

# 42<sup>ème</sup> journée ISS France

jeudi 7 février 2019

*Amphithéâtre L109* Ecole des Mines de Paris,  
60, Boulevard Saint Michel, PARIS

## PROGRAMME

Ouverture de la journée – 9:15 – 9:30

Session 'Théorie I' – 9:30-10:30

Président de session: Maxime Moreaud

9:30-10:00 **Percolation antipodale**  
**Ch. Lantuéjoul<sup>1</sup>, J.P. Jernot<sup>2</sup>, P. Jouannot<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>MINES ParisTech, Centre de géostatistique, <sup>2</sup>Crismat/Ensicaen

10:00-10:30 **Calcul récursif rapide de l'arbre des formes d'une image**  
**P. Monasse**  
LIGM UMR CNRS 8049, Ecole des Ponts ParisTech

Pause – 10:30-11:00

Session 'Théorie II' – 11:00-12:30

Président de session: Bruno Figliuzzi

11:00-11:30 **Linking the map of Asplund's distances with Mathematical Morphology**  
**G. Noyel<sup>1,2</sup>, M. Jourlin<sup>2,3</sup>**  
<sup>1</sup>University of Strathclyde Institute of Global Public Health, <sup>2</sup>International Prevention Research Institute, <sup>3</sup>Université Jean Monnet, Laboratoire H. Curien, UMR CNRS 5516

11:30-12:00 **Local Minkowski measures for geometric characterization of stochastic spatial structures**  
**T. Eremina, J. Debayle, F. Gruy, J. C. Pinoli**  
Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, LGF UMR CNRS 5307

12:00-12:30 **Rotation invariant neural networks for learning naturally un-oriented data**  
**R. Rodriguez<sup>1,2</sup>, E. Dokladalova<sup>2</sup>, P. Dokladal<sup>3</sup>**  
<sup>1</sup>ESIEE Paris, <sup>2</sup>LIGM UMR CNRS 8049 <sup>3</sup>MINES ParisTech, Centre de morphologie mathématique

---

Pause Déjeuner – 12:30-14:00

---

Session 'Applications et Méthodes' – 14:00- 15:30

Président de session: François Willot

14:00-14:30 **Efficient Topological and Morphological Porous Microstructure Characterization**  
**M. Moreaud, J. Chaniot, T. Fournel, J. M. Becker, L. Sorbier**  
<sup>1</sup>IFP Energies nouvelles, <sup>2</sup>Université de Lyon, <sup>3</sup>Université Jean Monnet, Laboratoire Hubert Curien, CNRS UMR 5516, <sup>4</sup>MINES ParisTech, Centre de morphologie mathématique

14:30-15:00 **Morphological and mechanical modeling of defects in laser welded joints**  
**Laurent Lacourt<sup>1,2</sup>, Samuel Forest<sup>2</sup>, David Ryckelynck<sup>2</sup>, François Willot<sup>1,2</sup>, Sylvain Flouriot<sup>3</sup>, Victor de Rancourt<sup>3</sup>**  
<sup>1</sup>MINES ParisTech, Centre de Morphologie Mathématique, <sup>2</sup>MINES ParisTech, Centre des Matériaux, <sup>3</sup>CEA Valduc

15:00-15:30 **Morphologie mathématique et représentations musicales**  
**C. Agon<sup>1</sup>, M. Andreatta<sup>1,2</sup>, J. Atif<sup>3</sup>, I. Bloch<sup>4</sup>**  
<sup>1</sup>STMS, CNRS-IRCAM-SU, Paris, <sup>2</sup>IRMA/GREAM/USIAS, Université de Strasbourg <sup>3</sup>Université Paris-Dauphine, PSL Research University, UMR CNRS 7243, LAMSADE, <sup>4</sup>LTCI, Télécom ParisTech, Université Paris-Saclay

**Pause – 15:30-16:00**

**Session 'Imagerie médicale' – 16:00-17:00**

**Président de session: Etienne Decencièrè**

16:00-16:30 **Segmentation d'IRM de Cervelet de nouveaux-né prématuré par approche hiérarchique**  
**P. Cettour-Janet, N. Passat**  
CRESTIC, Université de Reims

16:30-17:00 **Evaluation automatique de la rétinopathie diabétique**  
**B. Lay<sup>1</sup>, R. Danno<sup>1</sup>, G. Quellec<sup>2</sup>, M. Lamard<sup>2,3</sup>, B. Cochener<sup>2,3,4</sup>, E. Decencièrè<sup>5</sup>, R. Alais<sup>5</sup>, A. Erginay<sup>6</sup>, P. Massin<sup>6</sup>, A. Le Guilcher<sup>7</sup>**  
<sup>1</sup>ADCIS S.A, <sup>2</sup>LaTIM-INSERM UMR CNRS 1101, <sup>3</sup>Université de Bretagne Occidentale, <sup>4</sup>Service d'Ophthalmologie, CHRU Brest, <sup>5</sup>Centre de Morphologie Mathématique, MINES ParisTech, <sup>6</sup>AP-HP, Hôpital Lariboisière, <sup>7</sup>Evolucare

**Clôture de la journée – 17:00 – 17:10**

## Percolation antipodale

C. LANTUÉJOUL<sup>1</sup>, J.P. JERNOT<sup>2</sup>, P. JOUANNOT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MinesParisTech/Géostatistique, 35 rue Saint-Honoré, 77300 Fontainebleau

<sup>2</sup>Crismat/Ensicaen, 6 boulevard Maréchal Juin, 14050 Caen cedex 04

On s'intéresse à la percolation de schémas booléens du plan qui ont pour objets des disques de rayons fixes ou aléatoires. Pour estimer le seuil de percolation d'un tel modèle, une procédure classique consiste à implanter un par un des objets du schéma booléen de façon uniforme dans un champ de simulation carré. On note la proportion d'objets pour laquelle les bords gauche et droit du champ sont reliés pour la première fois par une chaîne d'objets. On montre que cette proportion tend à se stabiliser vers une constante lorsque le côté du champ de simulation devient infini. Cette constante est précisément le seuil de percolation. Elle vaut 0.6763 pour des disques de rayon fixe. Pour tenter d'éviter d'avoir à travailler sur des champs de très grande taille, nous avons tenté la procédure alternative suivante: le champ de simulation est circulaire et son rayon est fixé une fois pour toutes. Comme dans la procédure classique, les objets du schéma booléen sont implantés progressivement dans le champ de simulation. On note la proportion d'objets pour laquelle deux points opposés (antipodaux) de la frontière du champ de simulation sont reliés par une chaîne d'objets. Pour des objets de rayon fixe, et un champ de simulation de rayon 10 fois plus grand, les proportions obtenues sur 1000 réalisations s'organisent en une courbe en cloche de moyenne 0.6767 et d'écart-type 0.089. Même si la taille du champ d'analyse est faible, l'accord entre les deux valeurs estimées est remarquable. Il conviendrait toutefois de s'interroger maintenant sur les raisons de cette accord.

# Local Minkowski measures for geometric characterization of stochastic spatial structures

TATYANA EREMINA, JOHAN DEBAYLE, FRÉDÉRIC GRUY, JEAN-CHARLES PINOLI

École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne  
CNRS UMR 5307 LGE, F - 42023 Saint-Etienne France

Many physical properties (eg. porosity, tortuosity, flow properties) of a granular media rely on the size and shape of the particles. In order to quantify them the Minkowski functionals are widely used. They play an important role in geometric characterization (in  $\mathbb{R}^2$  and  $\mathbb{R}^3$  Minkowski functionals coincide up to normalisation with standard geometric parameters). Nevertheless, facing the complex spatial structure, the global functionals appear to be not discriminating enough. For example, images in fig.1 of borosilicate glass display different structures possessing the same global area, perimeter and Euler-Poincaré characteristic. One of the possible generalisation of the Minkowski functionals allowing the finer geometrical characterisation and description of spatial heterogeneity of structures is *local Minkowski measures*. For a particular distribution of the random set  $B$ , the local Minkowski measures could be understood as the restrictions to  $B$  of area, perimeter, Euler-Poincaré measure, see figure 2. The study of the mean Minkowski measures could be found at [Schneider, 1993]. The asymptotic behaviour in Boolean model were described by [Molchanov, 1997]. The numerical approximation of local Minkowski measures were suggested in [Legland et al., 2011]. But the analysis of the distribution of these (random) local measures as a whole seems to be missing in the literature.

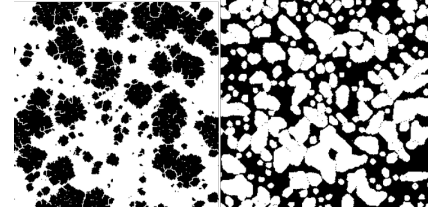


Figure 1: Borosilicate glass images with the same global Minkowski functionals. [Schulz, 2003]

At this stage, we study the random Minkowski measures of typical stochastic geometrical models. An application of the local measures to the characterisation of the elongation of a typical grain in the Boolean model is presented. Our objective is to provide a fuller description of the mathematical properties of local Minkowski measures, find an analytical expression in hypothesis of typical stochastic models, suggest the unbiased estimators for the characterisation of real spatial structures.

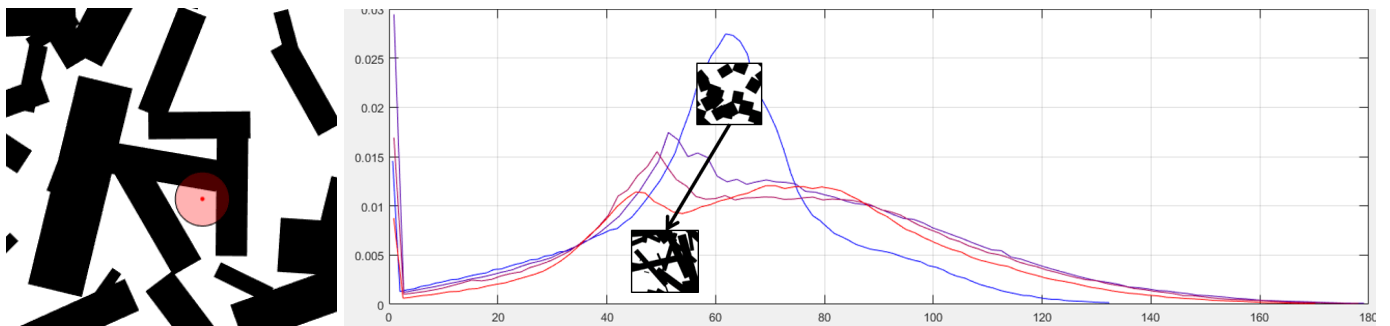


Figure 2: (a) A realisation of Boolean model with rectangular grains analysed locally in the neighbourhood of a uniform random point (in red). (b) Probability density functions for the local perimeter measure of four Boolean models with rectangular grains of growing sizes ratio.

## REFERENCES

- [Legland et al., 2011] Legland, D., Kièu, K., and Devaux, M.-F. (2011). Computation of minkowski measures on 2d and 3d binary images. *Image Analysis and Stereology*, 26(2):83–92.
- [Molchanov, 1997] Molchanov, I. (1997). *Statistics of the Boolean Model for Practitioners and Mathematicians*. Wiley.
- [Schneider, 1993] Schneider, R. (1993). *Convex Bodies: The Brunn-Minkowski Theory*. Cambridge Series in Environment and Behavior. Cambridge University Press.
- [Schulz, 2003] Schulz, V. (2003). *Description and reconstruction of microscopic random heterogeneous media in order to estimate macroscopic hydraulic functions*. PhD thesis, University of Heidelberg.

# Linking the map of Asplund's distances with Mathematical Morphology

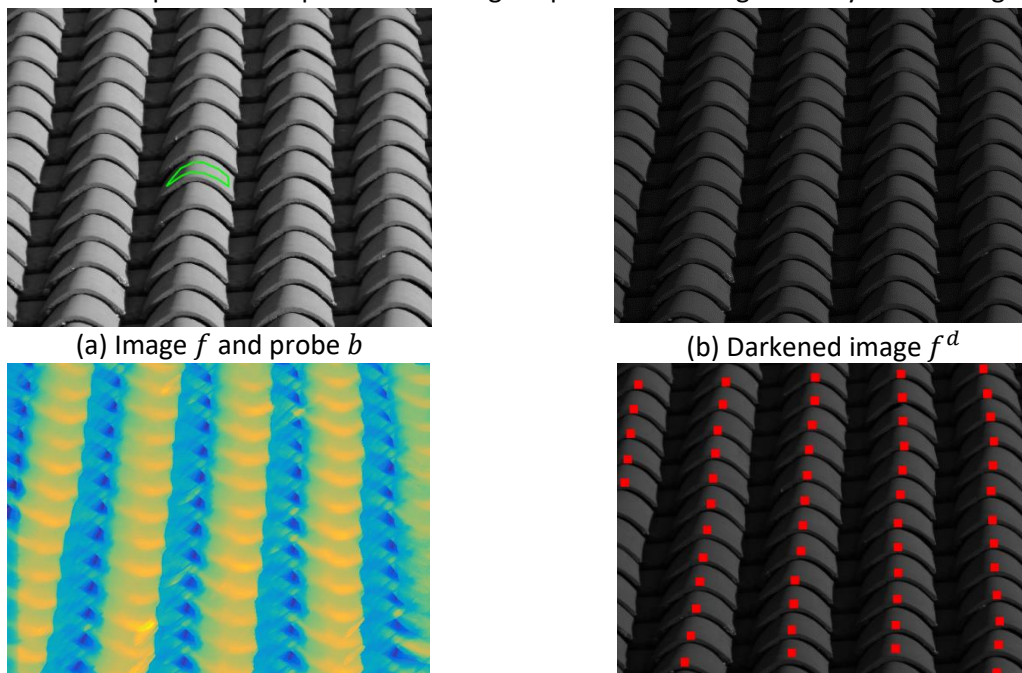
Guillaume Noyel<sup>1,2</sup> and Michel Jourlin<sup>3,2</sup>

<sup>1</sup> University of Strathclyde Institute of Global Public Health, Dardilly Lyon-Ouest, France

<sup>2</sup> International Prevention Research Institute, Lyon, France

<sup>3</sup> Université Jean Monnet, Laboratoire H. Curien, UMR CNRS 5516, St-Etienne, France

The functional Asplund's metric was defined by Jourlin et al. [1] in the Logarithmic Image Processing (LIP) framework. It possesses the interesting property of being insensitive to lighting variations caused by opacity variations. Such a metric can be used to measure a distance between a probe (or a template) and an image for each point of this image. This process generates a map of Asplund's distances between the image and the probe. The minima of the map correspond to the patterns which are similar to the probe. Noyel and Jourlin [2, 3] have shown that such a map is the logarithm of a ratio between a dilation and an erosion of a function by the probe acting as a structuring function. Those dilations and erosions are mappings between the image lattice into the positive function lattice. Moreover, the dilations and erosions can be expressed with the usual definitions of the dilations and erosions for grey level images defined in the  $(max, +)$  algebra. This relation makes easier the programming of the maps of Asplund's distances. In this presentation, we will review all the established results and we will illustrate the interest of the map of Asplund's distances with examples. In figure 1, a probe is selected in an image  $f$  of a roof captured with a good contrast (fig1 a). In this image a tile  $b$  is extracted to serve as a probe. The same scene is darkened to simulate a low contrasted image  $f^d$  (fig 1b) captured with a different lighting. The map of Asplund's distances  $As_{b,p}^{\Delta} f^d$  is computed between the probe  $b$  and the darkened image  $f^d$  (fig 1c). Its minima are detected by a threshold at 0.7 of this map. They correspond to the location of the centres of the tiles (fig 1d). This example illustrates the powerful property of the map of Asplund's distance to detect a similar pattern to a probe in an image captured with a significantly different lighting.



(a) Image  $f$  and probe  $b$  (b) Darkened image  $f^d$  (c) Map of Asplund's distances  $As_{b,p}^{\Delta} f^d$  between the darkened image and the probe with a tolerance of 30% on the extrema (d) Detected tiles in  $f^d$ . A threshold of 0.7 was applied to the map Asplund's distances.

Figure1: Detection of similar patterns to a probe in a low contrasted image using their map of Asplund's distances.

[1] M. Jourlin, M. Carré, J. Breugnot, and M. Bouabdellah, "Logarithmic Image Processing: Additive Contrast, Multiplicative Contrast, and Associated Metrics," in *Advances in imaging and electron physics*. vol. 171, ed, 2012.

- [2] G. Noyel and M. Jourlin, "Double-Sided Probing by Map of Asplund's Distances Using Logarithmic Image Processing in the Framework of Mathematical Morphology," in *Mathematical Morphology and Its Applications to Signal and Image Processing. ISMM 2017*. vol. 10225, J. Angulo, S. Velasco-Forero, and F. Meyer, Eds., ed: Springer, 2017, pp. 408-420.
- [3] G. Noyel and M. Jourlin, "A simple expression for the map of Asplund's distances with the multiplicative Logarithmic Image Processing (LIP) law," in *12th European Congress for Stereology and Image Analysis 2017*, Kaiserslautern, Germany, 2017.

## Calcul récursif rapide de l'arbre des formes d'une image

Pascal Monasse (LIGM, École des Ponts ParisTech)

L'arbre des formes généralise les arbres de composantes connexes, dont l'extraction a fait l'objet de nombreuses recherches. Au prix d'une modification simple et naturelle des composantes connexes (opérateur de saturation, ce qui correspond à boucher les trous internes), on peut calculer un arbre *unique* codant à la fois des composantes min et max d'ensembles de niveau (Figure 1). L'inconvénient est que le calcul de l'arbre des formes, effectué par l'algorithme FLST (Fast Level Set Transform), est bien moins efficace, bien que parfaitement acceptable pour des images de taille moyenne. Cet algorithme procède par extraction ascendante de l'arbre, en partant des feuilles (qui sont des extrema régionaux sans trou). Le problème est que l'extraction du noeud parent ne peut fonctionner que si tous ses enfants ont déjà été extraits, ce qui résulte en de nombreuses interruptions de parcours ascendant de l'arbre et du temps de calcul gâché.

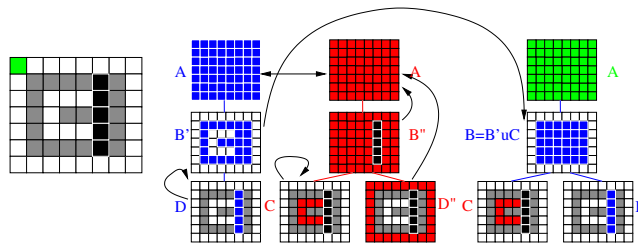


Figure 1: Image (point à l'infini en vert, utilisé pour le calcul de la saturation), arbres des composantes **min** et **max**, les saturations des composantes indiquées par les flèches, et l'arbre des formes à droite.

Le nouvel algorithme proposé procède de manière descendante dans l'arbre, partant de la racine (l'image entière), et détectant les enfants par leur frontière, une ligne de niveau. Chaque enfant étant lui-même la racine d'un sous-arbre, l'algorithme procède alors de façon récursive. Les temps de calcul obtenus sont alors réduits de manière très significative sur de grandes images (Figure 2).

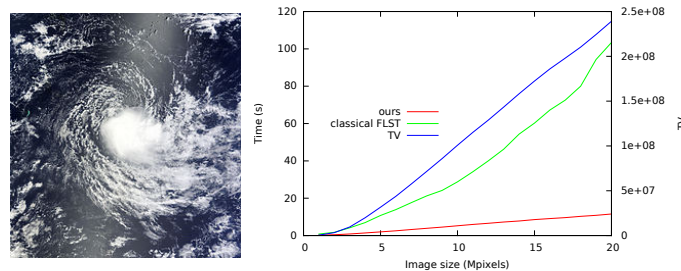


Figure 2: Image et temps de calcul par la FLST et l'algorithme récursif.

# Rotation invariant neural networks for learning naturally un-oriented data

Rosemberg Rodriguez <sup>1,2</sup>, Eva Dokladalova<sup>2</sup>, Petr Dokladal <sup>3</sup>

<sup>1</sup> ESIEE Paris

<sup>2</sup> LIGM - Laboratoire d'Informatique Gaspard Monge

<sup>3</sup>MINES ParisTech, PSL-Research University, CMM, 35 rue Saint Honoré, 77305 Fontainebleau, France

Deep convolutional neural networks accuracy is heavily impacted by rotations of the input data. Our architecture is capable of predicting the angular orientation without angle-annotated data. Furthermore, the predictor maps continuously the random rotation of the input to a circular space of the prediction. For this purpose, we use the roto-translation properties existing in the Scattering Transform Networks with a series of 3D Convolutions. This allows further applications of this work on fields like automatic re-orientation of randomly oriented datasets.



## **Efficient Topological and Morphological Porous Microstructure Characterization**

Maxime Moreaud<sup>1,3</sup>, Johan Chaniot<sup>1</sup>, Thierry Fournel<sup>2</sup>, Jean Marie Becker<sup>2</sup>, Loïc Sorbier<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IFP Energies nouvelles, Rond-point de l'échangeur de Solaize, BP 3, 69360 Solaize, France

<sup>2</sup>Université de Lyon, Université Jean Monnet de Saint Etienne, CNRS UMR 5516, Laboratoire Hubert Curien, F-42000 Saint Etienne, France

<sup>3</sup>MINES ParisTech, PSL-Research University, CMM, 35 rue Saint Honoré, 77305 Fontainebleau, France

Porous media characterization is central for heterogeneous catalysis for the production of biofuels and chemical intermediates by biomass transformation. Their description should provide certain connection to some of their physicochemical properties, and concerning their activity or selectivity.

Standard geometric descriptions, such as porous volume fraction, granulometry of pores, or specific surface area, are seldom sufficient for this purpose. This is why we have developed new morphological and topological descriptors using the so-called “distance transform” with adapted time-efficient numerical methods. The present work is a global attempt to provide a realistic description of the microstructure of porous media; it should help to define an optimal microstructure modelization taking into account intended textural and usage properties. Such a description can also lead to a structural classification of porous media.

We will present a first approach addressing the ability for given particle's sizes to go through the porous network until a critical radius. Then, we will define a new versatile tortuosity descriptor based on the travel distance of a particle in a porous maze. The computation of these new descriptors will be shown using plug im!, a signal and image processing modular open access software, on several types of porous media such as zeolites, metal-organic frameworks and alumina catalyst supports.

## Morphologie mathématique et représentations musicales

Carlos Agon <sup>(1)</sup>, Moreno Andreatta <sup>(1,2)</sup>, Jamal Atif <sup>(3)</sup>, Isabelle Bloch <sup>(4)</sup>

1. STMS, CNRS-IRCAM-SU, Paris

2. IRMA/GREAM/USIAS, Université de Strasbourg

3. Université Paris-Dauphine, PSL Research University, CNRS, UMR 7243, LAMSADE, Paris

4. LTCI, Télécom ParisTech, Université Paris-Saclay, Paris

Dans le domaine récent de la recherche associant mathématiques et musique, il a été montré que les représentations computationnelles de la musique bénéficiaient de formalisations mathématiques, en particulier algébriques et topologiques. Dans cette présentation, nous suggérons que la morphologie mathématique peut être combinée à ces formalismes, d'une part pour les représentations, et d'autre part pour leur manipulation. Nous illustrons ces idées sur deux exemples, portant l'un sur les structures harmoniques et l'autre sur les structures rythmiques.

Dans le premier exemple, nous proposons de combiner des formalisations algébriques et des représentations dans des treillis de structures harmoniques présentes dans une composition musicale. Ces structures sont représentées par un treillis de concepts construit à partir des intervalles. Sur ces treillis, nous définissons des relations de congruence à partir d'opérateurs morphologiques (dilatations et érosions dans cet exemple). Ces relations permettent de construire des treillis quotients qui représentent de manière compacte l'essentiel des structures harmoniques de la composition, et peuvent être considérés comme des descripteurs symboliques et structurels de la pièce, comme nous le montrons sur l'exemple du 1<sup>er</sup> mouvement du 2<sup>e</sup> quatuor à cordes de Ligeti.

Dans le deuxième exemple, nous nous intéressons aux structures rythmiques. L'ensemble des rythmes, considérés comme des séquences de durées (notes et silences), forme un treillis complet. Les opérations élémentaires de morphologie mathématique (dilatation, érosion, ouverture, fermeture) sont définies dans ce treillis, en particulier avec des éléments structurants qui sont aussi des rythmes. Ces opérations contribuent à la formalisation de formes musicales, domaine qui est au cœur des recherches de compositeurs tels que Karim Haddad. A titre d'illustration, nous montrons que la dilatation d'un rythme par un rythme définissant un élément structurant permet de construire des canons rythmiques.

### Références:

- Agon C., Andreatta M., Atif J. , Bloch I. and Mascarade Relano P.: "Musical Descriptions based on Formal Concept Analysis and Mathematical Morphology", In: 23rd International Conference on Conceptual Structures (ICCS), Edinburgh, UK, vol. LNAI 10872, pp. 105-119, 2018.
- Agon C., Haddad K.: "Can we formalize musical form?", Fall School Art & Science, Transdisciplinarity - increasing scientific and artistic creativity, 22-27 Oct 2018 Paris (France)
- Agon C., Haddad K., Assayag G. : "Représentation et rendu de structures rythmiques", Journées d'Informatique Musicale, 9<sup>e</sup> édition, Marseille, 29 - 31 mai 2002.

- Atif, J., Bloch, I., Distel, F., Hudelot, C.: "Mathematical morphology operators over concept lattices". In: International Conference on Formal Concept Analysis. vol. LNAI 7880, pp. 28-43. Dresden, Germany, 2013.
- Schlemmer, T., Andreatta, M.: "Using formal concept analysis to represent chroma systems". In: Yust, J., Wild, J., Burgoyne, J.A. (eds.) 4th International Conference on Mathematics and Computation in Music (MCM 2013), Montreal, QC, Canada. vol. LNCS 7937, pp. 189-200, 2013.
- Schlemmer, T., Schmidt, S.E.: "A formal concept analysis of harmonic forms and interval structures". *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence* 59(2), 241-256, 2010.
- Wille, R.: "Musiktheorie und Mathematik". In Heinz Götze and Rudolf Wille (Eds.), *Musik und Mathematik*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo pp. 4-31, 1985.

## **Segmentation d'IRM de cervelet de nouveau né prématuré par approche hiérarchique**

En France, chaque année, 10 000 bébés naissent avant 32 semaines de développement. Une grande majorité de ces naissances présentes un déficit moteur ou cognitif. Jusqu'à présent nous n'avons qu'une faible compréhension sur la nature de ces déficits par rapport au développement cérébral. L'IRM est un outil très puissant qui permettrait de relier les lésions tissulaires et les variations de volumes des structures cérébrales avec les observations cliniques observées. Réaliser une segmentation ou des mesures (manuellement ou de façon interactive) est une tâche très peu reproductible et extrêmement chronophage, d'où la nécessité de développer des outils informatiques pour aider à relier les données de structures cérébrales aux informations cliniques. Un programme de suivi d'enfants nés prématurés, Epirmex, a été mis en place sur toute la France. Le programme a pour but d'étudier et de comprendre le développement de ces enfants. Parmi les données acquises, il y a la réalisation d'IRMs cérébrales à terme corrigé dans différentes modalités et le suivi du développement de l'enfant jusqu'à ses quatre ans.

L'étude du cerveau de prématuré doit répondre à des problématiques très spécifiques telles que des inversions de contraste, du bruit très élevé sur les IRM, des développements très inégaux entre les différents bébés. En 2016, il a été montré une corrélation entre un faible développement du cervelet et le développement social, moteur et cognitif du prématuré. Des outils informatiques d'analyse sont nécessaires pour l'étude du développement du cervelet. Actuellement aucune méthode spécifique au cervelet n'a été développée. Nous nous proposons donc de créer une méthode de segmentation interactive afin de permettre aux spécialistes de pouvoir choisir parmi un nombre de segmentations, la plus adaptée à l'étude à réaliser. Pour ce faire, nous travaillons sur une segmentation basée sur un arbre binaire de partitions. En raison de la taille des images, nous avons tout d'abord réduit le nombre de feuilles en créant une primopartition de supervoxels de taille moyenne 5x5x5 avec le paradigme de watervoxel. Ensuite cet arbre est construit grâce à des informations intrinsèques à l'image, telles que le contraste, l'entropie ou encore l'homogénéité, le tout sur des images en trois dimensions. L'évaluation des arbres dépend de deux paramètres antagonistes, le niveau de coupe (donc le nombre de partitions) et la qualité de segmentation. Pour ce faire nous avons évalué les arbres avec des fronts de Pareto mettant en concurrence le nombre de partitions et la qualité de coupe par rapport au score de DICE.

Actuellement nous travaillons sur une méthode de visualisation de navigation dans cet espace en trois dimension pour permettre le choix de la meilleur segmentation.



## EVALUATION AUTOMATIQUE DE LA RÉTINOPATHIE DIABÉTIQUE

Bruno Lay<sup>1</sup>, Ronan Danno<sup>1</sup>, Gwénoélé Quéllec<sup>2</sup>, Mathieu Lamard<sup>2,3</sup>, Béatrice Cochener,<sup>2,3,4</sup> Etienne Decencièrè<sup>5</sup>, Robin Alais<sup>5</sup>, Ali Erginay<sup>6</sup>, Pascale Massin<sup>6</sup>, Alexandre Le Guilcher<sup>7</sup>

<sup>1</sup> ADCIS S.A., 3 rue Martin Luther King, 14280 Saint-Contest, France

<sup>2</sup> LaTIM - INSERM UMR 1101, 22, avenue Camille Desmoulins, 29238 Brest Cedex 3, France

<sup>3</sup> Univ Bretagne Occidentale, Brest, France

<sup>4</sup> Service d'Ophthalmologie, CHRU Brest, France

<sup>5</sup> Centre de Morphologie Mathématique, 35, rue Saint-Honoré, 77305 Fontainebleau, France

<sup>6</sup> AP-HP, Hôpital Lariboisière, 2, rue Ambroise-Paré, 75475 Paris Cedex 10, France

<sup>7</sup> Evolucare, 60, route de Sartrouville, 78230 Le Pecq, France

E-mail: bruno.lay@adcis.net

**Mots clefs** : Ophtalmologie, Rétinopathie diabétique, Deep Learning, Analyse d'Image

### Objectifs

Le projet RetinOptIC effectue un dépistage massif des images couleur de la rétine en évaluant la qualité de l'image et le stade de la rétinopathie diabétique (RD). La performance de l'algorithme est évaluée sur la base de données images Messidor-2 qui a été constituée au cours d'un projet de recherche précédent.

### Méthodes

Basé sur des solutions d'intelligence artificielle (IA), le degré de rétinopathie diabétique est obtenu à l'aide de réseaux de neurones convolutifs (CNN). La solution comprend d'abord l'évaluation automatique de la qualité de l'image, puis ensuite la détermination du stade de RD.

Environ 10% des images acquises dans les réseaux d'e-médecine sont considérées comme non interprétables pour des raisons de qualité. La détection automatique de ces cas, soit pour acquérir à nouveau les images lorsque c'est possible, soit pour éviter une analyse inutile par des lecteurs spécialisés, est une étape importante pour améliorer les performances du réseau. Dans le cadre du projet, une solution basée sur l'IA est développée pour déterminer automatiquement si la macula et les vaisseaux connexes sont visibles, ainsi qu'une évaluation de la netteté globale de l'image, de la netteté locale et de la densité du réseau vasculaire.

Une fois que l'image capturée est considérée comme correcte, un ensemble de CNNs calcule le degré de rétinopathie diabétique. Contrairement aux solutions d'IA concurrentes, les CNN sont entraînés conjointement de telle sorte qu'ils sont complémentaires les uns des autres. L'ensemble des CNNs proposé a été entraîné sur plus de 80 000 images provenant de la base d'images OPHDIAT de l'AP-HP sur Paris. Grâce à une méthode de génération d'une carte de probabilité, les objets d'intérêt correspondants aux pixels les plus significatifs que chaque CNN détecte dans les images peuvent être superposés à l'image correspondante pour la visualisation des pathologies.

### Résultats

Le critère de qualité a été évalué sur 6098 images annotées par deux experts. La valeur de la sensibilité obtenue a été de 96,4%. Le stade la RD est obtenu en analysant la surface sous la courbe ROC qui atteint la valeur de 0.988 à partir de la base de données Messidor 2, en utilisant la vérité terrain de l'Université d'Iowa (sensibilité = 99,0% et spécificité = 87,0%).

Les résultats sont meilleurs que ceux des systèmes précédemment évalués dans les mêmes conditions. Il a été remarqué que chaque CNN co-entraîné se spécialise dans un type ou une catégorie de lésion. Par



conséquent, le système peut produire des cartes de probabilité spécifiques aux lésions, alors que les cartes de probabilité de CNN précédemment proposées ne permettaient pas de les différencier.

### **Conclusion**

L'ensemble des CNNs proposés, entraînés conjointement, améliore la détection automatique des RD de référence en ajoutant une évaluation de la qualité de l'image. Les résultats, plus précis, sont obtenus en moins d'une seconde, ce qui est significativement plus rapide que les systèmes concurrents. Les algorithmes sont en cours de marquage CE pour fournir un système entièrement automatique utilisable dans les hôpitaux, les cabinets privés d'ophtalmologie et les réseaux de dépistage massif.