

Programme Workshop « Mathématiques de l'IA », IMB, Salle de conférence, 26 mai 2025

9:00 Accueil

9:15 Session 1

9:15 – 9:40 Une approche traficale du modèle des fonctionnalités aléatoires, Camille Male

9:40 – 10:05 Méthodes de splitting adaptatives pour l'apprentissage par lots, Rodolphe Turpault

10:05 – 10:30 Spatial Exploration of Hepatoblastoma Tissue Bioarchitecture by Volumetric Imaging, AI and Applied Mathematics, Florian Robert

10:30 Pause café

10:45 Session 2

10:45 – 11:10 Optimal Transport Plan with Trees, Luis Fredes.

11:10 – 11:35 Transport optimal pour la cytométrie en flux, Erell Gachon.

11:35 – 12:00 On the impact of the parametrization of deep convolutional neural networks on post-training quantization, Samy Houache

12:00 Pause Déjeuner

13:30 Session 3

13:30 – 13:55 From Learning to Optimize to Learning Optimization Algorithms, Camille Castera

13:55 – 14:20 Reconnaissance d'actions dans les vidéos de sport amateur, Saad El Jazouli

14:20 – 14:45 Max-sparsity atomic autoencoders with application to inverse problems, Ali Joundi

14:45 Pause

15:00 Session 4

15:00 – 15:25 Deep Attention Multiple Instance Learning predicts relapse-free survival of the uterine smooth muscle tumors of uncertain malignant potential, Van-linh Le

15:25 – 15:50 Plug-and-Play image restoration with Stochastic deNOising Regularization, Marien Renaud

15:50 – 16:15 Vers des algorithmes optimaux pour la reconstruction de modèles de faible dimension, Yann Traonmilin

Liste des orateurs :

Camille Castera
Saad El jazouli
Luis Fredes
Erell Gachon
Samy Houache
Ali Joundi
Van-Linh Le
Camille Male
Marien Renaud
Florian Robert
Yann Traonmilin
Rodolphe Turpault

Titres et résumés des exposés

Camille Castera

Title: From Learning to Optimize to Learning Optimization Algorithms

Abstract: Towards designing learned optimization algorithms that are usable beyond their training setting, we identify key principles that classical algorithms obey, but have up to now, not been used for Learning to Optimize (L2O). Following these principles, we provide a general design pipeline, taking into account data, architecture and learning strategy, and thereby enabling a synergy between classical optimization and L2O, resulting in a philosophy of Learning Optimization Algorithms. As a consequence our learned algorithms perform well far beyond problems from the training distribution. We demonstrate the success of these novel principles by designing a new learning-enhanced BFGS algorithm and provide numerical experiments evidencing its adaptation to many settings at test time.

Saad El jazouli

Titre : Reconnaissance d'actions dans les vidéos de sport amateur

Résumé : L'objectif principal de cette thèse est de développer des méthodes de reconnaissance d'actions adaptées aux différents sports de la plateforme et application Rematch. Cette problématique englobe la localisation spatiale, temporelle ainsi que la classification des actions dans les vidéos. De manière plus générale, on cherchera à améliorer les pipelines de traitement et d'analyse des vidéos de la plateforme. Concernant cette présentation de mon début de thèse, nous nous intéressons principalement à la classification de quatre types d'actions dans les vidéos de football (Penalty, Coup Franc, Corner, Action du jeu), qui présentent de nombreuses complexités par rapport au sport professionnel. Cela inclut notamment la qualité imparfaite des vidéos capturées par des volontaires, la diversité des perspectives et des prises de vue, et surtout le manque de datasets open source adaptés à une tâche aussi spécifique. La présentation met en lumière l'état de l'art et les résultats d'implémentation des différents types de modèles de deep learning (Res3D, S3D, Transformers). Elle aborde notamment les approches en 2D, où chaque image est traitée indépendamment, ainsi que celles en 3D, qui traitent les séquences dans leur intégralité.

Luis Fredes

Title: Optimal Transport Plan with Trees.

Abstract: In this talk, we will consider the optimal transport problem between two probability measures on the same space with a cost function given by a metric. That is, we will study how, starting from a probability measure μ , mass is transported to another probability measure ν in an optimal fashion when the cost of moving one unit of mass between two points is determined by a metric. I will present how finding an optimal solution to the optimal transport problem, along with an optimal transport plan, is possible using (spanning) trees.

Erell Gachon

Titre : Transport optimal pour la cytométrie en flux.

Résumé : En apprentissage statistique, il est souvent nécessaire de pouvoir comparer des données organisées sous la forme de nuages de points. C'est le cas de la cytométrie en flux, une technologie permettant de mesurer différents paramètres cellulaires au sein d'un échantillon biologique. Dans ce contexte, il est commun de devoir analyser de nombreux nuages de centaines de milliers de points en dimension 10 à 20. Le transport optimal est un outil permettant de comparer de manière significative des nuages de points mais devient inapplicable dès que le nombre de points dépasse quelques milliers. Pour contourner ce problème, nous proposons de réduire le nombre de points de chaque nuage grâce à la théorie de la quantification, qui permet de représenter une mesure de probabilité quelconque par une mesure de probabilité discrète supportée sur peu de points. Nous verrons que cette méthode permet d'appliquer efficacement des algorithmes classiques d'apprentissage statistique à des nuages de points de grande taille et nous illustrerons ces garanties théoriques à l'aide d'expériences numériques.

Samy Houache

Title: On the impact of the parametrization of deep convolutional neural networks on post-training quantization.

Abstract: A novel theoretical approximation bounds for the output of quantized neural networks, with a focus on convolutional neural networks (CNN). By considering layerwise parametrization and focusing on the quantization of weights, we provide bounds that gain several orders of magnitude compared to state-of-the-art results on classical deep convolutional neural networks such as MobileNetV2 or ResNets. These gains are achieved by improving the behaviour of the approximation bounds with respect to the depth parameter, which has the most impact on the approximation error induced by quantization. To complement our theoretical result, we provide a numerical exploration of our bounds on MobileNetV2 and ResNets.

Ali Joundi

Title: Max-sparsity atomic autoencoders with application to inverse problems

Abstract: An atomic autoencoder is a neural network architecture that decomposes an image as a sum of low dimensional atoms. While it is efficient for image datasets which are well represented by this summation model, it is more limited for the representation of more generic images. In this article, we propose a new atomic model, the max-sparsity model to better represent images. We study some theoretical properties of this model and implement the corresponding atomic autoencoder. We show experimentally that it leads to a sparse decomposition of input images with interpretable low-level visual features. With this new architecture, we solve a super resolution inverse problem via a projected gradient descent that uses the trained network as a projection operator. The resulting estimation shows improved robustness compared to previous architectures.

Camille Male

Titre : Une approche traficale du modèle des fonctionnalités aléatoires.

Résumé : Nous étudions le spectre de grandes matrices aléatoires de Pennington et Worah, de la forme $Y = h(WX)$, où X et Y sont des matrices aléatoires et f est une fonction d'activation, évaluée entrées par entrées. Sandrine Péché [Electron. Commun. Probab. 24 (2019), no. 66, 1-7] a montré dans le cas des entrées iid que cette matrice avait asymptotiquement le même spectre que la somme de WX et d'une matrice gaussienne indépendante. Nous décrivons ce phénomène dans le contexte des probabilités non commutative et présentons notre contribution avec le cas des matrices à profils.

Marien Renaud

Title: Plug-and-Play image restoration with Stochastic deNOising Regularization

Abstract: Plug-and-Play (PnP) algorithms are a class of iterative algorithms that address image inverse problems by combining a physical model and a deep neural network for regularization. Even if they produce impressive image restoration results, these algorithms rely on a non-standard use of a denoiser on images that are less and less noisy along the iterations, which contrasts with recent algorithms based on Diffusion Models (DM), where the denoiser is applied only on re-noised images. We propose a new PnP framework, called Stochastic deNOising REGularization (SNORE), which applies the denoiser only on images with noise of the adequate level. It is based on an explicit stochastic regularization, which leads to a stochastic gradient descent algorithm to solve ill-posed inverse problems. A convergence analysis of this algorithm and its annealing extension is provided. Experimentally, we prove that SNORE is competitive with respect to state-of-the-art methods on deblurring and inpainting tasks, both quantitatively and qualitatively.

Florian Robert

Title: Spatial Exploration of Hepatoblastoma Tissue Bioarchitecture by Volumetric Imaging, AI and Applied Mathematics

Abstract: Despite a detailed characterisation of cellular components constituting the tumour tissue, the architecture of this pathologic tissue and the biological elements governing its structural organisation remain elusive. This presentation will detail a numerical methodology designed to explore the complete ultrastructure of human tumour xenograft tissue, acquired using serial block-face scanning electron microscopy (SBF-SEM) [1]. This investigation relies on an integrated workflow combining image processing, artificial intelligence (AI)-based segmentations and applied mathematics to extract and analyse bioarchitectural features.

The first part of the presentation will be focused on the instance segmentation of the main biological elements. While current AI-based methods effectively segment and distinguish individual cells in SEM images, persistent errors necessitate time-consuming manual corrections, especially in regions where cell contour quality is poor and gap filling is required. To address this challenge, I will introduce a novel AI-driven approach for refining cell boundary delineation, which significantly enhances instance-based cell segmentation in SEM images and reduces the need for residual manual correction [2]. Following this, I will define five categories of bioarchitectural parameters: size, shape, inter-organelle distance, orientation and texture, which together encompass a total of 35 parameters.

In the second part of the presentation, we will see how unsupervised machine learning techniques can explore the resulting high-dimensional bioarchitectural data, gaining deeper insights into tissue organisation [3]. Specifically, I will highlight the correlation between texture and size bioarchitectural categories, as well as the relationship between cell volume and proximity to blood capillaries. Furthermore, I will identify key bioarchitectural parameters that differentiate endothelial cells from tumour cells. The presentation will conclude by discussing how the proposed methodology can pave the way for future advancements in the field of tumour tissue organisation. These findings could potentially unveil differences and similarities among samples from different patients, providing valuable insights for clinicians and improving personalised treatment approaches.

References:

1. Denis de Senneville, B. et al. Deciphering tumour tissue organization by 3d electron microscopy and machine learning. *Communications Biology* 4, 1390 (2021).
2. Robert, F. et al. Enhancing cell instance segmentation in scanning electron microscopy images via a deep contour closing operator. *Computers in Biology and Medicine* (accepted). <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.15817> (2025)
3. Robert, F. et al. A comprehensive framework for unsupervised deep analysis of tissue bioarchitecture. *IEEE International Symposium on Computer-Based Medical System* (under review) (2025)

Yann Traonmilin

Titre : Vers des algorithmes optimaux pour la reconstruction de modèles de faible dimension

Résumé : On considère le problème de la reconstruction d'éléments d'un modèle de faible dimension à partir de mesures linéaires. Du traitement du signal et des images jusqu'aux problèmes inverses en science des données, cette question a été au centre de nombreuses applications. Dernièrement, avec le succès des modèles et méthodes

reposant sur les réseaux de neurones profonds conduisant à des formulations non-convexes, les approches variationnelles convexes traditionnelles ont montré leurs limites. De plus, la multiplication des algorithmes et des résultats de reconstruction rendent complexe l'identification des méthodes de reconstruction les plus efficaces. Dans cet exposé, on étudie la reconstruction de tels modèles avec une classe d'algorithmes largement utilisés sans considérer de fonction sous-jacente typique des approches variationnelles. Ce résultat conduit à une classe d'algorithmes de descente de gradient projeté qui reconstruisent de éléments de modèles de faible dimension avec une convergence géométrique. Les taux de convergence obtenus permettent de dissocier l'impact de la qualité des mesures et l'influence de la complexité intrinsèque du modèle. En effet, on peut mesurer directement la performance de cette classe d'algorithmes par le biais d'une constante de Lipschitz restreinte de la projection utilisée. En optimisant cette constante, on définit des algorithmes optimaux. Notre approche générale fournit un résultat d'optimalité dans le cas classique de la reconstruction parcimonieuse. De plus, on montre une convergence géométrique pour certaines méthodes d'imagerie « plug-and-play » reposant sur des modèles appris par apprentissage profond en interprétant nos résultats dans ce contexte. On relie ainsi la théorie de la reconstruction de modèles de faible dimension avec l'utilisation de "deep priors" pour des problèmes inverses d'imagerie dans le cadre d'une théorie unifiée, validée par l'expérience.

Rodolphe Turpault

Title : Méthodes de splitting adaptatives pour l'apprentissage par lots.

Résumé : on s'intéresse à de l'apprentissage par lots (mini-batches) dans le cas non-iterpolant. On mettra en évidence les comportements ennuyeux des méthodes standard et on les expliquera en les réinterprétant à l'aide de splitting d'opérateur. Je proposerai alors des méthodes permettant de corriger ces défauts et j'en construirai des versions adaptatives (au sens où le taux d'apprentissage s'adapte automatiquement à chaque époque). J'illustrerai alors les performances des algorithmes résultants sur des cas-tests classiques.

Van-Linh Le

Title: Deep Attention Multiple Instance Learning predicts relapse-free survival of the uterine smooth muscle tumors of uncertain malignant potential

Abstract: Smooth muscle tumors of uncertain malignant potential (STUMP) are a heterogeneous group of uterine tumors characterized by ambiguous or worrisome features, making their biological behavior challenging to predict. Despite the use of various ancillary techniques, accurately determining their prognosis remains difficult. This study proposes a deep learning-based framework to predict relapse-free survival (RFS) in STUMP and identify high-risk patients directly from histological slides. The framework consists of two key steps: extracting tiles and features from histological slides, followed by a Deep Attention Multiple Instance Learning (MIL) model to predict RFS. It was evaluated on a cohort of 79 STUMP cases collected from six academic centers, achieving a mean concordance index (C-index) of 0.7052 (95% CI: 0.4951–0.9152) in a four-fold cross-validation setting. The predicted RFS probabilities enabled statistically significant stratification of patients into low-risk and high-risk groups. Furthermore, the deep learning model's outputs served as an independent prognostic factor. To contextualize these findings, the two STUMP subgroups were compared with cohorts of leiomyomas and leiomyosarcomas, revealing a progressive increase in hazard ratios: the lowest was observed in leiomyomas, followed by low-risk STUMP, high-risk STUMP, and leiomyosarcomas.

Avec João Costa, Valérie Velasco, Ben Davidson, Tone Skeie-Jensen, Mojgan Devouassoux-Shisheboran, Alexis Trecourt, Carla Bartosch, Elisabete Rios, Catherine Génestie, Patricia Pautier, Jean-Michel Coindre, Francois Le Loarer, Sabrina Croce, Olivier Saut