

# Segmentation et analyse d'IRM cardiaque 4D à base de ligne de partage des eaux

**J. Cousty**

Institut Gaspard-Monge  
Laboratoire A2SI, Groupe ESIEE, Noisy-le-Grand  
Fédération de Cardiologie, CHU Henri Mondor, Créteil

Séminaire IRMC  
2 février 2006

# Contributeurs

- L. Najman (IGM)
- M. Couprie (IGM)
- S. Clément-Guinaudeau (CHU Henri Mondor, Créteil)
- T. Goissen (CHU Henri Mondor, Créteil)
- J. Garot (CHU Henri Mondor, Créteil)

# Contexte

L'*imagerie par résonance magnétique* est devenue "*le gold standard*" pour l'évaluation de paramètres caractéristiques du ventricule gauche.

- Fraction d'éjection du ventricule gauche
- Masse ventriculaire gauche

Un examen cardiaque IRM comprend trois étapes :

- Acquisition spatio-temporelle (IRM ciné)
- Acquisition spatio-temporelle pendant injection d'un produit de contraste (Perfusion)
- Acquisition volumique une fois le produit de contraste évacué (IRM tardif)



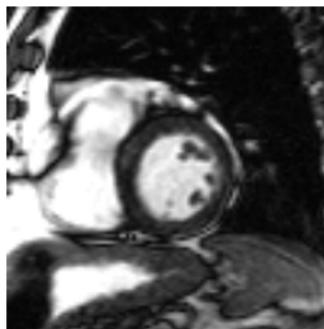
# Contexte

*Image 4D ciné-IRM* (espace et temps) :

# Contexte

*Image 4D ciné-IRM* (espace et temps) :

- Acquisition coupe par coupe (2D)



# Contexte

*Image 4D ciné-IRM* (espace et temps) :

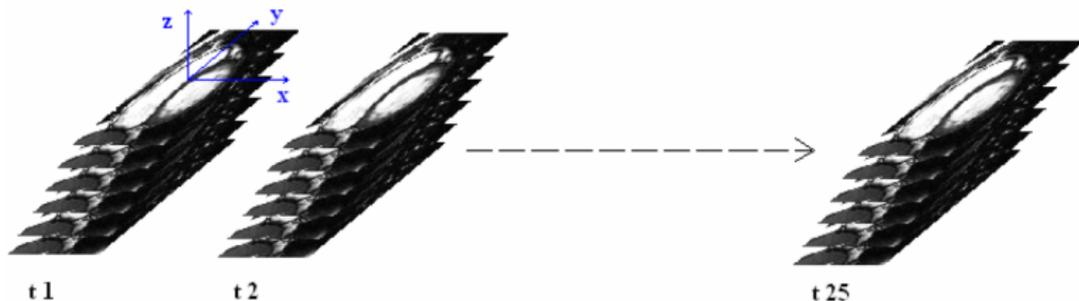
- Acquisition coupe par coupe (2D)
- D'abord dans le temps (recalée sur l'ECG)

im

# Contexte

*Image 4D ciné-IRM* (espace et temps) :

- Acquisition coupe par coupe (2D)
- D'abord dans le temps (recalée sur l'ECG)
- Puis dans l'espace



# Contexte

Logiciel disponible en routine clinique :

- Segmentation successive de chaque séquence 2D+t
- *Correction manuelle nécessaire*
- *20 min* pour segmenter grossièrement *l'endocarde uniquement* (avec le logiciel MASS Analysis)

# Contexte

Logiciel disponible en routine clinique :

- Segmentation successive de chaque séquence 2D+t
- *Correction manuelle nécessaire*
- *20 min* pour segmenter grossièrement *l'endocarde uniquement* (avec le logiciel MASS Analysis)

Littérature :

- Une seule méthode (surfaces déformables) prend en compte la nature 4D des images  
[MONTAGNAT-DELINGETTE-2005]



# Problématique

## Problème

*Méthodes rarement utilisées en pratique clinique !*

# Problématique

## Problème

*Méthodes rarement utilisées en pratique clinique !*

## Proposition

*Reposant sur des outils de la morphologie mathématique*

- Segmentation automatique en 4D
  - *Endocarde*
  - *Epicarde*
- Ligne de partage des eaux 4D
- *Temps total de traitement < 3 min*
- Validation clinique

# Segmentation Morphologique

Méthodologie proposée par Beucher et Meyer (1994)

- Reconnaissance
- Délimitation
- Lissage

# Connaissances *a priori*

## Problème

*Comment prendre en compte les connaissances a priori ?*

# Connaissances *a priori*

## Problème

*Comment prendre en compte les connaissances a priori ?*

- *Topologique*



# Connaissances *a priori*

## Problème

*Comment prendre en compte les connaissances a priori ?*

- *Topologique*
- *Géométrique*

# Connaissances *a priori*

## Problème

*Comment prendre en compte les connaissances a priori ?*

- *Topologique*
- *Géométrique*
- *Apparence*

# Connaissances *a priori*

## Problème

*Comment prendre en compte les connaissances a priori ?*

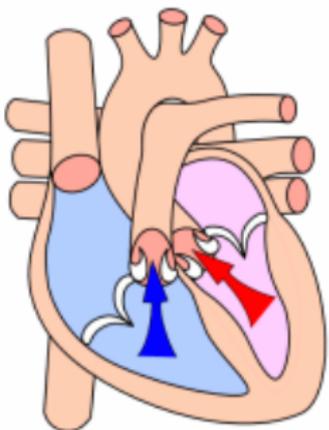
- *Topologique*
- *Géométrique*
- *Apparence*

## Solution

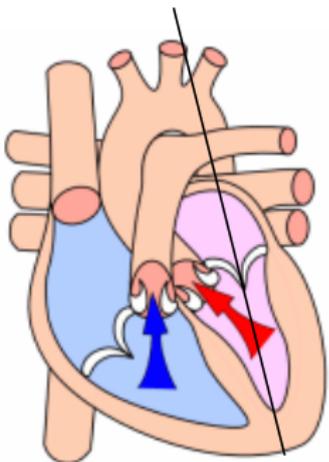
*Choix d'opérateurs intelligents pour les étapes de reconnaissance et lissage.*



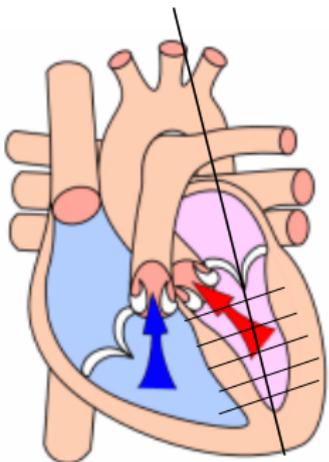
# Connaissances topologiques



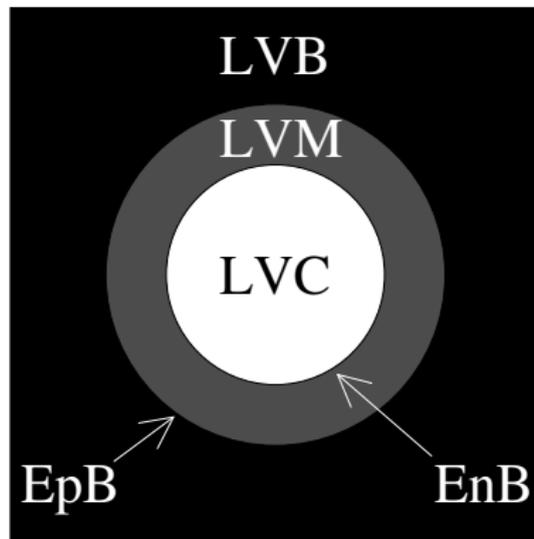
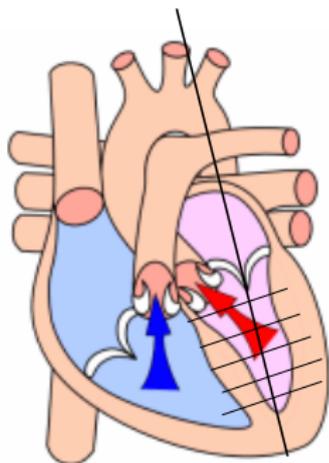
# Connaissances topologiques



# Connaissances topologiques

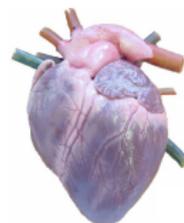


# Connaissances topologiques



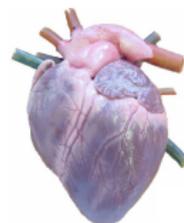
# Connaissances géométrique

- L'épicarde est une surface lisse.



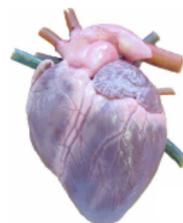
# Connaissances géométrique

- L'épicarde est une surface lisse.
- L'endocarde n'est pas une surface lisse (trabéculations).

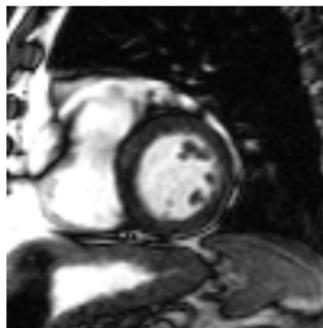


# Connaissances géométrique

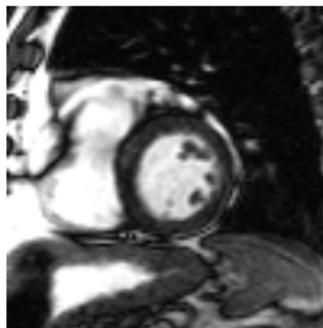
- L'épicarde est une surface lisse.
- L'endocarde n'est pas une surface lisse (trabéculations).
- Le myocarde ne peut excéder une certaine épaisseur.



# Apparence des objets d'intérêt

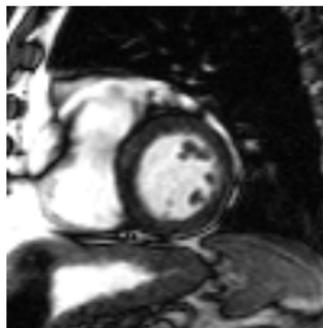


# Apparence des objets d'intérêt



- Cavité claire

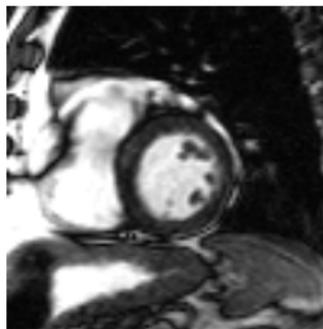
# Apparence des objets d'intérêt



- Cavité claire
- Endocarde bien contrasté



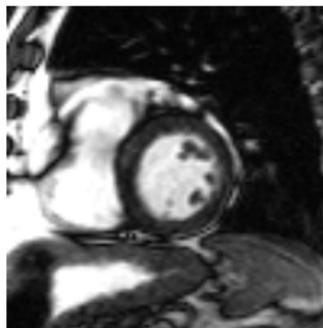
# Apparence des objets d'intérêt



- Cavité claire
- Endocarde bien contrasté
- Myocarde plus sombre



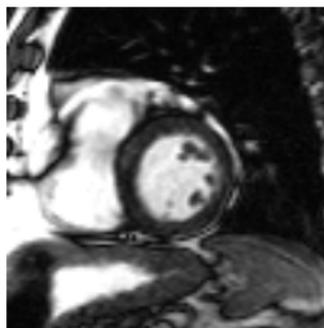
# Apparence des objets d'intérêt



- Cavité claire
- Endocarde bien contrasté
- Myocarde plus sombre
- Epicarde peu contrasté



# Apparence des objets d'intérêt



- Cavité claire
- Endocarde bien contrasté
- Myocarde plus sombre
- Epicarde peu contrasté
- **Fond comprenant des objets d'intensités caractéristiques**

# Endocarde : segmentation de la cavité

*En 3D*

# Reconnaissance

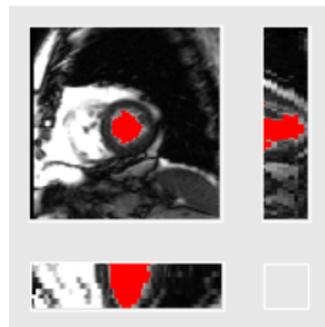
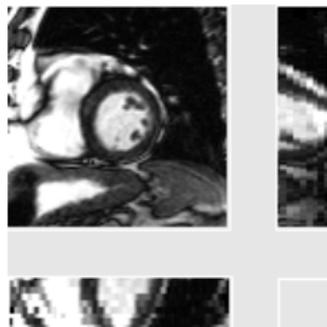
## Méthode

- *Seuil "haut" (sélectif)*
- *Sélection de la composante connexe C appropriée (en 3D)*

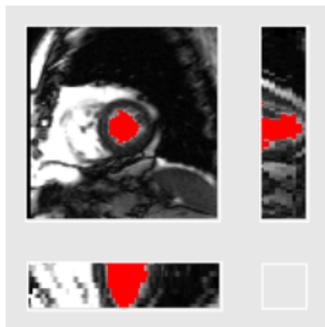
# Reconnaissance

## Méthode

- *Seuil "haut" (sélectif)*
- *Sélection de la composante connexe C appropriée (en 3D)*



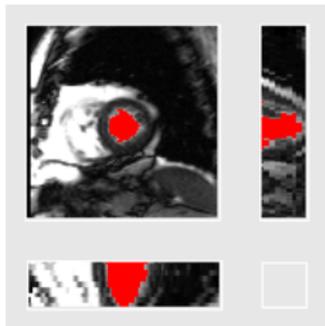
# Délimitation



# Délimitation

## Méthode

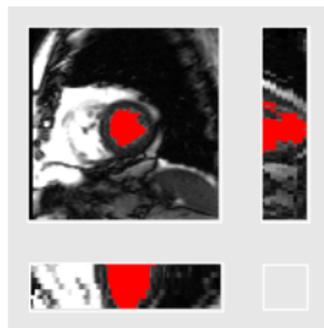
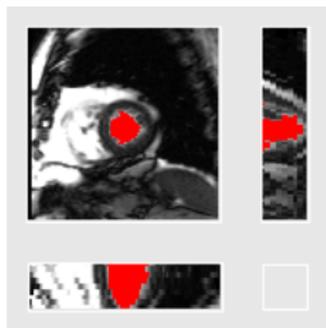
- *Seuil "bas"*



# Délimitation

## Méthode

- Seuil "bas"
- Dilatation géodésique de  $C$  dans le seuil "bas"



# Lissage

- Conformément au modèle : *pas de lissage*

# Epicarde : segmentation de la cavité+Myocarde



# Epicarde : principe de segmentation

*Application classique de la morphologie mathématique*

## Méthode

- *Reconnaissance (sélection automatique de marqueurs) ;*
- *Délimitation (LPE sur les arêtes en 4D) ;*
- *Régularisation (filtrage spatial séquentiel alterné).*



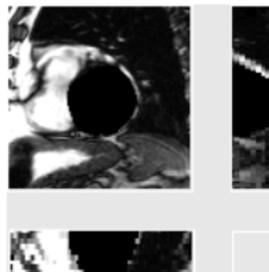
# Epicarde : reconnaissance

*Deux régions à segmenter, deux marqueurs à reconnaître*

Cavité + Myocarde



Complémentaire



# Epicarde : marqueur interne



*En 3D*

# Epicarde : marqueur cavité+myocarde

## Hypothèse

- $\text{marqueur} \subseteq \text{cavité+myocarde}$
- $\text{cavité} \subseteq \text{marqueur}$

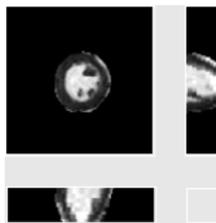


# Epicarde : marqueur cavité+myocarde

## Hypothèse

- $\text{marqueur} \subseteq \text{cavité+myocarde}$
- $\text{cavité} \subseteq \text{marqueur}$

$\gamma$  = Dilatation  
de la cavité



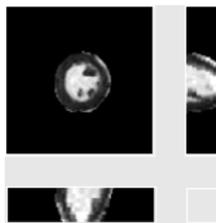
# Epicarde : marqueur cavité+myocarde

## Hypothèse

- $\text{marqueur} \subseteq \text{cavité+myocarde}$
- $\text{cavité} \subseteq \text{marqueur}$

$\gamma$  = Dilatation  
de la cavité

$\text{ExtEpi}$  = extérieur  
cavité+muscle

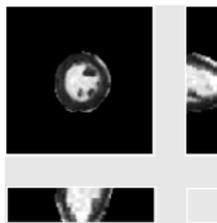


# Epicarde : marqueur cavité+myocarde

## Hypothèse

- $\text{marqueur} \subseteq \text{cavité+myocarde}$
- $\text{cavité} \subseteq \text{marqueur}$

$\gamma$  = Dilatation  
de la cavité

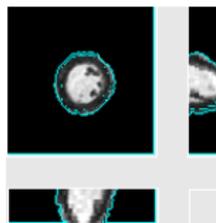


$\text{ExtEpi}$  = extérieur  
cavité+muscle



$E_3 = \gamma \cap \overline{\text{ExtEpi}}$

en bleu :  $\partial E_3$



# Epicarde : marqueur cavité+myocarde

## Hypothèse

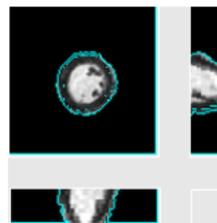
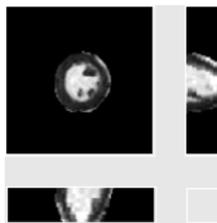
- $\text{marqueur} \subseteq \text{cavité+myocarde}$
- $\text{cavité} \subseteq \text{marqueur}$

$\gamma$  = Dilatation  
de la cavité

$\text{ExtEpi}$  = extérieur  
cavité+muscle

$$E_3 = \gamma \cap \overline{\text{ExtEpi}}$$

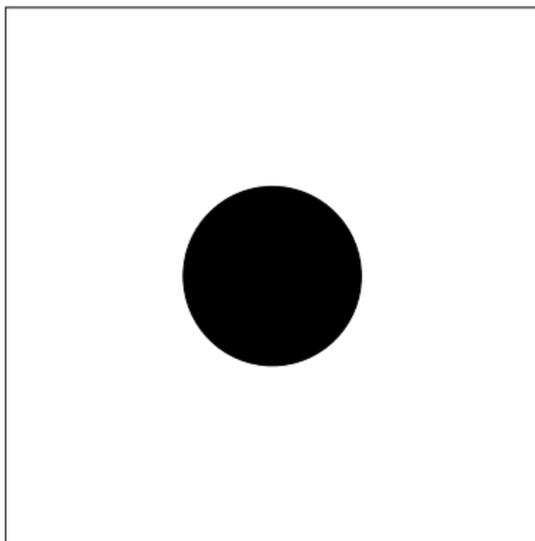
en bleu :  $\partial E_3$



## Problème

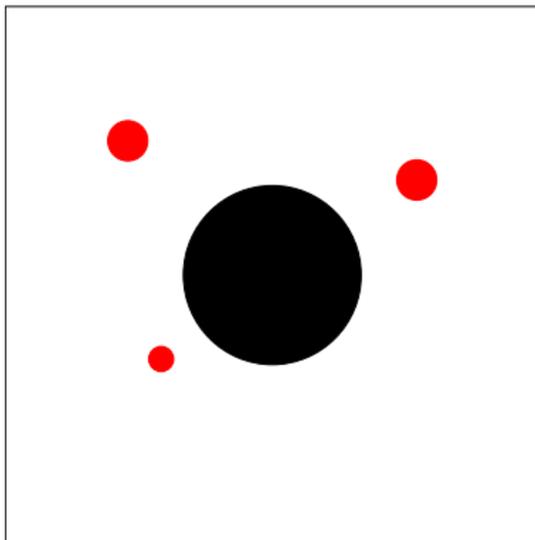
*En pratique,  $E_3$  non inclus dans cavité+myocarde*

# Dilatation contrainte



Cavité

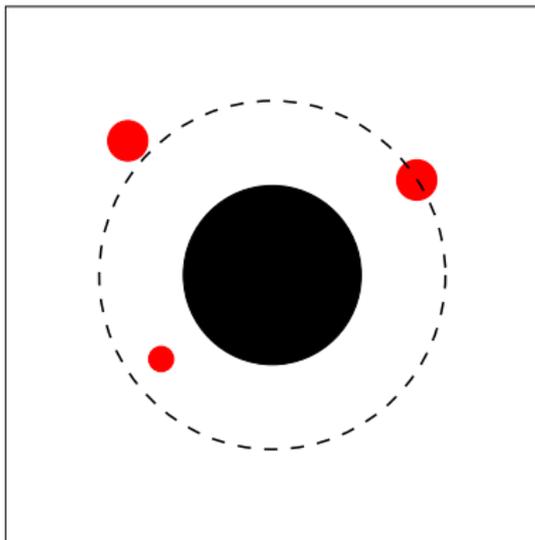
# Dilatation contrainte



Contraintes

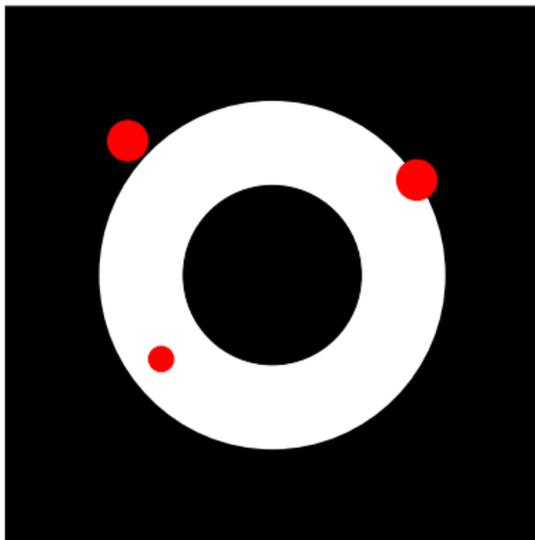


# Dilatation contrainte



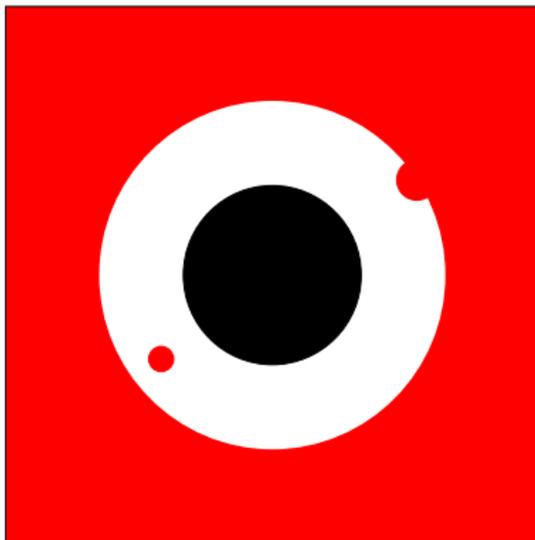
Dilatation de la cavité

# Dilatation contrainte



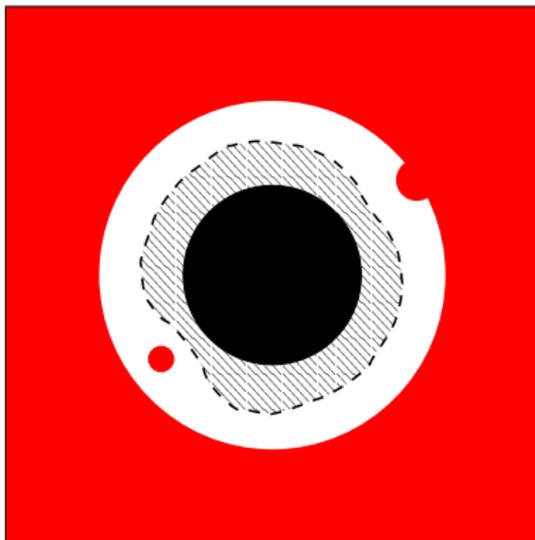
Complémentation

# Dilatation contrainte



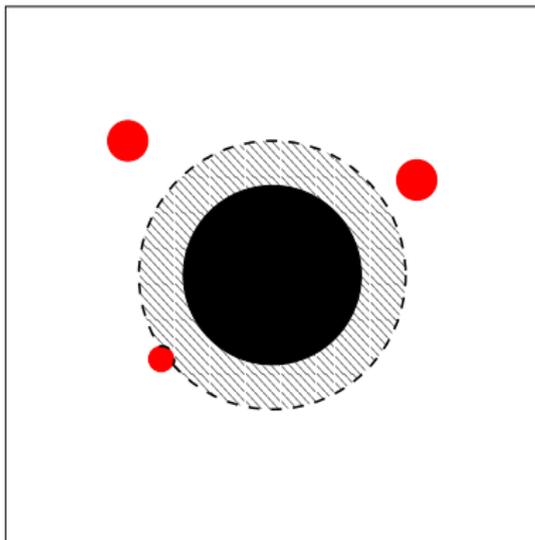
Union avec les  
contraintes

# Dilatation contrainte



SKIZ

# Dilatation contrainte



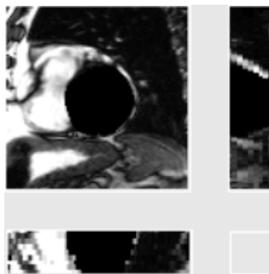
Procédure  
précédente

# Epicarde : marqueur cavité+myocarde

## Méthode

- *Dilatation de la cavité contrainte par des “marqueurs externes” (ExtEpi)*

# Epicarde : marqueur complémentaire



*En 3D*

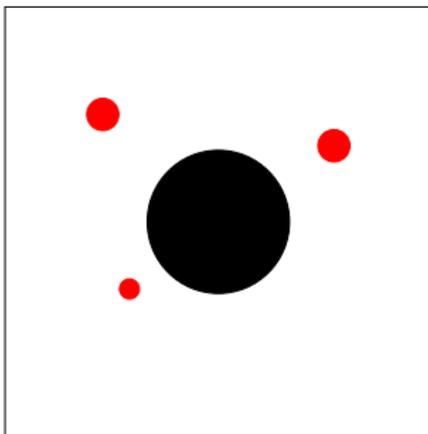
# Epicarde : marqueur complémentaire

## Hypothèse

- *Objet connexe, une seule cavité*
- *L'épaisseur du myocarde est bornée*
- *Intensités caractéristiques de certains organes (VD, poumons ...)*

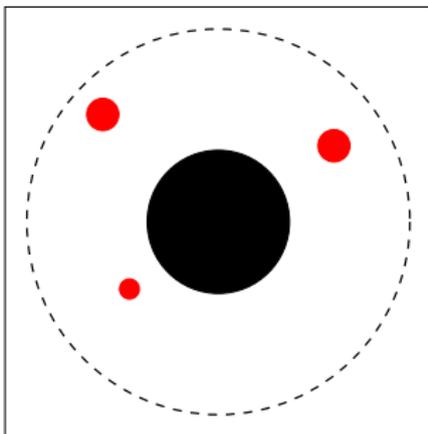


# Epicarde : marqueur complémentaire



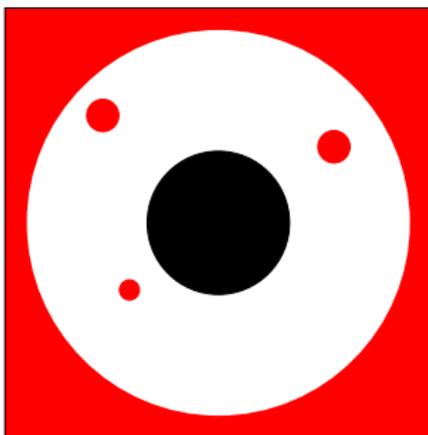
Cavité (noire),  
contraintes (rouge)

# Epicarde : marqueur complémentaire



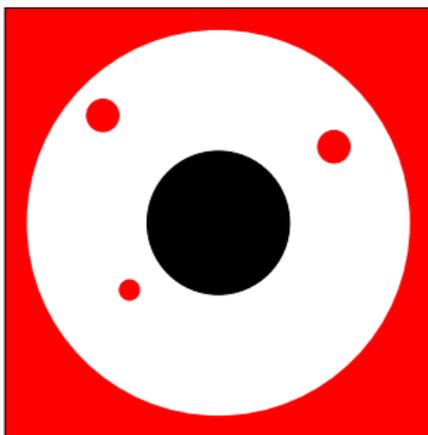
Dilatation de la cavité

# Epicarde : marqueur complémentaire



Complémentation et  
union avec les  
contraintes

# Epicarde : marqueur complémentaire

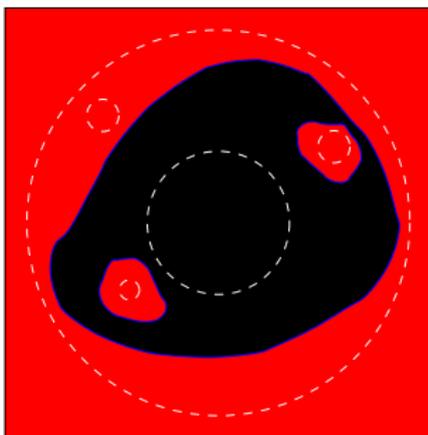


Complémentation et  
union avec les  
contraintes

## Problème

- *Le marqueur n'a pas la topologie souhaitée*

# Epicarde : marqueur complémentaire

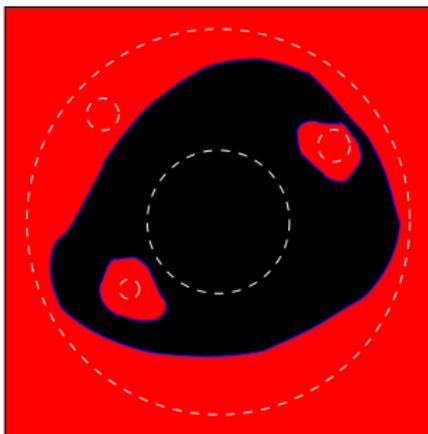


LPE

## Problème

- *Le marqueur n'a pas la topologie souhaitée*

# Epicarde : marqueur complémentaire



LPE

## Problème

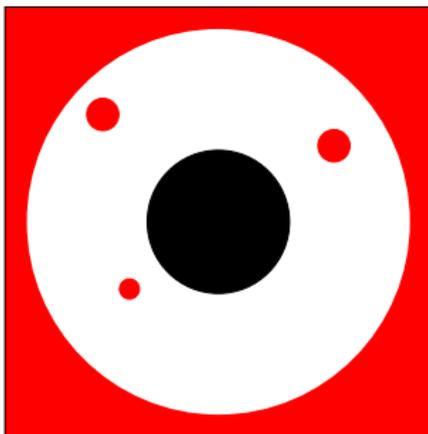
- *Le marqueur n'a pas la topologie souhaitée*
- *L'objet obtenu par LPE non plus*

# Epicarde : marqueur complémentaire

## Méthode

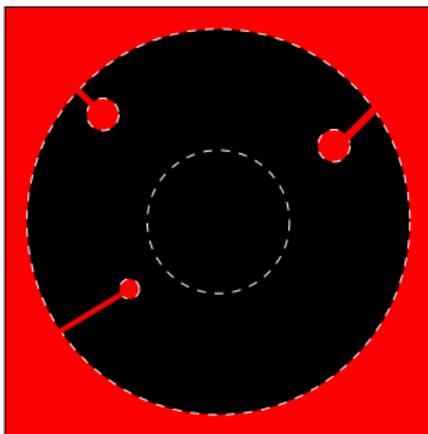
- *La cavité déjà segmentée a la topologie souhaitée*
- *Expansion (dilatation) homotopique de la cavité contrainte*

# Epicarde : marqueur complémentaire



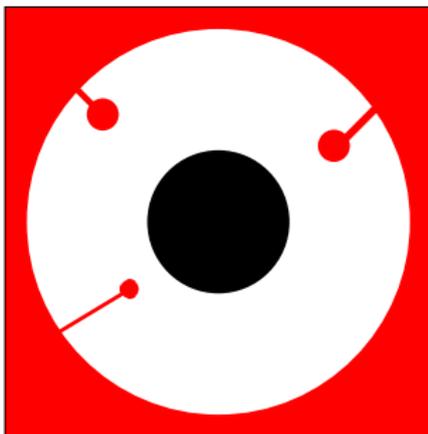
Marqueur et dilatation  
complémentée de la  
cavité (rouge)

# Epicarde : marqueur complémentaire



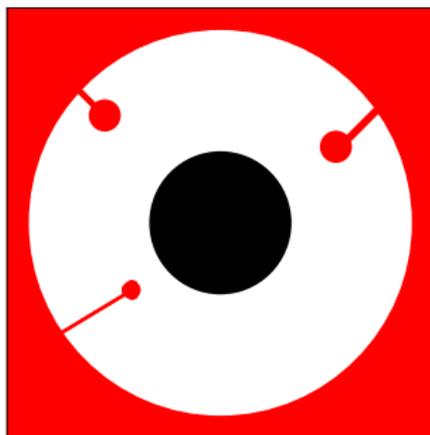
Expansion  
homotopique (noire)  
de la cavité contrainte  
par l'ensemble rouge

# Epicarde : marqueur complémentaire



Le marqueur externe

# Epicarde : marqueur complémentaire

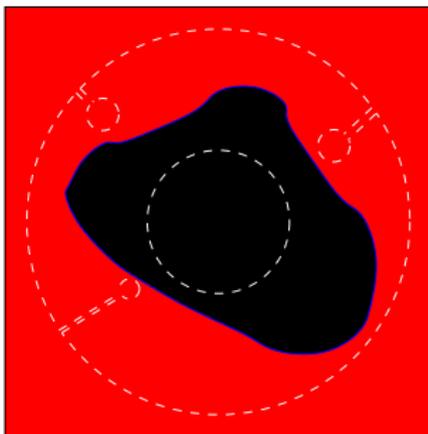


Le marqueur externe

## Solution

- *Le marqueur a la topologie souhaitée*

# Epicarde : marqueur complémentaire

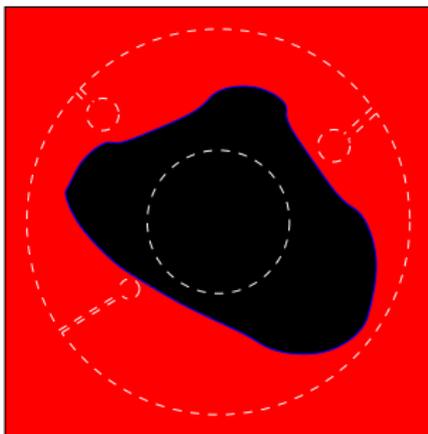


LPE

## Solution

- *Le marqueur a la topologie souhaitée*

# Epicarde : marqueur complémentaire



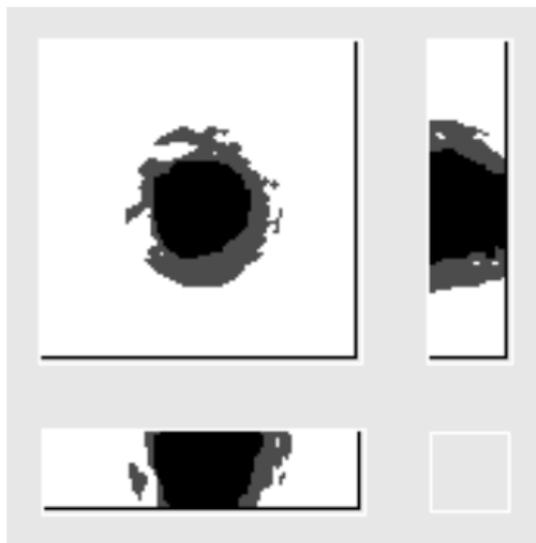
LPE

## Solution

- *Le marqueur a la topologie souhaitée*
- *L'objet obtenu par LPE aussi*



# Epicarde : marqueur complémentaire



# Intermède : LPE



# Intermède : LPE



## Intermède : LPE



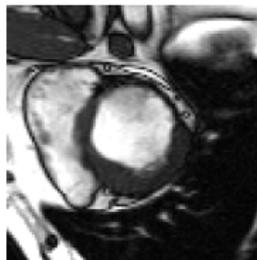
- La notion de ligne de partage des eaux apparaît dès le XIX<sup>ème</sup> siècle (J. C. Maxwell).

# Intermède : LPE

- Un siècle plus tard (1972) : introduction de la LPE en segmentation d'image.

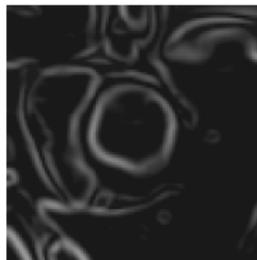
## Intermède : LPE

- Un siècle plus tard (1972) : introduction de la LPE en segmentation d'image.



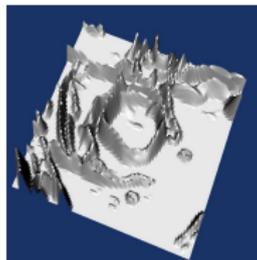
# Intermède : LPE

- Un siècle plus tard (1972) : introduction de la LPE en segmentation d'image.



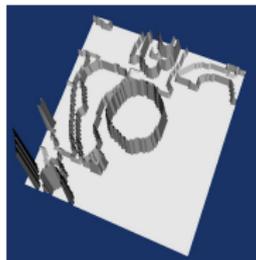
# Intermède : LPE

- Un siècle plus tard (1972) : introduction de la LPE en segmentation d'image.



# Intermède : LPE

- Un siècle plus tard (1972) : introduction de la LPE en segmentation d'image.



# Intermède : LPE

- Un siècle plus tard (1972) : introduction de la LPE en segmentation d'image.



# Intermède : LPE

- [FRIEDLANDER-88] LPE pour l'imagerie cardiaque
  - 2D+t



# Intermède : LPE

- [FRIEDLANDER-88] LPE pour l'imagerie cardiaque
  - 2D+t
- Ligne de partage des eaux topologique



# Intermède : LPE

- [FRIEDLANDER-88] LPE pour l'imagerie cardiaque
  - 2D+t
- Ligne de partage des eaux topologique

LPE



# Intermède : LPE

- [FRIEDLANDER-88] LPE pour l'imagerie cardiaque
  - 2D+t
- Ligne de partage des eaux topologique

## LPE

- LPE sur les arêtes (groupe de travail, demain ! )



# Epicarde : délimitation

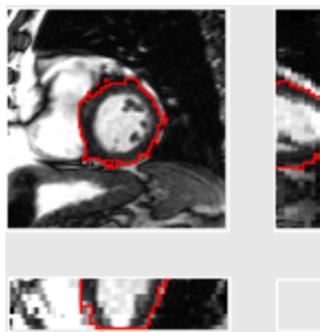
## Solution

*LPE sur les arêtes en 4D.*

# Epicarde : délimitation

## Solution

*LPE sur les arêtes en 4D.*



# Epicarde : Filtrage

## Hypothèse

- *L'épicarde est une surface lisse*



# Epicarde : Filtrage

## Hypothèse

- *L'épicarde est une surface lisse*
- Ouverture morphologique
  - Union des boules de rayons  $> r$  incluses dans l'objet



# Epicarde : Filtrage

## Hypothèse

- *L'épicarde est une surface lisse*
- Ouverture morphologique
  - Union des boules de rayons  $> r$  incluses dans l'objet
- Fermeture morphologique
  - Opérateur dual.

# Epicarde : Filtrage

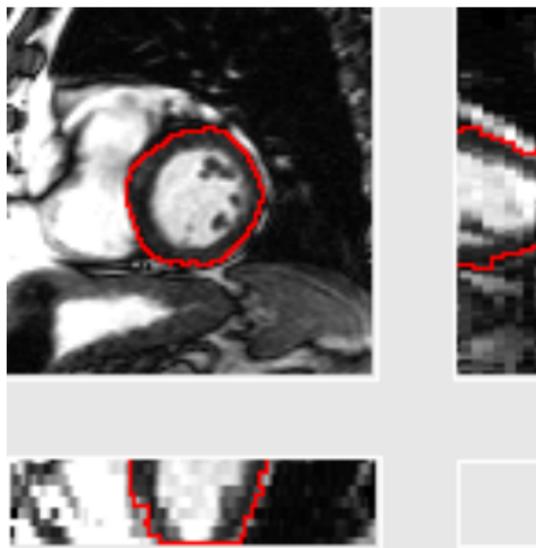
## Hypothèse

- *L'épicarde est une surface lisse*
- Ouverture morphologique
  - Union des boules de rayons  $> r$  incluses dans l'objet
- Fermeture morphologique
  - Opérateur dual.

## Solution

Filtre séquentiel alterné en 2D :

- *Séquence d'ouvertures/fermetures par des boules de tailles croissantes*



# Myocarde

## *Myocarde*

Film : 3 coupes orthogonales 2D+t de la séquence 3D+t

res



# Visualisation

*Rendu surfacique au cours du temps*  
de la séquence 3D+t

rendu2



# Validation clinique : données

- *18 patients* porteurs d'une cardiopathie
  - *acquis consécutivement* au CHU Henri Mondor, Créteil
- Segmentations manuelles successives de toutes les coupes 2D
  - Effectuées en parallèle par *2 experts cardiologues*
  - On dispose donc de *2 "vérités-terrain"*
- Comparaison : segmentations automatiques/manuelles



# Paramètres

## Problème

- *5 paramètres de forme (géométrie)*
- *4 paramètres d'apparence*

# Paramètres

## Problème

- *5 paramètres de forme (géométrie)*
- *4 paramètres d'apparence*

## Solution

- *Estimation indépendante*



# Paramètres

## Problème

- *5 paramètres de forme (géométrie)*
- *4 paramètres d'apparence*

## Solution

- *Estimation indépendante*
- *Estimation qualitative (3 patients)*

# Paramètres

## Problème

- *5 paramètres de forme (géométrie)*
- *4 paramètres d'apparence*

## Solution

- *Estimation indépendante*
- *Estimation qualitative (3 patients)*
- *Les paramètres d'apparence estimés en fonction du système d'acquisition*

# Validation

- Validation *quantitative*
- Validation *qualitative*

# Validation quantitative

# Validation clinique : Résultat

## Méthode

- *Distance 3D entre segmentations manuelles/automatiques*

# Validation clinique : Résultat

## Méthode

- *Distance 3D entre segmentations manuelles/automatiques*

## Résultats

	<i>EnB</i>	<i>EpB</i>
<i>Lötjönen et al. (2004)</i>	$2.01 \pm 0.31$	$2.77 \pm 0.49$
<i>Mitchell et al. (2002)</i>	$2.75 \pm 0.86$	$2.63 \pm 0.76$
<i>Kaus et al. (2004)</i>	$2.28 \pm 0.93$	$2.62 \pm 0.75$
<i>Lorenzo-Valdes et al. (2004)</i>	$1.88 \pm 2.00$	$2.75 \pm 2.62$
<i>van Assen et al. (2006)</i>	$1.97 \pm 0.54$	$2.23 \pm 0.46$
<b>notre méthode</b>	<b><math>1.51 \pm 0.38</math></b>	<b><math>1.81 \pm 0.43</math></b>

*Distance surfaces segmentées et vérités terrain (distance en mm  $\pm$  écart type).*

# Validation clinique : Résultat

## Méthode

- *Distance 3D entre segmentations manuelles/automatiques*

## Résultats

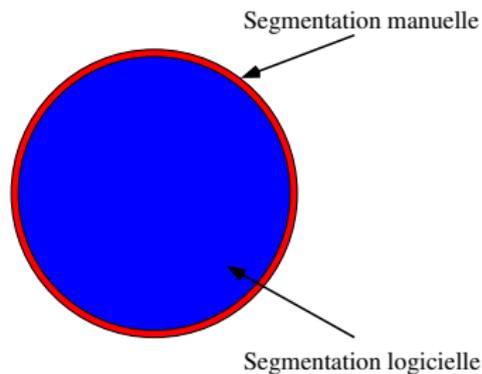
	<i>EnB</i>	<i>EpB</i>
<i>Lötjönen et al. (2004)</i>	$2.01 \pm 0.31$	$2.77 \pm 0.49$
<i>Mitchell et al. (2002)</i>	$2.75 \pm 0.86$	$2.63 \pm 0.76$
<i>Kaus et al. (2004)</i>	$2.28 \pm 0.93$	$2.62 \pm 0.75$
<i>Lorenzo-Valdes et al. (2004)</i>	$1.88 \pm 2.00$	$2.75 \pm 2.62$
<i>van Assen et al. (2006)</i>	$1.97 \pm 0.54$	$2.23 \pm 0.46$
<b>notre méthode</b>	<b><math>1.51 \pm 0.38</math></b>	<b><math>1.81 \pm 0.43</math></b>

*Distance surfaces segmentées et vérités terrain (distance en mm  $\pm$  écart type).*

	<i>EnB</i>	<i>EpB</i>
<i>inter-experts</i>	$1.26 \pm 0.44$	$1.27 \pm 0.62$

# Validation clinique : Résultat

- *Erreur moyenne < 1 pixel* sur chacun des contours ;



# Importance des erreurs

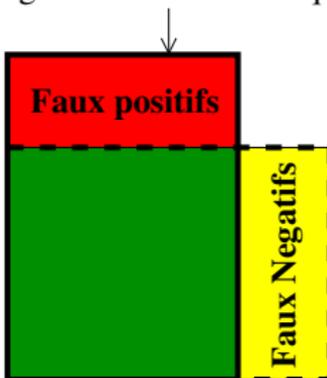
## Problème

- *Quelle est l'importance relative de ces erreurs ?*

# Faux négatifs - Faux positifs

- $FNVF(X, Y) = \frac{|Manuelle \setminus Automatique|}{|Manuelle|}$
- $FPVF(X, Y) = \frac{|Automatique \setminus Manuelle|}{|Manuelle|}$

Segmentation automatique



Segmentation manuelle

# Faux négatifs - Faux positifs

## Résultats

	<i>FNVF</i>	<i>FPVF</i>
<i>EnB</i>	$0.14 \pm 0.05$	$0.05 \pm 0.02$
<i>EpB</i>	$0.06 \pm 0.02$	$0.04 \pm 0.02$

*Automatique/Manuelle*



# Faux négatifs - Faux positifs

## Résultats

	<i>FNVF</i>	<i>FPVF</i>
<i>EnB</i>	$0.14 \pm 0.05$	$0.05 \pm 0.02$
<i>EpB</i>	$0.06 \pm 0.02$	$0.04 \pm 0.02$

*Automatique/Manuelle*

	<i>FNVF</i>	<i>FPVF</i>
<i>EnB</i>	$0.07 \pm 0.04$	$0.05 \pm 0.04$
<i>EpB</i>	$0.04 \pm 0.02$	$0.05 \pm 0.03$

*Inter-experts*

# Faux négatifs - Faux positifs

## Résultats

	<i>FNVF</i>	<i>FPVF</i>
<i>EnB</i>	<b>0.14 ± 0.05</b>	0.05 ± 0.02
<i>EpB</i>	0.06 ± 0.02	0.04 ± 0.02

*Automatique/Manuelle*

	<i>FNVF</i>	<i>FPVF</i>
<i>EnB</i>	<b>0.07 ± 0.04</b>	0.05 ± 0.04
<i>EpB</i>	0.04 ± 0.02	0.05 ± 0.03

*Inter-experts*

- *Sous-évaluation de la cavité par le logiciel ?*

# Faux négatifs - Faux positifs

## Résultats

	<i>FNVF</i>	<i>FPVF</i>
<i>EnB</i>	<b>0.14 ± 0.05</b>	0.05 ± 0.02
<i>EpB</i>	0.06 ± 0.02	0.04 ± 0.02

*Automatique/Manuelle*

	<i>FNVF</i>	<i>FPVF</i>
<i>EnB</i>	<b>0.07 ± 0.04</b>	0.05 ± 0.04
<i>EpB</i>	0.04 ± 0.02	0.05 ± 0.03

*Inter-experts*

- *Sous-évaluation de la cavité par le logiciel ?*
- *Sur-évaluation de la cavité par les experts.*

# Paramètres caractéristiques

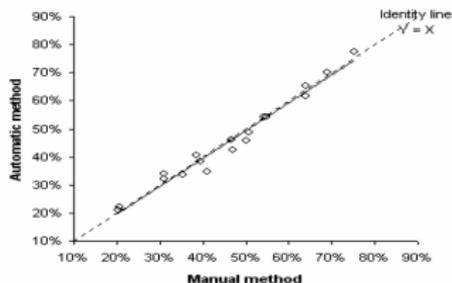
- Masse myocardique
- Fraction d'éjection

# Paramètres caractéristiques

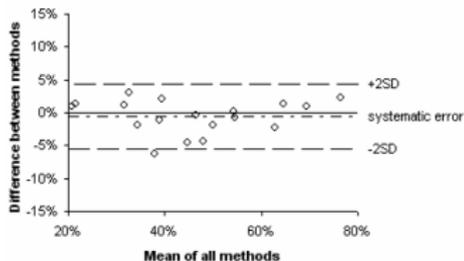
## Résultats

### LVEF

Linear regression: LVEF

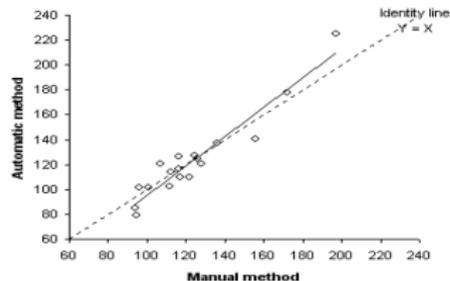


Bland-Altman Test:LVEF

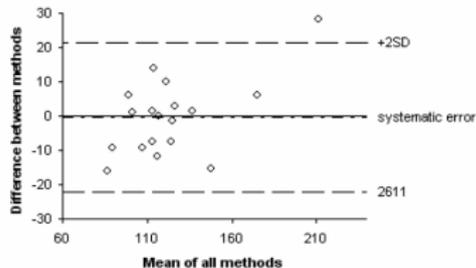


### LVMM

Linear regression: LV Mass (g)



Bland-Altman Test:LV Mass (g)



# Paramètres caractéristiques

## Résultats

- Pas de différence significative *pour les paramètres caractéristiques mesurés (fraction d'éjection et masse ventriculaire gauche) ;*

# Paramètres caractéristiques

## Résultats

- Pas de différence significative pour les paramètres caractéristiques mesurés (fraction d'éjection et masse ventriculaire gauche) ;
- Corrélation 0.99 et 0.98 respectivement ( $p < 0.0001$ ).



# Paramètres caractéristiques

## Résultats

- Pas de différence significative pour les paramètres caractéristiques mesurés (fraction d'éjection et masse ventriculaire gauche) ;
- Corrélation 0.99 et 0.98 respectivement ( $p < 0.0001$ ).
- Erreur systématique  $-0,5\%$  et  $-0,4g$

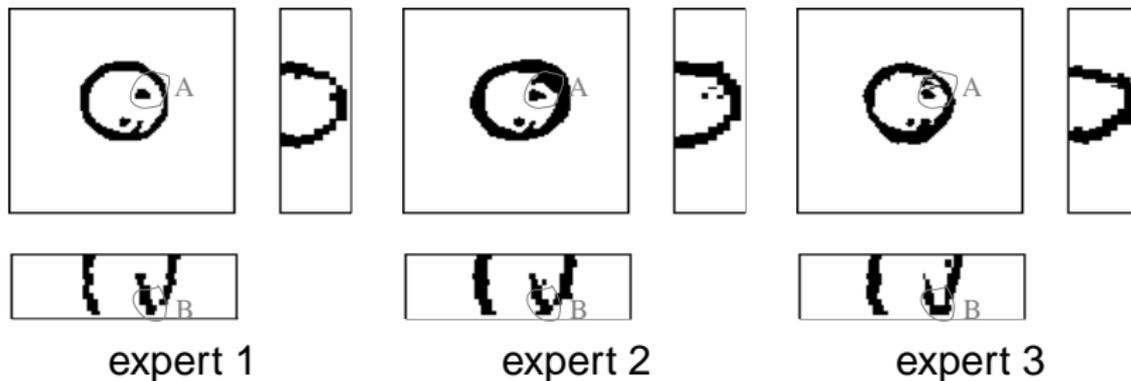


# Validation qualitative

# Validation qualitative

## Problème

*Variabilité inter-experts.*



# Validation qualitative

Problème

*Segmentation 3D ou 4D ?*

# Validation qualitative

Problème

*Segmentation 3D ou 4D ?*

Variante par *LPE successives en 3D*

im

# Validation qualitative

Problème

*Segmentation 3D ou 4D ?*

*LPE en 4D*

im

# Conclusion

- *Segmentation automatique* du myocarde dans des *ciné-IRM 4D*
- Temps total de *traitement inférieur à 3 minutes*
- Logiciel utilisable en *routine clinique*

# Distinction

- Lors des *XVIème Journées Européennes de la Société Française de Cardiologie (2006)* le projet a reçu **deux distinctions** :
  - Une "**Dotation de Recherche Clinique**", d'un montant de 80 000 Euros, a été attribuée par la Maison du Coeur (*Fédération Française de Cardiologie et Société Française de Cardiologie*)
  - Thomas Goissen a reçu la **deuxième place** de la compétition **jeunes investigateurs** pour un article écrit en commun.
- Le projet a également été récompensé par le *Conseil Général du Val de Marne* pour la **meilleure intervention** lors du forum **La science et nous (2006)**, manifestation visant à présenter à un large public les avancées scientifiques récentes.

# Perspectives

- *Validation* de l'outil en anatomopathologie (chez le *lapin*)



# Perspectives

- *Validation* de l'outil en anatomopathologie (chez le *lapin*)
- Fusions avec d'autres modalités ...

# Perspectives

- L'IRM ciné permet de quantifier à une date  $t$  la fonction du ventricule gauche.
  - Paramètres globaux (fraction d'éjection)
  - Déformation ponctuelle (vecteurs mouvements)

# Perspectives

- L'IRM ciné permet de quantifier à une date  $t$  la fonction du ventricule gauche.
  - Paramètres globaux (fraction d'éjection)
  - Déformation ponctuelle (vecteurs mouvements)

## Problème

- *Comment prédire la récupération (à moyen et long terme) de la fonction ventriculaire gauche en post-infarctus (remodelage) ?*

# Perspectives

- L'IRM ciné permet de quantifier à une date  $t$  la fonction du ventricule gauche.
  - Paramètres globaux (fraction d'éjection)
  - Déformation ponctuelle (vecteurs mouvements)

## Problème

- *Comment prédire la récupération (à moyen et long terme) de la fonction ventriculaire gauche en post-infarctus (remodelage) ?*
- *Comment évaluer la relation entre muscle nécrosé et fonction cardiaque ?*

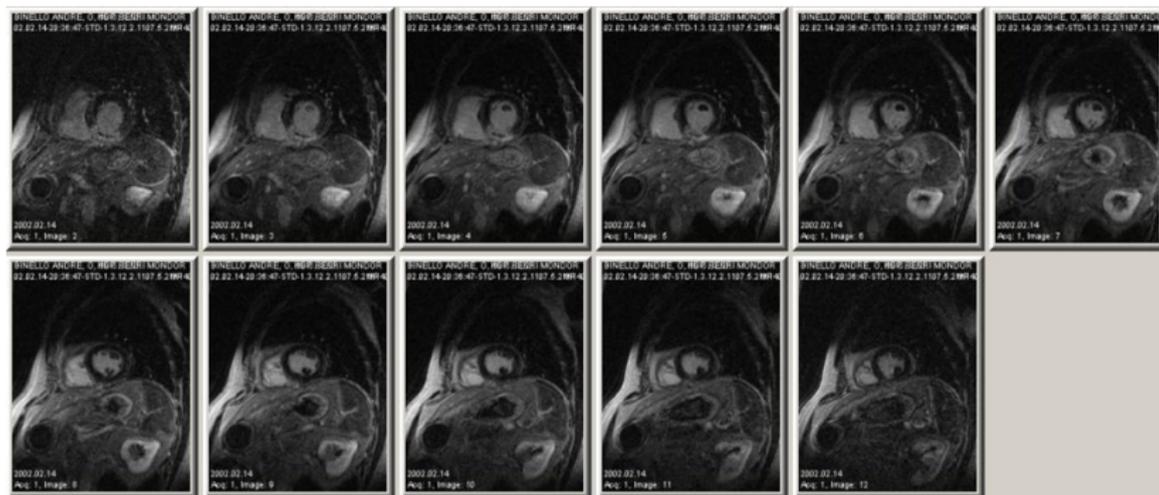


# Solution envisagée

- Les IRM tardifs (3D) permettent de quantifier les nécroses.

# Solution envisagée

- Les IRM tardifs (3D) permettent de quantifier les nécroses.



Sections d'une image 3D (IRM tardif)

# IRM tardif

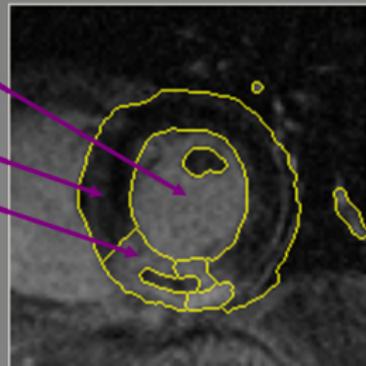
*Segmentation semi-automatique d'IRM tardifs*  
Stage ingénieur de *Christophe Doublier* (2002)

# IRM tardif

*Segmentation semi-automatique d'IRM tardifs*  
Stage ingénieur de *Christophe Doublier* (2002)

## ❑ *Segmentation des coupes 2D*

- Les objets d'intérêts sont:
  - La cavité sanguine
  - Le muscle sain
  - Le muscle nécrosé

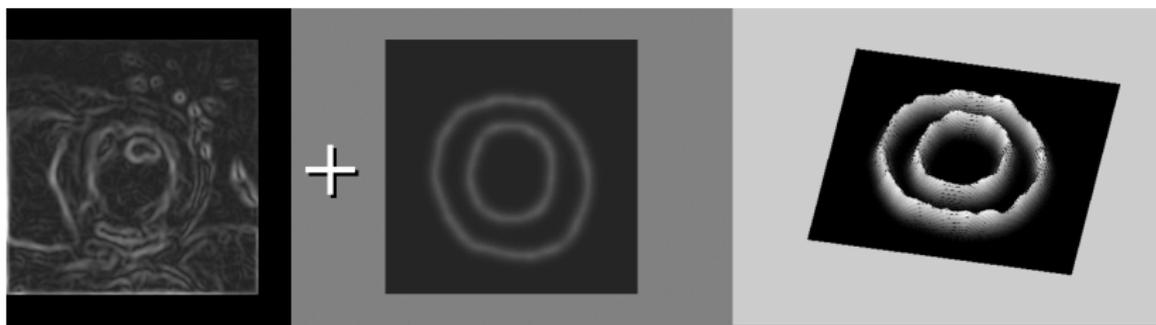


# Méthode



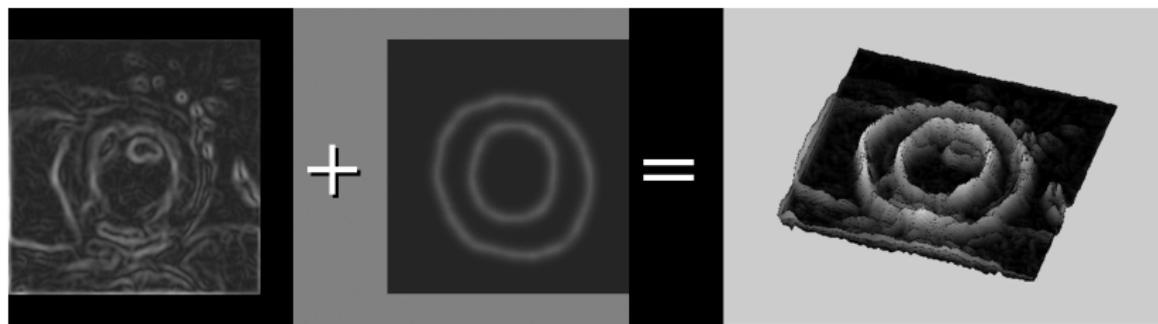
Gradient de l'image originale : le contraste n'est pas suffisant

# Méthode



Ellipse définit par des points de contrôle (utilisateur)

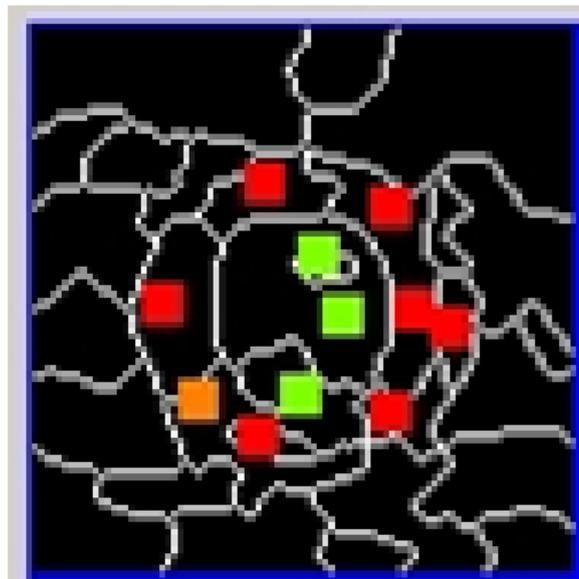
# Méthode



Gradient renforcé

# Méthode

*LPE*



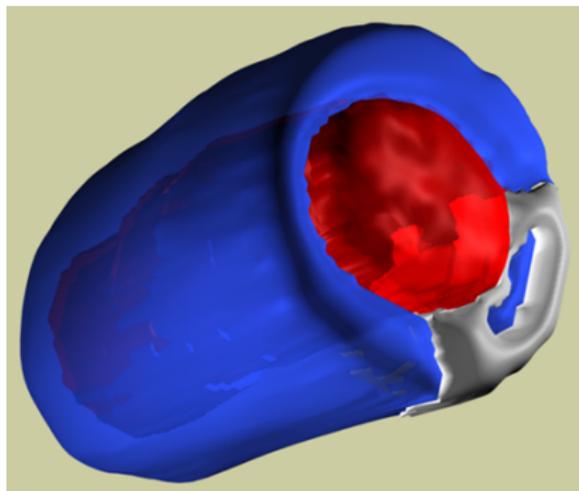
# Méthode

## *Fusion de régions* (utilisateur)



# Méthode

## *Rendu 3D*



# Résultat

- Expérimentation sur 5 cochons
- Paramètre mesuré : volume de la nécrose

# Résultat

- Expérimentation sur 5 cochons
- Paramètre mesuré : volume de la nécrose

## Résultats

- *Erreur inférieure à 5%*

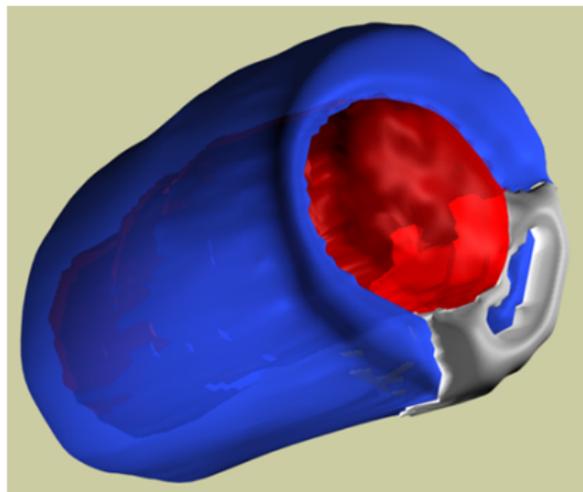
# Perspectives

## Problème

- *Comment évaluer la relation entre muscle nécrosé et fonction cardiaque ?*

## Prochaine étape

- Recaler IRM ciné et tardif dans le but de visualiser la nécrose au cours du temps.



tardif

rendu2

ciné

Merci de votre attention.