il y a des limites à cette méthode. Pour de fortes régularisations, on a une discontinuité qui apparaît à cause de la géométrie des signaux 1D.

Dans la partie suivante, nous allons valider cette méthode de filtrage et quantifier ses limites.

Quatrième partie

Validation du filtrage

Chapitre 7

Filtrage de surfaces

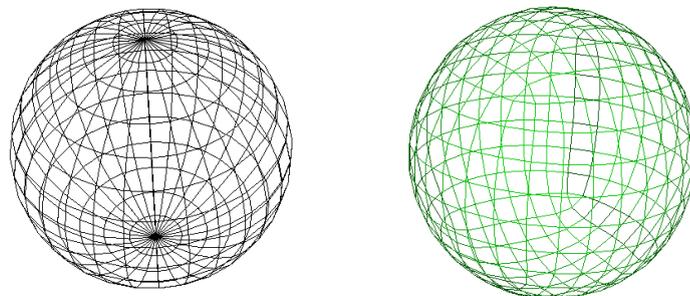
Nous avons fourni une méthode de filtrage pour des surfaces M-Rep. Nous utilisons pour cela la surface M-Rep duale et nous appliquons les filtres de régularisation par splines lissantes de [Velut 07b].

Pour tester notre filtrage nous allons tout d'abord comparer les deux méthodes de filtrage : le filtrage de maillage sphérique proposé par [Velut 07b] et le filtrage de surface M-Rep. Puis nous étudierons l'efficacité du filtre pour s'affranchir d'un bruit additif.

7.1 Comparaison avec le maillage sphérique

Une des limitation du filtre de régularisation par spline lissante est la déformation géométrique qui apparaît pour de fortes régularisations. [Velut 07b] a montré que dans le cas d'un maillage sphérique, on obtient une déformation en forme de citron (Figure 7.2).

Notre méthode d'application de filtre aussi est limitée par la déformation géométrique. Nous allons donc la comparer à celle de [Velut 07b] pour voir l'impact des discontinuités sur le filtrage.



(a) Maillage sphérique

(b) Maillage M-Rep dual

FIG. 7.1 – Maillages utilisés pour la comparaison du filtrage

La comparaison se fera entre deux surfaces de maillage différent (Figure 7.1) :

Un maillage sphérique Ce maillage est constitué par des méridiens et des parallèle et on lui applique la régularisation de [Velut 07b]

Un maillage M-Rep dual Ce maillage est constitué par des signaux fermés 1D, on lui applique notre méthode de régularisation

Pour limiter au maximum l'impacte de la géométrie du maillage, on effectuera les mesures sur un maillage de forme sphérique. On utilise pour la régularisation le filtrage adaptatif de paramètre Λ , car l'échantillonnage des surfaces n'est pas régulier. On mesure pour chaque méthode de filtrage la distance moyenne entre la surface initiale et la surface filtrée pour différentes valeurs de Λ .

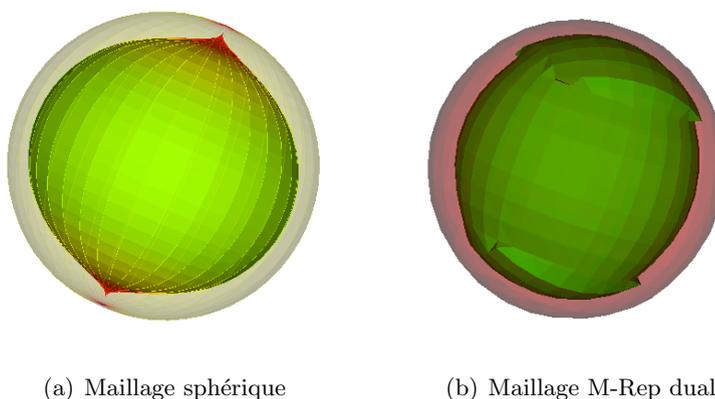


FIG. 7.2 – Déformations lors de forte régularisation

On utilise MESH [Aspert 02] pour la mesure de distance entre surfaces. Cette bibliothèque permet de comparer deux maillages en utilisant la distance de Hausdorff. Elle permet de déterminer la distance moyenne relative entre 2 surfaces ainsi que la distance maximum relative entre ces surfaces. Nous utiliserons des distances relatives, c'est-à-dire divisées par la diagonale du parallélépipède englobant, car ces distances sont indépendantes de la taille de la surface.

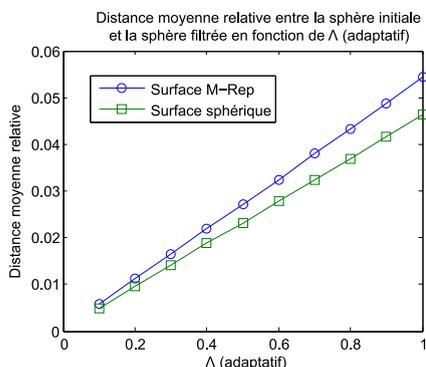


FIG. 7.3 – Distance moyenne entre la surface initiale et la surface filtrée

On se concentre sur l'intervalle de Λ où les discontinuités apparaissent (entre 0.1 et 1) et on visualise la distance moyenne entre la surface initiale et la surface filtrée (Figure 7.3). On remarque que lors de l'apparition des discontinuités, à partir de $\Lambda = 0.5$, les deux surfaces suivent la même loi. On peut donc en conclure que ces discontinuités n'ont aucun

impact sur la régularisation globale.

7.2 Filtrage de bruit

Nous avons vu que pour de fortes régularisations, on a une discontinuité qui apparaît (Figure 7.2). Nous avons vu que notre méthode de filtrage appliquait la même régularisation globale que la régularisation de [Velut 07b]. Nous allons maintenant mesurer sa capacité à régulariser une surface bruitée.

Nous ajoutons à la surface un bruit uniforme, et nous visualisons la surface filtrée. On obtient bien une surface lissée où l'on a atténué l'effet du bruit. C'est ce que nous avons fait Figure 7.4 et l'on voit que pour un bruit appliqué assez important par rapport à l'échantillonnage, on arrive à régulariser correctement la surface.

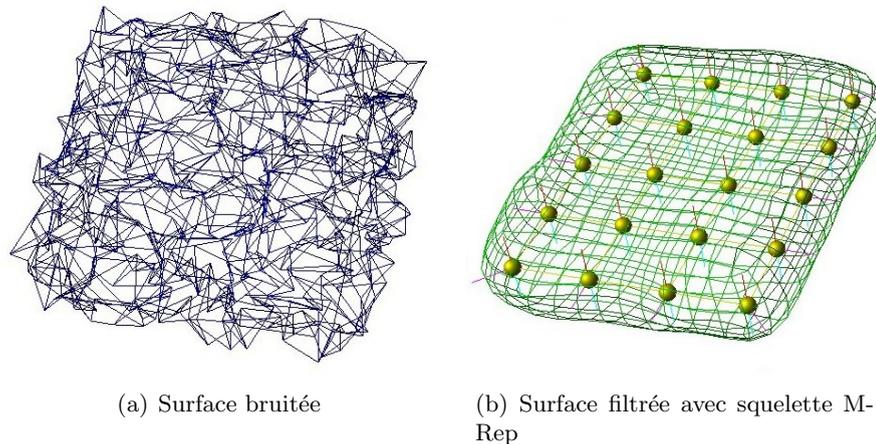


FIG. 7.4 – Régularisation de surface : Échantillonnage ≈ 0.25 ; Bruit uniforme $A=.5$; $\lambda=1$

Pour quantifier la capacité de ce filtrage à s'affranchir du bruit, nous mesurons la distance entre la surface initiale et la surface bruitée puis filtrée pour voir la capacité du filtre à reconstruire une surface bruitée.

On utilise un Slab de taille $4*5$ pour le test du filtre. On effectue 4 subdivisions lors de la génération de surface, puis on ajoute à chaque point de la surface un bruit uniforme d'amplitude maximum égale à l'échantillonnage moyen (≈ 0.25).

On effectuera donc les comparaisons entre la surface initiale et la surface bruitée puis régularisée pour différentes valeurs de λ . Nous avons visualisé la valeur de distance relative moyenne et maximum Figure 7.5 en fonction de λ .

Nous remarquons que la distance moyenne a un minimum pour une certaine valeur de λ . Cette valeur correspond à la régularisation optimale pour retrouver la surface initiale.

Nous partons d'une distance pour une régularisation nulle qui est la distance imposée par le bruit. Cette distance diminue lorsque l'on augmente λ puisque l'on coupe ainsi plus de bruit qui est situé en haute fréquence. Mais pour $\lambda > 1$, la régularisation est trop forte et on a un effet de rétrécissement de la surface (la surface tend vers son centre d'inertie).

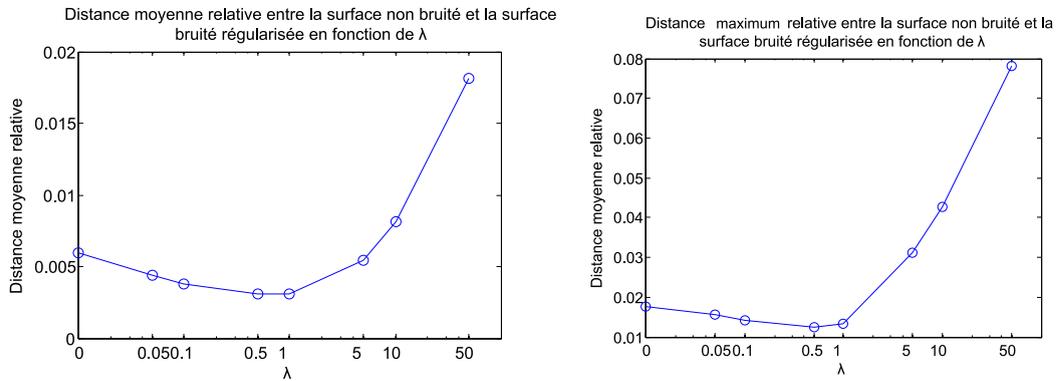
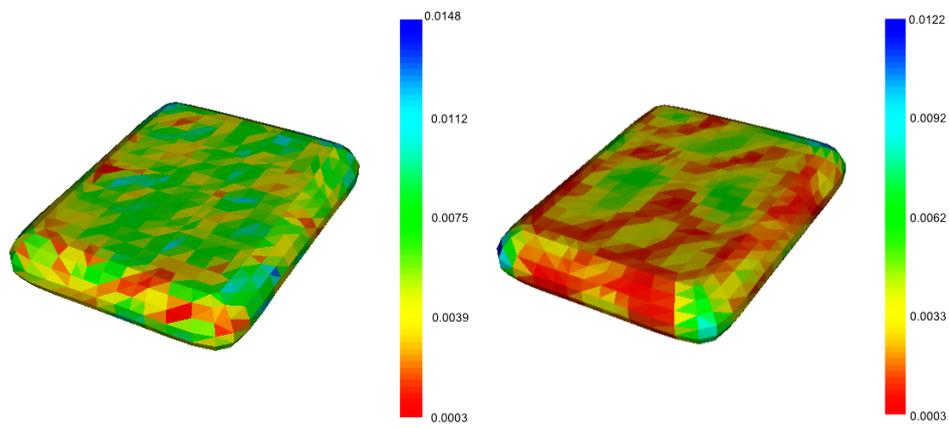


FIG. 7.5 – Évolution des distances entre les surface selon λ

La surface filtrée se déforme et tend vers un ellipsoïde, on observe ainsi une grosse distance entre les deux surfaces.

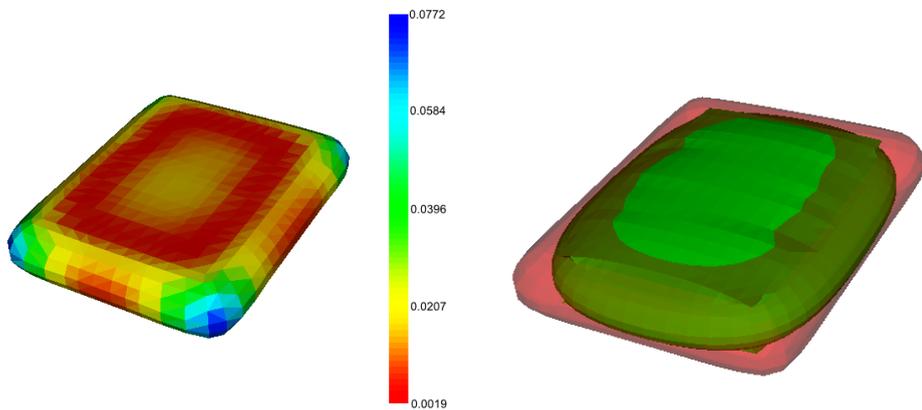
Figure 7.6, nous pouvons voir les distance entre les surfaces pour différentes régularisations. Pour $\lambda=1$, la surface régularisée est très proche de la surface initiale, alors que pour de fortes régularisations, comme $\lambda=50$, les coins du Slab sont très éloignés. Ceci est du à la déformation ellipsoïdale se la surface qui perd ainsi sa forme, ce qui impliquera une grande distance sur les bords du Slab entre les deux surfaces.

Figure 7.6(d) nous voyons la discontinuité dont on a discuté section 6.2. Mais cette discontinuité apparaît à partir de $\lambda=10$. Or la Figure 7.5 nous montre qu'à cette valeur de λ , la distance moyenne à la surface initiale est plus importante que si on n'avait pas appliqué de filtre. On peut donc en conclure que la limitation de λ n'est pas un problème pour la régularisation de surface bruitée.



(a) Distances pour la surface bruitée non régularisée

(b) Distances pour la régularisation $\lambda=1$



(c) Distances pour la régularisation $\lambda=50$

(d) Surface d'origine (rouge) et surface régularisée avec $\lambda=50$ (verte)

FIG. 7.6 – Visualisation des distances entre surfaces pour différentes valeurs de λ

Chapitre 8

Filtrage de vecteurs

Pour que régularisation soit utilisée dans l'algorithme de segmentation par surface active MoDeReS de [Velut 07b], nous devons régulariser non pas une surface mais des vecteurs attachés à cette surface. Le filtrage de vecteurs se fait en utilisant la même méthode de parcours de surface par des signaux 1D mais en filtrant cette fois ci les composantes des vecteurs.

8.1 Filtrage de vecteurs aléatoires

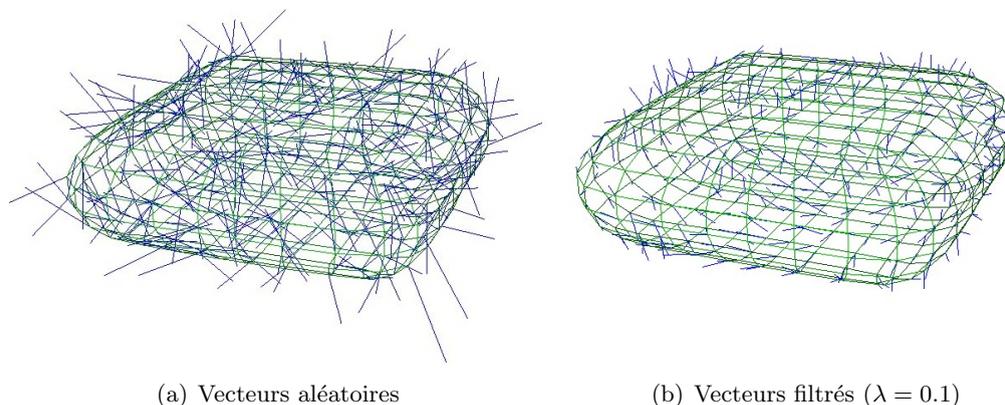


FIG. 8.1 – Filtrage de vecteurs

Des vecteurs aléatoires de loi uniforme sont générés pour chaque point de la surface. On peut voir Figure 8.1 les vecteurs aléatoires ainsi que le résultat du filtrage. On voit deux choses sur ces images. Tout d'abord, on a une uniformisation des directions des vecteurs, mais on voit aussi que l'on a aussi une uniformisation des amplitudes qui tendront vers le vecteur de déplacement moyen pour de fortes régularisations. Ce qui correspond à une translation de toute la surface si les vecteurs sont des déplacements.

On remarque que lors de la régularisation de vecteurs de bruit uniforme, l'amplitude des vecteurs varie, on voit mieux cette évolution si on visualise uniquement la direction des vecteurs et qu'on les colorie en fonction de leur amplitude (Figure 8.2).

On voit clairement l'uniformisation de direction et d'amplitude qui apparaissent lorsque

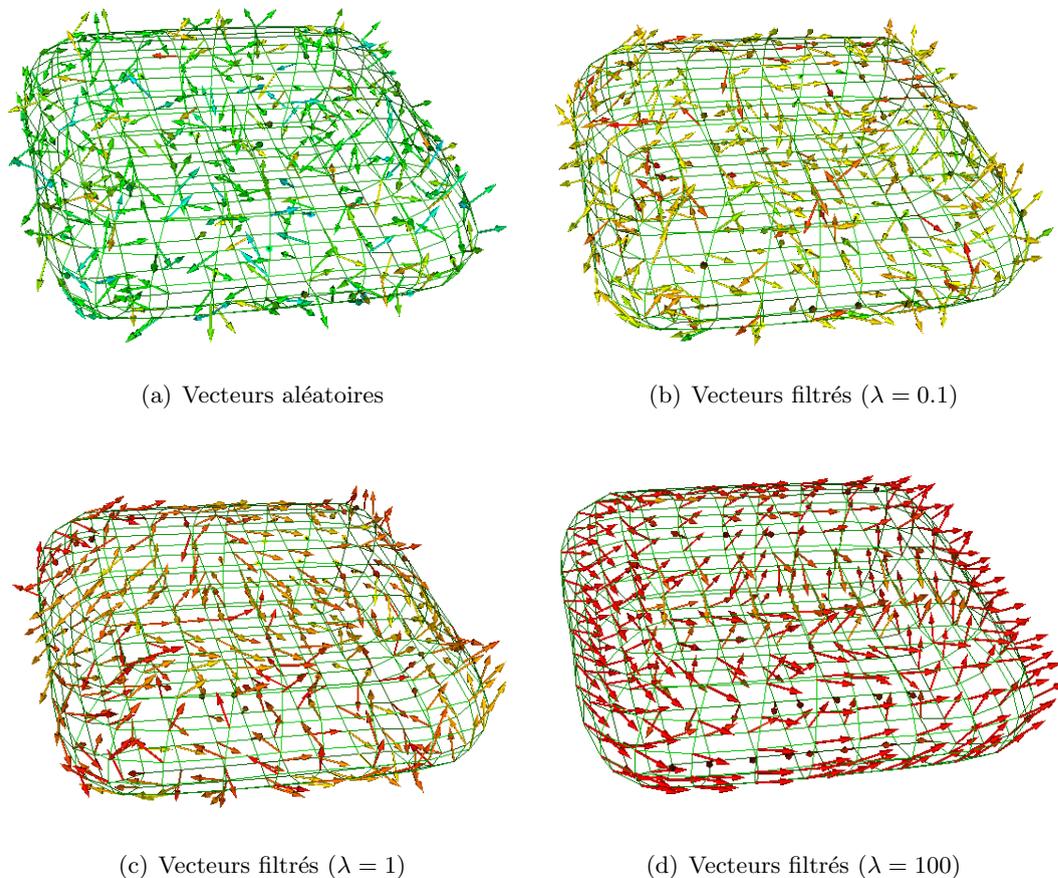


FIG. 8.2 – Visualisation du filtrage des vecteurs avec couleur

l'on augmente λ . Les vecteurs tendent en effet pour une forte régularisation vers un vecteur constant (couleur rouge). On voit donc en 8.2(e) que tous les vecteurs sont rouges et ont une direction uniformisée. Le rouge correspond dans cette visualisation à une faible amplitude, les vecteurs tendent vers un vecteur de faible amplitude puisque le bruit appliqué a une espérance nulle.

8.2 Application à une surface active

Nous avons vu que le filtre de régularisation de vecteurs fonctionne correctement. Nous allons donc tester cette régularisation en fonctionnement en l'intégrant à l'algorithme MoDeRes. Ce test n'est qu'une vérification puisque l'on utilise un algorithme validé au préalable par [Velut 07b] que l'on initialise avec une surface M-Rep contenant un *a priori* de forme et dont on a uniquement adapté le filtrage des vecteurs.

Pour le test, nous avons utilisé des images IRM de petit animal et on a essayé de segmenter un rein de souris.

Nous avons modélisé une structure M-Rep contenant l'*a priori* de forme pour la surface initiale. On a ainsi créé un Slab ayant la forme approximative d'un rein de souris (Figure 8.3).

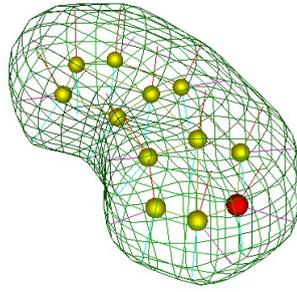


FIG. 8.3 – *a priori* de forme pour la surface initiale (rein de petit animal)

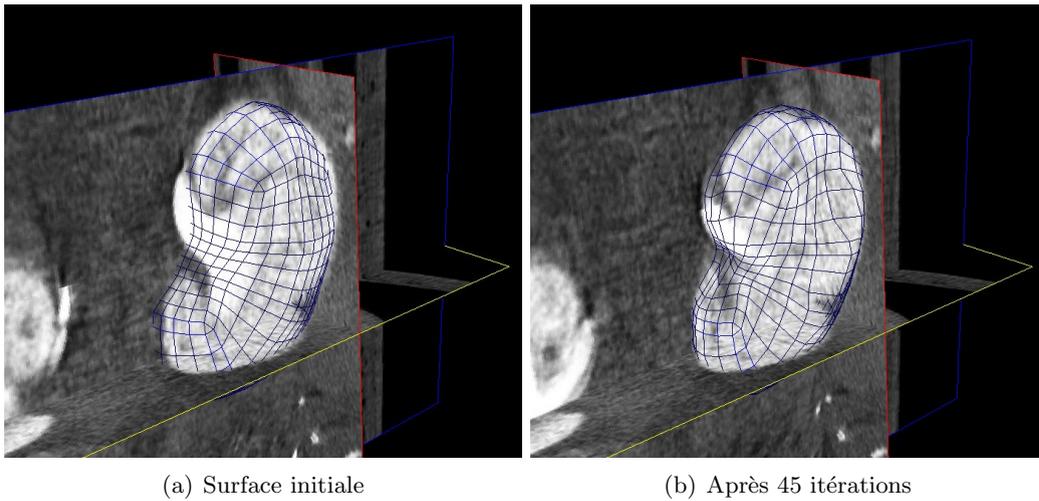


FIG. 8.4 – Évolution de la surface active pour la segmentation d'un rein de souris ($\lambda = 10$, $kdisp = 2$)

Ensuite nous avons implanté l'algorithme MoDeReS, développé par [Velut 07b], pour segmenter un rein de petit animal. λ permet de régler la régularisation des vecteurs de déplacement et $kdisp$ règle la vitesse de convergence. On peut voir Figure 8.4 le résultat de segmentation pour $\lambda = 10$ et pour $kdisp = 2$ après 45 itérations.

Cinquième partie

Conclusion et perspectives

Chapitre 9

Conclusion

La représentation de volumes par de M-Reps est légère et synthétique. De plus, ces structures permettent d'obtenir une surface extérieure quadrangulaire. La problématique du stage était d'appliquer les filtres de régularisation proposés par [Velut 07b] à ces surfaces M-Rep.

Nous avons proposé une méthode qui permet l'application des filtres de régularisation : le passage à la surface duale. Ceci permet de décrire la surface M-Rep par des signaux fermés qui seront ainsi filtrés par un filtrage 1D. Cette méthode, tout comme celle de [Velut 07b], connaît une limite. Il y a une déformation géométrique qui apparaît pour de fortes régularisations.

Nous avons quantifié cette limite qui ne sera pas un problème pour la régularisation de surface. Les discontinuités apparaissent en effet dans une zone où il n'y a plus régularisation mais rétrécissement de la surface.

Nous avons aussi vérifié le fonctionnement des filtres de régularisation lors d'une segmentation en utilisant l'algorithme de segmentation MoDeRes.

Chapitre 10

Perspectives

10.1 Structure M-Rep

La structure M-Rep a déjà été utilisée pour la segmentation , mais on peut se demander s'il ne serait pas intéressant de l'enrichir pour améliorer ses performances.

Par exemple si on l'utilise comme a priori géométrique, on peut utiliser comme a priori un modèle anatomique qui représentera la forme moyenne de l'organe dans la population. On peut aussi stocker en plus des valeurs moyennes les écarts types des paramètres M-Rep pour diminuer la zone de recherche.

Une autre méthode d'enrichissement des structure M-Rep pourrait être de stocker en plus des informations de description de volume des informations de texture. Certains organes contiennent en effet une texture pouvant fausser la segmentation ou la déranger.

10.2 Surface M-Rep

Nous avons vu que l'on peut utiliser les surfaces M-Rep comme des surface actives. Le fait de dériver de M-Rep simplifie la modélisation d'organe a priori. On a ainsi une surface active qui contient un a priori de forme dès l'initialisation.

Mais pour utiliser la structure M-Rep comme a priori de forme pendant la segmentation, il faudrait trouver un moyen de la coupler à la surface active. Ceci reste à faire car retrouver la structure M-Rep correspondant à une surface n'est pas trivial.

Bibliographie

- [Aspert 02] N. Aspert, D. Santa-Cruz & T. Ebrahimi. *MESH : Measuring Errors between Surfaces using the Hausdorff Distance*. In Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo, volume I, pages 705 – 708, 2002.
- [Pizer 03] Stephen M. Pizer, Andrew Thall & Sarang Joshi. *Deformable M-Reps for 3D Medical Image Segmentation*. International Journal of Computer Vision, vol. 55, pages 85–106, 2003.
- [Salomon 06] David Salomon. *Curves and surfaces for computer graphics*. Springer, 2006.
- [Taubin 02] Gabriel Taubin. *Dual mesh resampling*. Graphical Models, vol. 64, no. 2, pages 94–113, 2002.
- [Thall 04] Andrew Thall. *Deformable Solid Modeling via Medial Sampling and Displacement Subdivision*. PhD thesis, University of North Carolina, 2004.
- [Unser 93] Michael Unser, Akram Aldroubi & Eden Murray. *B-Spline Signal Processing : Part I-Theory*. IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, vol. 41, No 2, pages 821–833, 1993.
- [Velut 07a] Jérôme Velut, Hugues Benoit-Cattin & Christophe Odet. *Locally Regularized Smoothing B-Snake*. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 2007, pages Article ID 76241, 12 pages, 2007.
- [Velut 07b] Jérôme Velut. *Segmentation par modèle déformable surfacique localement régularisé par spline lissante*. PhD thesis, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2007.