

# Traitement des réponses des capteurs magnétiques résonants

Pierre CHIRON<sup>(1,2)</sup>, Patrick MENEROUD<sup>(2)</sup>,  
Jean-Marc CHASSERY<sup>(1)</sup> et Frank CLAEYSSEN<sup>(2)</sup>

Laboratoire TIMC - IMAG  
Institut Albert Bonniot - Domaine de la Merci  
38706 LA TRONCHE Cedex  
France

Société CEDRAT RECHERCHE  
10, Chemin de Pré Carré - Zirst  
38246 MEYLAN Cedex  
France

## RÉSUMÉ

Cet article montre l'utilisation de routines de traitement d'images dans un problème temps-fréquence. Les signaux traités proviennent de la variation au cours du temps de la réponse fréquentielle de capteurs résonants sensibles au champ magnétique. Les signatures des capteurs sont des *traces* dans l'espace temps-fréquence. Deux traitements, spécifiques aux méthodes de détection des réponses des capteurs, sont présentés ; traitements qui favorisent l'exploitation temps-réel des signaux :

- Détection de courbes paraboliques par transformée de Hough.
- Suivi de traces sur image de densité *gaussienne*.

## 1 Introduction

Un *capteur résonant de champ magnétique*, ou *capteur magnétique résonant*, est sensible à la composante du champ magnétique - dans lequel il est plongé - tangentielle à sa plus grande dimension (cf. Fig. 1).

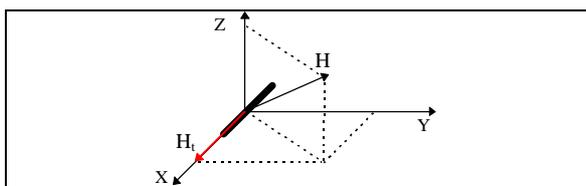


Figure 1 : Composante du champ magnétique H tangentielle à la plus grande dimension du capteur ( $H_t$ ).

Ce champ magnétique (appelé *champ de polarisation*) contrôle la valeur de la fréquence de résonance du capteur (cf. Fig. 2), qui peut être détectée à distance et sans contact.

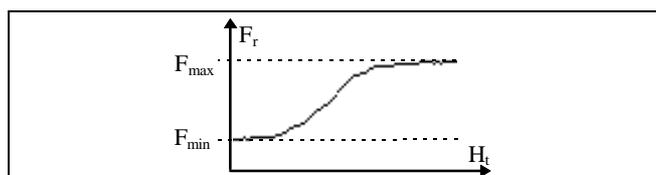


Figure 2 : Loi de variation de la fréquence de résonance  $F_r$  du capteur en fonction de la composante tangentielle  $H_t$  du champ de polarisation.

Le champ de polarisation est alors soit mesuré dans le cas d'un *capteur de champ magnétique*, soit contrôlé dans le cas d'une *balise magnétique* (détection de la présence du

## ABSTRACT

This paper shows the use of image processing routines in a time-frequency problem. The detected signals come from the variation with time of the frequency response of resonant sensors that are sensitive to magnetic field. The signatures of these sensors are traces in time-frequency space. Two treatments, dedicated to the methods used for the sensors responses detection, are presented ; these treatments allow real-time exploitation of signals :

- Parabolic curves detection by using the Hough transformation.
- Traces following on density image built with *gaussian masks*.

capteur) ou du *codage* (plusieurs capteurs sont regroupés sur une *étiquette*, leurs positions et orientations relatives constituant le code de l'étiquette).

Pour ces trois applications, il s'avère soit utile, soit nécessaire d'effectuer un suivi et un traitement des signatures, appelées *traces*, formées par **les variations de fréquences de résonance des capteurs au cours du temps**.

Dans le cas des *capteurs de champ magnétique*, le suivi des traces dans le temps permet par exemple d'éliminer les fréquences de bruit et de fiabiliser le capteur. Dans les autres applications, le suivi des traces permet de traiter simultanément plusieurs capteurs ou plusieurs codes en présence. Le suivi de traces est donc le dénominateur commun aux applications des capteurs magnétiques résonants.

Les applications visées concernent la télédétection (détection à distance sans contact ni lien visuel), par exemple :

- Localisateur 5D (position et orientation) d'objets (localisation d'outils chirurgicaux, ...)
- Identification d'objets (tri de bagages dans les aéroports, gestion des entrées/sorties dans les entrepôts, ...).

Le travail, présenté ici, vise à élaborer des techniques de détection de traces performantes (robustes et rapides) permettant de traiter la réponse de ces capteurs.

Deux solutions sont proposées, une approche utilisant une méthode paramétrique (transformation de Hough) et une approche basée sur le filtrage et l'approximation.

## 2 Réponses des capteurs

Deux méthodes de détection des réponses des capteurs sont développées, la détection *simultanée* des fréquences de résonance suite à une impulsion d'excitation et la détection

successive des fréquences de résonance suite à une excitation par balayage en fréquence (vobulation).

## 2.1 Détection simultanée des fréquences de résonance

On procède à la détection des fréquences émises par les capteurs suite à une impulsion d'excitation, impulsion à laquelle tous les capteurs répondent simultanément.

Le spectre en fréquence détecté est la composition des réponses amorties des différents capteurs. Une transformée de Fourier sépare les différentes fréquences de résonance.

Par seuillage sur l'amplitude, on aboutit à des images binaires (une fréquence est ou n'est pas détectée).

L'exemple de la figure 3 montre l'évolution des fréquences générées par trois capteurs pour une variation dans le temps du champ de polarisation.

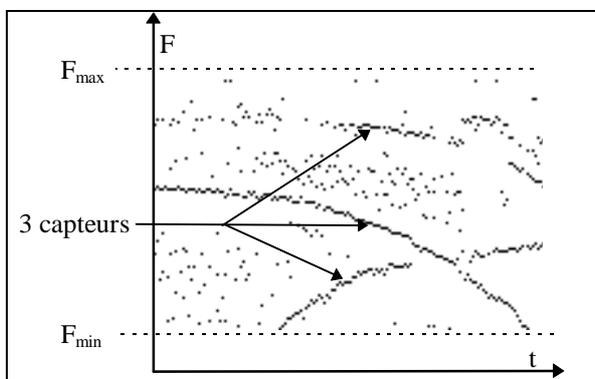


Figure 3 : Réponses fréquentielles de 3 capteurs aux variations, au cours du temps, du champ de polarisation.

## 2.2 Détection successive des fréquences par vobulation

Les capteurs sont soumis à une excitation par balayage en fréquence (de  $F_{\min}$  à  $F_{\max}$ ) à laquelle il répondent par un signal dont le niveau d'amplitude est présenté à la figure 4.

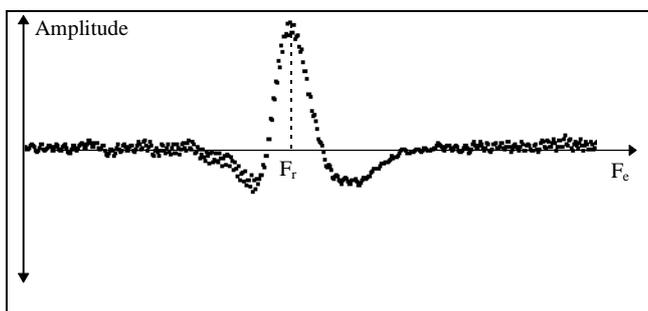


Figure 4 : Amplitude du signal émis par le capteur en fonction de la fréquence d'excitation  $F_e$ . Le maximum d'amplitude est atteint à la fréquence de résonance  $F_r$  du capteur.

On traite les informations données par le signal réémis complet (image *niveaux de gris* de l'échantillonnage du spectre - cf. Fig. 5).

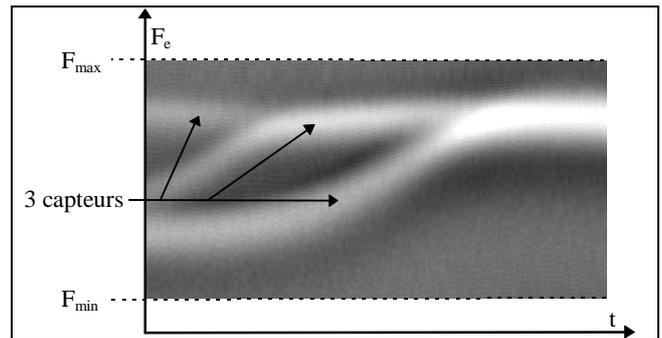


Figure 5 : Réponses de 3 capteurs aux variations, au cours du temps, du champ de polarisation.

## 3 Traitement des réponses des capteurs

Il est intéressant de détecter plusieurs capteurs répondant simultanément à l'excitation (exemples des figures 3 et 5). Un des problèmes réside alors dans le fait qu'il est nécessaire de coupler chacune des fréquences avec le capteur qui l'a émise. En faisant varier au cours du temps de manière continue les caractéristiques des champs appliqués à la zone de détection, la réponse du capteur forme une courbe, ou *trace*, dans l'espace temps-fréquence.

### 3.1 Traitement des images binaires

La détection simultanée de toutes les fréquences de résonance induit la construction d'images binaires qui font l'objet d'un traitement spécifique : Les variations du champ de polarisation commandées s'opèrent lentement et il existe un fort taux de bruits inhérent aux techniques de détection (imprécision sur les fréquences mesurées et fréquences parasites).

Nous proposons d'approximer les traces par l'utilisation d'un modèle parabolique, la détection de courbes paraboliques est effectuée à l'aide d'une *transformation de Hough* [1] :

Chaque triplet de points de l'image permet de calculer les paramètres intrinsèques (**a**, **b** et **c**) de la parabole passant par ces 3 points. Le contenu de la case d'un tableau d'accumulation (correspondant aux paramètres a, b et c) est alors incrémenté. Lorsque tous les triplets ont été traités, la case du tableau d'accumulation contenant la valeur maximale donne l'estimation des paramètres intrinsèques **a**, **b** et **c** de la *meilleure* parabole présente dans l'image.

Afin de limiter le coût des algorithmes (en terme de temps), un sous-ensemble de tous les triplets potentiels de fréquences est sélectionné de manière aléatoire [2]. Ce sous-ensemble dépend de l'image source et représente, dans le cas des réponses des capteurs, généralement moins d'un centième du nombre de triplets potentiels de fréquences.

De plus, de manière à extraire localement des portions de paraboles, l'image est découpée en *secteurs* qui se recouvrent partiellement. Cette sectorisation tend à réduire à nouveau la complexité des algorithmes tout en permettant une meilleure adéquation des paraboles aux traces (cf. Fig. 6).

Il est possible, si cette information est disponible, de stocker dans le tableau d'accumulation une valeur dépendante de la confiance rattachée aux 3 fréquences. Cette pos-

sibilité permet d'accroître la robustesse de la détection en minimisant les erreurs dues au bruit.

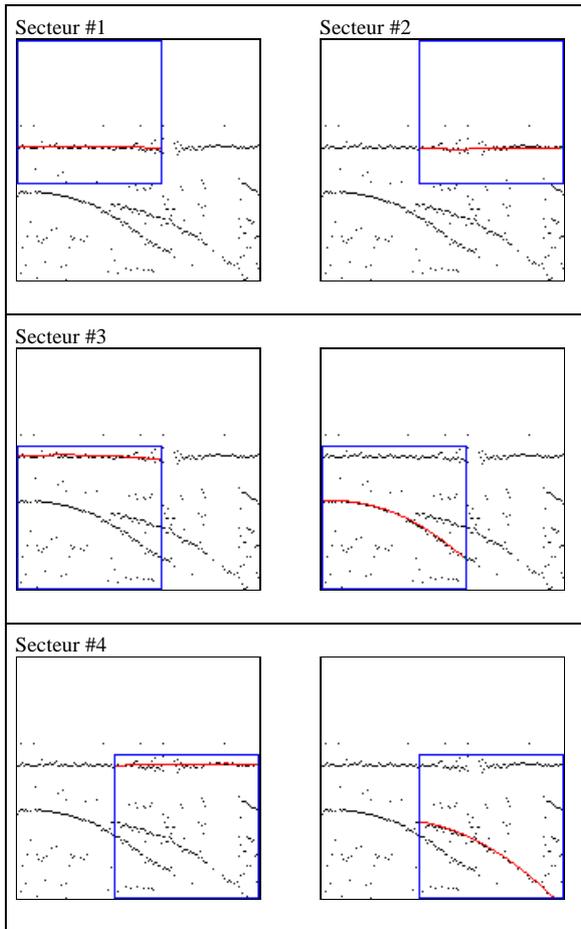


Figure 6 : Extraction de portions de paraboles sur les différents secteurs de l'image

Les paraboles extraites sur les différents secteurs sont validées complètement, validées partiellement ou rejetées. Le critère de validation est relevé sur une image de distance du Chanfrein [3] (image pour laquelle chaque point contient la distance au plus proche *point de contour*, ou *point forme*). Chaque parabole est projetée sur l'image du Chanfrein et on relève la distance de chaque *point parabole* au plus proche *point contour*.

Les portions de paraboles sont connectées afin de former une trace complète (cf. Fig. 7). Deux critères sont utilisés :

Les paramètres intrinsèques (**a**, **b** et **c**) des deux portions de la parabole doivent être voisins.

Les deux portions de la paraboles doivent être connexes

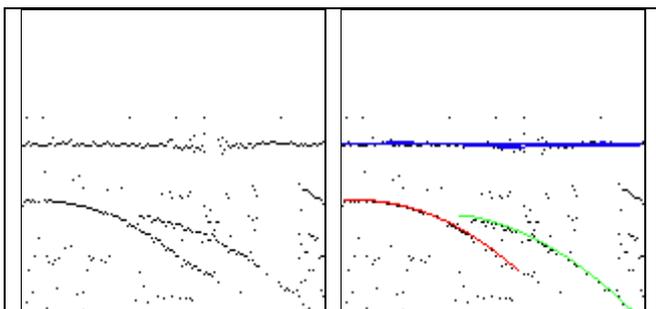


Figure 7 : Connexion des portions de paraboles

La transformation de Hough parabolique permet ainsi de détecter très rapidement les traces des capteurs lorsque le taux de bruits est important (fréquences supplémentaires parasites, imprécision des données). Cette transformation permet aussi l'interpolation de nuages de points. Il est à noter aussi que cette technique est peu sensible aux pertes de données et peut donc être employée dans des situations pour lesquelles un suivi de contours classique serait peu efficace.

### 3.2 Traitement des images de spectre

#### 3.2.1 Prétraitements

Un lissage de l'image permet l'élimination des bruits de haute fréquence (cf. Fig. 8). Ce lissage est spécifique au procédé de formation de l'image. Une détection des pics d'amplitude, adapté aux réponses des capteurs, est utilisée (cf. Fig. 9).

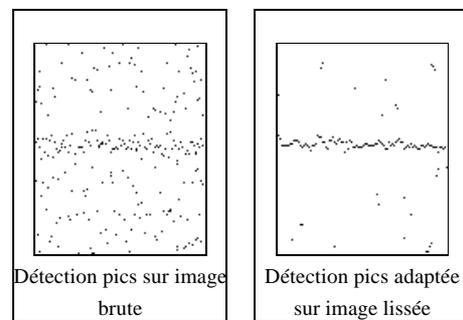


Figure 8 : Lissage de l'image de spectre

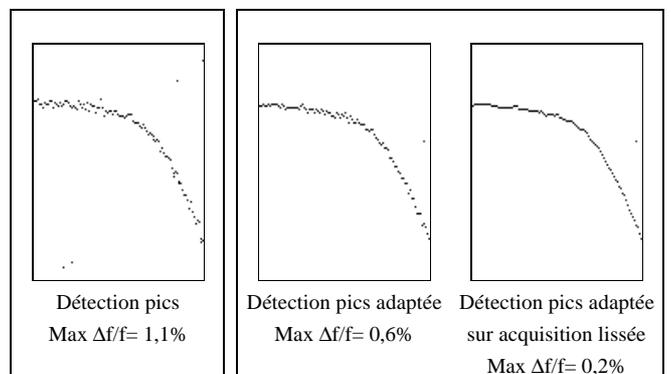


Figure 9 : Influence de différentes techniques de détection des pics sur la précision

#### 3.2.2 Suivi de traces

Une carte de densité est générée par sommation de masques Gaussiens centrés sur chaque fréquence (cf. Fig. 10).

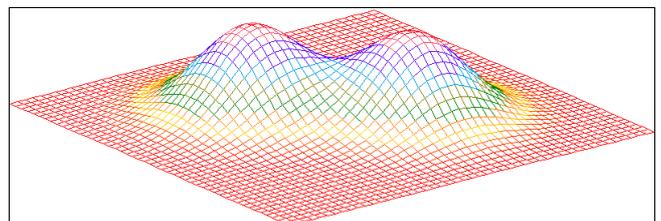


Figure 10 : Somme de 2 masques gaussiens.

La ligne de crête correspond à la droite qui relie les deux sommets

L'amplitude (*hauteur*) et la portée (*largeur*) du masque dépendent de la confiance portée à une fréquence (fréquence de forte amplitude, fréquence non isolée, ...).

Un suivi de traces (type *suivi de crêtes*) est ensuite effectué sur cette carte de densité. La densité maximale locale étant située à proximité du centre du nuage de points formé par les différentes fréquences de la trace (cf. Fig. 11).

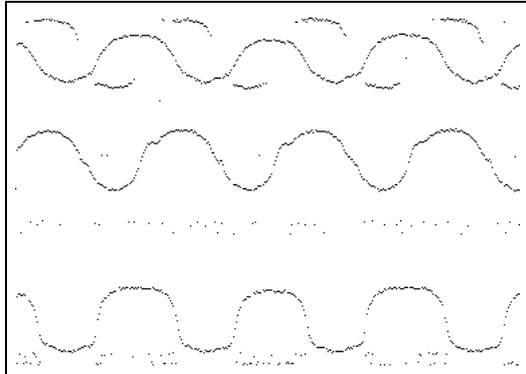


Figure 11a : Image initiale

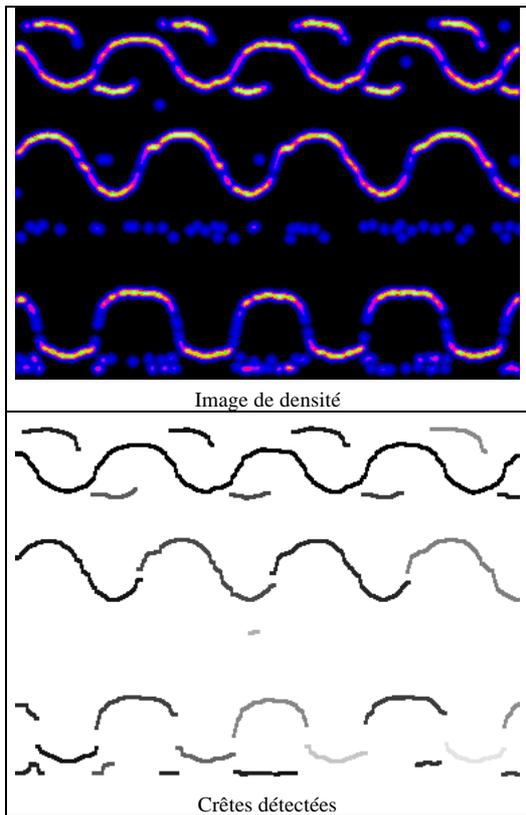


Figure 11b : Détection des crêtes sur image de densité<sup>1</sup>

### 3.2.3 Analyse des traces

Différents traitements sont effectués sur les traces détectées :

- *Interpolation* des traces (par des courbes B-Splines régularisées [4]).
- *Vérification* des traces (validation des traces sur image initiale, élimination des fausses connexions et des traces provenant de perturbations).

- *Connexion* (sur des critères de pente, de proximité et connaissances *a priori* dépendantes des applications).

La figure 12 montre les traces connectées sur l'exemple de la figure 11.

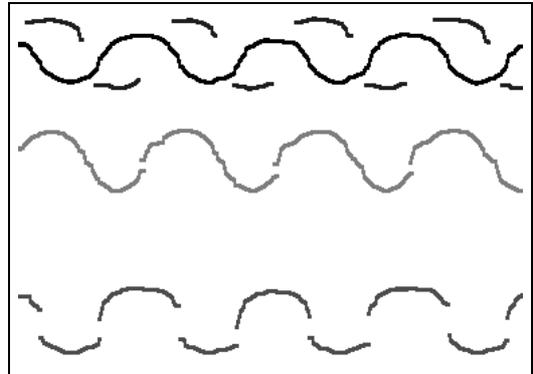


Figure 12 : Traces connectées

## 4 Conclusion

Le présent article présente des solutions - basées sur une approche dite de traitement d'images - permettant de traiter les réponses fréquentielles des capteurs magnétiques résonnants. Les deux solutions reposent sur l'utilisation de critères très différents :

- La transformée de Hough permet de détecter de manière fiable et rapide les traces des capteurs par portions de paraboles et est très efficace lorsque les réponses des capteurs sont bruitées et/ou incomplètes. Cette méthode impose cependant l'approximation parabolique des traces.
- Le suivi de crêtes permet la détection des traces par l'utilisation d'un critère basé sur la densité point. Etant donné qu'il s'agit d'un suivi, la méthode est sensible aux pertes locales de données. Une interprétation des traces détectées est nécessaire en post-suivi.

Ces 2 solutions ont permis le traitement robuste et temps-réel des images de réponses des capteurs, images dont les caractéristiques dépendent fortement des méthodes de détection utilisées.

## 5 Références

- [1] V.F.Leavers, « Survey : Which Hough Transform ? », CVGIP : Image Understanding, Vol.58, No.2, 1993, 250-264
- [2] L.Xu, E.Oja, « Randomized Hough Transform (RHT) : Basic Mechanisms, Algorithms, and Computational Complexities », CVGIP : Image Understanding, Vol.57, No.2, 1993, 131-154
- [3] E.Thiel, « Les distances de chanfrein en analyse d'images : fondements et applications », Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier (Grenoble - France)
- [4] P.J.Laurent, « Courbes ouvertes ou fermées par B-splines régularisées », RR652, Institut d'Informatique et Mathématiques Appliquées de Grenoble (France), Mars 1987.

<sup>1</sup> Traces épaissies artificiellement pour la visualisation