

# Julien Marot

## Travaux effectués

Dans ce document sont présentés mes travaux de diplôme d'études approfondies et de thèse, et mes travaux de post-doctorat. Ce document fait référence à une partie des articles que j'ai publié, dont la liste est fournie dans un autre document de ce site web.

Je présente en section 1 le cursus chronologique de mes travaux de recherches et ma mobilité, en section 2 un résumé et les principales contributions de mes travaux de DEA et de thèse, en section 3 un résumé et les principales contributions de mes travaux de post-doctorat.

## 1 Cursus recherche

Mes activités de recherche ont commencé en 2003, dans le laboratoire de traitement du signal de la *Tampere University of technology en Finlande*. Le projet de fin d'études à connotation recherche, effectué dans un laboratoire de l'université de Tampere, portait sur le débruitage de signaux électrocardiogramme. Ma contribution est la création d'un algorithme de déconvolution et débruitage par filtrage de Wiener des transformées de Fourier et en ondelettes d'un signal. J'ai appliqué cette méthode à des signaux electrocardiogramme. J'ai commencé à publier les résultats de mes recherches à l'issu de mon DEA effectué dans l'équipe GSM de *l'institut Fresnel à Marseille*. La contribution de mon DEA est une méthode rapide d'estimation de valeur d'offsets de droites par une méthode issue du traitement d'antenne. Ma thèse a débuté en novembre 2004, je l'ai soutenue en novembre 2007. Ma contribution dans ce cadre est la création d'algorithmes associant des méthodes par sous-espaces et d'optimisation. J'ai résolu des problèmes en traitement d'antenne à grand nombre de capteurs, j'ai créé des méthodes de génération de signal pour rapprocher les domaines du traitement d'antenne et de la détection de contours. L'intérêt de mes méthodes est qu'elles donnent de bons résultats d'estimation en termes de justesse pour des contours très proches, qu'elles sont robustes à un environnement bruité, que leur coût numérique est indépendant du nombre de pixels de bruit. J'ai présenté les dernières avancées des méthodes de traitement du signal tensoriel et

proposé une amélioration dans le cas où des frontières rectilignes sont présentes dans le tenseur à traiter. Pour cela j'ai utilisé ma méthode d'estimation de contours rectilignes inspirée des méthodes de traitement d'antenne. Entre novembre 2007 et mars 2008, j'ai poursuivi mes travaux dans l'équipe GSM. J'ai proposé des méthodes haute résolution rapides pour le traitement d'antenne, et créé des méthodes accélérées de traitement du signal tensoriel. De mars 2008 à août 2009, j'ai réalisé un Post Doctorat à *l'Institut Fraunhofer en Allemagne*. J'ai élaboré des méthodes de détection de contours dans un contexte à la fois académique et applicatif puisque l'Institut Fraunhofer est financé à 50 pour cent par des crédits de l'état et à 50 pour cent par des contrats avec des entreprises. J'ai créé des méthodes de segmentation de contours multiples. Ma contribution principale est la création d'une méthode itérative inspirée du principe d'extinction de sources en traitement d'antenne.

Depuis septembre 2009, je suis maître de conférences à l'université d'Aix Marseille 3, et effectue mes travaux de recherche dans l'équipe GSM, à l'Institut Fresnel.

## 2 Principales contributions et résumé de mes travaux de DEA et de thèse

Voici un résumé des méthodes proposées, qui sont développées et adaptées dans trois contextes: en traitement d'antenne, en analyse d'images, en traitement du signal tensoriel. Je cite entre parenthèse mes principales publications pour chaque contexte.

### 2.1 Contexte du traitement d'antenne

(*IEEE-Signal Processing Letters [R5], EURASIP ASP [R8]*)

Les principes de base d'une méthode de traitement d'antenne sont les suivants: dans l'espace des mesures engendré par les vecteurs propres de la matrice de covariance, on distingue le sous-espace signal (utile) et le sous-espace bruit, qui sont orthogonaux lorsque le signal et le bruit sont décorrélés. En partant de cette hypothèse, la méthode par sous-espaces MUSIC (MULTiple SIGNAL Characterization) estime des directions d'arrivée en testant l'orthogonalité entre un modèle de vecteur signal et les vecteurs du sous-espace bruit. MUSIC est une méthode dite haute résolution car elle permet de distinguer des valeurs très proches de directions d'arrivée. Il existe méthodes haute résolution rapides, telles que la méthode propagateur, qui ne passe pas par la décomposition en éléments propres de la matrice de covariance.

*Mes principales contributions* sont les suivantes:

- J'ai créé des méthodes haute résolution et d'optimisation rapides pour des problèmes impliquant une antenne à grand nombre de capteurs;
- j'ai amélioré plusieurs méthodes haute résolution rapides qui ne passent pas par la décompositions en éléments propres de la matrice de covariance des signaux reçus.

Voici un résumé du contenu de mes travaux:

Je considère l'estimation de directions d'arrivée dans le cas où des distorsions de phase sont présentes. J'ai co-encadré en première année de thèse une étudiante de DEA avec laquelle j'ai créé une méthode d'optimisation globale et rapide qui combine soit la méthode du gradient soit la méthode DIRECT à l'interpolation par splines. J'utilise la combinaison de l'algorithme DIRECT (DIViding RECTangles) avec l'interpolation par splines pour estimer des distorsions de phase de fronts d'onde. Premièrement, une estimée grossière de plusieurs directions d'arrivée est obtenue par la méthode MUSIC. Ensuite, pour chaque valeur estimée, utilisée comme un paramètre d'initialisation, les valeurs de distorsions de phase entre un front d'onde plan et le front d'onde incident sont estimées par ma méthode d'optimisation. Les décalages de phase sont supprimés dans les réalisations de signal. Finalement, la méthode MUSIC est appliquée dans un intervalle réduit autour des directions d'arrivée ayant servi d'initialisation. Du fait de l'annulation des distorsions de phase, plusieurs sources peuvent être résolues dans cet intervalle. L'algorithme proposé a été appliqué à la caractérisation de trois sources dans un environnement bruité. La figure 1 présente l'évolution de la phase de trois fronts d'onde.

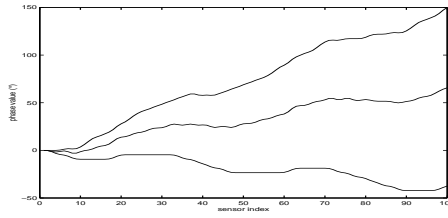


Figure 1: Variations de phase de trois fronts d'onde distordus

La figure 2 présente le pseudo-spectre obtenu par la méthode MUSIC, superposé aux valeurs d'orientation à retrouver. Ceci dans un cas sans annulation des décalages de phase (figure 2(a)), et avec annulation des décalages de phase par la méthode d'optimisation proposée (faible nombre d'itérations pour la figure 2(b), grand nombre d'itérations pour la figure 2(c)).

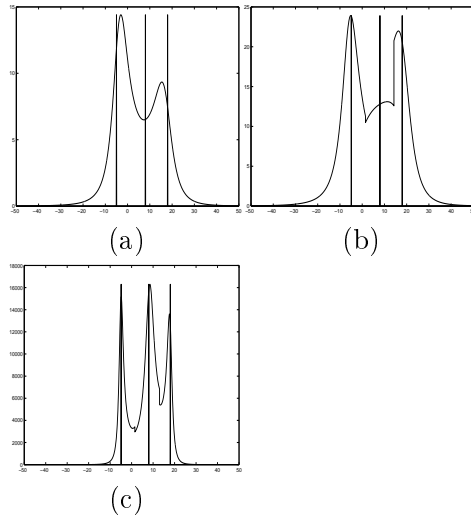


Figure 2: Pseudo-spectres de MUSIC pour l'estimation de directions d'arrivée

Certaines méthodes haute résolution du traitement d'antenne sont rapides car elles évitent la décomposition en éléments propres de la matrice de covariance des signaux reçus. Pour améliorer ces méthodes, j'ai proposé d'estimer les valeurs propres par des décompositions LU et QR, j'ai créé une version robuste au bruit de la méthode Propagateur, qui utilise une partition adéquate de la matrice de covariance des signaux reçus. J'ai proposé une version améliorée de la méthode Ermolaev-Gershman, dans laquelle le choix d'un paramètre seuil est automatisée, ce qui renforce le caractère aveugle de cette méthode.

## 2.2 Contexte de l'analyse d'images

(*IEE Vision Image and Signal Processing [R1], Advances on Signal Processing [R2], IEEE - Trans. On Image Processing [R3], Pattern Recognition Letters [R6]*)

Dans le contexte de l'analyse d'image et plus particulièrement de la détection de contours, j'ai proposé des méthodes de génération de signal pour transcrire le contenu d'images en signaux qui suivent les modèles du traitement d'antenne. Ces travaux font suite à une méthode de génération de signal sur une antenne linéaire, créée par M. Aghajan de l'université de Stanford dans les années 90.

*Mes principales contributions* sont les suivantes:

- J'ai créé des méthodes de segmentation aveugles de droites ou cercles multiples dans un environnement bruité, qui distinguent des contours pouvant être très proches, avec des charges de calcul indépendantes du bruit. J'ai résolu ainsi les problèmes posés par la présence de bruit aux méthodes moindres carrés et transformée de Hough.
- J'ai créé des méthodes d'optimisation, dont une méthode à la fois globale (donc robustes au bruit) et rapide, et adapté ces méthodes à l'estimation de contours distordus. En particulier ces méthodes sont performantes pour retrouver des contours à forte concavités. J'ai apporté ainsi une réponse à un verrou technologique des méthodes de type snakes.
- J'ai créé une méthode de génération de signal dédiée à l'estimation de contours circulaires.
- J'ai créé une méthode de segmentation de contours qui s'intersectent ou se recouvrent, débloquent ainsi partiellement un verrou des méthodes de segmentation par approche contour du type levelset.

Voici un résumé du contenu de mes travaux:

### 2.2.1 Contours rectilignes et approximativement rectilignes

J'ai créé des variantes rapides de la méthode SLIDE (Subspace-based Line DEtection) qui utilise l'algorithme TLS-ESPRIT (Total Least Square-Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) pour retrouver l'orientation de lignes droites. J'ai adapté une méthode plus rapide, le Propagateur, qui évite la décomposition en éléments propres de la matrice de covariance, soit en réalisant une partition de cette matrice, soit en travaillant directement sur le signal. J'ai proposé une nouvelle méthode pour l'estimation d'offsets de lignes droites parallèles en adaptant une méthode de caractérisation de sources corrélées. Cette méthode est plus rapide que l'extension de la transformée de Hough, en particulier quand les images traitées sont bruitées, et distingue des droites parallèles. J'ai étendu les méthodes d'estimation de droites à l'estimation de contours approximativement rectilignes. Pour cela, j'ai adapté la méthode du gradient à pas variable

pour minimiser un critère des moindres carrés entre un signal modèle et un signal généré à partir de l'image. J'ai proposé une généralisation de cette méthode d'optimisation à l'estimation de plusieurs contours, en minimisant un critère fondé sur l'opérateur du propagateur. J'ai proposé une méthode d'optimisation améliorée, qui combine la méthode du gradient et l'interpolation par splines. Cette méthode est rapide et robuste au bruit.

Par une comparaison avec la méthode GVF, j'ai insisté sur les capacités de la méthode proposée à retrouver des contours à fortes concavités dans un environnement bruité. Les méthodes d'estimation de contours rectilignes et approximativement rectilignes ont été appliquées à des images de vision robotique, à des images aériennes et d'imagerie médicale. Les figures ci-dessous présentent des exemples d'application de nos méthodes d'estimation de contours approximativement rectilignes et distordus. Pour chaque image aérienne la figure 3(a) donne l'image à traiter, la figure 3(b) donne le résultat de l'initialisation par un contour rectiligne, la figure 3(c) donne le résultat final superposé à l'image à traiter. La figure 3(d) donne l'initialisation utilisée pour la méthode GVF, la figure 3(e) donne le résultat de détection par GVF.

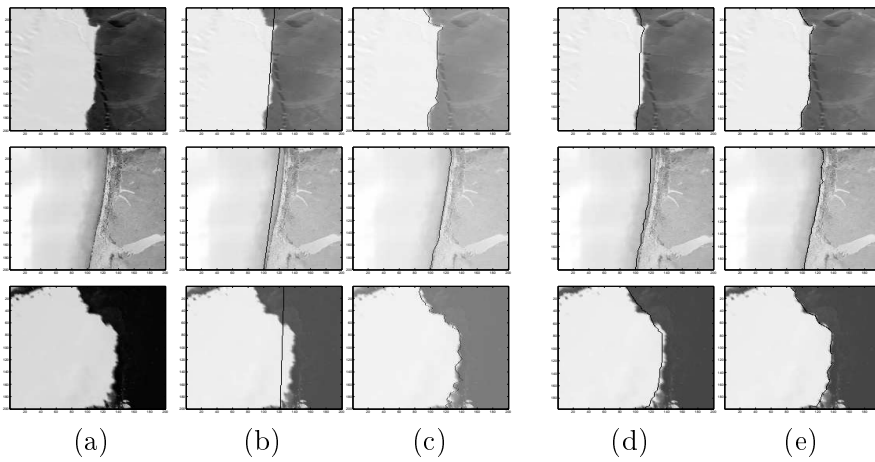


Figure 3: Résultat de détection de contours: initialisation par une méthode de traitement d'antenne, résultat final obtenu par la méthode proposée et une méthode de type snakes

### 2.2.2 Contours étoilés

J'ai étendu le travail dédié aux contours rectilignes et approximativement rectilignes aux contours étoilés (*i.e.* pour lesquels la position des pixels est donnée par une fonction en coordonnées polaires). Ma contribution la plus innovante pour la détection de contours étoilés consiste en la génération d'un signal sur une antenne circulaire virtuelle (représentée sur la figure 4).

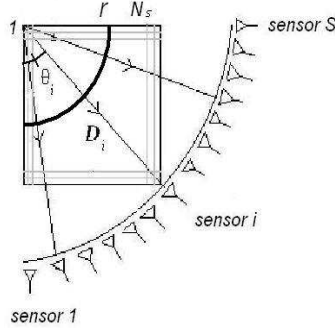


Figure 4: Antenne virtuelle circulaire

Le schéma de génération de signal que j'ai créé, et qui est symbolisé sur la figure 4, est donné par l'équation suivante:

$$z(i) = \sum_{\substack{l,m=1 \\ (l,m) \in D_i}}^{l,m=N_s} I(l,m) \exp(-j\mu\sqrt{l^2 + m^2}), \quad (1)$$

où  $z(i)$  est une composante de signal,  $I$  l'image considérée,  $\mu$  une constante de propagation. En utilisant un *a priori* de forme, j'é mets l'hypothèse qu'un signal à phase linéaire est généré sur l'antenne circulaire virtuelle lorsqu'un quart de cercle est présent dans l'image. Cela me permet d'adapter les méthodes haute résolution du traitement d'antenne pour l'estimation de valeurs de rayons de cercles concentriques pouvant être proches. La génération de signal sur une antenne linéaire placée sur les côtés de l'image permet de localiser le centre des objets : les sections non nulles des signaux générés sur les côtés gauche et supérieur de l'image indiquent la présence d'objets. La génération de signal sur les côtés de l'image donne également accès aux paramètres axiaux d'ellipses. Pour retrouver des ellipses inclinées, je réalise une rotation de l'image jusqu'à ce que la longueur des sections non nulles dans les signaux générés sur chaque côté soit de différence maximale. Quand des contours distordus sont attendus, des algorithmes d'optimisation analogues à ceux appliquées pour l'estimation de contours approximativement rectilignes sont appliqués aux signaux générés sur l'antenne circulaire. Le principe de génération de signal adopté m'a permis de lever un verrou technologique qui limite les méthodes

de type contour actif : la méthode que je propose permet de retrouver des contours à forte concavités. Je considère plusieurs cas d'application comme en biométrie, et contrôle non destructif. Les figures 5(a) et 5(d) ci-dessous présentent un contour approximativement circulaire et (peu, et très) distordu segmenté par la méthode proposée. Les figures 5(b) et 5(e) représentent le résultat de l'initialisation par un cercle, les figures 5(c) et 5(f) représentent le résultat final superposé à l'image de départ. Les figures 6(a),(b),(c),(d),(e) donnent les résultats de détection de contour donnés par la méthode GVF pour les même images et la même initialisation.

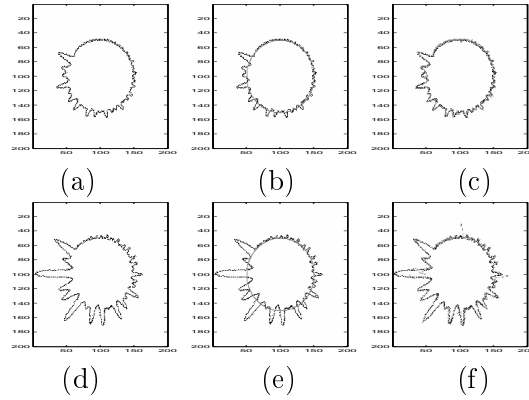


Figure 5: Exemples d'images traitées contenant les contours les moins (a) et les plus distordus (d), initialisation (b,e) et estimation par la méthode proposée (c,f). valeurs d'erreur:  $ME_\rho = 1.4$  pixel et 2.7 pixels.

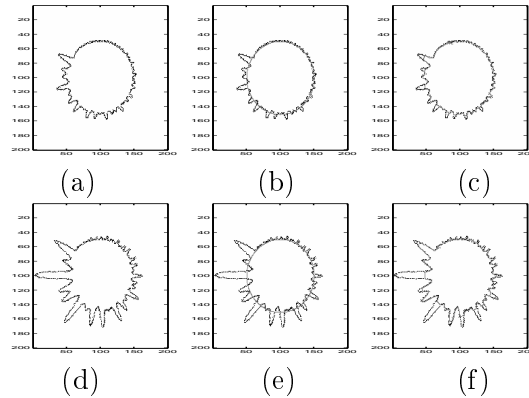


Figure 6: Exemples d'images traitées contenant les contours les moins (a) et les plus distordus (d), initialisation (b,e) et estimation par la méthode GVF (c,f). valeurs d'erreur:  $ME_\rho = 1.4$  pixel et 4.1 pixels.



### 2.2.3 Cercles qui s'intersectent

J'ai proposé une piste de recherche pour la segmentation de contours fermés qui s'intersectent. Ces travaux sont d'un grand intérêt pour palier les limites des méthodes par contours actifs classiques et de la transformée de Hough. La méthode de la transformée de Hough généralisée suppose connue la valeur du rayon des cercles. Je propose une méthode aveugle et dont la charge de calcul est indépendante du nombre de pixels. J'ai combiné de façon adéquate la génération de signal sur une antenne linéaire et sur une antenne circulaire. La figure 7 montre des exemples de cercles à détecter (7(a), 7(b)) et les signaux générés à partir de l'une ou l'autre des images sur une antenne linéaire placée sur le côté gauche (7(c)) et le côté inférieur (7(d)) de l'image. Une des difficultés est de distinguer le cas ambigu des cercles qui se recouvrent (figure 7(a)) et des cercles qui s'intersectent (fig 7(b)). Pour lever cette ambiguïté j'utilise ma méthode de génération de signal sur une antenne circulaire et vérifie la linéarité de phase des signaux générés lorsque le centre de l'antenne est placé sur le centre supposé des cercles. Si l'antenne circulaire est placée adéquatement dans les sous-images représentées sur la figure 7(a), un signal à phase linéaire est généré.

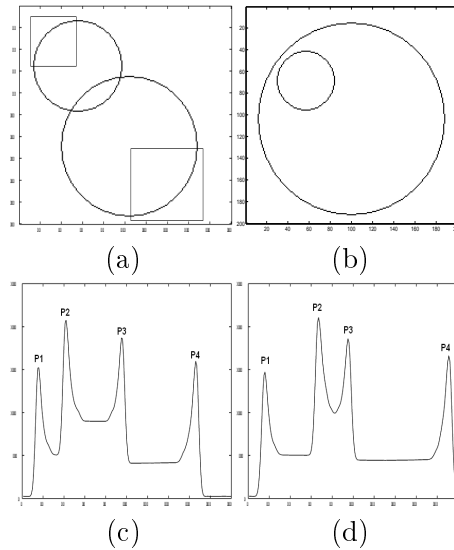


Figure 7: Deux images contenant des cercles qui s'intersectent ou qui se recouvrent, et signaux générés sur les côtés gauche et inférieur des images.

### 2.3 Contexte du traitement du signal tensoriel

(SIAM-SIMAX [R7], EURASIP Advances on Signal Processing [R9], IEEE-ICASSP [C4])

Pour traiter, et en particulier débruiter des données multidimensionnelles, on peut employer des méthodes dites "tensorielles" qui prennent en compte les relations entre "modes" ou "dimensions" du tenseur. Les méthodes de débruitage sont fondées sur la projection des données sur le sous-espace signal dans chaque mode.

*Mes principales contributions* sont les suivantes:

- J'ai réalisé une synthèse exhaustive des méthodes de débruitage tensoriel;
- j'ai amélioré les performances de débruitage en termes de netteté de l'image résultat par un déploiement non-orthogonal des données;
- j'ai créé des méthodes rapides de filtrage tensoriel par adaptation de l'algorithme du point fixe.

Voici un résumé du contenu de mes travaux:

La synthèse que j'ai réalisée comporte les points suivants: j'ai rappelé les principes de la troncature de la décomposition en valeurs singulières d'ordre supérieur, la HOSVD- $(K_1, \dots, K_N)$ , qui repose sur la définition des dimensions de sous-espace signal  $K_1, \dots, K_N$ . J'ai rappelé les principes de l'algorithme d'optimisation ALS (Alternating Least Squares), qui améliore la troncature de la HOSVD- $(K_1, \dots, K_N)$  et en fait une approximation de rang- $(K_1, \dots, K_N)$  inférieur d'un tenseur. J'ai montré comment les statistiques d'ordre supérieur, utilisées dans l'approximation de tenseur de rang- $(K_1, \dots, K_N)$  à la place des statistiques d'ordre deux, améliorent le débruitage de signal tensoriel dans le cas d'un bruit Gaussien corrélé. En particulier, je propose une version rapide de cette méthode: j'utilise une matrice tranche de cumulants d'ordre quatre, à la place du tenseur de cumulants complet. Je donne des détails sur une version multilinéaire du filtrage de Wiener. Le filtrage de Wiener multidimensionnel repose sur l'utilisation du sous-espace signal utile. L'estimation des projecteurs sur le sous-espace signal utile, pour chaque n-mode, est réalisée par une boucle ALS (Alternating Least Squares ou moindres carrés alternés). J'ai réalisé plusieurs expériences sur des images couleur, en considérant en particulier des cas où la dimension du sous-espace signal est égale au nombre de canaux dans le mode couleur, dans le cas où la dimension du sous-espace signal est sous-estimée, ou dans le cas où l'image est dégradée par un bruit Gaussien corrélé.

Deuxièmement, j'ai proposé une amélioration du débruitage d'images couleur ou multi-spectrales, en utilisant le travail dédié à l'estimation de contours rectilignes: Quand des directions principales sont présentes dans le tenseur à traiter, je montre qu'un déploiement non orthogonal des données, et plus précisément un déploiement selon ces directions principales, améliore le résultat du débruitage en réduisant le flou dans l'image résultat. Les

figures ci-dessous présentent une application de débruitage d'images par des méthodes multilinéaires amélioré par un déploiement nonorthogonal.

La figure 8 donne un résultat de filtrage de Wiener multidimensionnel avec déploiement nonorthogonal des données.

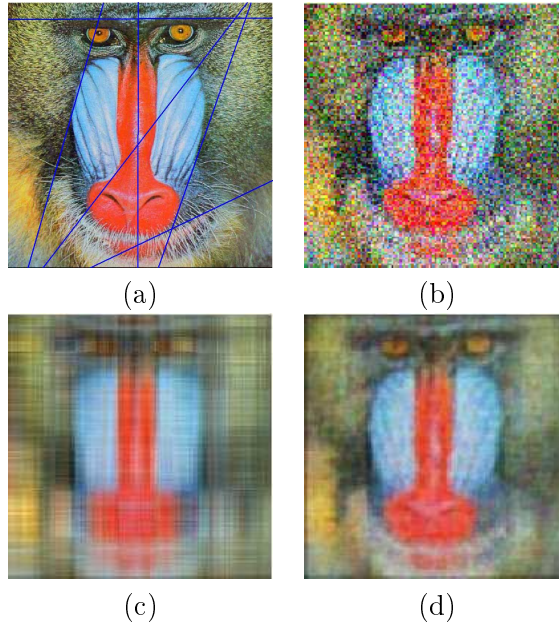


Figure 8: (a) Image à traiter; (b) Bruitée  $SNR = 9.03$  dB; (c)  $MWF SNR = 15.21$  dB; (d)  $MWFR SNR = 16.87$  dB.

Les valeurs d'angle estimées par ma méthode de traitement d'antenne sont:  $\{0^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 60^\circ, 78^\circ, 90^\circ\}$ . Les résultats de  $SNR$  montrent que le déploiement nonorthogonal des données améliore le débruitage des images couleur.

Troisièmement, j'ai créé des méthodes de filtrage tensoriel rapides. Pour cela, j'ai adapté la méthode du point fixe dans les boucles ALS pour remplacer le calcul des SVDs qui donnent tous les vecteurs singuliers d'une matrice. L'algorithme du point fixe ne calcule qu'un nombre connu *a priori* de vecteurs singuliers correspondants à des valeurs singulières dominantes. Ceci permet d'accélérer les méthodes de débruitage de tenseur, en particulier pour des données de grande taille telles que les images hyperspectrales. La méthode proposée est particulièrement performante en termes de gain en temps de calcul pour des images fortement bruitées.

Les résultats obtenus par les méthodes d'approximation de rang inférieur rapide (lower rank fixed point, ou LRFP), par le filtre de Wiener multidimensionnel rapide (Multiway Wiener Fixed Point, ou MWFP) sont comparées avec les versions d'approximation

de rang inférieur (lower rank tensor approximation ou LRTA) et de filtrage de Wiener multidimensionnel (Multiway Wiener SVD, ou MWSVD) qui utilisent la SVD.

La figure 9(a) est l'image initiale de taille  $256 \times 256$ , la figure 9(b) est l'image bruitée, la figure 9(c) est le résultat de débruitage obtenu par l'algorithme LRTA.

Les résultats obtenus sont les suivants:

méthode \ résultat	LRTA	LRFP	MWSVD	MWFP
SNR (dB)	17.20	17.03	17.27	17.11
temps de calcul	43 min. 22 sec.	68 sec.	17 min. 4 sec.	36 sec.

Les résultats en termes de  $SNR$  ne diffèrent que de 1%, et les rapports entre temps de calcul sont d'environ 40.

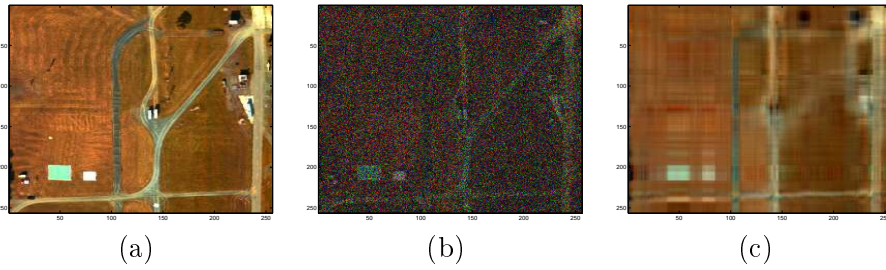


Figure 9: Image hyperspectrale: (a) image de départ (b) image bruitée (c) résultat de débruitage obtenu par la méthode LRFP, LRTA, MWFP ou MWSVD.

La figure 10 permet de comparer les temps de calcul pour plusieurs tailles d'image, de 60 à 256 pixels par ligne ou colonne.

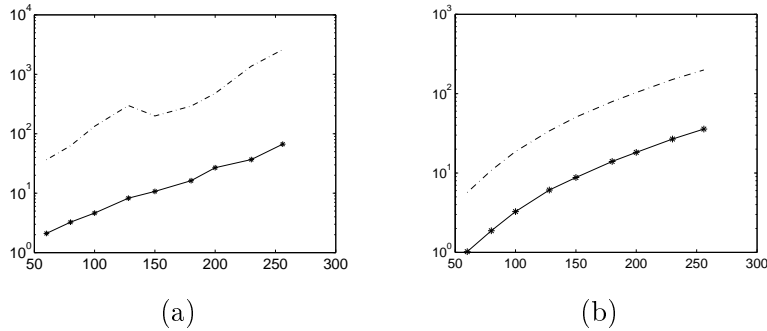


Figure 10: Temps de calcul (en sec.) en fonction du nombre de lignes et de colonnes: filtrage tensoriel utilisant: (a) LRFP (-\*-), LRTA (-.-); (b) MWFP (-\*-), MWSVD (-.-).

*Remarque* : toutes les parties traitées dans la thèse ont été publiées dans des revues internationales et des conférences internationales.

### 3 Principales contributions et résumé et de mes travaux de post-doctorat

#### *Contexte de l'analyse d'images*

(Conférence ACIVS [C7], chapitre de livre "Recent Advances in Signal Processing", ISBN 978-953-7619-41-1 [B1])

L'opportunité qui m'a été offerte de mener un post-doctorat à l'étranger m'a permis de me confronter à des problèmes pratiques de segmentation multicontour. Dans la lignée de mes travaux de thèse, j'ai une fois de plus prouvé l'intérêt des méthodes de traitement d'antenne pour l'analyse d'images.

*Mes principales contributions* sont les suivantes:

- J'ai créé un modèle d'image qui permet de considérer des contours comme autant de sources, et d'appliquer un principe d'extinction de sources du traitement d'antenne;
- j'ai vérifié les propriétés de robustesse de la méthode proposée lors d'une application de contrôle non destructif;
- J'ai appliqué une méthode de segmentation aveugle passant par la génération d'un signal sur une antenne linéaire à la segmentation d'images de mélanome.

Voici un résumé du contenu de mes travaux:

Jusqu'à présent, à ma connaissance, des méthodes de type levelset avaient été proposées pour retrouver des contours flous. C'est l'approche proposée par Chan et Vese. Aucun travail n'a distingué l'existence de plusieurs niveaux de flou. J'ai créé un modèle d'image qui m'a permis de me placer dans le paradigme du traitement d'antenne: Je considère les contours de l'image comme autant de sources. Cela m'a permis d'adapter le principe d'extinction de sources à la détection de contours: en détectant puis supprimant les contours à fort contraste dans l'image, je réhausse les contours à faible contraste. La méthode d'extinction de sources proposée intègre des algorithmes de morphologie mathématique qui suppriment de façon sélective les contours à fort contraste.

La figure 11 illustre le principe de la méthode proposée : L'image à traiter  $J$  contient des contours à fort contraste modélisés par  $J_1$ , et des contours flous à faible contraste modélisés par l'image  $J_2 * G$ . l'image à traiter est modélisée par  $J=J_1+ J_2 * G$ .  $J_1$  contient des pixels de valeur 1 et 0.  $J_2$  contient des pixels dont la valeur suit une distribution Gaussienne de moyenne inférieure à 1.  $G$  est un filtre Gaussien.

Selon le principe d'extinction de source du traitement d'antenne, les contours à fort contraste ont été supprimés. La figure (e) donne le résultat de segmentation final.

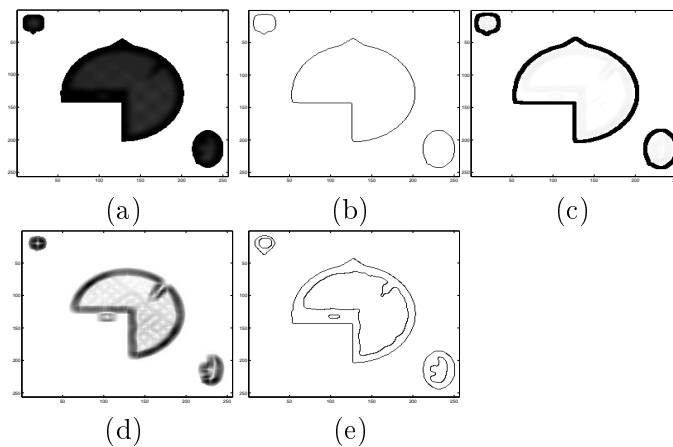


Figure 11: (a) Image à traiter, (b) contours à fort contraste segmentés, (c) contours à fort contraste dilatés, (d) contours à fort contraste supprimés et contours à faible contraste rehaussés, (e) contours à fort et faible contraste segmentés.

L'efficacité de la méthode que je propose a été prouvée par une application de contrôle non-destructif sur des images issues d'un contexte industriel. L'aspect modulaire de ma méthode permet d'envisager la création d'un brevet. Afin d'améliorer la justesse des résultats de détection de contours, j'ai réalisé un montage pour la prise de vue d'objets métalliques. L'institut Fraunhofer dispose de nombreux instruments d'imagerie optique. J'ai mené des recherches spécifiques pour la correction de l'éclairage : lors des prises de vue, j'ai choisi un éclairage diffus pour mettre en valeur les surfaces texturées, et un éclairage direct pour mettre en valeur les défauts de structure dans les objets métalliques testés.

Les figures 12(a), 12(b) présentent deux images industrielles à traiter. Les figures 12(c), (d) présentent les résultats de détection de contour. Les figures 12(c), (d) présentent les résultats de détection de défauts sur l'image de droite. Ces résultats montrent que j'ai su dans mes travaux de Post-doctorat comme lors de mes travaux de thèse placer un problème d'analyse d'images dans le paradigme du traitement d'antenne.

Mes derniers travaux portent sur le traitement d'images médicales, en particulier le débruitage et la segmentation d'images de mélanomes: j'ai appliqué le filtre de Wiener multidimensionnel à ces images couleur, et appliqué une méthode segmentation qui comprend une phase d'initialisation par une méthode de génération de signal et une méthode itérative de segmentation par approche contour.

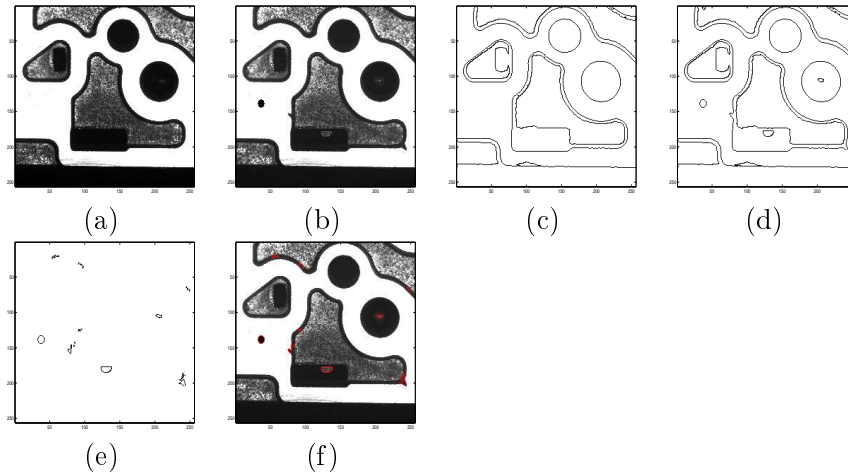


Figure 12: (a) Pièce de référence; (b) pièce défectueuse; (c) pièce de référence: contours détectés; (d) pièce défectueuse: contours détectés; (e) défauts détectés; (f) superposition défauts et pièce défectueuse.

Mon Post-Doctorat à l'Institut Fraunhofer m'a sensibilisé aux aspects administratifs et financiers du métier de chercheur. Notamment j'ai eu le souci dès le début de mon séjour de trouver une source de financement pour poursuivre mes travaux en Allemagne. J'ai appris à connaître les fondations de soutien à la recherche et les collaborations inter-laboratoires encouragées par l'attribution de labels, tels que le label Carnot attribué à 33 laboratoires en France et à l'Institut Fraunhofer. Les projets annuels Carnot sont une source de financement appréciable pour des projets franco-allemands.

Mon post-doc en Allemagne m'a permis d'acquérir une expérience significative de la recherche à l'étranger. J'ai prouvé une fois de plus la pertinence des méthodes issues du traitement d'antenne dans des problèmes d'analyse d'images. J'ai su faire preuve d'ouverture d'esprit en adaptant à un problème concret d'analyse d'image une méthode issue d'un domaine scientifique différent. Je ramène de mon expérience post-doctorale des résultats qui enrichiront ma démarche scientifique.