

# 39<sup>ème</sup> journée ISS France

jeudi 4 février 2016  
Amphithéâtre V 107 Ecole des Mines de Paris,  
60, Boulevard Saint Michel, PARIS

## PROGRAMME

Ouverture de la journée – 8:45 – 9:00

Session 'Art et Image' – 9:00-10:30

- 9:00-9:45 Mesurer l'irrégularité des images: Les fractales permettent-ils de classer les peintures de Van Gogh?, **Stéphane Jaffard**, LAMA UPEC
- 9:45-10:30 *L'image médicale et l'impression 3D au service du Patrimoine*, **Christophe Moulherat<sup>1</sup>, Omar Bouhelal<sup>2</sup>, Chloé Vaniet<sup>2</sup> et Sylvain Ordureau<sup>2</sup>**, (1) Musée du Quai Branly, (2) Vizua 3D

Pause – 10:30-11:00

Session 'Méthodes et Biosciences' – 11:00-12:20

- 11:00-11:20 Digitalisation de partitions et de tessellations, **Jean Serra<sup>1</sup> et Ravi Kiran<sup>2</sup>**, (1) Institut Gaspard Monge UPMV, (2) École Normale Supérieure & ThalesAlenia Space
- 11:20-11:40 Utilisation de la stéréologie pour l'estimation de la densité du sein à partir de coupes reconstruites de tomosynthèse, **Zhijin Li, Agnès Desolneux, Ann-K. Carton et Serges Muller**, CMLA ENS Cachan & GE Healthcare
- 11:40-12:00 Analyse de la peau in vivo pour l'estimation des marqueurs de vieillissement, **Julie Robic et Hugues Talbot**, A3SI ESIEE
- 12:00-12:20 *Un lien entre topologie et transition de percolation ?*, **Patricia Jouannot-Chesney<sup>1</sup>, Jean-Paul Jernot<sup>1</sup> et Christian Lantuéjoul<sup>2</sup>**, (1) CRISMAT/CNRT ENSICAEN, (2) Mines ParisTech

Clôture de la matinée – 12:20-12:30 – Annonces

---

Pause Déjeuner – 12:30-14:00

---

Session 'Méthodes et Matériaux' – 14:00- 15:20

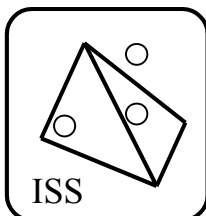
- 14:00-14:20 Modélisation de la microstructure d'un revêtement biphasé, **Vincent Bortolussi, Matthieu Faessel, François Willot et Michel Jeandin.**, Centre des Matériaux Mines ParisTech
- 14:20-14:40 Analyse de la géométrie des câbles supraconducteurs à l'aide d'outils statistiques et de traitement d'images, **Nicolas Lermé, Petr Dokladal**, CMM Mines ParisTech
- 14:40-15:00 Taille de grain : différenciation des joints inter et intra-grains par traitement d'image, **Christophe Gratin et Gervais Gauthier**, ADCIS S.A.
- 15:00-15:20 Analyse indicateur de qualité image pour l'automatisation de la vérification périodique des systèmes à rayons X, **Haithem Boussaid et Estelle Parra**, SAFRAN

Pause – 15:20-16:00

Session 'Méthodes et Biosciences' – 16:00-17:20

- 16:00-16:20 Amélioration de la corrélation d'images numériques par approche morphologique, **Sébastien Drouyer, Serge Beucher, Michel Bilodeau, Maxime Moreau**, IFPEN, CMM Mines ParisTech
- 16:20-16:40 *Watershed stochastique, hessien, théorie de l'évidence et segmentation d'image*, **Chaza Chahine, Eric Petit, Racha El Berbari et Corinne Lagorre**, LISSI UPEC, EDST Université Libanaise
- 16:40-17:00 SAF: a new superpixel-based feature for pixel classification, **Vaia Machairas, Thomas Walter et Etienne Decencièrè**, PSL-Mines ParisTech
- 17:00-17:20 The use of arrowing graph to answer the need for an optimised watershed implementation, **T. Chabardès, P. Dokladal, M. Faessel et M. Bilodeau**, CMM Mines ParisTech

Clôture de la journée – 17:20 – 17:30



## 39<sup>ème</sup> journée ISS France

jeudi 4 février 2016

Amphithéâtre V 107 Ecole des Mines de Paris,  
60, Boulevard Saint Michel, PARIS

### RESUME DES COMMUNICATIONS

- ✓ **Mesurer l'irrégularité des images: Les fractales permettent-ils de classifier les peintures de Van Gogh?**

**Stéphane Jaffard**, Laboratoire d'Analyse et de Mathématiques Appliquées, Université Paris Est Créteil

**Laboratoire d'Analyse et de Mathématiques Appliquées**

Université Paris Est Créteil

Stéphane Jaffard

61 avenue du Général de Gaulle 94000 Créteil

email : [jaffard@u-pec.fr](mailto:jaffard@u-pec.fr)

Benoît Mandelbrot a défini la géométrie fractale comme l'étude des ensembles irréguliers.

Il a utilisé le concept de dimension fractionnaire pour quantifier cette irrégularité, et a popularisé ce nouvel outil de classification parmi les scientifiques de nombreuses disciplines. Récemment, ces idées ont un impact fort en analyse multifractale, domaine qui concerne l'étude des fonctions irrégulières. Nous montrerons comment elles ont permis de développer de nouveaux outils de classification en analyse d'image. Les applications présentées concerneront (entre autres) des oeuvres d'art, mettant ainsi en évidence de nouvelles techniques en stylométrie (qui fournit aux historiens d'art des "distances" entre tableaux de différents maîtres). Une autre application concernera la classification des papiers photographiques anciens.

Cette présentation couvre des travaux réalisés avec Patrice Abry (SiSyPhe, ENS Lyon), Roberto Leonarduzzi (Laboratoire de Physique, ENS Lyon) et Herwig Wendt (IRIT, ENSEEIHT).

- ✓ **L'image médicale et l'impression 3D au service du Patrimoine**

**Christophe Moulhérat**, Musée du quai Branly,

**Omar Bouhelal**, Vizua 3D

**Chloé Vaniet**, Vizua 3D

**Sylvain Ordureau**, Vizua 3D

**Musée du quai Branly**

Christophe Moulherat

Chargé d'analyses des collections/référent textile

Département patrimoine et collections

Pôle conservation/restauration

222 rue de l'Université 75343 Paris Cedex 07

tél. : 01 56 61 71 62

email : [christophe.moulherat@quaibranly.fr](mailto:christophe.moulherat@quaibranly.fr)

Les techniques d'imagerie médicale remontent à la fin du XIXe siècle, avec la découverte des rayons X. Les momies égyptiennes, puis précolombiennes, furent parmi les premiers objets archéologiques à bénéficier de ce nouveau procédé. Très vite, les progrès technologiques liés au scanner et à l'imagerie 3D ouvrirent d'autres nouveaux horizons.

découverte par Wilhelm Conrad Röntgen : une momie de chat et celle d'un d'enfant sont radiographiées par Walter Koenig au Senckenberg Museum de Francfort. La même année, une série de radiographies est effectuée sur une momie d'oiseau par Thurstan Hollande à Liverpool. L'Égypte ancienne, avec ses nombreuses découvertes archéologiques, constitue donc très vite un champ d'investigation pour cette nouvelle technologie. En 1898, Sir Flinders Petrie utilise à son tour les rayons X pour examiner des momies égyptiennes, suivi par Elliot Smith et Howard Carter en 1904.

En France, Louis Lortet et Claude Gaillard publient dès 1903 les premiers éléments d'un vaste travail consacré à « *La Faune momifiée de l'ancienne Égypte* » dont le fonds documentaire comprend à la fois des dessins et des radiographies.

En 1906 les techniques de radiographie sont appliquées pour la première fois à l'étude de momies précolombiennes par Arthur Baessler, étude reprise en 1931 par Roy L. Moodie. Ces premières investigations restent toutefois dans le champ de l'anatomie osseuse.

Nouvelle étape dans cette quête de l'invisible : l'année 1972 qui verra la mise au point du premier scanner à rayons X par le chercheur britannique Godfrey Newbold Hounsfield, d'après les travaux publiés quelques années auparavant par le physicien américain Allan MacLeod Cormack.

Ces deux savants ont obtenu le Prix Nobel de médecine en 1979 pour la mise au point de cette technique appelée tomодensitométrie. L'avantage de cette technique par rapport à la radiologie classique est l'obtention, grâce à sa sensibilité, de résultats coupe par coupe grâce à l'introduction de l'informatique. En effet, les données obtenues sont traitées par un ordinateur qui recompose des vues en coupe ou des vues en trois dimensions.

La première application du tomодensitomètre ou scanner dans le domaine de l'archéologie a lieu à Toronto, au Canada en 1977, soit peu de temps après l'introduction clinique. Elle est réalisée par Peter Lewin et Derek Harwood-Nash sur le crâne d'un jeune tisserand égyptien mort 3000 ans auparavant.

C'est à nouveau le début d'une longue série d'études de momies de l'Égypte pharaonique mais aussi d'Amérique précolombienne. L'attention se concentre essentiellement sur l'âge et la taille au moment du décès puis, le plus souvent, par une étude paléopathologique destinée à vérifier les hypothèses éventuelles de maladie et des causes du décès.

À partir des années 2000, l'utilisation des scanners à rayons X est étendue à l'étude d'autres biens culturels. Les pièces en bois, en céramique, en ivoire, etc. participent dorénavant à ce nouvel axe de la recherche. Ceci va de pair avec une meilleure connaissance sur la structure de la matière grâce au développement récent des technologies *hardware* (cartes graphiques, processeurs de calcul) et *software* (logiciels de reconstitution 3D).

C'est dans ce contexte que le musée du quai Branly a décidé de doter de sa propre plateforme de visualisation 3D. Grâce à cet équipement, le musée peut mettre à disposition du personnel scientifique un nouveau moyen d'étude de ses collections.

Les œuvres ethnographiques entrent ainsi dans une ère nouvelle d'investigations grâce à l'adoption de technologies d'imagerie issues du monde médical. Si l'analyse stylistique de l'objet a prévalu dans l'étude et la classification de ces collections, il est désormais possible de pénétrer dans la matière ou de l'observer en transparence à l'aide de scanners à rayons X et de logiciels de visualisation.

Ce détournement des technologies d'imagerie à des fins d'étude et de conservation de biens culturels ouvre dorénavant la possibilité d'accéder à l'anatomie complète d'objets complexes et souvent tridimensionnels, composés de nombreux matériaux qui contribuent à la connaissance de leur fonction, parfois magique ou sacrée.

Le bouleversement le plus important vient de la possibilité de manipuler l'objet à distance, le démonter, l'examiner et l'analyser sans contact ni intrusion physique.

Une opération se déroule de la manière suivante : après avoir sélectionné la pièce à étudier, on l'achemine dans un établissement médical doté d'un tomographe pour procéder à son examen à l'aide de doses de rayons X très faibles. Les données numériques sont acquises en quelques secondes, avec des résolutions de données parfois inférieures à 100  $\mu\text{m}$ , pour les transférer sur un ordinateur puissant situé, en ce qui nous concerne, au cœur du musée. La visualisation en 3D des données peut alors se faire sur un simple ordinateur en réseau, via un site internet.

Ces images permettent une analyse fine des densités de matériaux en faisant apparaître ou disparaître certains éléments, pour visualiser des parties habituellement cachées, ou les associer à un dégradé de couleur et de transparence afin de rendre l'image plus lisible. Nous pouvons également pénétrer dans la matière pour l'analyser couche par couche, réaliser des coupes virtuelles et même analyser les cernes d'un bois. Les possibilités de travail avec l'image sont donc multiples, et sans doute encore à développer au-delà de ce que nous imaginons aujourd'hui.

Les fichiers numériques bien plus malléables que l'objet lui-même assurent des mesures de densité, des calculs de

l'instar d'une véritable endoscopie. Cet examen virtuel, non intrusif et reproductible, fait évoluer les métiers des musées et dévoile des informations insoupçonnées sur les œuvres tout en respectant leur intégrité matérielle.

Le scanner offre donc de nouvelles perspectives d'étude dans les domaines de la conservation (l'archivage numérique avec la possible visualisation et analyse des pièces à distance) et de la muséographie (la présentation des collections à l'aide de technologies d'imagerie 3D révolutionnaires). Ces technologies favorisent également le décloisonnement des disciplines scientifiques et muséographiques, à la fois par le partage accru de l'information et la communication entre différents métiers. Elles ouvrent des champs inédits pour la médiation muséographique du patrimoine, la diffusion vers des publics élargis et l'enseignement et témoignent, plus généralement, d'une nouvelle interdisciplinarité avec le monde médical.

L'histoire des techniques tient une place de choix parmi les finalités essentielles de la recherche sur les œuvres de musée : redécouvrir la technique utilisée par l'artiste ou l'artisan permet d'appréhender son geste, deviner son outil et, corollairement, de saisir une partie de son savoir et de son expérience sur la matière et ses lois. Mais la question plus vaste des pratiques culturelles (rites funéraires, pratiques magico-religieuses par déposition de produits, etc.) constitue également un axe majeur des recherches actuelles.

✓ **Digitalisation de partitions et de tessellations**

**Jean Serra**, Institut Gaspard Monge Université Paris Est Marne-la-Vallée  
**B. Ravi Kiran**, Ecole Normale Supérieure & ThalesAlenia Space

**Institut Gaspard Monge**  
Université Paris Est Val de Marne  
61 du Président Wilson  
94000 Cachan  
jean.serra@esiee.f

**Ecole Normale Supérieure**

**ThalesAlenia Space**

Le problème

L'une des opérations essentielles du traitement d'image consiste à segmenter l'espace où l'objet étudié se déploie. Or lorsqu'on partitionne un ensemble, les frontières entre classes n'étant pas matérialisées, on a quelque mal à traiter les opérations qui utilisent ces frontières. Où placer le support des gradients non nuls de la figure a par exemple ? Les frontières de la figure c jouent-elles toutes le même rôle que celles de la figure b ? Et aussi : comment fusionner des classes quand on construit une hiérarchie de partitions de plus en plus grandes ? Que faire des points frontières entre trois ou quatre classes ? Plus généralement, comment exprimer à la fois les classes et leurs frontières dans une hiérarchie de partitions ? ... (suite : voir le résumé complet de la communication en fin de document)

✓ **Utilisation de la stéréologie pour l'estimation de la densité du sein à partir de coupes reconstruites de tomosynthèse**

**Zhijin Li**, CMLA ENS Cachan, GE Healthcare France  
**Agnès Desolneux**, CMLA ENS Cachan  
**Ann-Katherine Carton**, GE Healthcare France  
**Serge Muller**, GE Healthcare France

**Centre de Mathématiques et de Leurs Applications**  
Ecole Normale Supérieure de Cachan  
61 du Président Wilson  
94000 Cachan

**GE Healthcare France**  
283 rue de la minière  
BP 34  
78530 Buc

Le cancer du sein est l'un des cancers les plus fréquents chez les femmes aujourd'hui. Une femme sur huit va être affectée par le cancer du sein au cours de sa vie [1]. L'imagerie par rayon-x du sein, ou mammographie, a montré son efficacité pour le dépistage et le diagnostic du cancer du sein [1]. Une image de mammographie représente la projection bidimensionnelle des structures du sein. Le contraste de ces structures sur l'image dépend de l'atténuation aux rayons X des matériaux traversés et caractérisés par leurs coefficients d'atténuation linéaire. Au cours de ces dernières années, les modalités d'imagerie tridimensionnelles ont été beaucoup développées, notamment la tomosynthèse numérique du sein. Une série d'images de projection est alors acquise sous différents angles sur une ouverture angulaire limitée (typiquement entre 15° et 50°). Un algorithme de reconstruction tomographique permet ensuite de fournir un ensemble de coupes parallèles au détecteur. L'ouverture angulaire limitée de la tomosynthèse ne permet cependant pas une reconstruction parfaite en 3D. Néanmoins cette modalité offre beaucoup d'informations complémentaires comparée à la mammographie, et permet en particulier de réduire le masquage de structures par superposition des tissus du sein.

La densité du sein représente un des facteurs de risque clés pour le cancer du sein [2]. Elle s'exprime comme le ratio entre le volume de tissu fibroglandulaire et le volume du sein entier. Bien que l'estimation de la densité du sein présente un intérêt clinique important, il n'existe pas encore de méthode standardisée. Quelques approches ont été développées pour estimer la densité du sein à partir des images acquises en mammographie [3,4]. A notre connaissance, très peu d'approches ont été proposées pour estimer la densité du sein à partir d'images de tomosynthèse [5]. Les auteurs de cette communication estiment la densité du sein par seuillage des coupes reconstruites de tomosynthèse.

Pour estimer la densité du sein à partir de données de tomosynthèse, nous proposons une approche stéréologique de type « model-based ». On commence tout d'abord par modéliser la structure 3D du sein, composée de tissus fibroglandulaires et de tissus adipeux, par un modèle Booléen 3D utilisant comme grains typiques, des ellipsoïdes orientés vers le mamelon selon une distribution gaussienne. L'union des ellipsoïdes représente l'ensemble des tissus adipeux. Ensuite, on formule le processus de projection et reconstruction en tomosynthèse pour en déduire la relation entre la fraction de volume glandulaire dans le volume original et la fraction de volume glandulaire dans un ensemble de coupes reconstruites en 2D. Au travers de cette relation, le ratio entre l'aire des tissus fibroglandulaires et l'aire des coupes reconstruites nous permet finalement d'estimer la densité du sein. Nous testons notre méthode sur les données synthétiques et nous étudions aussi l'erreur de l'estimation.

## Références

- [1] American Cancer Society, Breast Cancer Facts & Figures, American Cancer Society, 2011-2012.
- [2] V.A. McCormack, I. dos Santos Silva, "Breast density and parenchymal patterns as markers of breast cancer risk: a meta-analysis". *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2006, 15:1159–1169.
- [3] N.F. Boyd, G.A. Lockwood, L.J. Martin, J.W. Byng, M.J. Yaffe, D.L. Trichler, "Mammographic density as a marker of susceptibility to breast cancer: a hypothesis". IARC Scientific Publications. 2001;154:163-169.
- [4] J.J. Heine, C.G. Scott, T.A. Sellers, K.R. Brandt, D.J. Serie, F.F. Wu, M.J. Morton, B.A. Schueler, F.J. Couch, J.E. Olson, V.S. Pankratz, C.M. Vachon, "A novel automated mammographic density measure and breast cancer risk". *J Natl Cancer Inst.* 2012 Jul 3;104(13):1028-37. doi: 10.1093/jnci/djs254. Epub 2012 Jul 3.
- [5] P.R. Bakic, D. Kontos, A.K. Carton, A.D.A Maidment, "Breast percent density estimation from 3D reconstructed digital breast tomosynthesis images". *SPIE Medical Imaging* 2008.
- [6] S.N. Chiu, D. Stoyan, W.S. Kendall, J. Mecke, "Stochastic geometry and its applications", 3rd edition. John Wiley & Sons Inc, 2013.

### ✓ Analyse de la peau in vivo pour l'estimation des marqueurs de vieillissement,

**Julie Robic**, Laboratoire d'Informatique Gaspard Monge, Université Paris Est Marne-la-Vallée

**Hugues Talbot**, Laboratoire d'Informatique Gaspard Monge, Université Paris Est Marne-la-Vallée

**Laboratoire d'Informatique Gaspard Monge**

A3SI, ESIEE

Université Paris Est Marne-la-Vallée

2, boulevard Blaise Pascal

Cité Descartes

BP 99

93162 Noisy le Grand cedex

hugues.talbot@esiee.fr

- ✓ **Un lien entre topologie et transition de percolation ?**  
**Patricia Jouannot-Chesney**, CRISMAT/CNRT ENSICAEN  
**Jean-Paul Jernot**, CRISMAT/CNRT ENSICAEN  
**Christian Lantuéjoul**, Mines ParisTech

- ✓ **Modélisation de la microstructure d'un revêtement biphasé**

**Vincent Bortolussi**, Centre des Matériaux Mines ParisTech  
**Matthieu Faessel**, CMM, Ecole des Mines ParisTech  
**François Willot**, CMM, Ecole des Mines ParisTech  
**Michel Jeandin**, Centre des Matériaux, Ecole des Mines ParisTech

**PSL Research University**  
**MAT – Centre des Matériaux**  
Mines ParisTech  
CNRS UMR 7633  
BP 87 91003 Evry

**PSL Research University**  
**Centre de Morphologie Mathématique**  
Mines ParisTech  
35, rue Saint Honoré  
77300 Fontainebleau

*Voir le résumé de la communication en fin de document*

- ✓ **Analyse de la géométrie des câbles supraconducteurs à l'aide d'outils statistiques et de traitement d'images**

**Nicolas Lermé**, Institut d'Electronique Fondamentale, Université Paris Sud  
**Petr Dokladal**, Centre de Morphologie Mathématique, Mines ParisTech

**Institut d'Electronique Fondamentale**  
Université Paris Sud

**Centre de Morphologie Mathématique**  
Mines ParisTech  
35, rue Saint Honoré  
77300 Fontainebleau  
email : [petr.dokladal@mines-paristech.fr](mailto:petr.dokladal@mines-paristech.fr)

*Voir le résumé de la communication en fin de document*

- ✓ **Taille de grain : différenciation des joints inter et intra-grains par traitement d'image**

**Christophe Gratin**  
**Gervais Gauthier**, ADCIS S.A.

*Voir le résumé de la communication en fin de document*

- ✓ **Analyse indicateur de qualité image pour l'automatisation de la vérification périodique des systèmes à rayons X**

**Haithem Boussaid**, SAFRAN  
**Estelle Parra**, SAFRAN

**SAFRAN Tech**

*Rues des Jeunes Bois  
78772 Magny-Les-Hameaux  
email : [estelle.parra@safran.fr](mailto:estelle.parra@safran.fr)*

*Voir le résumé de la communication en fin de document*

- ✓ **Amélioration de la corrélation d'images numériques par approche morphologique**

**Sébastien Drouyer**, Centre de Morphologie Mathématique, Mines ParisTech  
**Serge Beucher**, Centre de Morphologie Mathématique, Mines ParisTech  
**Michel Bilodeau**, Centre de Morphologie Mathématique, Mines ParisTech  
**Maxime Moreau**, Centre de Morphologie Mathématique, Mines ParisTech

**Centre de Morphologie Mathématique**

*Mines ParisTech  
35, rue Saint-Honoré  
93162 Fontainebleau  
email : [Sebastien.Drouyer@mines-paristech.fr](mailto:Sebastien.Drouyer@mines-paristech.fr)*

- ✓ **Watershed stochastique, hessien, théorie de l'évidence et segmentation d'image**

**Chaza Chahine**, EDST Université Libanaise, Laboratoire Images, Signaux et Systèmes Intelligents, Université Paris Est Créteil  
**Eric Petit**, Laboratoire Images, Signaux et Systèmes Intelligents, Université Paris Est Créteil  
**Racha El Berbari**, EDST Université Libanaise  
**Corinne Lagorre**, Laboratoire Images, Signaux et Systèmes Intelligents, Université Paris Est Créteil

**Laboratoire Images, Signaux et Systèmes Intelligents**

*Université Paris Est Créteil  
Domaine Chérioux  
1225, rue Paul Armangot  
94400 Vitry sur Seine  
email : [chaza.chahine@gmail.com](mailto:chaza.chahine@gmail.com)*

**EDST**

*Université Libanaise  
Liban*

- ✓ **SAF: a new superpixel-based feature for pixel classification**

**Vaia Machairas**, PSL-Research University Mines ParisTech, Centre de Morphologie Mathématique  
**Thomas Walter**, PSL-Research University Mines Paris Tech, Centre de Bio-Informatique & Institut Curie & INSERM U900  
**Etienne Decencièrre**, PSL-Research University Mines ParisTech, Centre de Morphologie Mathématique

Segmenting an image is usually one of the major and most challenging steps in the pipeline of biomedical image analysis. One classical and promising approach is to consider segmentation as a classification task, where the aim is to assign to each pixel the label of the objects it belongs to. Pixels are therefore described by a vector of features, where each feature is calculated on the pixel itself or, more frequently, on a sliding window centered on the pixel. In this work, we propose to replace the sliding window by superpixels, i.e. regions which adapt to the image content. We call the resulting features SAF (Superpixel Adaptive Feature). Their contribution is highlighted on a biomedical database, using waterpixels [1]. Qualitative and quantitative analyses show that they are better suited for segmentation purposes than the sliding window approach.

[1] Waterpixels, V. Machairas, M. Faessel, D. Cardenas-Pena, T. Chabardès, T. Walter and E. Decencière, *IEEE Transaction on Image Processing*, 24(11): 3707-3716, Jul 2015

✓ **The use of arrowing graph to answer the need for an optimised watershed implementation**

**T. Chabardès**, Centre de Morphologie Mathématique, Mines ParisTech

**P. Dokladal**, Centre de Morphologie Mathématique, Mines ParisTech

**M. Faessel**, Centre de Morphologie Mathématique, Mines ParisTech

**M. Bilodeau**, Centre de Morphologie Mathématique, Mines ParisTech

**Centre de Morphologie Mathématique**

Mines ParisTech

35, rue Saint-Honoré

93162 Fontainebleau

email :

The watershed transform is a powerful tool for morphological segmentation introduced in 1979 by C. Lantuejoul and S. Beucher. Most common implementations of this method involve a strict hierarchy on gray tones in the processing of the pixels composing an image. Use of hierarchical queue or stacks are still most common to implement this method. Thoses dependancies complexify the efficient use of modern computational architectures. The current limitation of the clock rate limited by physical constraints brought the need for multi-processors architectures and adaptation of usual methods to the new specifications. Recently, arrowing graph have been used to answer the problem of non-locality of data. We described how arrowing graphs can be used to simulate the flooding of a topographic relief. Experimental results demonstrate that it can be accurate and by far outperforms in terms of speed when compared to common watershed algorithms.



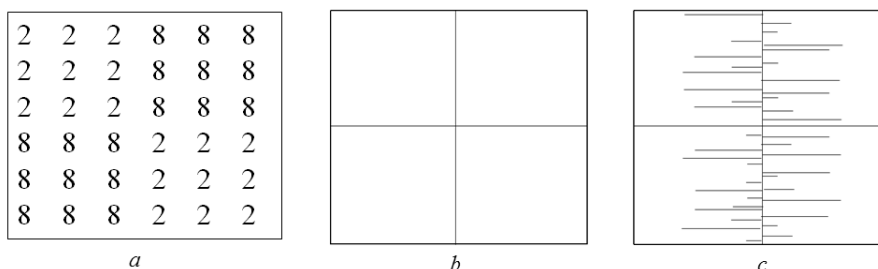
# Digitalisation de partitions et de tessellations

Jean Serra et B. Ravi Kiran

Journée ISS 4 février 2016

## Le problème

L'une des opérations essentielles du traitement d'image consiste à segmenter l'espace où l'objet étudié se déploie. Or lorsqu'on partitionne un ensemble, les frontières entre classes n'étant pas matérialisées, on a quelque mal à traiter les opérations qui utilisent ces frontières. Où placer le support des gradients non nuls de la figure a par exemple? Les frontières de la figure c jouent-elles toutes le même rôle que celles de la figure b? Et aussi: comment fusionner des classes quand on construit une hiérarchie de partitions de plus en plus grandes? Que faire des points frontières entre trois ou quatre classes? Plus généralement, comment exprimer à la fois les classes et leurs frontières dans une hiérarchie de partitions?



## Ouverts réguliers et tessellations

Dans un espace topologique  $E$ , un ouvert  $B$  est régulier quand il est égal à l'intérieur de leur adhérence, i.e.  $B = (\overline{B})^\circ$ . L'ensemble  $\mathcal{R}$  des ouverts régulier de  $E$  forme un treillis complet pour l'ordre de l'inclusion, où le supremum et l'infimum sont donnés par:

$$\vee B_i = (\overline{\cup B_i})^\circ \quad ; \quad \wedge B_i = (\cap B_i)^\circ. \quad (1)$$

Nommons tessellation  $\tau$  de  $E$  toute famille  $\{B_i, i \in I\}$  d'ouverts disjoints deux à deux, appelés *classes*:

$$\tau = \{B_i, i \in I\} \quad \text{avec} \quad i \neq j \Rightarrow B_i \cap B_j = \emptyset \quad (2)$$

tels que la réunion des  $B_i$  et de leurs frontières communes deux à deux recouvre l'espace  $E$ :

$$E = \cup \{B_i, i \in I\} \cup \{\overline{B_i} \cap \overline{B_j}, i, j \in E, i \neq j\}, \quad (3)$$

On montre que les classes de toute tessellation  $\tau = \{B_i, i \in I\}$  sont nécessairement des  $\mathcal{R}$ -ouverts [1]. La famille  $\mathcal{T}$  des tessellations de  $E$  est manifestement ordonnée par la relation

suivante:

$$\tau \leq \tau' \iff B(x) \subseteq B'(x) \quad x \in E, \tau, \tau' \in \mathcal{T} \quad (4)$$

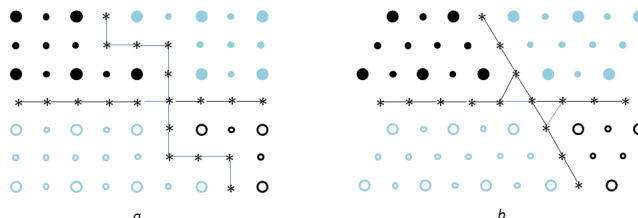
Lorsqu'on se donne une tessellation minimale  $\tau_0$ , alors l'ensemble  $\mathcal{T}$  des tessellations  $\tau \geq \tau_0$  de  $E$  constitue un treillis complet pour l'ordre de la relation (4), d'éléments universels  $\tau_0$  et  $E$ . l'infimum de la famille  $\{\tau_p, p \in P, \tau_p \geq \tau_0\}$  est la tessellation dont la classe au point  $x$  est l'infimum dans  $\mathcal{R}$  des classes des  $\tau_p$  en  $x$ , et le supremum la plus petite tessellation dont les classes sont des suprema, dans  $\mathcal{R}$ , des classes des  $\tau_p$  [1].

### Tessellations digitales et topologie de Khalimski

La topologie de E. Khalimsky dans  $\mathbb{R}$  suppose en plus des axiomes habituels que la classe des ouverts est stable pour l'intersection. Elle associe à tout couple d'entiers impairs  $m \leq m'$  l'intervalle ouvert  $]m - \frac{1}{2}, m' + \frac{1}{2}[$  de  $\mathbb{R}$ , et à tout couple d'entiers pairs  $n \leq n'$  l'intervalle fermé  $[n - \frac{1}{2}, n' + \frac{1}{2}]$ . On passe à  $\mathbb{R}^n$  par la topologie produit de  $n$  droites de Khalimsky. Dans  $\mathbb{R}^2$  par exemple, les carrés dont toutes les coordonnées du centre sont impaires sont ouverts, ceux dont toutes les coordonnées sont paires sont fermés, les autres sont mixtes.

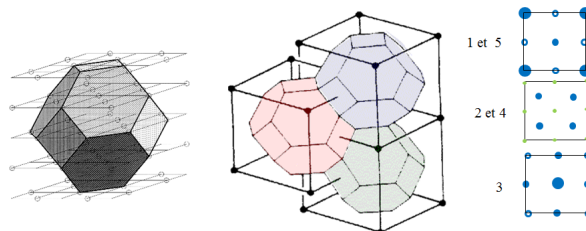
Munissons  $\mathbb{R}^n$  de la topologie de Khalimsky et soit  $\mathbb{Z}^n$  le sous-espace formé des points de  $\mathbb{R}^n$  dont toutes les coordonnées sont impaires. Toute partition  $\pi$  de  $\mathbb{Z}^n$  induit dans  $\mathbb{R}^n$  une unique tessellation  $\tau$  dont chaque classe contient une et une seule classe de  $\pi$ , et la correspondance entre  $\pi$  et  $\tau$  est biunivoque [1].

Alternativement, on peut partir d'une grille hexagonale et prendre pour ouverts ses polygones de Voronoï.



Les gros ronds sont les ouverts élémentaires (carrés ou hexagonaux) les petits sont les segments et les points (en carré) ou les segments (en hexagonal). Le cas hexagonal lève l'ambiguïté des points quadruples, en revanche son réseau du fond n'est pas filiforme [1].

Dans  $\mathbb{R}^3$  le Voronoï de la trame cubique centrée est l'octaèdre tronqué.



Il fournit la seule trame dont les points multiples ne sont pas ambigus [1].

[1] J. Serra et B. Ravi Kiran: Digitalization of partitions and of tessellations, à paraître dans DGCI, Nantes Avril 2016

# Modélisation de la microstructure d'un revêtement biphasé

V. Bortolussi<sup>1</sup>, B. Figliuzzi<sup>2</sup>, F. Willot<sup>2</sup>, M. Faessel<sup>2</sup>, M. Jeandin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MINES ParisTech, PSL Research University, MAT - Centre des Matériaux,  
CNRS UMR 7633, BP 87 91003 Evry, France

<sup>2</sup> MINES ParisTech, PSL Research University, Centre de Morphologie Mathématique,  
35, rue St Honoré, 77300 Fontainebleau, France

Le fuselage des avions modernes est actuellement constitué d'un polymère renforcé par des fibres de carbone. Afin de rendre ce composite électriquement conducteur, un revêtement biphasé a été développé : une dispersion de poudre sphérique métallique dans une matrice plastique. Les propriétés physiques du revêtement sont fortement liées aux propriétés géométriques de la microstructure sous-jacente. Dans cette étude, nous présentons un modèle de géométrie stochastique multi-échelle fondé sur la combinaison d'un modèle Booléen et d'une tessellation de Johnson-Mehl qui vise à reproduire la microstructure du revêtement. Le modèle est élaboré à partir d'images de microscopie optique du matériau.

Dans un premier temps, nous présentons un algorithme de segmentation des images de la microstructure. Les grains de poudre sphériques sont souvent séparés par de fins interstices de plastique. Il s'agit donc de segmenter et d'identifier précisément ces particules. Dans la suite, nous caractérisons la microstructure par le biais de plusieurs paramètres morphologiques mesurés sur les images segmentées : la covariance, la granulométrie et la distribution des épaisseurs des interstices séparant les particules proches. L'épaisseur d'interstice en particulier est un paramètre clef, qui influe fortement sur les propriétés de conductivité électrique des milieux granulaires quasi-percolants. Enfin, nous proposons un modèle aléatoire tridimensionnel de la microstructure. La première échelle de microstructure, qui correspond aux agrégats de particules, est simulée à l'aide d'un modèle de sphères booléennes dont le rayon suit une distribution gamma. Les paramètres de ce modèle sont optimisés via l'algorithme de Nelder-Mead en comparant covariances et granulométries. La seconde échelle de la microstructure, qui correspond aux interstices intra-agrégats, est modélisée à l'aide d'une tessellation de Johnson-Mehl. L'épaisseur des interstices suit la distribution mesurée, tandis que leur nombre est optimisé afin de reproduire la covariance et la granulométrie du matériau initial.

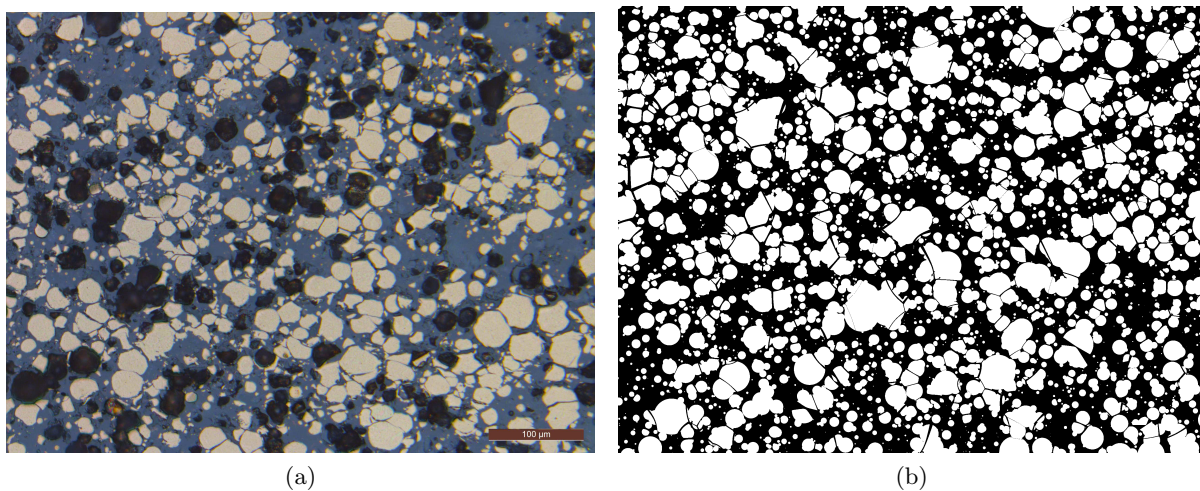


Figure 1: Microstructure originale (a) et simulée (b)

# Analyse de la géométrie de câbles supraconducteurs à l'aide d'outils statistiques et de traitement d'images

39ème journée ISS France

Nicolas Lermé<sup>1,2,\*</sup>, Petr Dokládál<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centre de Morphologie Mathématique

<sup>2</sup>Institut d'Électronique Fondamentale

21 décembre 2015

## Contexte

Les câbles supraconducteurs permettent de transporter des courants très élevés (en kA) sans impact environnemental avec un encombrement et des pertes réduits. Désormais, ils sont impliqués dans un large spectre applicatif allant des aimants à haut-champ (câbles Rutherford avec les IRM en médecine et le LHC en physique des hautes énergies) au confinement magnétique dans les réacteurs à fusion (câbles en conduit pour ToreSupra, ITER, DEMO, etc.), en passant par le transport d'énergie (câbles de puissance). La construction en 2014 de la première ligne à haute tension supraconductrice d'1km souligne leur fort potentiel dans les années à venir. La maîtrise de cette technologie représente donc un enjeu majeur pour l'industrie et la recherche.

Malgré leurs atouts, les supraconducteurs de ces câbles s'avèrent très fragiles et subissent des endommagements liés à des efforts mécaniques conséquents (jusqu'à 5 MN/m) induits par le champ électromagnétique qu'ils génèrent (jusqu'à 15 Teslas). Une architecture de câblage optimale, obtenue par simulation à l'aide de modèles du comportement électrique et mécanique de la structure de ces câbles [MMN12, TBC14], peut limiter ces endommagements. La validation de ces modèles est une étape importante mais complexe. Elle est réalisée en comparant statistiquement la géométrie obtenue par simulation à celle de câbles réels. En fonction du résultat de ces comparaisons, le design des câbles peut alors être optimisé, jusqu'à ce qu'une architecture idéale soit obtenue.

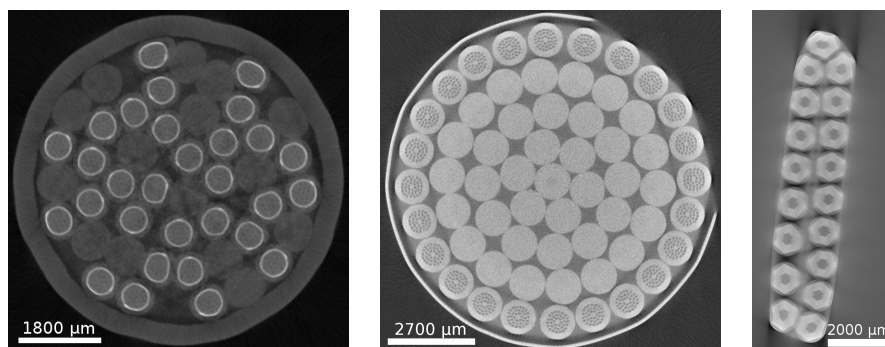


FIGURE 1 – De gauche à droite : exemples de coupes transversales issues d'un câble en conduit, d'un câble de puissance et d'un câble Rutherford.

---

\*Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet financé par l'ANR (ANR-GUI-AAP-05). Il a été réalisé durant le post-doctorat de Nicolas Lermé au Centre de Morphologie Mathématique durant l'année 2014/2015.

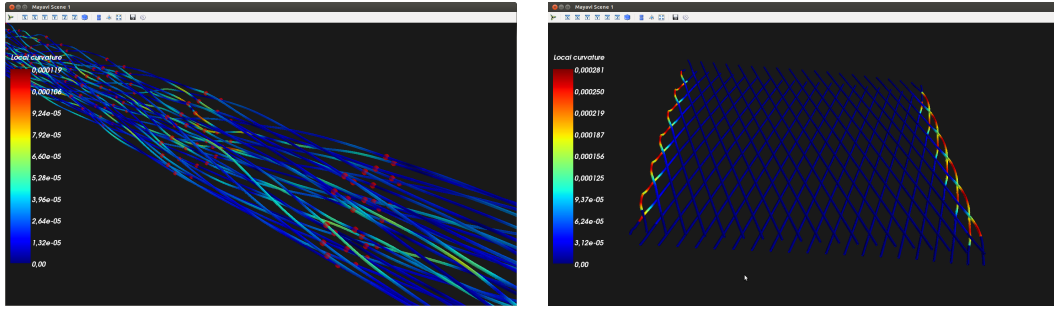


FIGURE 2 – Lignes centrales d’un câble en conduit (gauche) et d’un câble Rutherford (droite) avec courbures locales en fausses couleurs. Les pastilles rouges correspondent aux emplacements où le recalage a eu lieu. L’échelle des courbures est exprimée en  $\mu\text{m}^{-1}$ .

## Méthodes et résultats

Le travail présenté dans [LD15] concerne l’identification de la géométrie de câbles en conduit [WHF<sup>+</sup>07], de câbles Rutherford [Obe13, MDD<sup>+</sup>12] et de câbles de puissance [SS09], à partir d’images 3D inédites acquises par tomographie. Hormis leur structure multi-échelle commune, ces câbles présentent une architecture, une apparence et une composition différente. Les images étudiées sont de taille importante (jusqu’à 12 Go) et de qualité variable (voir figure 1).

Des outils spécifiques de traitement d’images ont ensuite été mis en place afin de recalcr au préalable les images acquises et extraire les structures d’intérêt (contours/lignes centrales des torons et conduit). Comparées à des vérités terrain, l’étape de segmentation a été validée par une précision inférieure à 1.5 pixels sur les lignes centrales pour tous les câbles étudiés. Des descripteurs portant à la fois sur les lignes centrales (courbures locales, voir figure 2), les torons (circularité) et les espaces libres (vide autour des torons) ont été sélectionnés pour caractériser la géométrie des câbles et permettre la détection d’anomalies. Des résultats préliminaires ont permis de vérifier que les valeurs des paramètres des câbles sont proches des valeurs nominales fournies et de montrer qu’aucune corrélation spatiale n’existe entre torsions et écrasements.

## Références

- [LD15] N. Lermé and P. Dokládál. Geometry analysis of superconducting cables for the optimization of global performances. In *Accepté à International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (ICPRAM)*, 2015.
- [MDD<sup>+</sup>12] A. Milanese, M. Devaux, M. Durante, P. Manil, J.C. Perez, J.M. Rifflet, G. De Rijk, and F. Rondeaux. Design of the EuCARD high field model dipole magnet FRESKA2. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 22(3), 2012.
- [MMN12] P. Manil, M. Mouzouri, and F. Nunio. Mechanical modeling of low temperature superconducting cables at the strand level. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 22(3), 2012.
- [Obe13] L. Oberli. Development of the Nb<sub>3</sub>Sn Rutherford cable for the EuCARD high field dipole magnet FRESKA2. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 23(3), June 2013.
- [SS09] M. Seidel and D.S. Sturge. *Tensile surface and structure : A practical guide to cable and membrane construction*. Wiley, 2009.
- [TBC14] A. Torre, H. Bajas, and D. Ciazynski. Mechanical and electrical modeling of strands in two ITER CS cable designs. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 24(3), June 2014.
- [WHF<sup>+</sup>07] K.P. Weiss, R. Heller, W.H. Fietz, J.L. Duchateau, N. Dolgetta, and A. Vostner. Systematic approach to examine the strain effect on the critical current of Nb<sub>3</sub>Sn cable-in-conduit-conductors. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 17(2) :1469–1472, 2007.

## Taille de grain : différenciation des joints inter et intra-grains par traitement d'image

Christophe Gratin et Gervais Gauthier

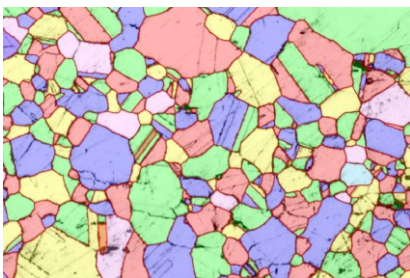
ADCIS S.A., Saint-Contest (France)

### Présentation du problème

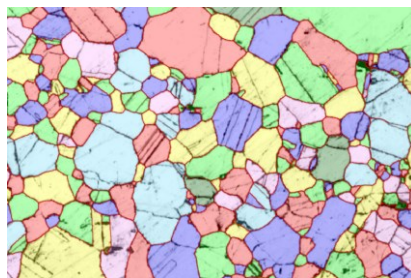
Les métallographes ont depuis longtemps fait appel à l'analyse d'image pour caractériser la structure de matériaux métalliques. L'un des paramètres le plus couramment estimé est la taille de grain moyen. La mesure de ce paramètre est normalisée (norme E-112 et ses dérivées). Plusieurs méthodes permettent d'obtenir la taille du grain moyen (à partir de la distribution de taille, à partir du dénombrement des intercepts) mais, quelle que soit la méthode, la mesure est biaisée lorsque la structure métallique analysée comporte des joints intra-granulaires. En effet, ces joints, révélés comme les joints inter-granulaires par attaque chimique ou électrochimique lors de la préparation de l'échantillon, ne doivent pas être pris en compte sinon la taille des grains risque d'être sous-estimée. Une méthode a été mise au point pour supprimer ces joints par traitement d'image. Cette méthode a été appliquée à des images métallographiques et les mesures de taille de grain moyen avant et après correction ont été comparées.

### Description de la méthode

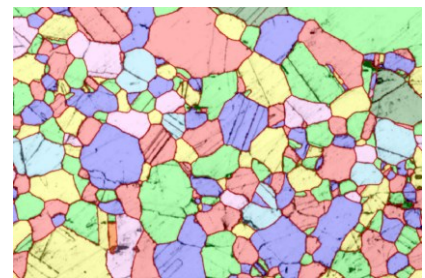
Les images métallographiques pour la mesure de la taille de grain présentent généralement un bon contraste entre les grains (clairs) et les joints de grains révélés (foncés). Un seuillage permet ainsi de mettre en évidence les joints de grain révélés, mais d'autres structures sont également extraites par seuillage : rayures de polissage, précipités de carbure, nodules (phase  $\sigma$ ), etc. De plus, tous les joints ne sont pas révélés lors de la préparation de l'échantillon, ainsi certains joints extraits par seuillage sont incomplets et d'autres sont manquants. Après avoir supprimé de la détection toutes les structures qui n'appartiennent pas aux joints et après avoir reconstruit les joints incomplets par traitement d'image, nous obtenons une image des joints, comprenant les joints inter et intra-granulaires. Les joints intra-granulaires ont pour particularité d'être rectilignes. Nous avons donc associé à chaque joint un indice de rectilinéarité. Cet indice ne permet cependant pas de discriminer les joints inter et intra-granulaires, car les joints inter-granulaires peuvent également être rectilignes. Une seconde notion a donc été utilisée : les grains sont plutôt convexes. Ainsi, la suppression d'un joint intra-granulaire affecte peu l'indice de concavité du grain tandis que la suppression d'un joint inter-granulaire augmente l'indice de concavité. Un filtrage des joints de grain sur un indice combinant l'indice de rectilinéarité et la variation de concavité a permis de ne conserver que les joints inter-granulaires.



**Fig. 1** : segmentation d'un échantillon métallographique



**Fig. 2** : grains détectés après suppression des joints de grain ayant une valeur d'indice inférieure à 40



**Fig. 3** : grains détectés après suppression des joints de grain ayant une valeur d'indice inférieure à 80

### Conclusion

Les joints de grain détectés par traitement d'image sur les micrographies comprennent deux catégories de joints : les joints inter-granulaires, qui séparent les grains, et les joints intra-granulaires, qui correspondent à des désorientations cristallographiques internes aux grains. La prise en compte des joints intra-granulaires dans la mesure de la taille de grain moyen et/ou la distribution de taille des grains génère un biais. L'élimination automatique de joints intra-granulaires par la méthode présentée a permis d'obtenir une segmentation des grains conforme à la structure réelle des échantillons métallographiques analysés. Dans les cas les plus critiques, quelques rares faux joints n'ont pas été éliminés ; un outil de sélection manuelle de ces faux joints a permis de corriger rapidement la segmentation.

Cette méthode permet ainsi d'obtenir une mesure non biaisée de la taille de grain tout en limitant drastiquement voire en éliminant l'édition manuelle de la segmentation des grains.

# Analyse d'indicateur de qualité image pour l'automatisation de la vérification périodique des systèmes à rayons X

Haithem Boussaid<sup>1</sup>, Estelle Parra<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SAFRAN Tech, Rue des Jeunes Bois 78772 Magny-Les-Hameaux

Dans le cadre du contrôle non destructif des pièces métalliques par des systèmes de radiographie (RX), une vérification périodique de la qualité des systèmes d'acquisition est réalisée afin de garantir les performances du contrôle RX. Cette vérification consiste à faire des mesures de qualité sur des images RX de pièces de références normalisées : les Indicateurs de Qualité d'Images (IQI).

Cette procédure est règlementée par des normes internationales ASTM (ASTM E2597 [1], ASTM E2698 [2], ASTM E2737 [3]...). Cependant ces normes laissent une grande place à l'interprétation. D'où l'intérêt d'une méthode d'automatisation de l'analyse d'images RX afin de garantir des mesures objectives, cohérentes et reproductibles.

Nous nous intéressons ici à l'automatisation du calcul de la mesure du rapport contraste sur bruit ou Contrast to Noise Ratio (CNR) sur la cale à gradins (figure. 1). Pour ce faire, nous proposons une chaîne de traitement qui comprend 3 blocs algorithmiques : la segmentation de la cale ; l'identification des marches de la cale ; et le calcul du CNR de chaque paire de marches consécutives de la cale.

Notre principale contribution consiste à l'utilisation de la transformée standard de Hough (SHT) et des champs aléatoires de Markov (MRF) pour la détection et la segmentation de la cale rectangulaire dont les dimensions sont connues en tenant compte d'une déformation du modèle rectangulaire de la cale, selon une tolérance de 10 % dans les standards industriels.

Nous commençons par détecter les contours (ou portions de contours) présents dans l'image en employant le détecteur de Canny. Ensuite nous passons à l'espace de Hough pour chercher dans cet espace les 4 droites qui forment le contour de la cale. Chaque pixel non nul de l'image retournée par le détecteur de Canny vote pour l'ensemble de droites (représentée par une coordonnée sur l'espace de Hough) passant par ce point. Nous obtenons ainsi une accumulation de votes sur chaque coordonnée de l'espace de Hough.

Les sommets (valeurs maximales de votes) sur l'accumulateur de Hough représentent les droites les plus longues détectées dans l'image. Ces sommets forment les droites candidates formant le rectangle recherché. Pour trouver ces 4 points, nous modélisons le problème en un champ aléatoire de Markov (MRF) dont la structure est une chaîne 4 nœuds. Les liaisons dans la chaîne entre les variables représentent les contraintes géométriques sur les coordonnées des points. Cette modélisation est motivée par les observations suivantes:

- si 2 sommets sur l'espace de Hough ont la même abscisse, cela signifie que les deux droites représentées par ces deux sommets sont parallèles.
- Si 2 sommets sur l'accumulateur ont une différence d'abscisse en valeur absolue de  $90^\circ$ , cela implique que les droites représentées par ces deux sommets sont perpendiculaires.
- Largeur de la cale sur l'espace de Hough est calculée par la différence en ordonnées des deux premiers sommets qui représentent le rectangle.
- La longueur de la cale est la différence en ordonnée des deux derniers sommets.

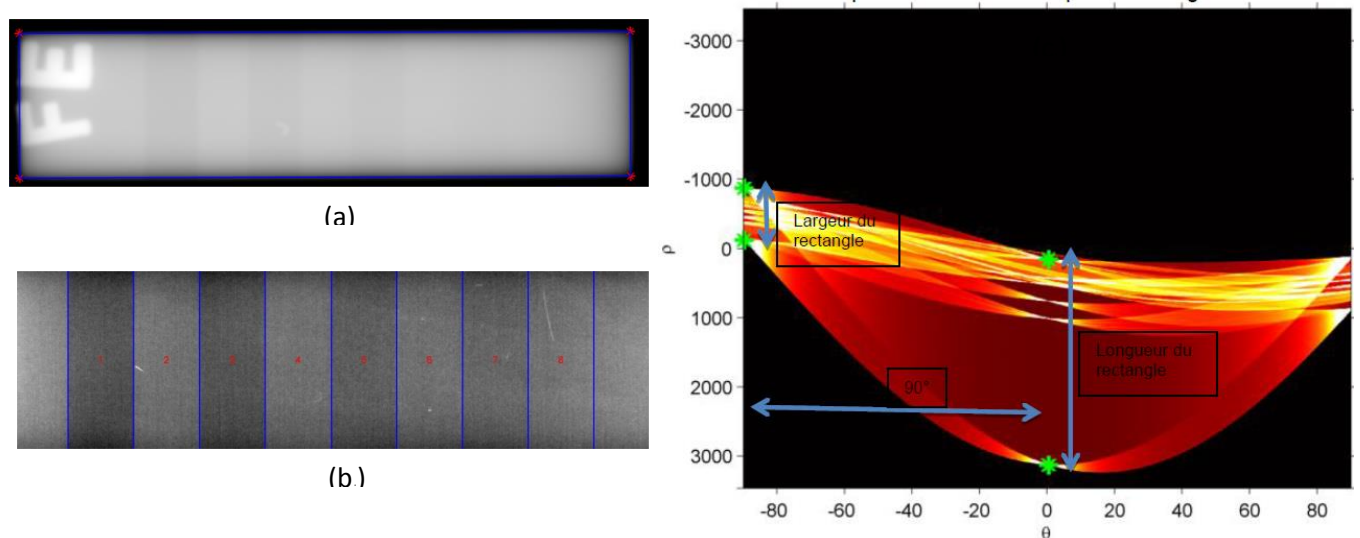
Finalement, les 4 sommets que nous cherchons sur l'accumulateur doivent avoir la même abscisse -à une tolérance près- deux à deux et les deux premiers sommets doivent avoir une différence de  $90^\circ$  -à

une tolérance près- par rapport aux deux derniers. Ces propriétés géométriques que vérifie le rectangle dans l'espace de Hough sont encodées dans notre modèle de Markov par des fonctions à deux variables qui pénalisent chaque déviation par rapport à la configuration idéale. Nous trouvons les coordonnées des 4 sommets recherchés en appliquant une méthode d'inférence basé sur la programmation dynamique [4]. Cette méthode trouve les 4 points sur l'accumulateur qui ont des scores individuels maximaux et au même temps sont les moins pénalisés par les contraintes géométriques.

L'intérêt de l'utilisation des MRFs et de pouvoir modéliser les déformations de la cale. Le passage à l'espace de Hough permet quant à lui de transformer les rotations dans le cas du rectangle en des translations facilement modélisées dans un modèle MRF par des fonctions à deux variables.

Une fois la cale segmentée, nous identifions les frontières entre les marches de la cale par une approche multi échelle de calcul de gradient.

Finalement, le rapport du contraste sur bruit est calculé à partir d'une estimation robuste de la moyenne et de la variance des niveaux de gris de chaque paire de marches consécutives.



**Figure 1 :** (a) cale à gradin segmentée, (b) marches de la cale identifiées pour le calcul du rapport contraste sur bruit, (c) accumulateur de Hough d'une cale à gradin. Les sommets en vert représentent les 4 droites du rectangle recherché. Ces 4 sommets représentent des droites détectées sur l'image puisque leurs valeurs sont grandes sur l'accumulateur. Ces 4 droites forment un rectangle car elles ont la même abscisse deux à deux. Par conséquent, elles ont le même angle donc parallèles deux à deux. En plus, l'écart en abscisse des deux premières droites et les deux autres est de  $\pi/2$ , donc elles sont perpendiculaires deux à deux. Ces 4 droites forment le rectangle recherché puisque l'écart en ordonnée de chaque deux droites parallèles correspond à la longueur ou largeur de la cale.

Références :

[1] ASTM E2597: « Standard Practice for Manufacturing Characterization of Digital Detector Arrays »

[2] ASTM E2698 « Standard Practice for Radiological Examination Using Digital Detector Arrays »

[3] ASTM E2737 « Standard Practice for Digital Detector Array Performance Evaluation and Long-Term Stability »

[4] R. Bellman, Dynamic Programming, Princeton University Press, 1957