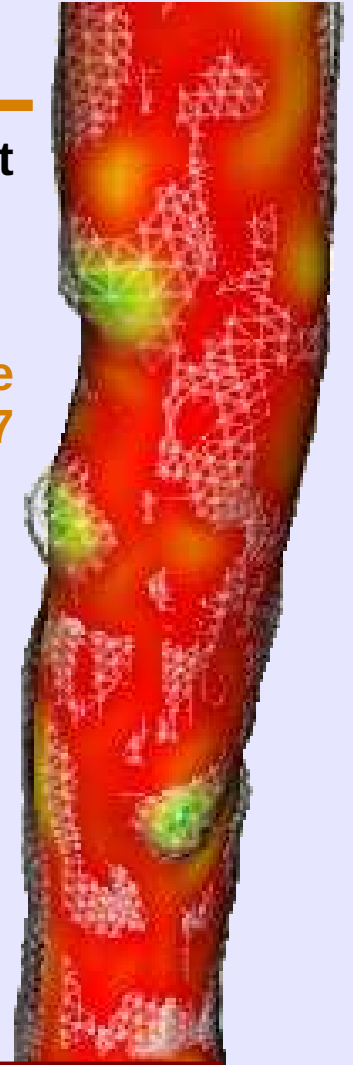


Segmentation par Modèle Déformable Surfacique Localement Régularisé par Spline Lissante

Jérôme Velut

Thèse de doctorat soutenue le
10 décembre 2007

Directeurs de thèse Christophe Odet, Hugues Benoit-Cattin



Plan de la présentation

1. Introduction

Contexte & objectif

2. État de l'art

Modèles déformables

Régularisation par spline lissante

3. *MoDeReS-2D*

Méthode et résultats

4. *MoDeReS-3D*

Méthode et résultats

CONTRIBUTIONS

5. Conclusion

Bilan & perspectives

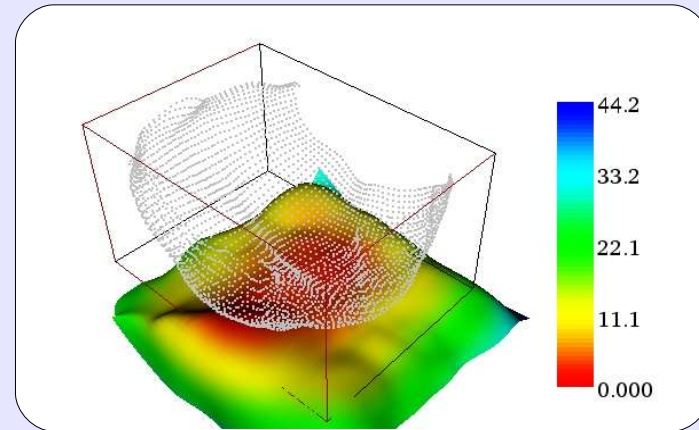
1. Introduction

1.1. Contexte

1.2. Objectif

IMAGERIE DU
VIVANT

Imagerie **quantitative**

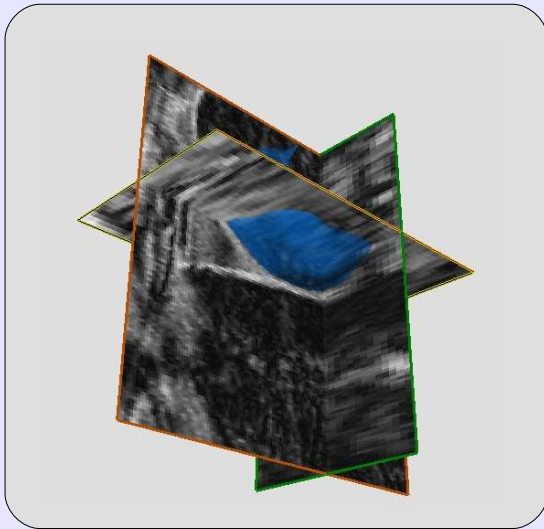


- Grands volumes de données (taille/résolution)
- Contraste faible / **bruit** important

Méthodes de
segmentation
robustes et **rapides**

Méthode de
segmentation
robuste et **rapide**

Modèle déformable



Méthode **2D** et **3D**

Robustesse
→ régularisation

Spline lissante
Filtrage **RII**

Implantation efficace

2. État de l'art

2.1. Généralités sur les modèles déformables

2.2. Contours actifs 2D

2.3. Régularisation par spline lissante

2.4. Modèles déformables 3D

Modèle déformable :

- Déformation **itérative** d'un modèle géométrique.
- Segmentation par localisation des contours d'un objet dans une image.



*Évolution d'un contour actif sur
une image*

La déformation dépend :

- d'un terme **d'attache aux données images**
- d'un terme de **régularisation**.

Le *snake* [KASS - 87] :

- Contour actif pour la segmentation d'image
- Déformation d'une courbe paramétrique $g(s) = (g_x(s), g_y(s))$ guidée par la minimisation d'une énergie $E_{snake}(s) = E_{interne}(s) + E_{externe}(s)$

Déformation d'un *snake* :

ATTACHE AUX DONNÉES

$$g_i(k) = (A + \gamma \cdot I)^{-1} (\gamma \cdot g_{i-1}(k) - f(k))$$

RÉGULARISATION

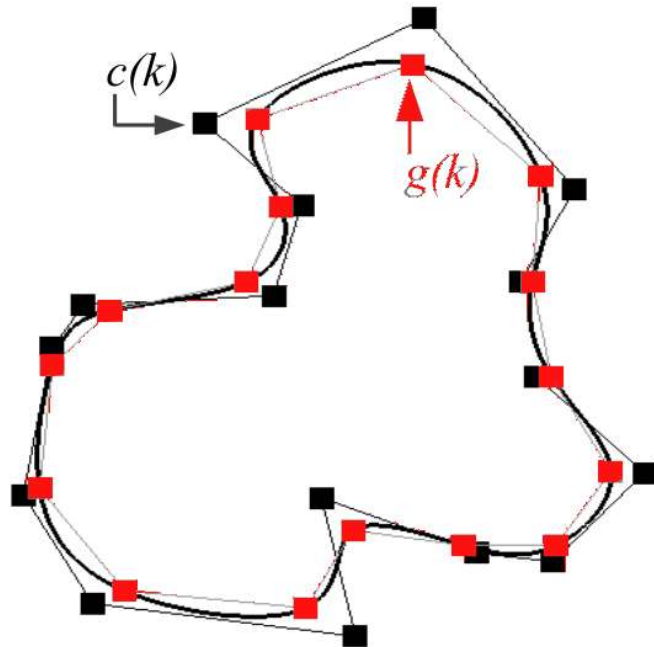
A : matrice de **rigidité** construite à partir de l'énergie interne $E_{interne}$

$f(k)$: forces **externes**, dérivées de l'énergie externe $E_{externe}$

A : taille = nombre de points

Représentation **B-Spline** du contour

Représentation **B-Spline**
d'un contour.



Interpolation B-Spline

B-Snake



Le **B-Snake** : représentation du
contour par une courbe B-Spline
[MENET-90]
→ Moins de points

Le **B-Snake** à énergie interne
implicite [BRIGGER-00] :
→ Splines cubiques = courbes à **énergie**
(interne) **minimale**.

ATTACHE AUX DONNÉES

$$g_i(k) = g_{i-1}(k) - \gamma^{-1} \cdot f(k)$$

RÉGULARISATION = PAS D'ÉCHANTILLONNAGE

Régularisation par filtrage passe-bas **RII** [PRECIOSO-05].

→ Filtrage B-Spline lissant SB_λ (λ paramètre de régularisation).

→ À chaque itération = filtrage passe-bas du contour **2D**.

Limitation du
paramètre de
régularisation pour
éviter un
rétrécissement.



Problème **général** des
contours actifs

→ Analyse fréquentielle des
contours actifs [WERUAGA-05]

+ rapidité (segmentation
de séquence vidéo).
+ **un seul** paramètre de
régularisation λ .



Étude du filtre SB_λ

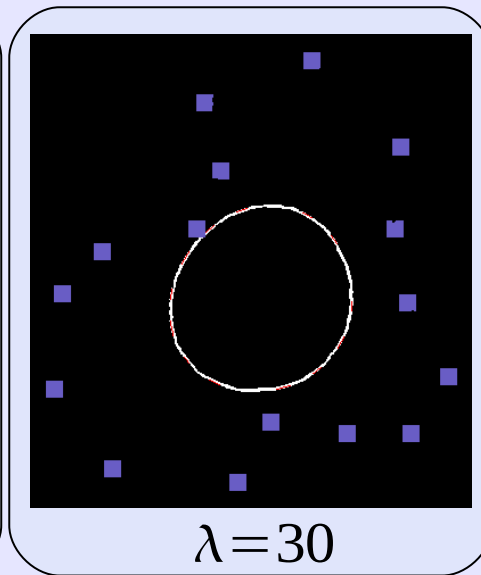
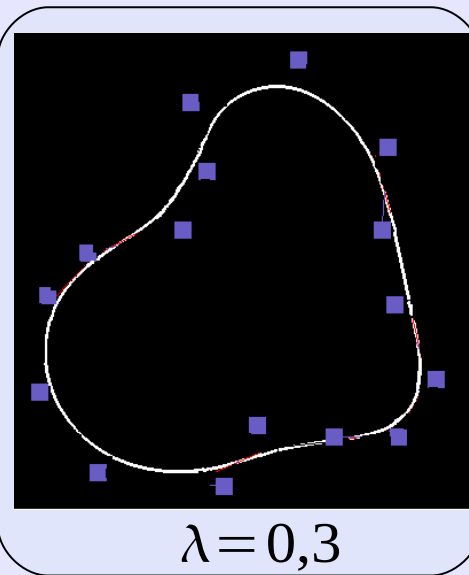
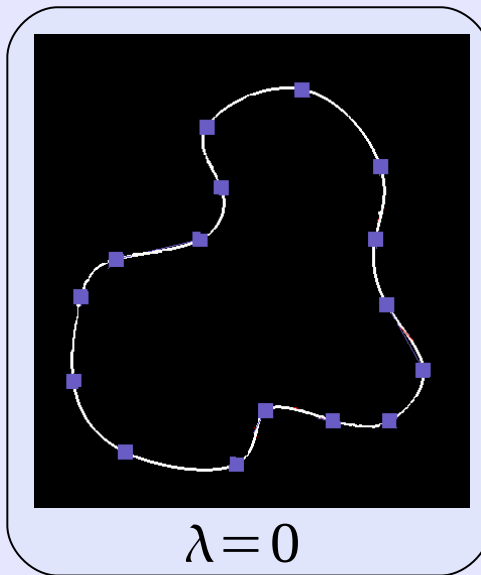
Définition d'une **spline lissante** [REINSCH-67]

→ La courbe spline lissante $\hat{g}(s)$ minimise ϵ dans :

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

ATTACHE AUX DONNÉES

RÉGULARISATION



Définition d'une **spline lissante** [REINSCH-67]

→ La courbe spline lissante $\hat{g}(s)$ minimise ϵ dans :

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

ATTACHE AUX DONNÉES

RÉGULARISATION

Filtrage **B-Spline lissant** SB_λ [UNSER-93.1]

- Détermination des points de contrôle lissés $\hat{c}(k)$ par filtrage numérique.
- Détermination des points $\hat{g}(k)$ à partir des $\hat{c}(k)$.

$$g(k) \rightarrow \boxed{S_\lambda} \xrightarrow{\lambda} \hat{c}(k) \rightarrow \boxed{B} \rightarrow \hat{g}(k)$$

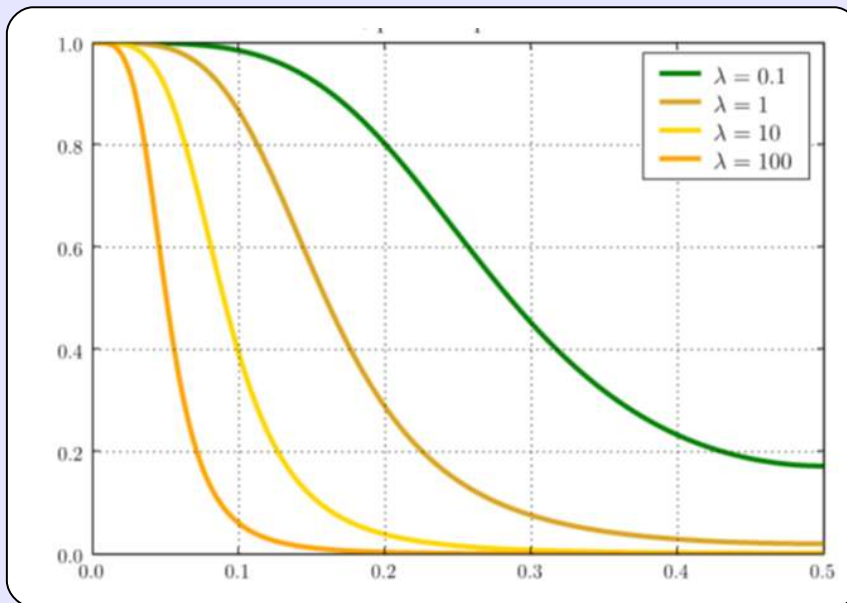
$$SB_\lambda(z) = S_\lambda(z) \cdot B(z)$$

Fonction de transfert

$$SB_\lambda(z) = S_\lambda(z) \cdot B(z) = \frac{z^{-1} + 4 + z}{z^{-1} + 4 + z + 6\lambda(z^2 - 4z + 6 - 4z^{-1} + z^{-2})}$$

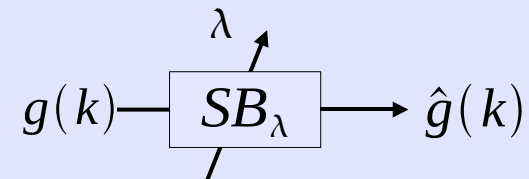
→ Filtre passe-bas **RII** du 4ème ordre

Réponse fréquentielle :

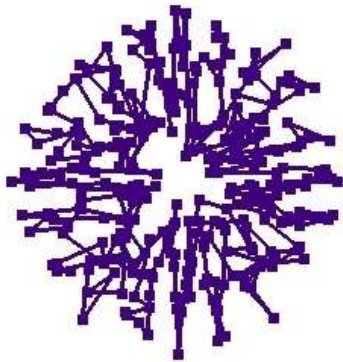
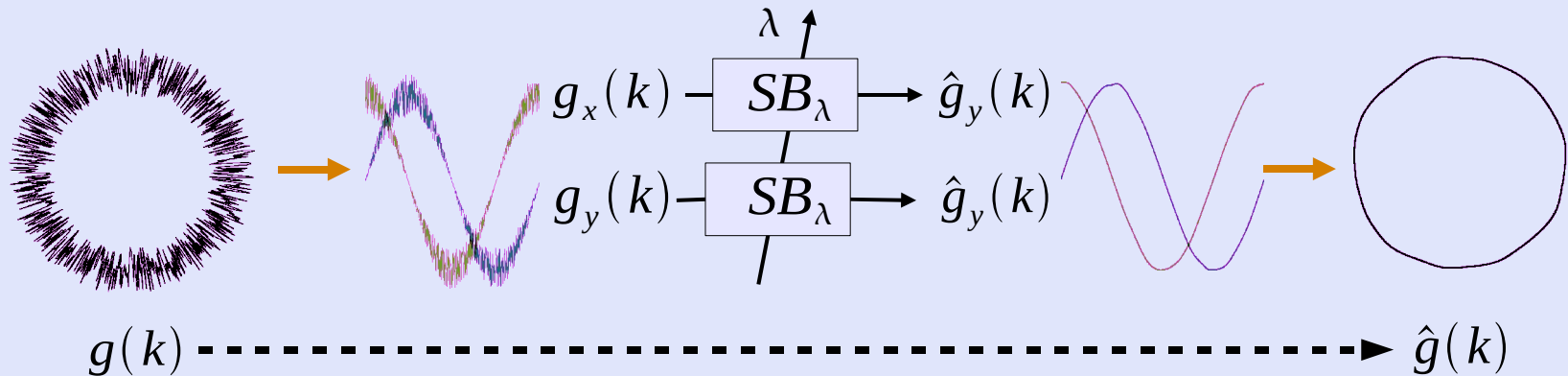


La fréquence de coupure
varie avec λ

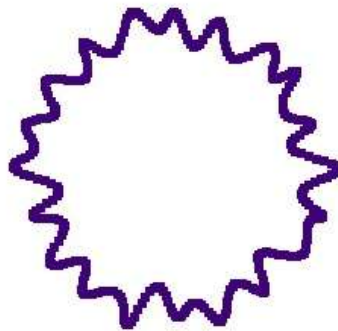
Filtrage B-Spline lissant



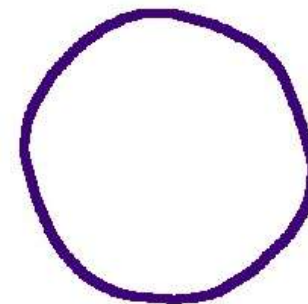
Filtrage d'une **courbe paramétrique** $g(k) = (g_x(k), g_y(k))$:



$\lambda = 0$



$\lambda = 160$



$\lambda = 10000$

Segmentation de **volume** par une **surface**



Maillages **discrets**

Représentation des surfaces par un ensemble discret de points.
(*triangulation, simplexe,...*)

Régularisation
=
filtrage **RIF**
=
impact sur la complexité

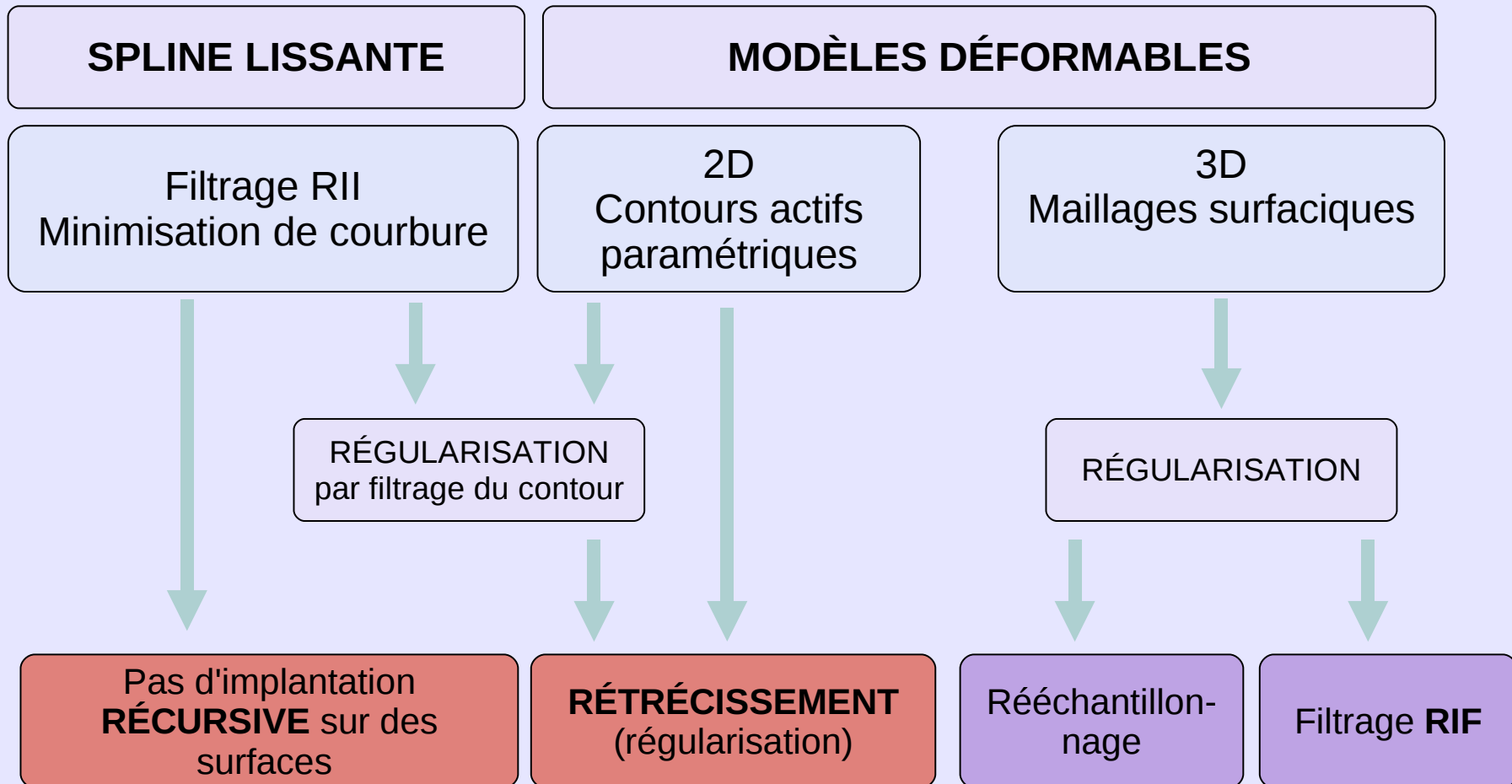


Surfaces **paramétriques**

Ajout d'une dimension dans la représentation du modèle :

$$g(u, v) = (g_x(u, v), g_y(u, v), g_z(u, v))$$

- Introduction de **points singuliers**.
- Impose un maillage **quadrangulaire** (produit tensoriel).



3. MoDeReS-2D : un contour actif régularisé par spline lissante

3.1. Proposition

3.2. Algorithme

3.3 Régularisation locale

3.4. Résultats

3.5. Bilan

[publié dans JASP-07]

Nouvelle interprétation de la **régularisation** d'un processus de déformation

$$\hat{g}_i(k) = g_i(k) * sb_\lambda(k)$$

RÉGULARISATION

$$g_{i+1}(k) = g_i(k) - \gamma^{-1} \cdot f_i(k)$$

DÉFORMATION

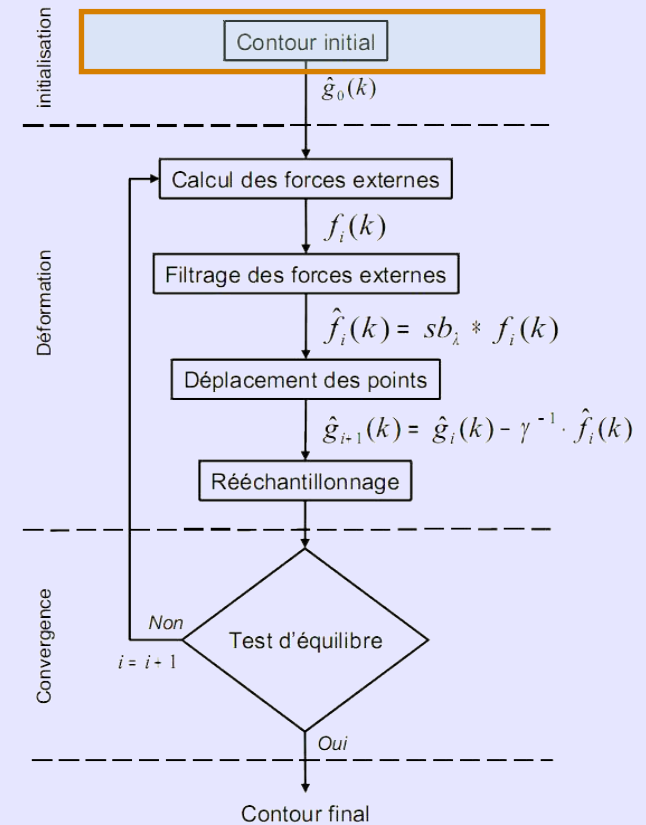
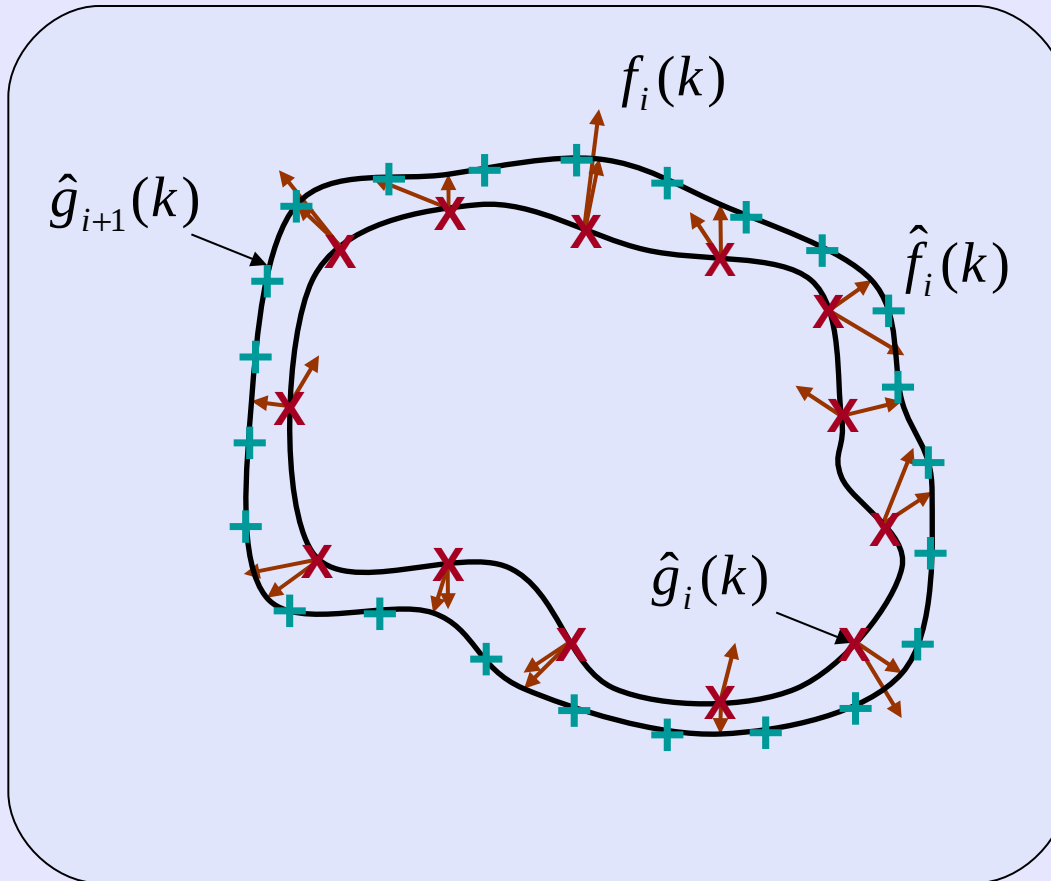
$$\hat{g}_{i+1}(k) = (g_i(k) - \gamma^{-1} \cdot f_i(k)) * sb_\lambda(k)$$

ATTACHE AUX DONNÉES
RÉGULARISATION

$$\hat{g}_{i+1} = \hat{g}_i(k) - \gamma^{-1} \cdot \hat{f}_i(k)$$

- La régularisation est un **filtrage** B-Spline lissant des **forces externes**.
- Le contour paramétrique n'est **pas lissé** à chaque itération.

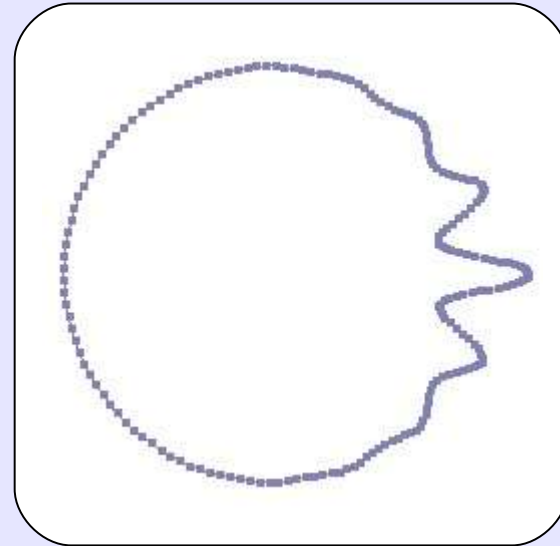
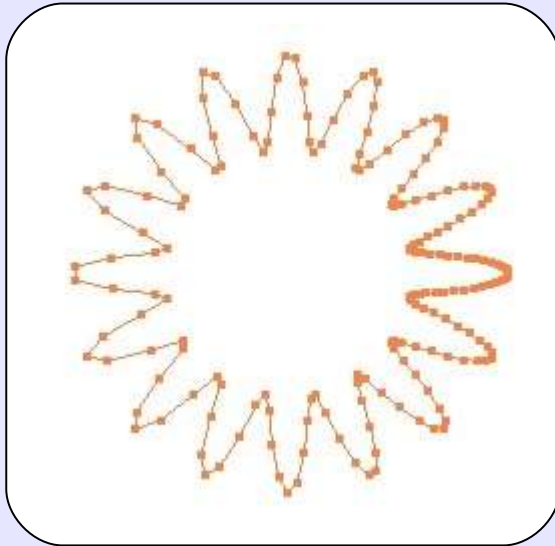
Illustration des étapes impliquées dans **une itération** du processus :



Pourquoi un rééchantillonnage ?

Rééchantillonnage : maîtrise de la régularisation en tout point du contour actif

→ Filtre numérique = hypothèse d'échantillonnage uniforme



Conséquence d'un échantillonnage non-uniforme sur le filtrage pour un λ constant.

Maîtrise de la régularisation = **régularisation variante** le long du contour.

Méthode : attribuer une valeur de λ à chaque point k selon la régularisation voulue.

Filtre RII (Implantation récursive)

$$\hat{g}(k) = a_k \cdot g(k) + b_k \cdot (\hat{g}(k-1) + \hat{g}(k+1)) + c_k \cdot (\hat{g}(k-2) + \hat{g}(k+2))$$

- Coefficients a_k , b_k et c_k dépendants de λ varient en fonction de k
- **Variation locale** de la **fréquence de coupure**
- Régularisation **locale**

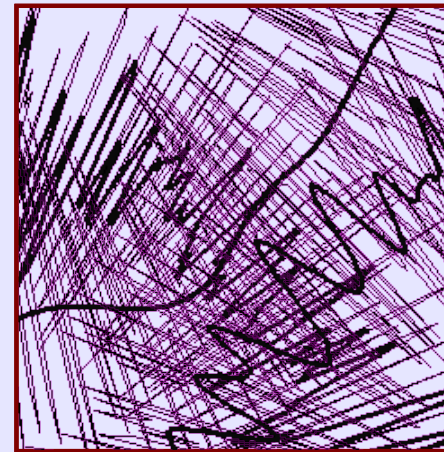
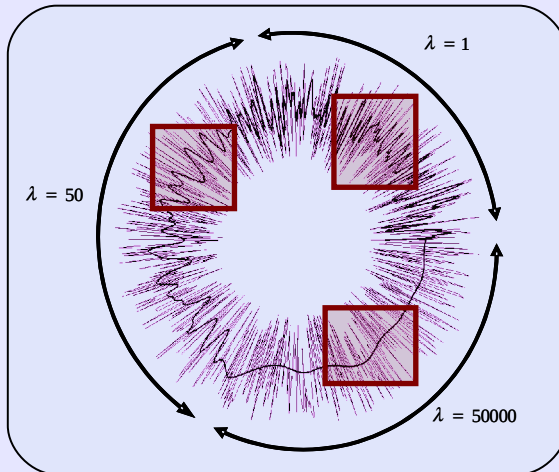


Image IRM

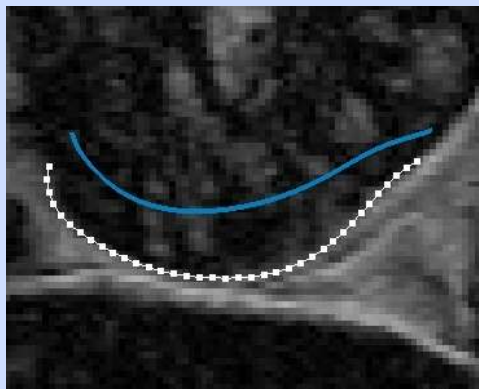


Image synthétique

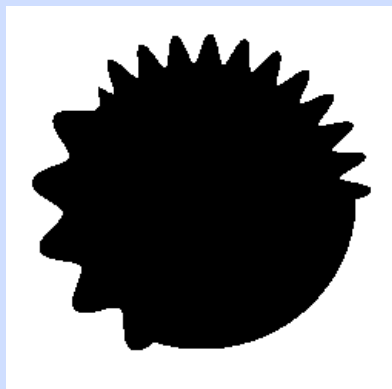
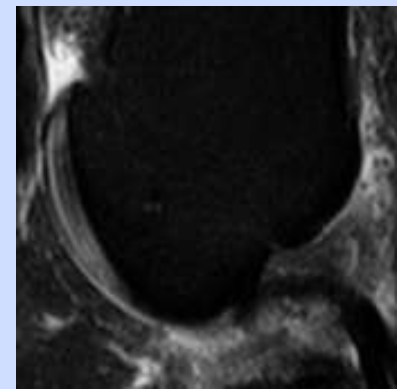


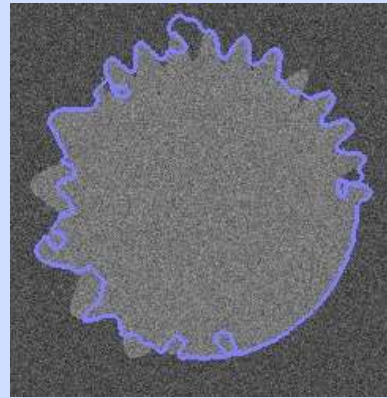
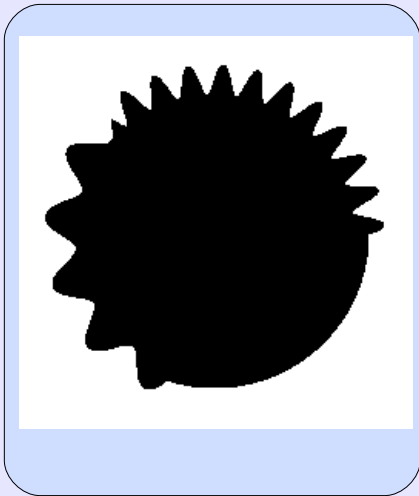
Image IRM



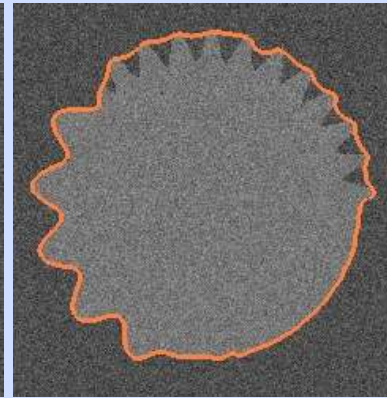
Régularisation **globale**

Régularisation **locale**

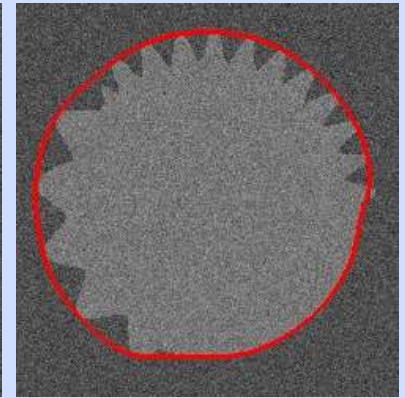
Segmentation d'une image synthétique avec une régularisation **globale**



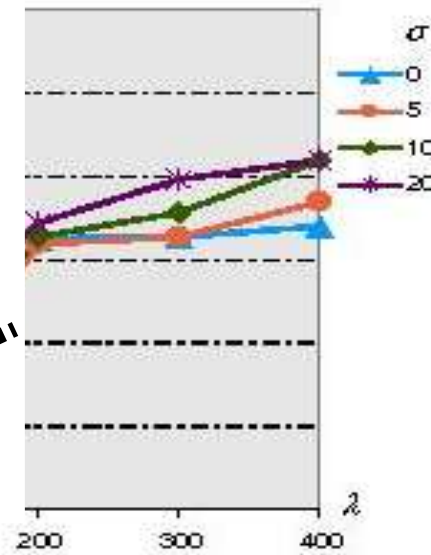
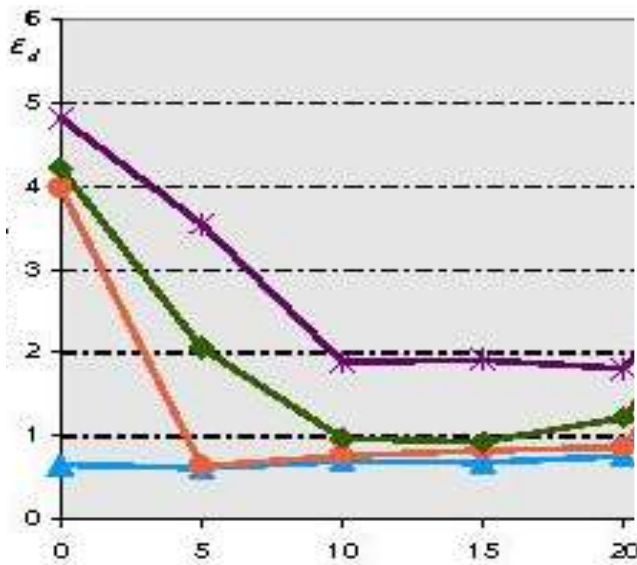
$\lambda=0$



$\lambda=10$

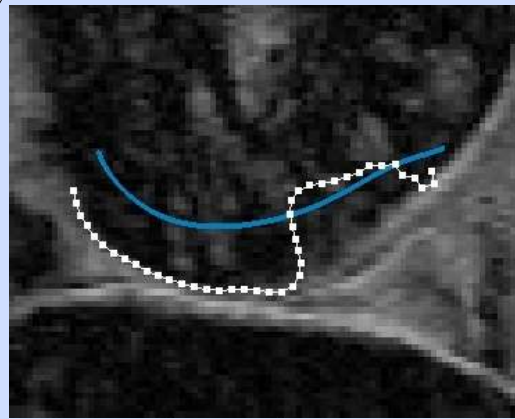


$\lambda=1000$

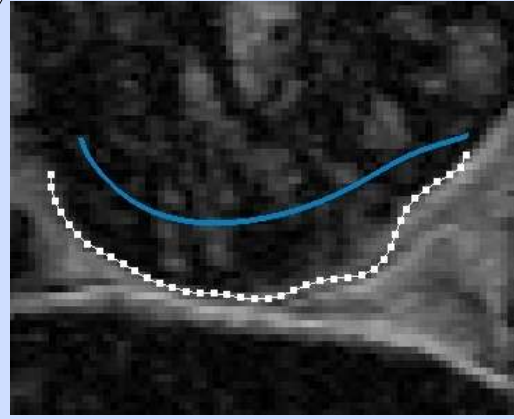


Effet de la régularisation sur la **distance** entre le contour **idéal** et le contour **segmenté**.

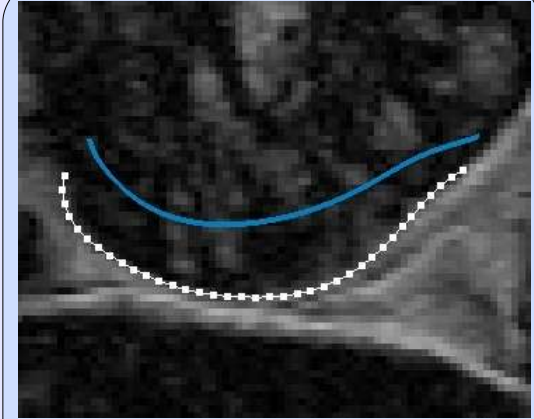
IRM de l'articulation fémoro-tibiale d'un cobaye



$\lambda = 13$



$\lambda = 13$



$\lambda = 200$

Forces externes différentes

Forces externes identiques

Segmentation d'une image synthétique avec une régularisation **locale**

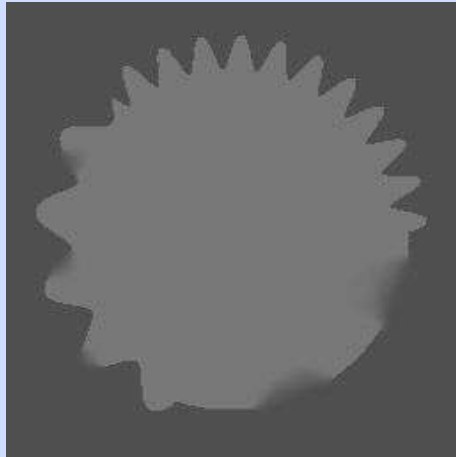
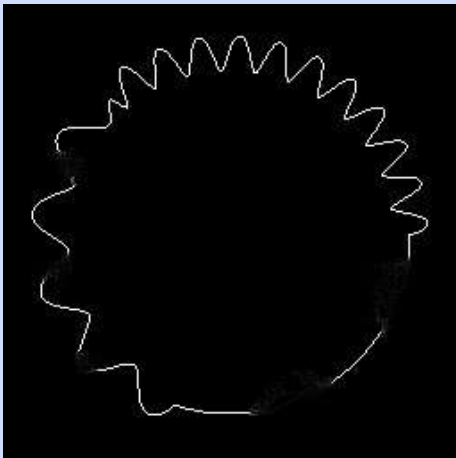
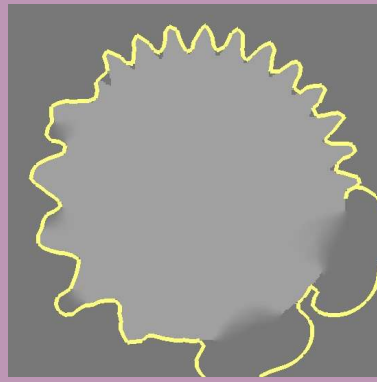


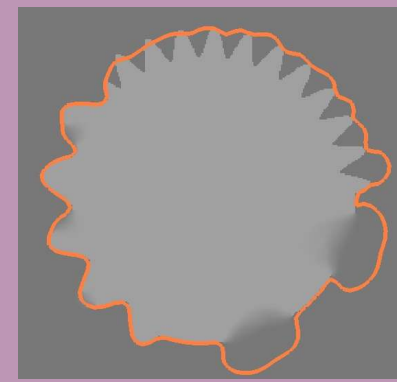
Image altérée



Gradients



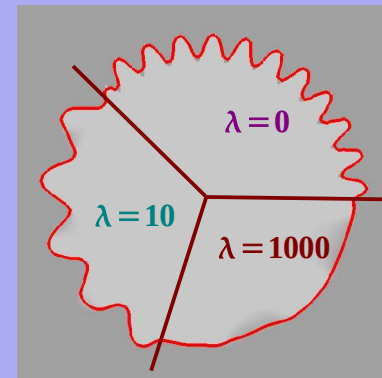
$\lambda = 0$



$\lambda = 10$

Régularisation **globale**

Régularisation **locale**
→ Intégration d'**a priori**

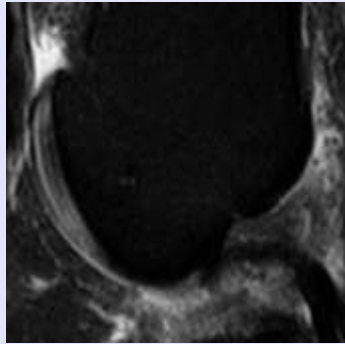


λ_k

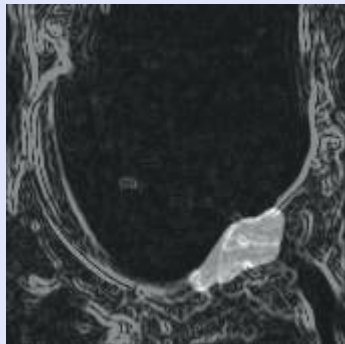
Segmentation d'une image réelle avec une régularisation *locale*

IRM de fémur humain

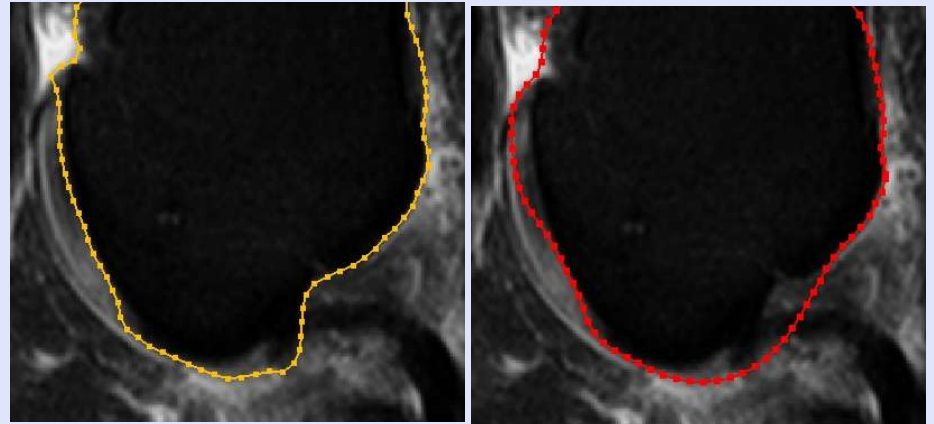
Image
originale



Carte des
 λ

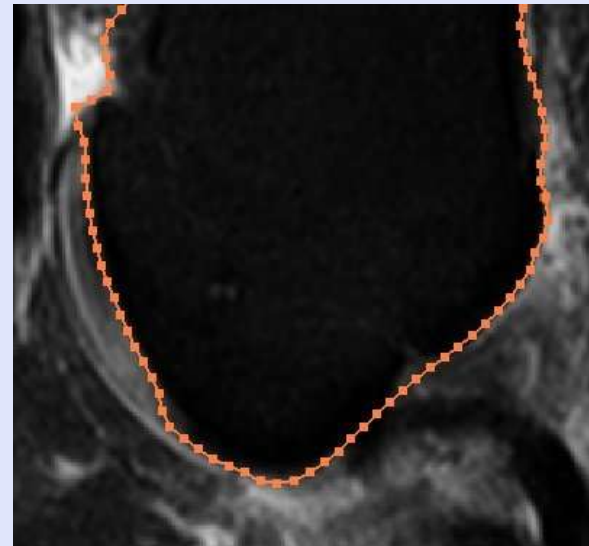


Régularisation globale



$\lambda=5$

$\lambda=255$



Régularisation locale

Méthode de segmentation MODERES-2D

[publiée dans JASP-07]

Filtrage **RII variant** des forces
externes

- Intégration d'a priori
- **Adaptabilité**

- **Rapide** - complexité en **$O(n)$** -
- **Plus** de problème de **rétrécissement**
- **λ** , seul paramètre de régularisation

4. MoDeReS-3D : modèle déformable surfacique pour la segmentation de volumes

4.1. Des contours aux surfaces

4.2. Filtrage de maillages paramétriques

4.3. Application au **MoDeReS**

4.4. Résultats

4.5. Bilan

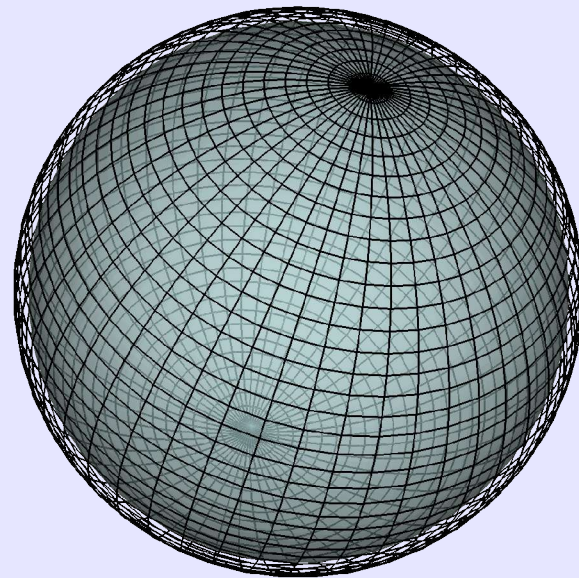
Objectif

→ conserver en **3D** les avantages d'une régularisation par filtrage **RII** B-Spline lissant des forces externes.

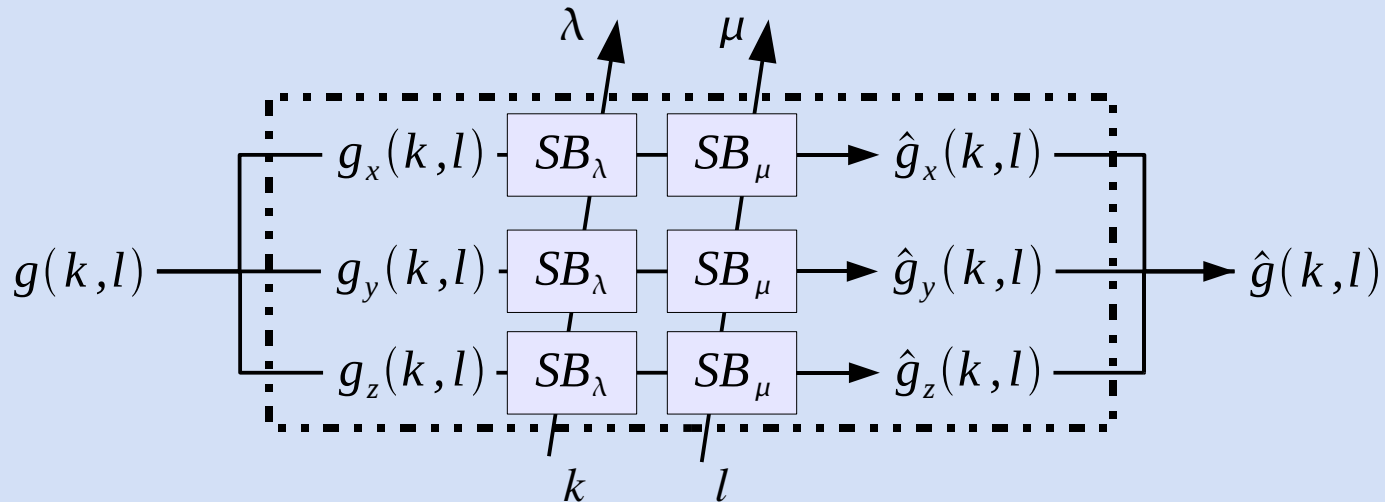
→ Le contour paramétrique $g(s)$ devient une surface paramétrique
→ $g(u,v) = (g_x(u,v), g_y(u,v), g_z(u,v))$

Comment implanter
récurivement un filtre RII sur
une **surface paramétrique** ?

Comment gérer sur une surface la **non-uniformité** de **l'échantillonnage** ?



Filtre bidimensionnel des 3 composantes de la surface par filtrage B-Spline lissant 1D successif des directions k et l .

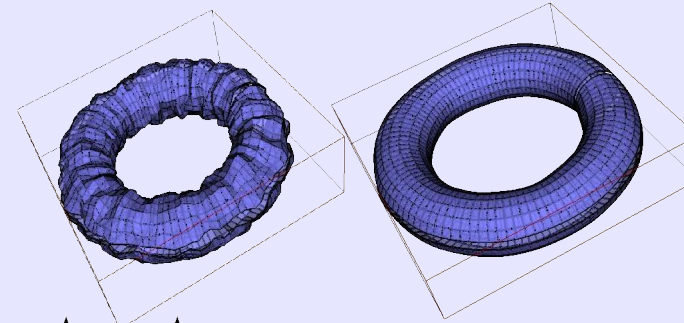
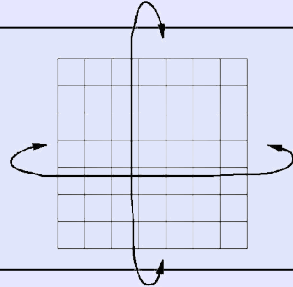


[publié dans ICIP-06]

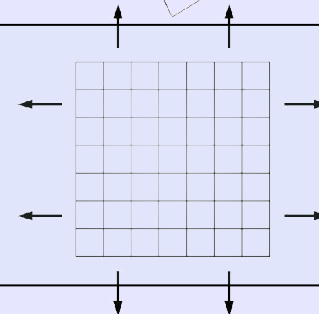
Implantation récursive du filtrage 1D
=
maillage de **valence 4** partout (maillage **quadrangulaire**)

Initialisation du filtrage 1D récursif ?

Signal 1D périodique
→ courbe 2D fermée
→ tore 3D



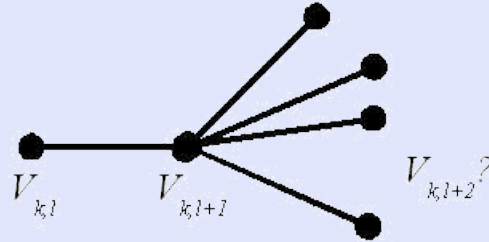
Signal 1D non périodique « avec bord »
→ courbe 2D ouverte [BRIGGER-00]
→ plan limité 3D
→ extension miroir



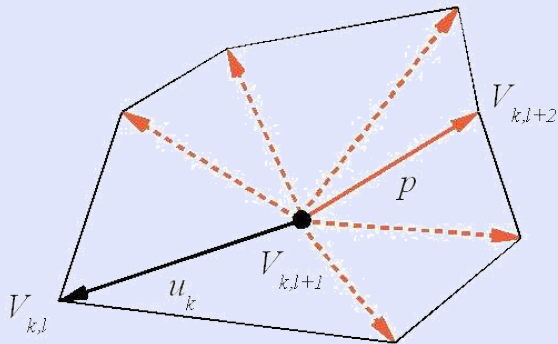
Signal 1D non périodique « sans bord »
→ apparition de **points singuliers** (ex: les pôles d'une sphère).

Cas de la sphère :

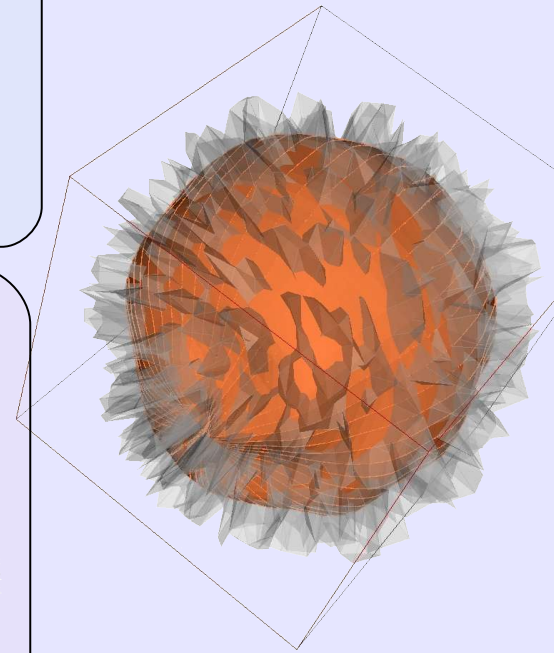
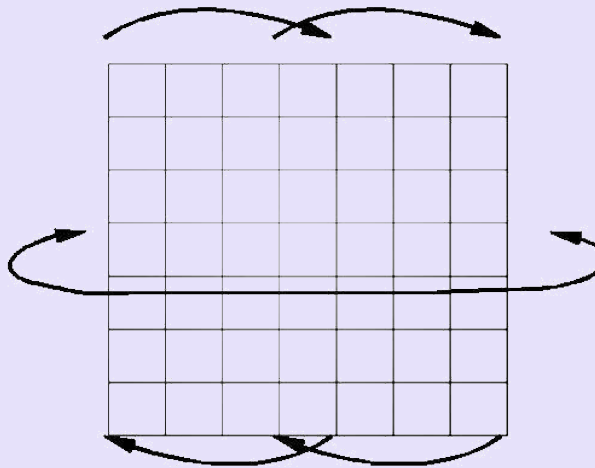
→ Genre 0 sans bord => valence 4 partout sauf aux pôles



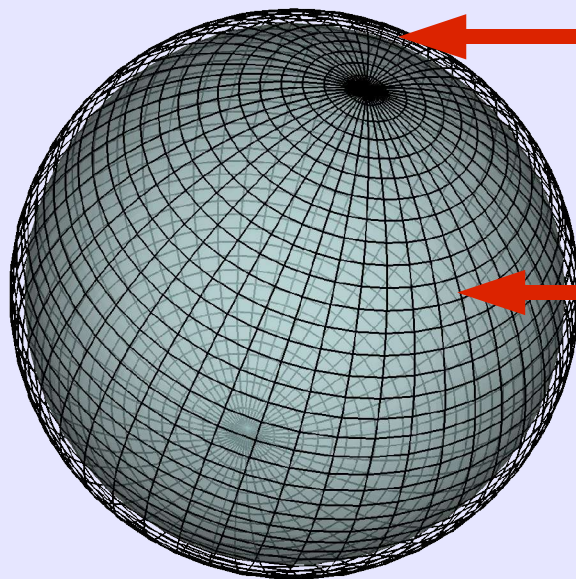
Comment définir les voisins d'un pôle pour le filtrage ?



Méthode : choix du méridien
le **plus colinéaire** avec la
direction de filtrage

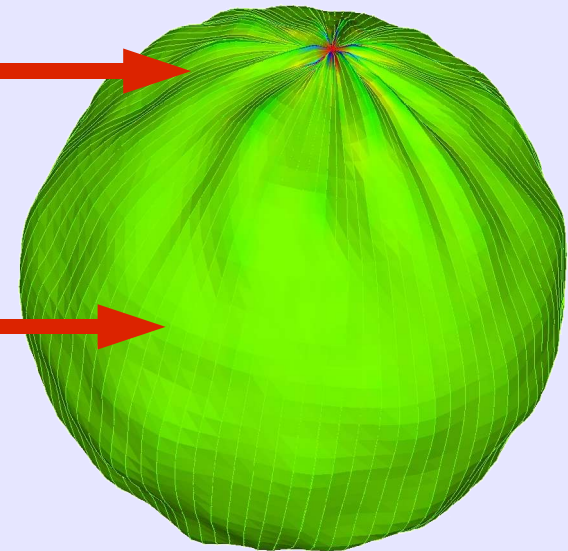


Maillage quadrangulaire
=
échantillonnage **non uniforme** (ex : équateur/pôles)



Échantillonnage fin
Régularisation faible

Échantillonnage large
Régularisation forte



Pour des valeurs $\lambda = \mu$ constantes, l'effet du filtrage n'est
pas homogène sur la surface

Motivations :

- **Non-uniforme** = effets de filtrage **différents** pour une même valeur de λ .
- Échantillonnage **uniforme** difficile / impossible à obtenir.

Solution : profiter du filtrage variant avec λ_k pour adapter la fréquence de coupure localement selon l'échantillonnage.

Point de vue global :

- Λ : paramètre de régularisation **globale**
- F_c : fréquence de coupure en m^{-1}

$$F_c = r_g(\Lambda)$$

$$f_{c_k} = \frac{F_c}{f_{e_k}}$$

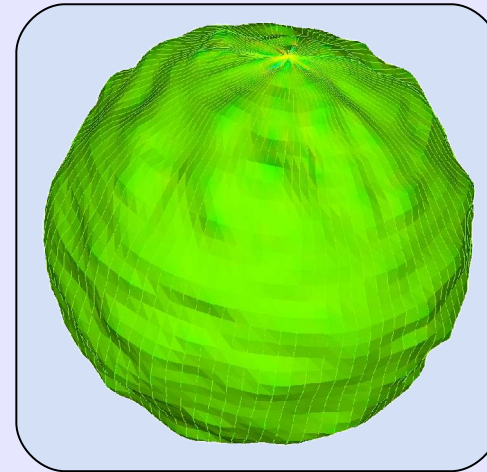
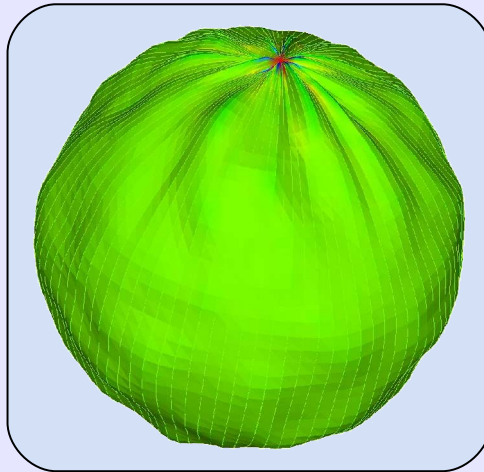
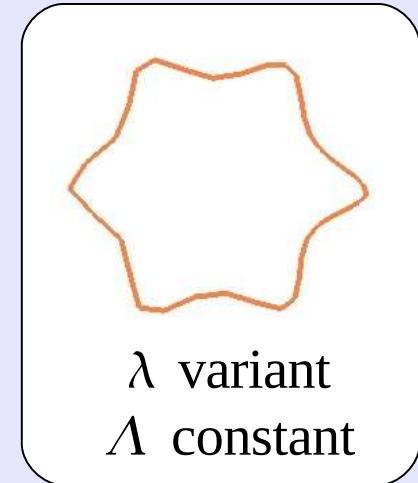
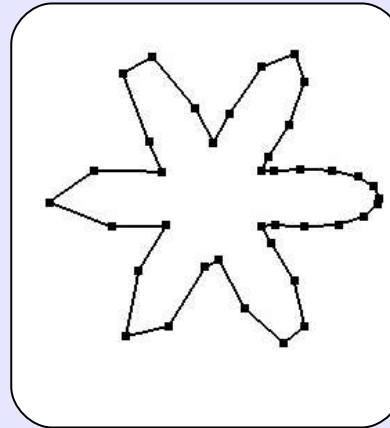
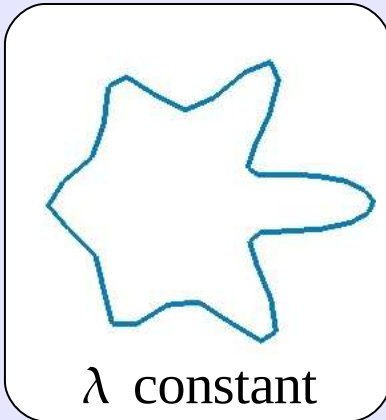
Point de vue local :

- λ_k : paramètre **local** du filtre.
 - f_{c_k} : fréquence de coupure **locale**.
 - f_{e_k} : fréquence d'échantillonnage **locale**.
- $$\lambda_k = r_g^{-1}(f_{c_k})$$

$$f_{e_k}^{-1} = \frac{1}{2} \|g_k, g_{k-1}\| + \frac{1}{2} \|g_k, g_{k+1}\|$$

$$\lambda_k = r_g^{-1}(r_g(\Lambda) \cdot f_{e_k}^{-1})$$

→ Filtrage (régularisation) **indépendant** de l'échantillonnage



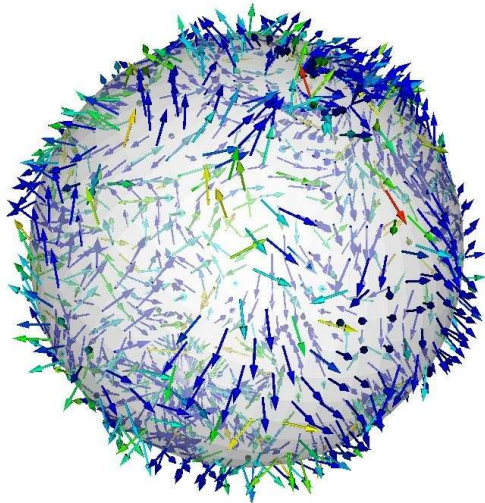
Processus de déformation

$$\hat{g}_{i+1}(k, l) = \hat{g}_i(k, l) - \gamma^{-1} \cdot \hat{f}_i(k, l)$$

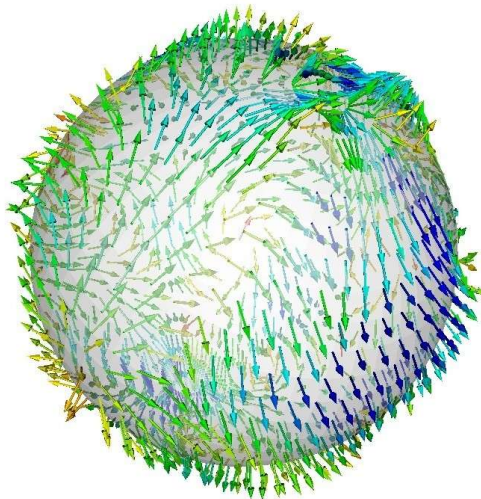
REGULARISATION

ATTACHE AUX DONNEES

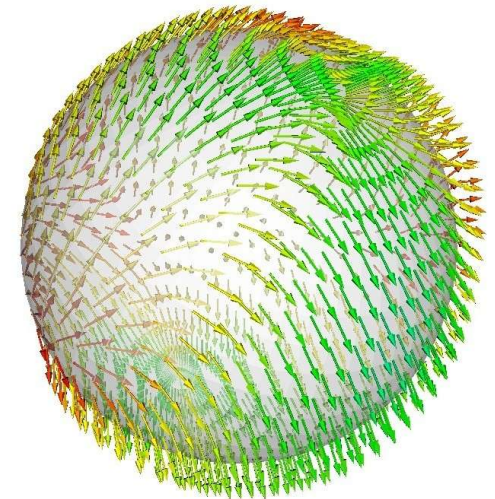
f_i



\hat{f}_i , champ vectoriel des forces externes régularisées.



$\lambda = \mu = 7$

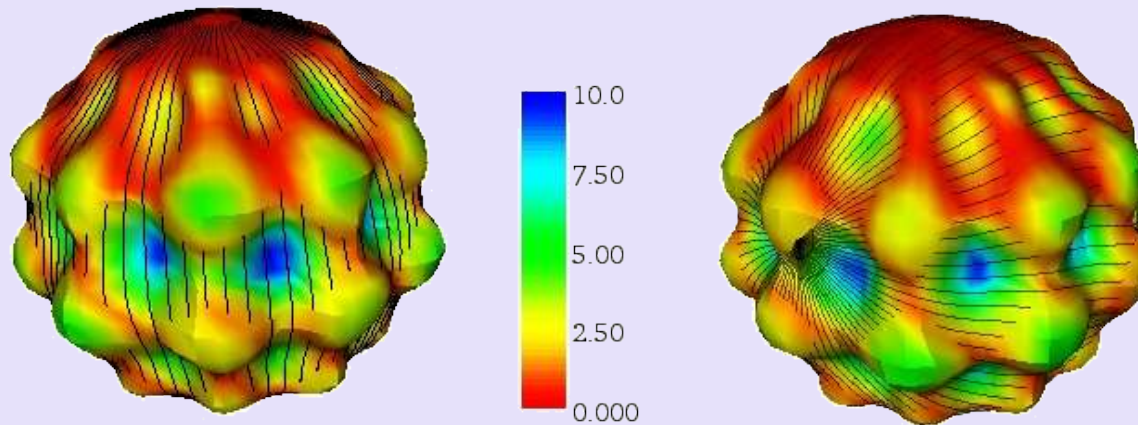


$\lambda = \mu = 130$

Segmentation d'un volume synthétique

2 initialisations sphériques différentes

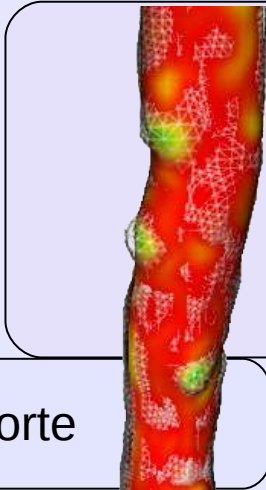
$\Lambda = 100$



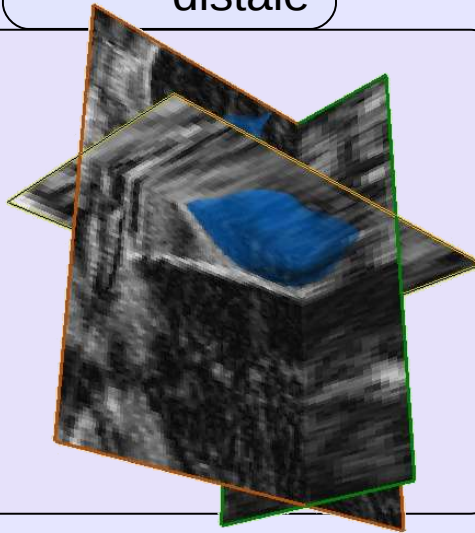
Distance de Hausdorff entre maillage déformable **final** (fil de fer) et la surface **idéale** (porteuse des couleurs).

Distance surface segmentée / surface idéale **identique**
→ **Robustesse à l'initialisation**

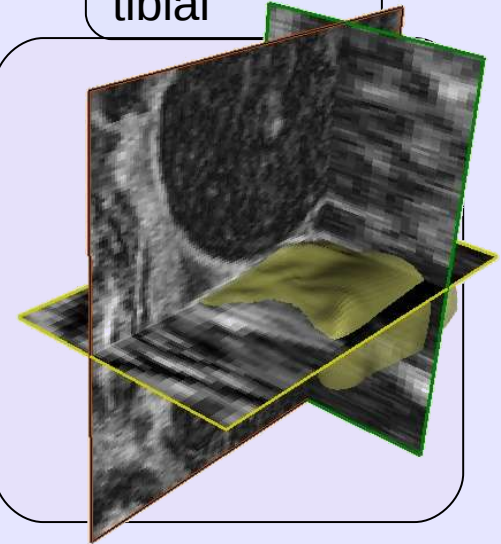
Aorte



Épiphyse distale

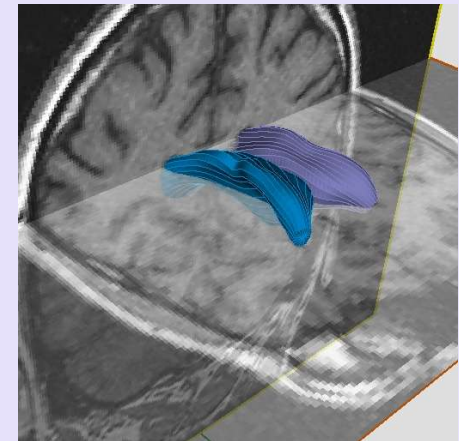


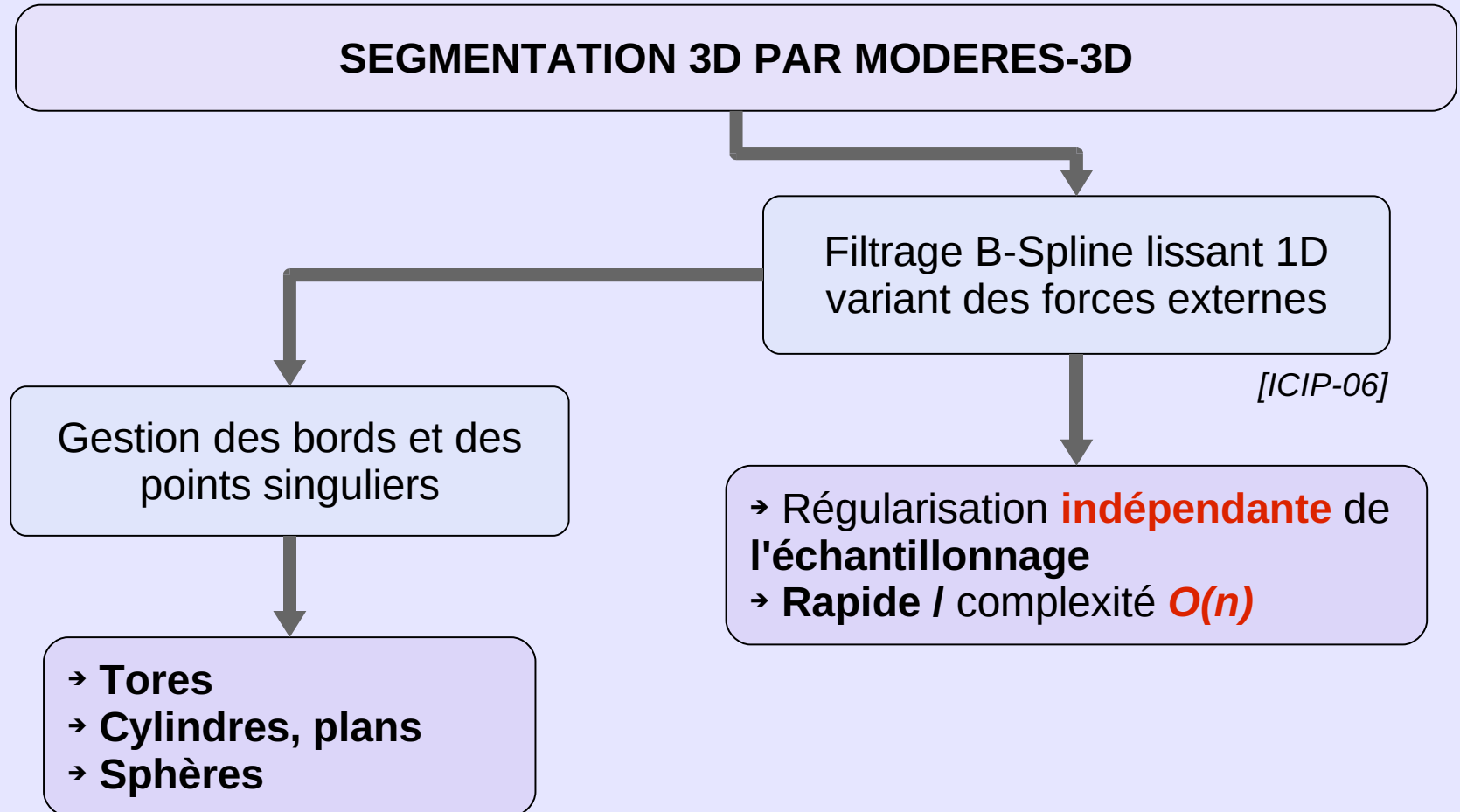
Plateau tibial



Segmentation **3D** de structures :
→ cylindriques
→ planaires
→ sphériques

Ventricules latéraux



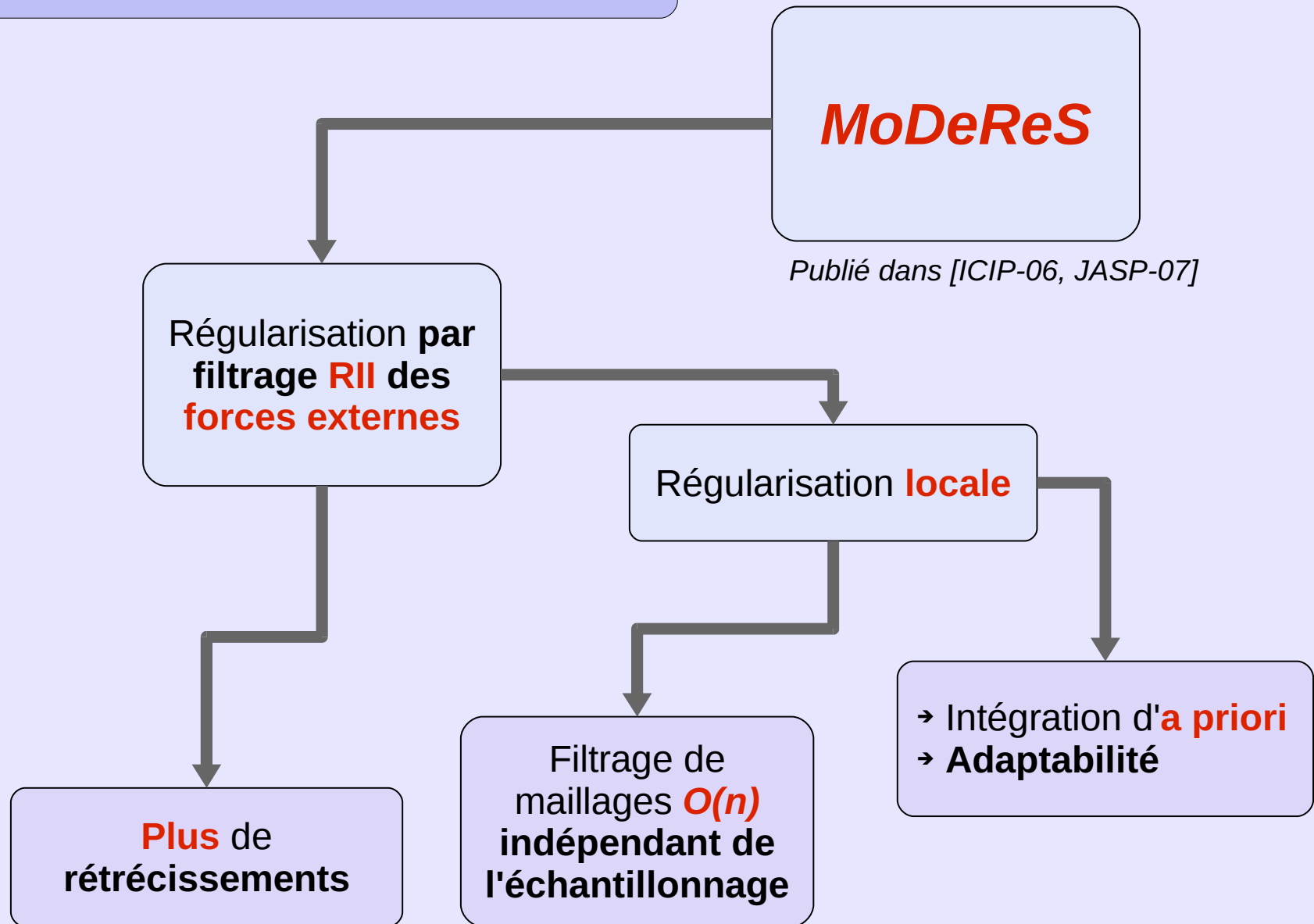


5. Bilan & perspectives

5.1. Récapitulatif des contributions

5.2. Perspectives





Comment obtenir un maillage **quadrangulaire** pour **n'importe quelle** surface ?

→ Remaillage [DONG-05, ALLIEZ-06...]

→ Traitement de points-selle

Quel **sens** peut-on donner à une **fréquence** sur une surface ?

→ Analyse spectrale des maillages [TAUBIN-95, ZHANG-07]

Amélioration du MoDeReS

→ Maîtrise régularisation / échantillonnage / fréquence de coupure

→ **Multirésolution**

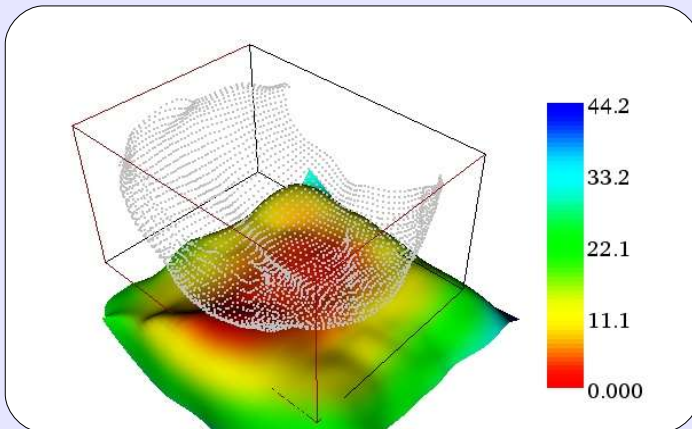
→ Adaptabilité / intégration d'a priori

→ Méthodes **automatiques** de choix des λ locaux



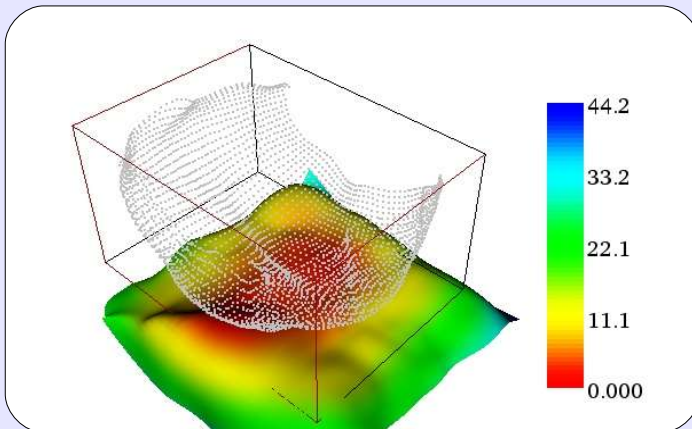
Applications

- Imagerie **quantitative** – post-doc Xian Du
- Suivi d'objets dans des séquences
 - Imagerie 3D **dynamique**
- ...



Applications

- Imagerie **quantitative** – post-doc Xian Du
- Suivi d'objets dans des séquences
 - Imagerie 3D **dynamique**
- ...



MERCI

5. Conclusion & perspectives :: perspectives



[UNSER - 93.1] M. Unser, A. Aldroubi, and M. Eden, "B-spline signal processing. Part I. Theory," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 41, pp. 821-833, 1993.

[UNSER - 93.2] M. Unser, A. Aldroubi, and M. Eden, "B-spline signal processing. Part II. Efficient design and applications," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 41, pp. 834-848, 1993.

[REINSCH - 67] C. H. Reinsch, "Smoothing by Spline Functions," *Numerisch Mathematik*, vol. 10, pp. 177-183, 1967.

[MONTAGNAT - 01] J. Montagnat, H. Delingette, and N. Ayache, "A Review of Deformable Surfaces : Topology, Geometry and Deformation," *Image and Vision Computing.*, vol. 19, pp. 1023-1040, 2001.

[KASS - 87] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: Active Contour Models," presented at Proceedings - First International Conference on Computer Vision., London, Engl, 1987.

[BRIGGER - 00] P. Brigger, J. Hoeg, and M. Unser, "B-spline snakes: a flexible tool for parametric contour detection," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 9, pp. 1484-1496, 2000.

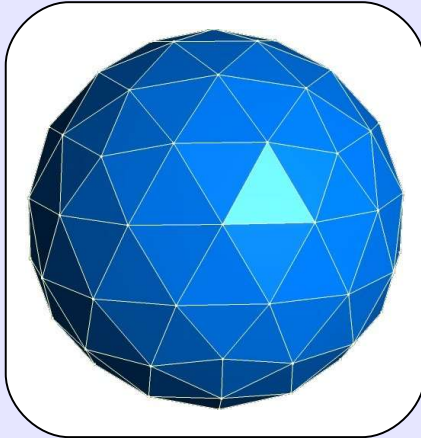
[CHEN - 05] X. Chen and E. K. Teoh, "3D object segmentation using B-Surface," *Image and Vision Computing*, vol. 23, pp. 1237-1249, 2005.

BIBLIOGRAPHIE

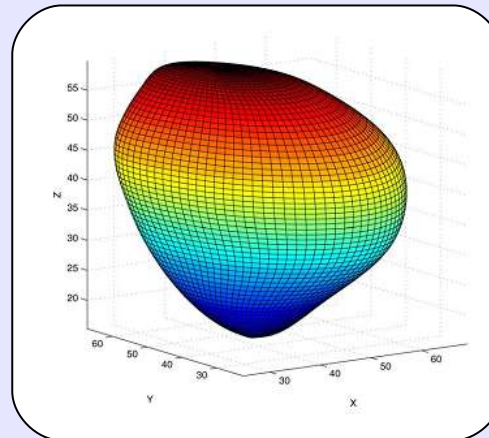
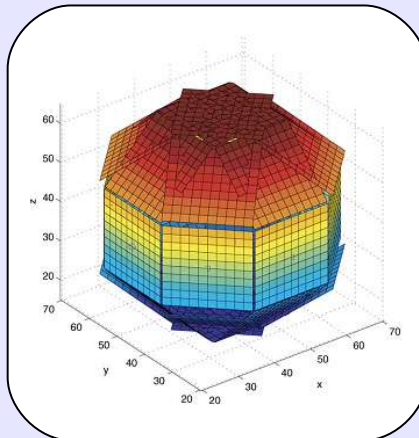
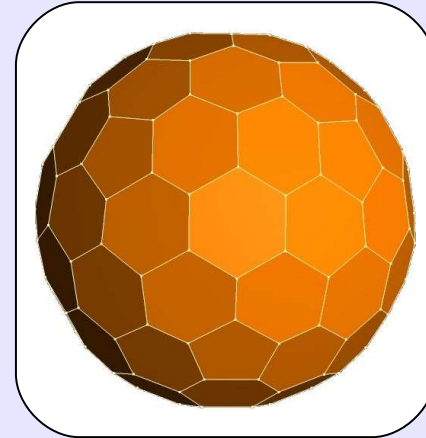
- [LACHAUD - 03] J.-O. Lachaud and B. Taton, "Deformable model with adaptive mesh and automated topology changes," presented at 3-D Digital Imaging and Modeling, 2003. 3DIM 2003. Proceedings. Fourth International Conference on, 2003.
- [COHEN - 90] L. D. Cohen and I. Cohen, "A Finite Element Method Applied To New Active Contour Models and 3D Reconstruction From Cross Sections," INRIA, Rocquencourt, Robotique, Image et Vision 1245, 1990.
- [PRECIOSO - 05] F. Precioso, M. Barlaud, T. Blu, and M. Unser, "Robust real-time segmentation of images and videos using a smooth-spline snake-based algorithm," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 14, pp. 910-924, 2005.
- [VELUT - 06.1] J. Velut, H. Benoit-Cattin, and C. Odet, "Locally Regularized Snake Through Smoothing B-Spline Filtering," presented at EUSIPCO, Firenze, 2006.
- [VELUT - 06.2] J. Velut, H. Benoit-Cattin, and C. Odet, "Segmentation by Smoothing B-Spline Active Surface," presented at ICIP, Atlanta GA, 2006.
- [DONG - 05] S. Dong, S. Kircher, and M. Garland, "Harmonic functions for quadrilateral remeshing of arbitrary manifolds," *Computer Aided Geometric Design*, vol. 22, pp. 392-423, 2005.
- [TAUBIN - 95] G. Taubin, "A signal Processing Approach to Fair Surface Design," presented at SIGGRAPH, 1995.
- [ZHANG - 07] Hao Zhang, Oliver van Kaick, and Ramsay Dyer, "Spectral Methods for Mesh Processing and Analysis," Proc. of Eurographics 2007 State of the Art Report, pp. 1-22.

2. État de l'art :: les modèles déformables :: surfaces actives

→ Maillage triangulaire



→ Maillage simplexe



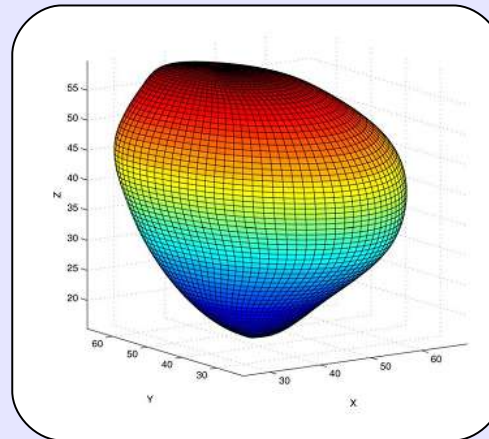
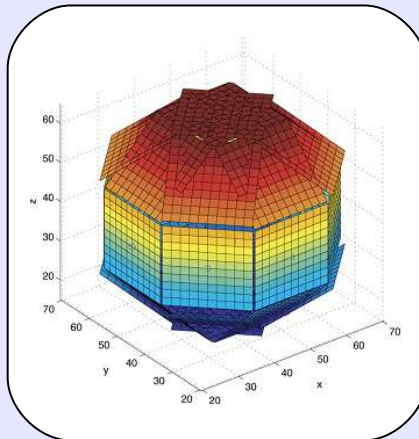
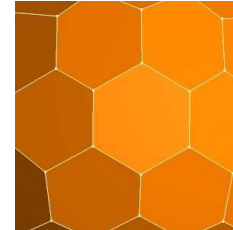
→ Surface paramétrique B-Spline [CHEN-05]

2. État de l'art :: les modèles déformables :: surfaces actives

→ Maillage triangulaire



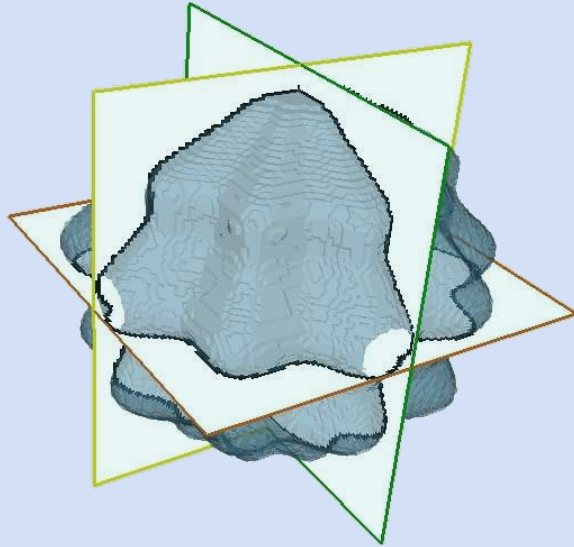
→ Maillage simplexe



→ Surface paramétrique B-Spline [CHEN-05]

4. MoDeReS-3D :: filtrage variant de maillages quadrangulaires

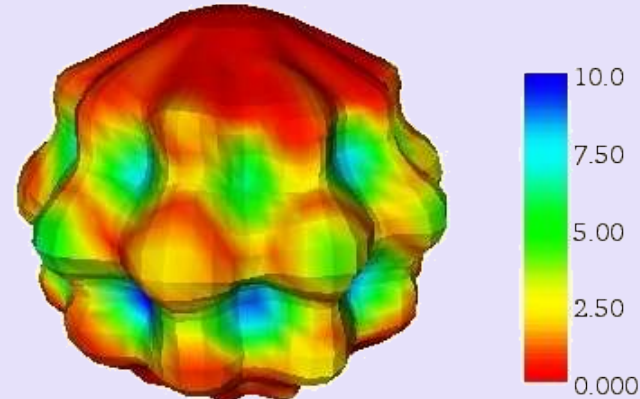
Segmentation de volume – Intérêt de la régularisation variante



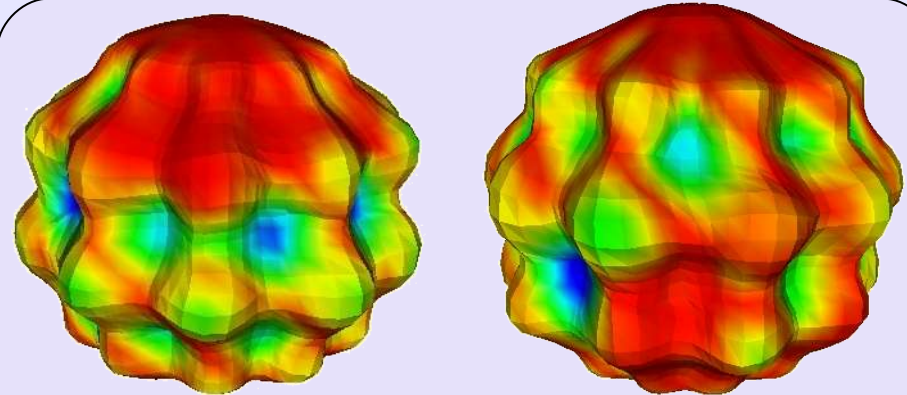
Volume segmenté

→ Distance de Hausdorff entre maillage déformable final et la surface idéale.

→ La régularisation interdit la détection des bosses, sauf quand les pôles sont dans cette zone.



Après initialisation avec coïncidence des pôles

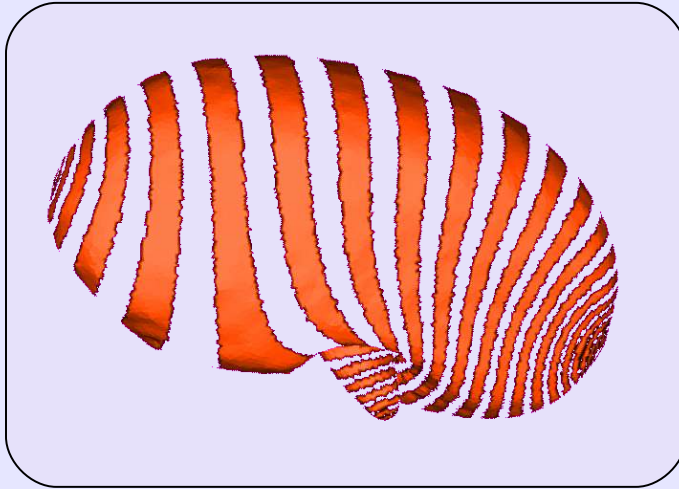


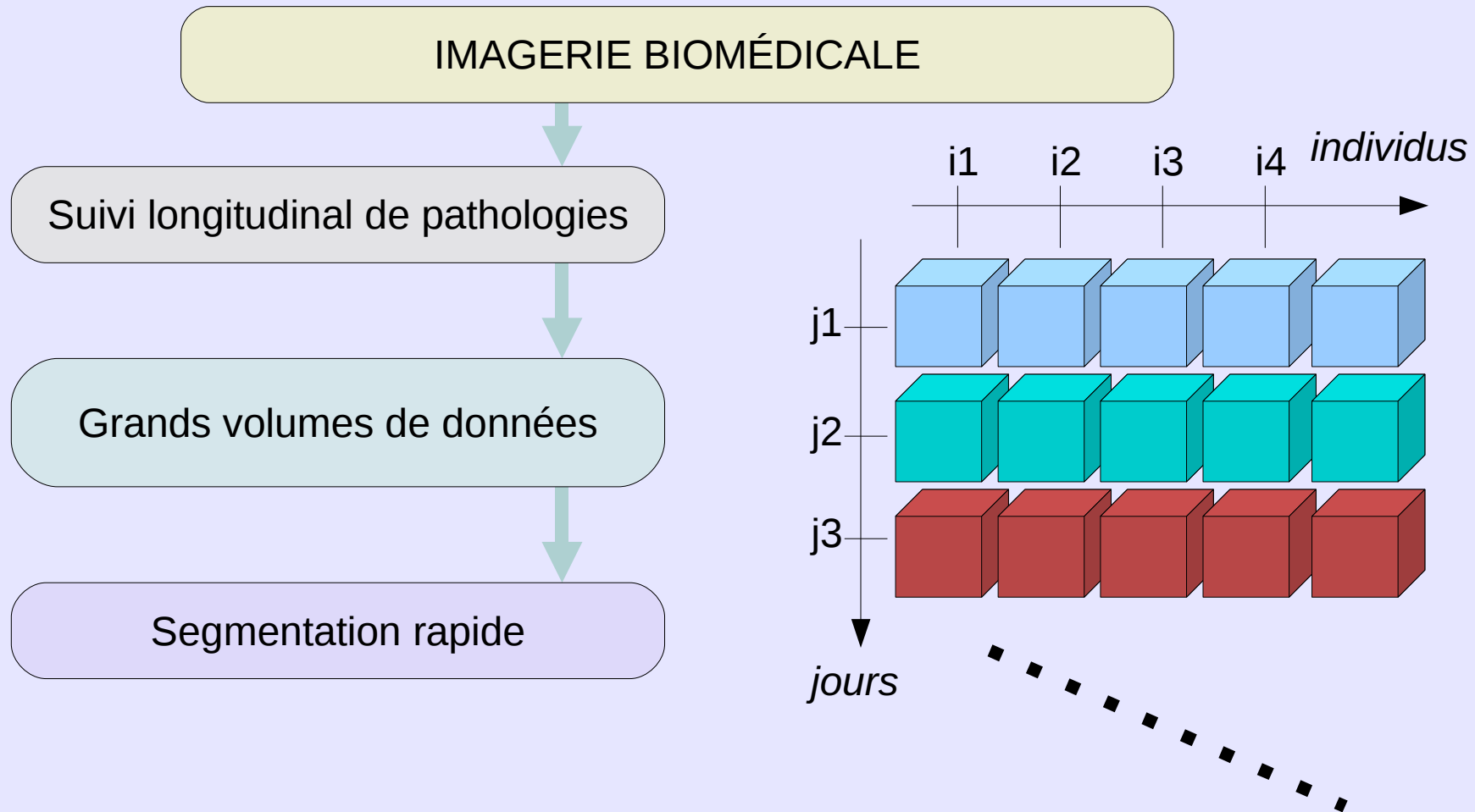
Après rotation du modèle initial

=> la segmentation n'est pas robuste à l'initialisation.

5. Conclusion & perspectives :: perspectives

Obtention d'un maillage carré presque partout à partir d'une triangulation [DONG - 05] :





[WERUAGA - 05] : Formulation du processus de déformation d'un contour actif dans le domaine fréquentiel

- Analyse basée sur la mise en oeuvre par éléments finis du *snake* de Kass (équation de mouvement de Lagrange),
- Mise en évidence du caractère convolutif de la régularisation.

$$g_i(k) = h(k) * (b \cdot g_{i-1}(k) + c \cdot g_{i-2}(k) + f_i(k))$$

- $h(k)$ est un filtre passe-bas dont la fréquence de coupure dépend des paramètres d'élasticité et de rigidité de l'énergie interne,
- b et c sont des constantes issues des paramètres d'élasticité et de rigidité de l'énergie interne.

Le contour $g(k)$ est convolué à chaque itération par un filtre passe-bas, d'où le phénomène de rétrécissement.

Snake

Déformation d'un *snake* (écriture vectorielle):

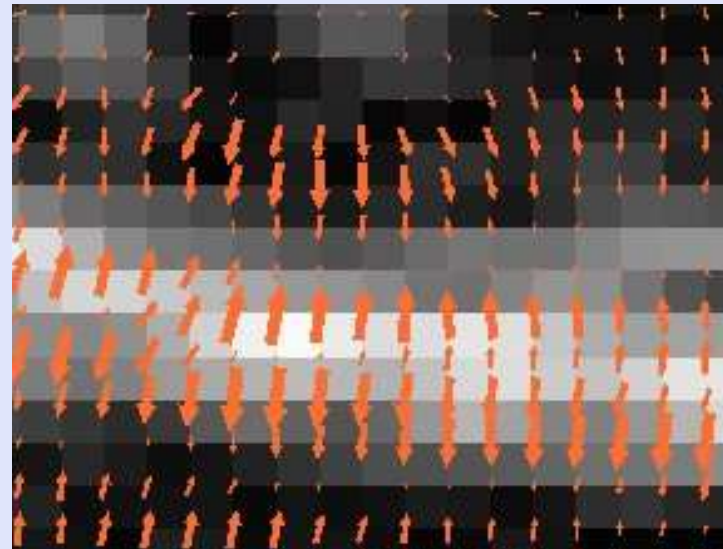
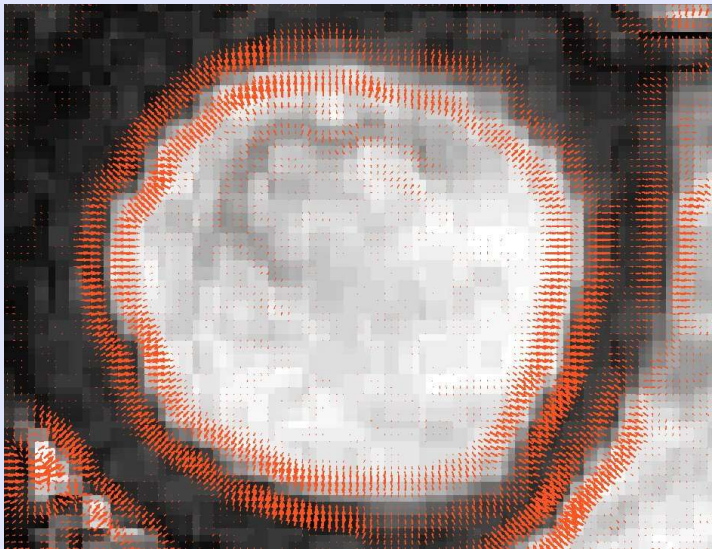
ATTACHE AUX DONNÉES

$$g_i(k) = (A + \gamma \cdot I)^{-1} (\gamma \cdot g_{i-1}(k) - f(k))$$

RÉGULARISATION

$f(k)$: forces externes, dérivées de l'énergie externe

A : matrice de rigidité construite à partir de l'énergie interne $E_{interne}$



Le *snake* [KASS - 87] :

- Contour actif pour la segmentation d'image
- Déformation d'une courbe paramétrique $g(s) = (g_x(s), g_y(s))$ guidée par la minimisation d'une énergie $E_{snake}(s) = E_{interne}(s) + E_{externe}(s)$

Guide le contour actif vers les caractéristiques de l'image

$$E_{externe}(s) = |\nabla (G_\sigma * I(g(s)))|^2$$

ATTACHE AUX DONNÉES

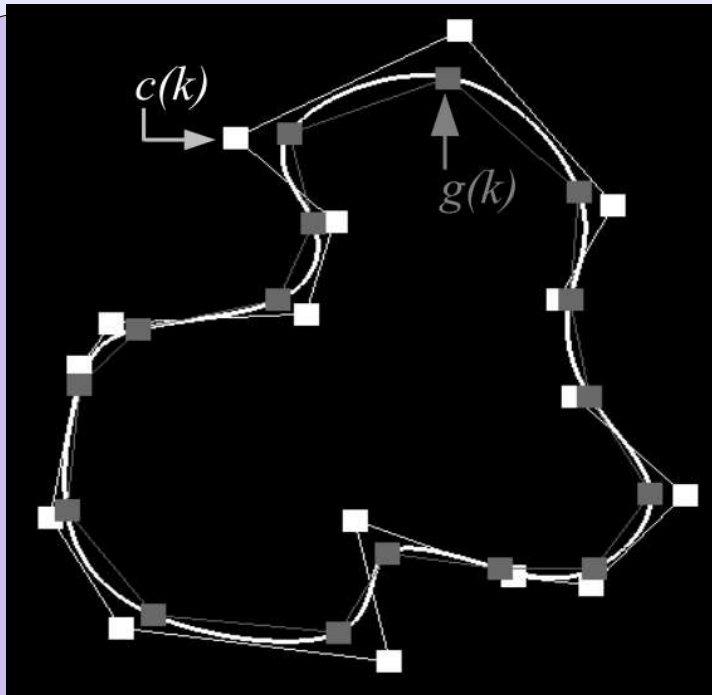
$$E_{interne} = \alpha(s) \left| \frac{dg(s)}{ds} \right|^2 + \beta(s) \left| \frac{d^2 g(s)}{ds^2} \right|^2$$

RÉGULARISATION

Pénalisation des fortes extensions et fortes courbures de $g(s)$

2.2. Contours actifs 2D

Représentation **B-Spline** d'un contour.



Interpolation B-Spline

B-Spline

Filtrage B-Spline



Filtrage B-Spline [UNSER-93]

$$g(k) \longrightarrow \boxed{B^{-1}} \longrightarrow c(k)$$

Indirect

$$c(k) \longrightarrow \boxed{B} \longrightarrow g(k)$$

Direct

Lien entre points du contour $g(k)$ et points de contrôle $c(k)$.

Le **B-Snake** : représentation du contour par une courbe B-Spline [MENET-90].

- Intégration des propriétés de continuité des B-Splines
- Calculs sur un ensemble réduit de points : la matrice de rigidité en est d'autant plus petite.
- Les points traités sont les points de contrôle B-Splines : peu intuitif.

Le **B-Snake** à énergie interne **implicite** [BRIGGER – 00] :

- Splines cubiques = courbes à **énergie** (interne) **minimale**.
- **Échantillonnage** = paramètre de **régularisation**.
- Filtrage B-Spline = interaction avec les points du contour.

Déformation d'un **B-Snake** à énergie interne implicite :

ATTACHE AUX DONNÉES

$$g_i(k) = g_{i-1}(k) - \gamma^{-1} \cdot f(k)$$

RÉGULARISATION = échantillonnage variable

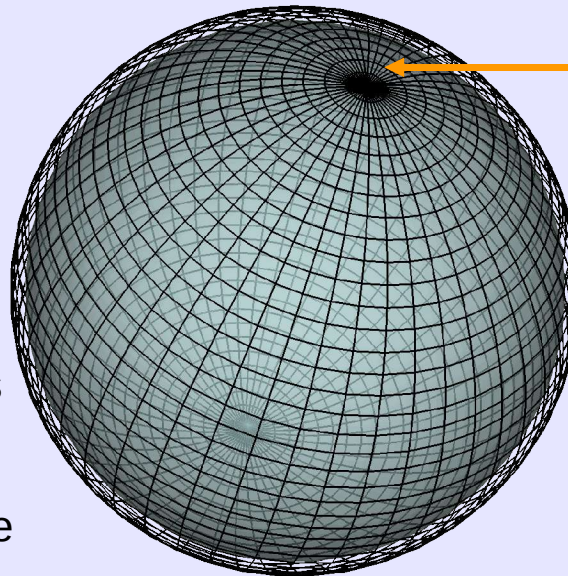
4. MoDeReS-3D :: des contours aux surfaces

Objectif : conserver une régularisation par filtrage RII B-Spline lissant des forces externes.

- Rapide
- Sens physique (fréquence de coupure)

Comment « diriger » le filtre sur le maillage ?

Quels types de maillages pourra-t-on utiliser pour représenter la surface, et sous quelles conditions le filtre pourra fonctionner ?



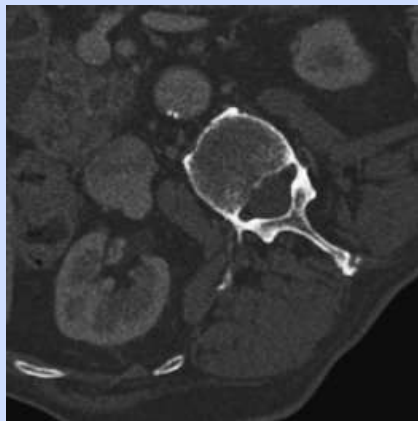
Comment gérer la non-uniformité de l'échantillonnage ?

Régularisation locale :
Lien entre λ et la fréquence de coupure (relative à la fréquence d'échantillonnage) [VELUT-JASP07]

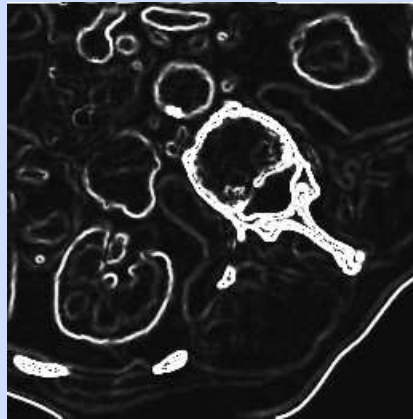
$$\lambda = r_g^{-1}(f_c) = \frac{(-1 + \sqrt{2}) \cdot (\cos(2\pi f_c) + 2)}{12 \cdot (\cos(2\pi f_c) - 1)^2}$$

Segmentation : processus de partition d'une image

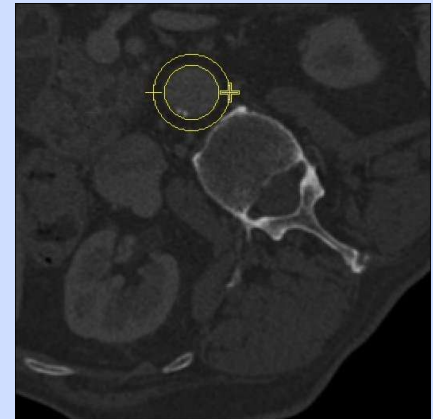
- Mise en évidence d'objet d'intérêt par contour ou région
- Automatisation de mesures pour une imagerie quantitative



IRM de l'abdomen

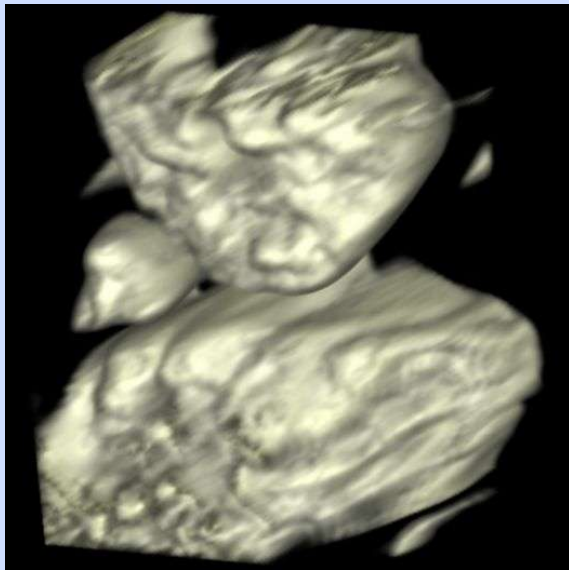


Détection des
contours

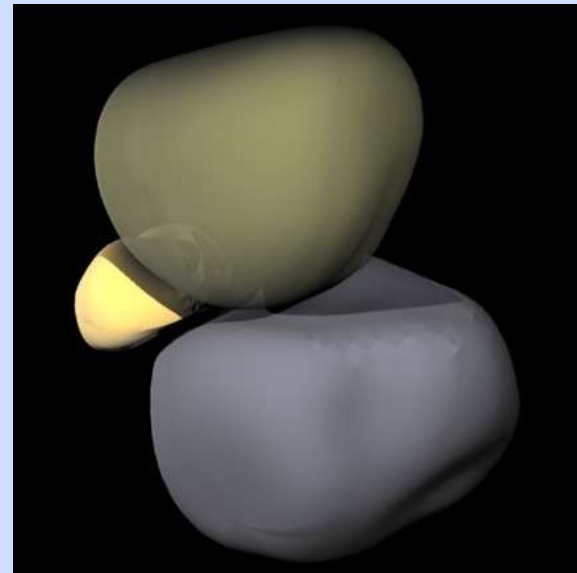


Localisation de
l'aorte par un
snakuscule
[THEVENAZ-06]

Modèle déformable surfacique : représentation de l'objet d'intérêt par son enveloppe (frontière intérieur / extérieur).



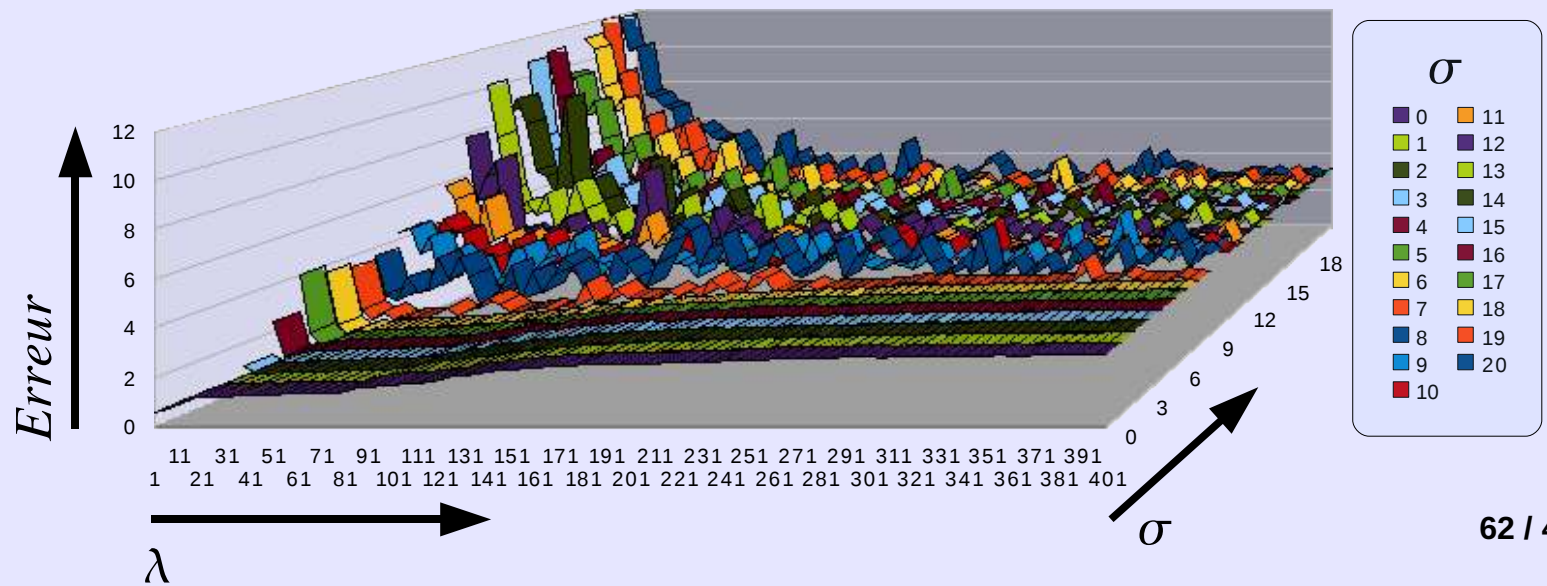
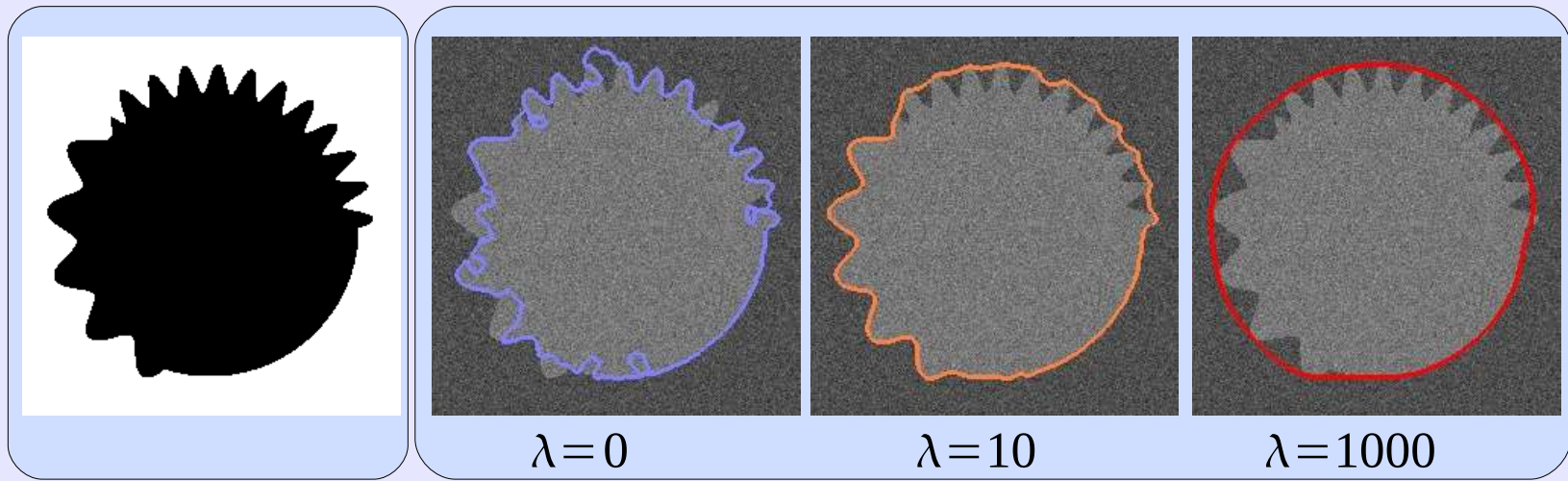
Rendu volumique



Rendu surfacique

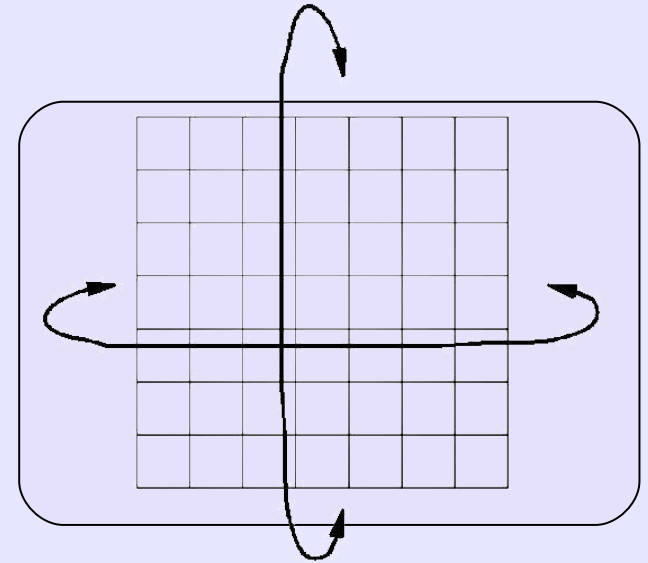
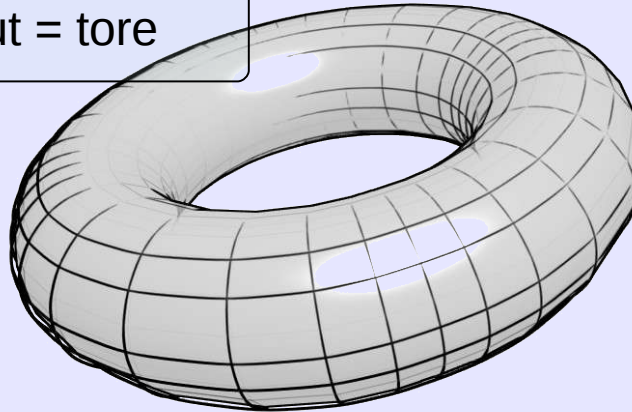
IRM fémur / tibia de cobaye

3. MoDeReS-2D :: résultats



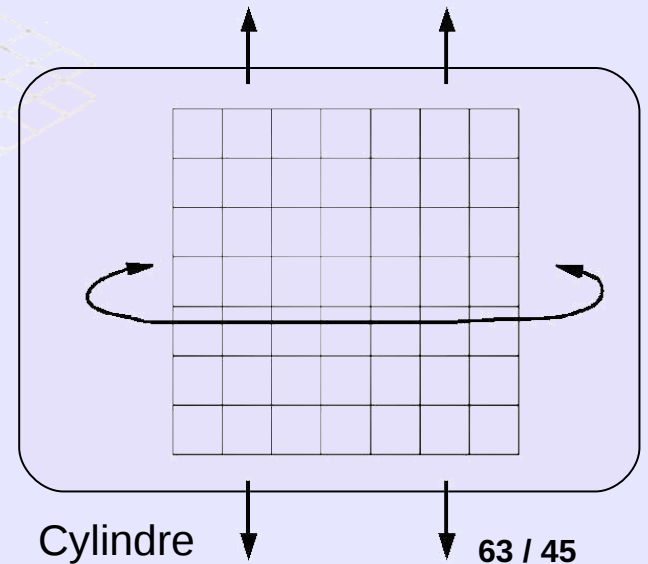
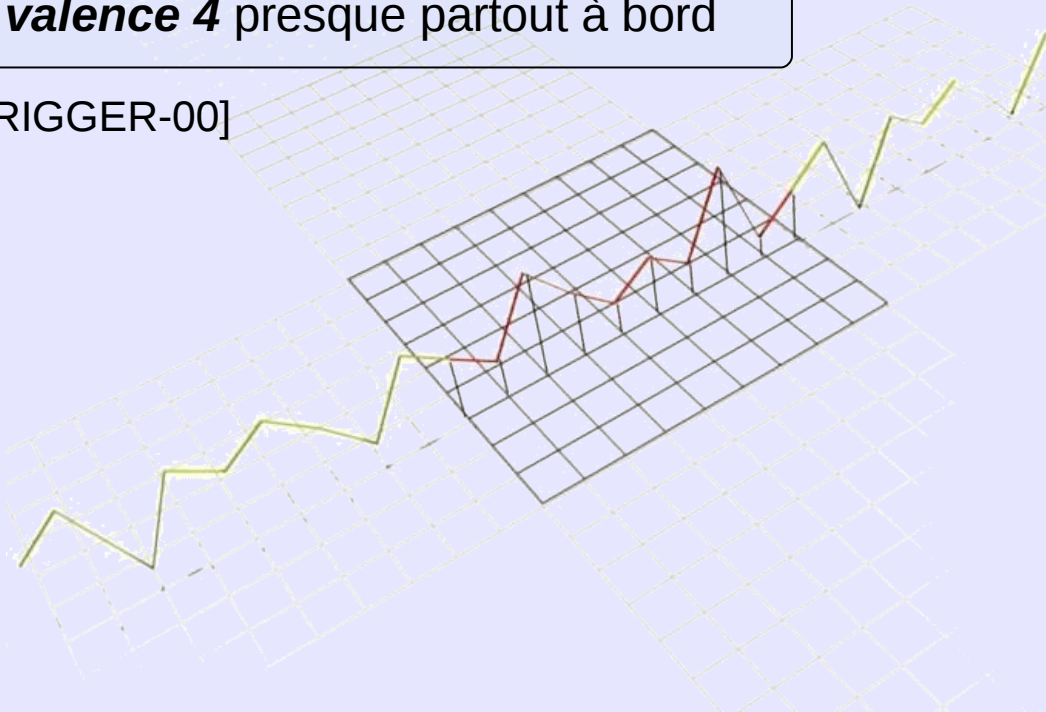
4. MoDeReS-3D :: filtrage de maillages paramétriques

valence 4 partout = tore



valence 4 presque partout à bord

[BRIGGER-00]



3. MoDeReS-2D :: régularisation locale

Régularisation temporellement variante
(dépendante de l'itération courante)

Changer la valeur de λ à
chaque itération

***Mise en oeuvre dans
le MoDeReS***

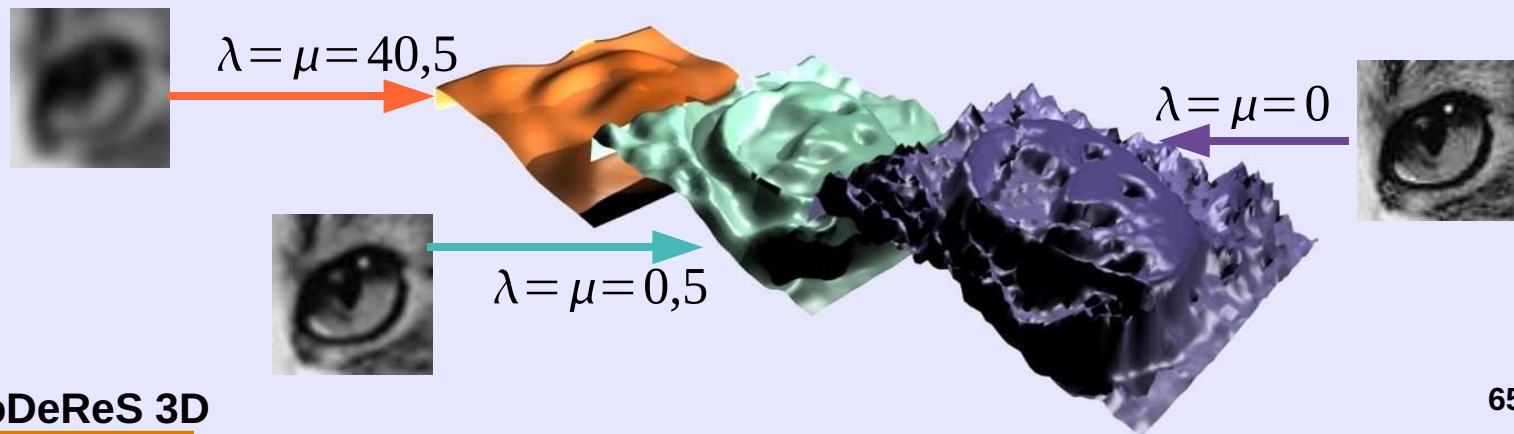
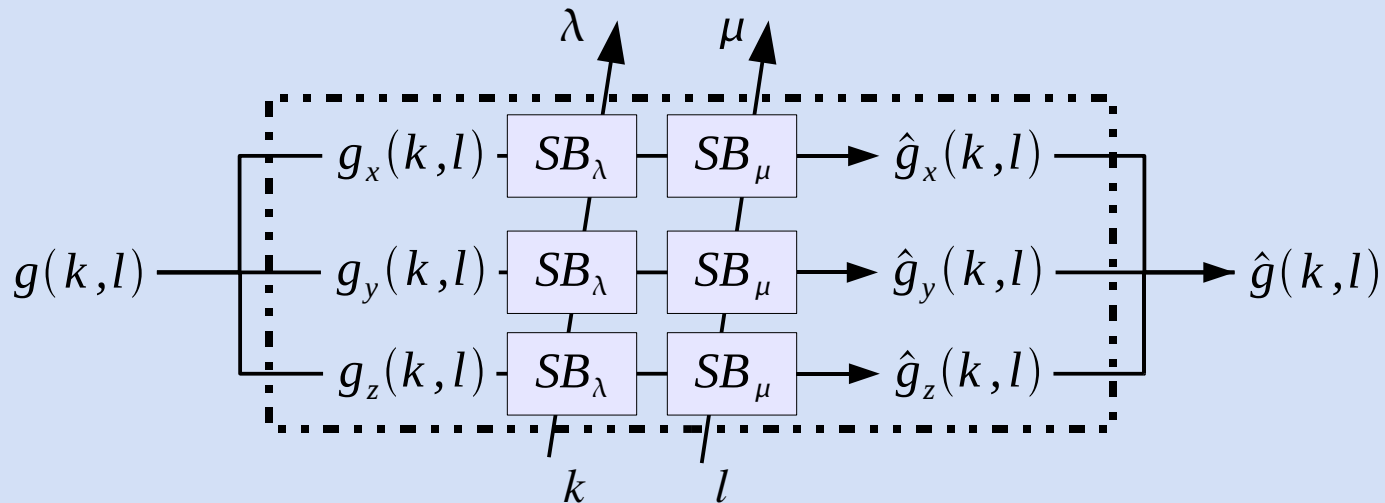
Régularisation spatialement variante
(dépendante du point considéré)

Changer la valeur de λ en
chaque point du contour actif

Filtrage B-Spline lissant variant

Filtrage B-Spline lissant d'une **surface paramétrique**

Filtre bidimensionnel des 3 composantes de la surface par filtrage B-Spline lissant 1D successif des directions k et l .



Modèles déformables représentés par des **maillages** surfaciques :

→ Maillage **triangulaire** [DELINGETTE-92]

- Régularisation équivalente à un **filtrage RIF** de la surface.
- Impact sur la complexité.



→ Maillage **simplexe** [MONTAGNAT-98, DELINGETTE-99]

- Topologie simple / dual d'une triangulation. Tous les points possèdent 3 voisins.
- Définition de forces en un point en fonction de son voisinage (**filtrage type RIF**).

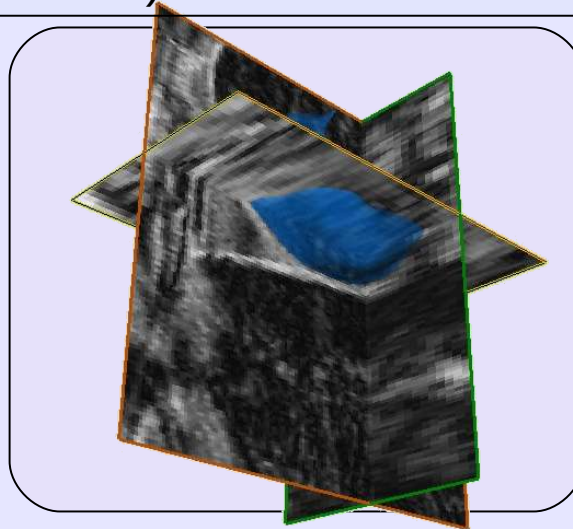
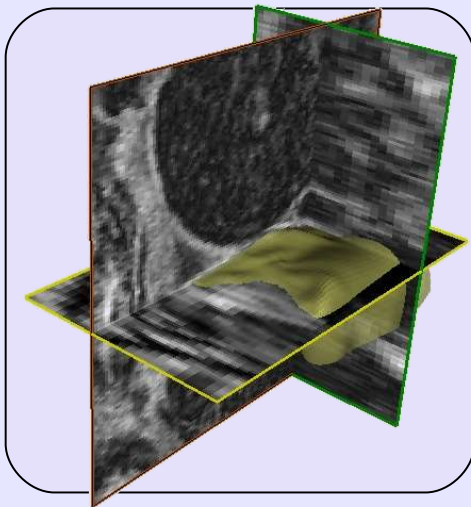


→ Surface paramétrique **B-Spline** [CHEN-05]

- Reprend les avantages d'une représentation B-Spline (énergie interne implicite, peu de points de contrôle).
- Impose un maillage **quadrangulaire** (produit tensoriel).
- Ne résout pas le problème des points singuliers.

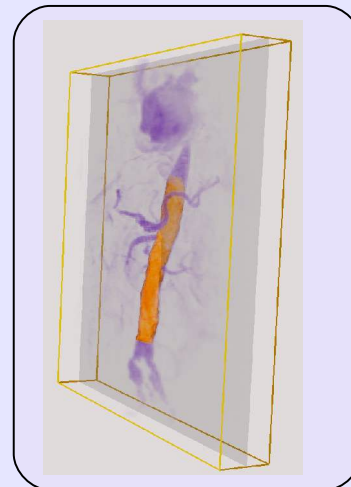
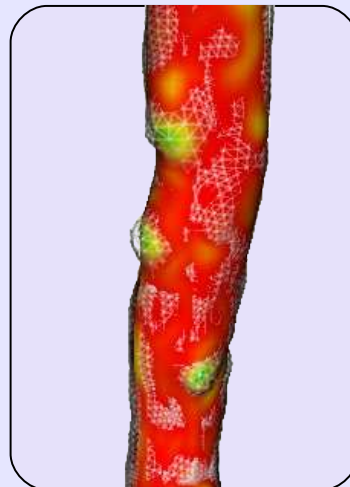
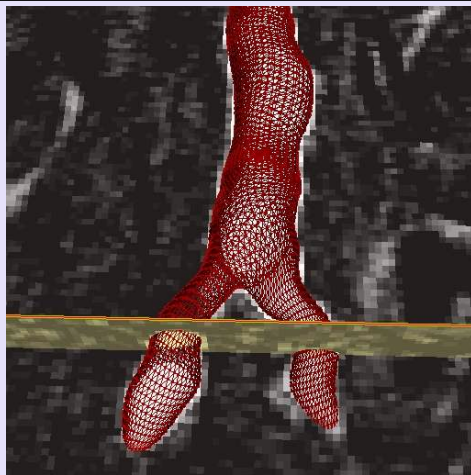
Segmentation de structures planaires

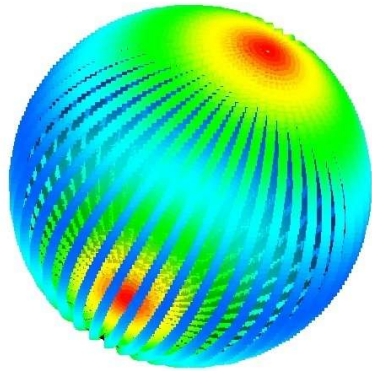
Segmentation du fémur et du tibia
(IRM de cobaye - ANIMAGE)



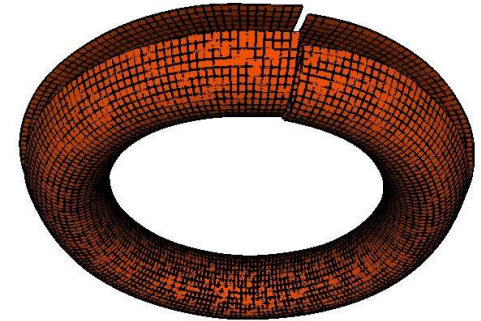
Segmentation
du plateau
tibial et de
l'épiphyse
distale
(ANIMAGE)

Segmentation de l'aorte (ANGIO IRM)

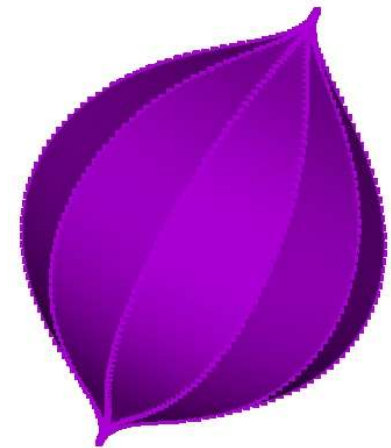
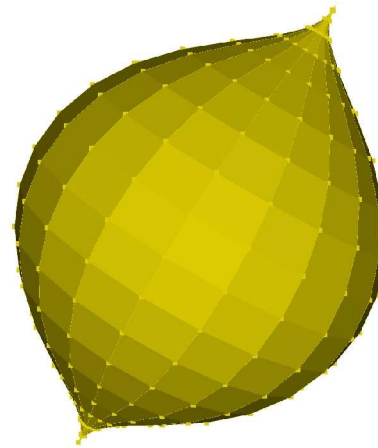
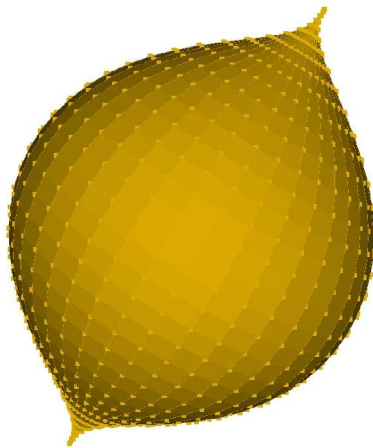




Non-uniformité



Gestion des bords



Filtrage indépendant de l'échantillonnage



Application : aide à la sélection

