

# Validation de segmentation à partir d'une séquence d'images par la théorie de l'évidence. Application à des images IRM.

Laurent GAUTIER<sup>1</sup>, Abdelmalik TALEB-AHMED<sup>1</sup>, Michèle ROMBAUT<sup>2</sup>,  
Jacques-Gérard POSTAIRE<sup>3</sup> Hervé LECLET<sup>4</sup>

<sup>1</sup>LASL, EA2600

195 rue du Pasteur Martin Luther King,  
BP 649, 62228 Calais Cedex, France

<sup>2</sup>LM2S-UTT IUT Troyes, France

<sup>3</sup>I3D Université de Lille, France

<sup>4</sup>Institut Calot, Berck/Mer, France

Laurent.Gautier@lasl-gw.univ-littoral.fr, Abdelmalik.Taleb-Ahmed@lasl-gw.univ-littoral.fr

**Résumé** – Notre but est de reconstruire le rachis humain, afin de suivre l'évolution des pathologies chez les patients atteints de scoliose. Nous présentons les résultats sur la validation d'une étape de segmentation. La segmentation utilisée est de type contour actif. Pour minimiser l'incertitude et l'imprécision de l'information précédente, nous proposons une méthode de fusion de données basée sur la théorie de Dempster-Shafer. A partir d'informations issues d'une séquence d'images, nous donnons une décision de bonne ou mauvaise classifications de chaque portion de la segmentation.

**Abstract** – Our goal is to reconstruct the human rachis in order to observe the growth of some pathologies on patient suffering from scoliosis. We present the first results on segmentation step. So we use an active contour method of segmentation. To minimize the uncertainty and the inaccuracy of the information, we use a data fusion method based on Dempster-Shafer theory. We show independently of the position of error that our method give a decision of good or bad classification of each part of the slices sequence.

## 1 Introduction

Le travail présenté dans cet article s'inscrit dans le cadre d'une collaboration avec le service radiologie de l'institut Calot de Berck-sur-Mer. Il vise à fournir une aide aux médecins pour le suivi des maladies de la colonne vertébrale. Ceux-ci disposent d'un imageur à résonance magnétique (IRM) pour étudier ces pathologies. L'objectif est de reconstruire chaque vertèbre du rachis lombaire à partir d'une série de coupes parallèles. A partir d'une segmentation initiale, on recherche une segmentation qui représente au mieux le contour anatomique de la vertèbre, afin de donner aux médecins une proposition des points faisant réellement partie de la vertèbre, et de mettre en évidence les points sur lesquels on ne peut conclure. Les coupes présentent généralement des imperfections, il n'est pas toujours possible de définir avec exactitude le contour anatomique. Nous proposons d'utiliser les coupes adjacentes à celle étudiée, afin de retirer des informations complémentaires permettant d'affirmer la décision prise. La méthodologie est basée sur l'utilisation de la théorie des croyances pour fusionner les informations.

## 2 Les données

Nous disposons d'une série de coupes parallèles de la colonne vertébrale. Sur chacune d'elles, une segmenta-

tion des vertèbres est réalisée à l'aide de la méthode des contours actifs. On considère qu'aucune vertèbre ne possède de bifurcation. On se ramène, dans la suite de la présentation, à l'étude d'une seule vertèbre. Pour la reconstruction de la colonne entière, la même démarche sera répétée pour chaque vertèbre la constituant. La vertèbre est observée par une douzaine de coupes. L'épaisseur de coupe de l'acquisition IRM est faible par rapport à la taille de la vertèbre.

## 3 L'espace de discernement

Chaque coupe est constituée de  $k$  éléments représentant  $k$  organes différents défini par  $\Omega$ .

$$\Omega = \{\text{peau, corps vertébral, cortical osseux, muscle, air, graisse, fluide}\} \quad (1)$$

Le nouvel ensemble  $\Omega$  est défini par les  $k = 2$  éléments suivants :

$$\Omega = \{S, \bar{S}\} \quad (2)$$

Avec la famille  $S$  des matières renvoyant un signal (corps vertébral, muscle, graisse), et la famille  $\bar{S}$  des hypo-signaux (cortical osseux, air, fluide). La segmentation est définie

pour converger vers les zones d'hypo-signal.

$$\text{Segmentation} = \{Q_i\} \quad (3)$$

avec  $i \in [1..N]$

$$Q_i \in \overline{S} \quad \text{avec } i \in [1..N] \quad (4)$$

Le but est de fournir une opinion sur les éléments  $Q_i$ , afin de déterminer leurs réelles appartenance à  $\overline{S}$ .

## 4 Le jeu de masses de l'expert

### 4.1 L'expert

L'expert, ou la source d'information, utilisé ici s'appuie sur la connaissance de deux segmentations de coupes successives, et plus particulièrement de la distance séparant deux points mis en correspondance.

On considère, les coupes deux à deux recalées dans un même repère. Chaque contour segmenté est échantillonné suivant le même sens de parcours avec  $N$  points. Chacun de ces points est apparié à un point de la coupe suivante. L'appariement est réalisé en corrélant deux contours consécutifs. La combinaison des points retenue, est celle qui minimise la distance moyenne entre les points  $P$  et  $Q$ .

### 4.2 Le jeu de masses

Le jeu de masse quantifie toutes les opinions des experts sur les différents éléments de l'espace de discernement. L'avis fourni par les experts nous renseigne sur le fait que les deux points soient ou non de mêmes natures.

L'opinion de l'expert est modélisé par les trois masses suivantes :  $m_x \left( \left( \frac{S_p}{S_q} \right) \cup \left( \frac{\overline{S_p}}{\overline{S_q}} \right) \right)$ ,  $m_x \left( \left( \frac{S_p}{S_q} \right) \cup \left( \frac{\overline{S_p}}{\overline{S_q}} \right) \right)$ ,  $m_x(\Omega)$ , avec  $x = Q_i$  un point issu de la segmentation échantillonnée du cortical osseux de la vertèbre.

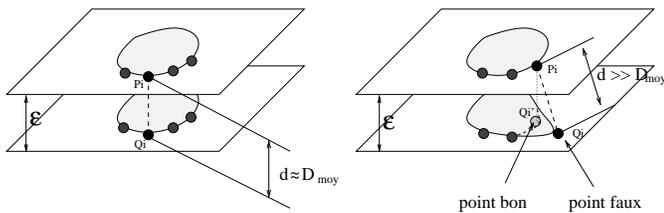


FIG. 1: deux coupes

Les masses singletons  $m_x \left( \left( \frac{S_p}{S_q} \right) \cup \left( \frac{\overline{S_p}}{\overline{S_q}} \right) \right)$  et  $m_x \left( \left( \frac{S_p}{S_q} \right) \cup \left( \frac{\overline{S_p}}{\overline{S_q}} \right) \right)$  nous donne le degré de croyance de l'expert pour que l'élément  $x$  soit de nature identique (respectivement différente) a son point apparié.

La masse composées  $m_x(\Omega)$  nous donnent le doute qu'a l'expert sur l'appartenance du point  $x$ . La distribution de masse proposée est la suivante :

$$\begin{aligned} m_x \left( \left( \frac{S_p}{S_q} \right) \cup \left( \frac{\overline{S_p}}{\overline{S_q}} \right) \right) &= 1 - e^{-\eta \cdot |d_{pq} - \alpha|} \\ &, \quad d_{pq} \in [\varepsilon.. \alpha] \\ &= 0 \quad , \quad \text{autrement} \end{aligned} \quad (5)$$

$$m_x(\Omega) = e^{-\eta \cdot |d_{pq} - \alpha|} \quad , \quad \forall d_{pq} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} m_x \left( \left( \frac{S_p}{S_q} \right) \cup \left( \frac{\overline{S_p}}{\overline{S_q}} \right) \right) &= 1 - e^{-\eta \cdot |d_{pq} - \alpha|} \\ &, \quad d_{pq} \in [\alpha.. \infty[ \\ &= 0 \quad , \quad \text{autrement} \end{aligned} \quad (7)$$

avec  $\eta = f(\varepsilon, \alpha)$ .

Où  $\alpha$  représente le doute maximum de l'expert à partir de la distance  $d_{pq}$ ,  $\alpha$  est fonction de  $D_{moy}$ , et  $D_{moy}$  est la distance moyenne entre chaque point de deux coupes.

## 5 Combinaison de deux sources sur trois coupes consecutives

### 5.1 Fusion des distributions

Trois coupes consécutives  $\{P Q R\}$  permettent de définir deux experts. Le premier est défini à l'aide des coupes  $\{P Q\}$  et le deuxième avec  $\{Q R\}$ . La règle de Dempster est utilisée pour combiner les distributions de masses.

$$m_{Q_i}^{1,2} = m_{Q_i}^1 \oplus m_{Q_i}^2 \quad (8)$$

L'interprétation de la combinaison permet d'extraire plusieurs informations utiles sur la position de l'erreur. Les renseignements suivants ressortent :

- aucune erreur sur les coupes  $P Q R$ ,
- une erreur sur la coupe  $P$  et pas d'erreur sur les coupes  $Q R$ ,
- une erreur sur la coupe  $Q$  et pas d'erreur sur les coupes  $P R$ ,
- une erreur sur la coupe  $R$  et pas d'erreur sur les coupes  $P Q$ .

De plus l'information d'incertitude entre ces différent cas est récupéré.

### 5.2 Décision

Nous choisissons d'utiliser l'interval Crédibilité Plausibilité pour extraire l'information, afin d'évaluer l'appartenance du point de la vertèbre. La crédibilité et la plausibilité sont définies par :

$$Cr(A) = \sum_{A \subseteq B} m(B) \quad (9)$$

$$Pl(A) = 1 - Cr(\overline{A}) \quad (10)$$

L'interval permet d'exclure les cas où l'on ne peut différencier les plausibilités ou les crédibilités.

## 6 Resultats

A la fin de l'étape de fusion, une solution de segmentation est présenté. Cette étape donne une opinion sur l'appartenance des points  $P_i Q_i R_i$  aux éléments  $S, \overline{S}$ , ou

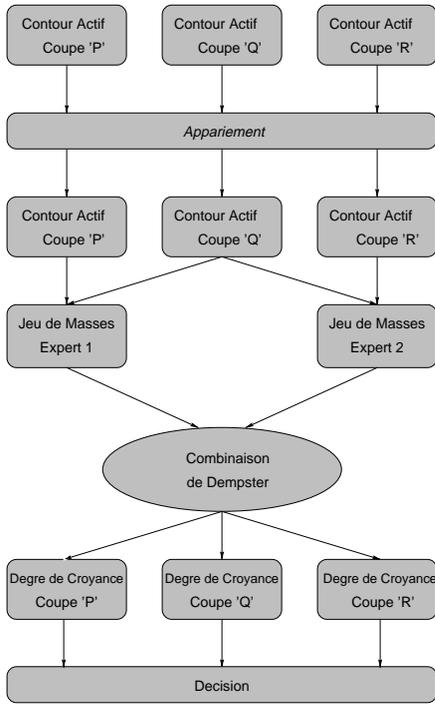


FIG. 2: Synoptique de fusion

$\Omega$ . Le processus de fusion est représenté par le synoptique de la figure 2.

Nous avons testé notre modélisation sur plusieurs exemples de synthèse, afin de vérifier leurs évolutions. Sur la figure 3 nous simulons aucune erreur sur les trois coupes, le résultat est validé par la position maximale de l'intervalle crédibilité-plausibilité. Sur la figure 4 (erreur sur  $P$ ), figure 5 (erreur sur  $Q$ ), et figure 6 (erreur sur  $R$ ), nous simulons seulement une erreur sur l'une des trois coupes. La position de l'intervalle crédibilité-plausibilité est maximale où l'erreur est localisée. Sur la figure 7 nous simulons une erreur sur les coupes  $P$  et  $Q$ . L'intervalle sur  $R$  est plus important du fait que les coupes  $P$  et  $Q$  soient de mêmes natures (erreurs identiques). La coupe  $R$  apparait de nature différente par rapport aux deux autres, l'erreur sera supposé sur cette dernière. Ce qui est conforme avec la logique de notre modèle. Sur la figure 8 nous simulons une erreur identique sur les trois coupes. Le résultat est maximum pour l'hypothèse de n'avoir aucune erreur. Ceci est en accord avec notre modèle, nous indiquant qu'ils sont de mêmes natures. La méthode permet de détecter les variations abruptes du contour de la verèbre dans la mesure où l'erreur de détection n'est pas répété sur les coupes adjacentes. Le critère de l'expert est défectueux sur l'exemple de la figure 9 où il y a une erreur sur les deux coupes extrêmes et aucune sur la centrale. La fusion des experts nous donne une erreur sur la coupe centrale  $Q$ . Le critère de l'expertise a besoin d'être complété pour résoudre ce cas.

## 7 Conclusion

Nous obtenons des résultats correctes sur la décision dans la plupart des cas. De plus le résultat de la décision

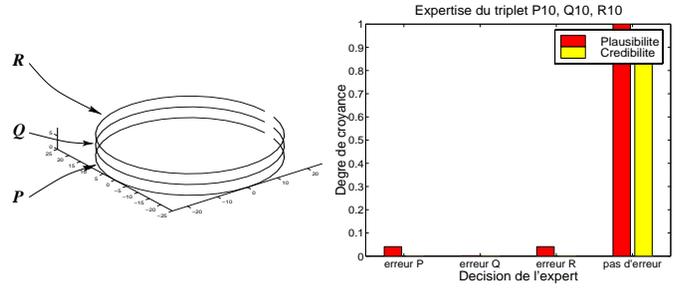


FIG. 3: aucune erreur

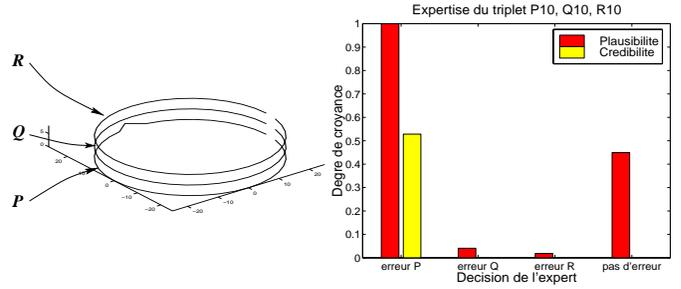


FIG. 4: erreur sur  $P$

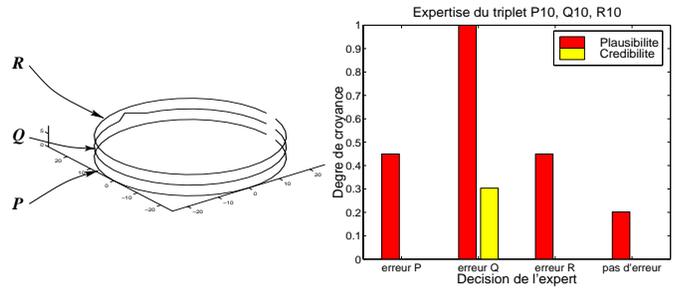


FIG. 5: erreur sur  $Q$

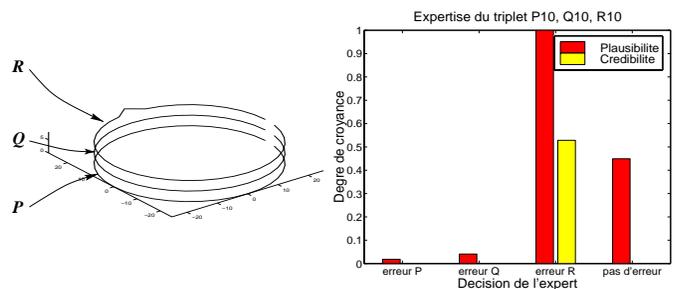


FIG. 6: erreur sur  $R$

est sous la forme d'un degré de croyance. Nous avons créé un nouvel expert, qui à partir de trois coupes consécutives, nous donne une opinion sur l'appartenance des points de chacune d'entre elles. Nous pensons utiliser dans des travaux futurs cette nouvelle expertise dans un nouveau processus de fusion. Cet expert ne nous permet pas de résoudre tous les cas de figure, mais combiné avec d'autres il corrigera les décisions invalides de segmentation.

Nous envisageons de modifier la modélisation pour résoudre les problèmes, en la complétant par d'autres infor-

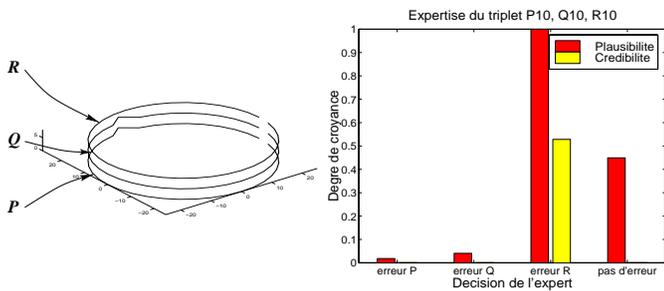
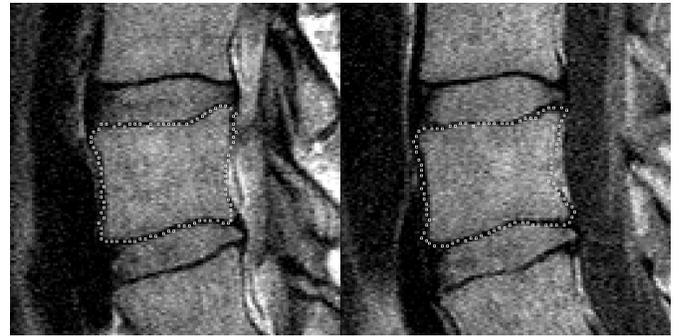


FIG. 7: deux erreurs



Coupe précédente: coupe 'p'

Coupe suivante: coupe 'r'

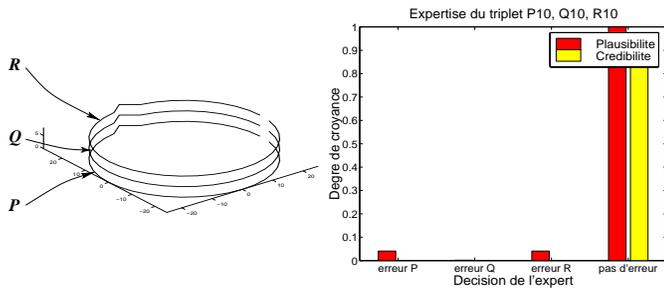
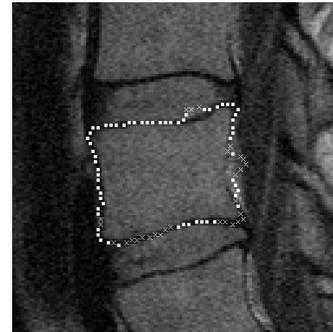


FIG. 8: trois erreurs



Coupe courante: coupe 'q'

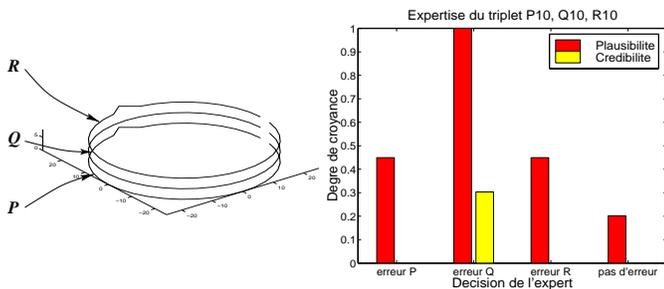


FIG. 9: deux erreurs extrêmes

FIG. 10: application à une séquence IRM

sequence by evidence theory, application IRM picture. *Fusion 99*, 1999.

mations comme une fusion bas niveau sur l'intensité des pixels.

## Références

- [1] G. Shafer *A mathematical theory of evidence*. Princeton University Press, 1976.
- [2] A. Dromigny-Badin *Fusion d'images par la théorie de l'évidence en vue d'applications médicales et industrielles*. PhD thesis, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 1998.
- [3] M. Rombaut and V. Cherfaoui. Decision making in data fusion using Dempster-Shafer's theory. *3rd IFAC Symposium on Intelligent Components and Instruments for Control Applications*, 375–379, 1997.
- [4] T. Denoeux. Decision making in data fusion using Dempster-Shafer's theory. *IEEE Transactions on systems, mans and cybernetics*, (25)804–813, 1995.
- [5] L. Gautier, A. Taleb-Ahmed, M. Rombaut, J-G. Potaire, H. Lecllet. Proved segmentation from pictures