

# THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 605

*Biologie-Santé*

Spécialité : *Analyse et Traitement de l'Information et des Images Médicales*

Par

**Alexandre MERASLI**

**Reconstruction d'images TEP par des méthodes d'optimisation hybrides utilisant un réseau de neurones non supervisé et de l'information anatomique**

Thèse présentée et soutenue à l'IRS-UN à Nantes, le 22/04/2024

Unité de recherche : CRCI2NA, INSERM UMR 1307

## Rapporteurs avant soutenance :

Claude COMTAT  
Andrew J. READER

Ingénieur - Chercheur CEA, HDR, SHFJ Orsay  
Full Professor, King's College London UK

## Composition du Jury :

Président :

Examineurs : Voichita MAXIM  
Clovis TAUBER

Dir. de thèse : Thomas CARLIER

Co-encadrant : Simon STUTE

Professeur des universités HDR, INSA Lyon  
Maître de conférences HDR, Université de Tours  
Physicien médical HDR, CHU de Nantes  
Ingénieur de recherche, CHU de Nantes

## Invités

Saïd MOUSSAOUI  
Matthieu LEPETIT COIFFE

Professeur des universités, Ecole Centrale de Nantes  
Référént industriel CIFRE, Siemens Healthineers

**Titre :** Reconstruction d'images TEP par des méthodes d'optimisation hybrides utilisant un réseau de neurones non supervisé et de l'information anatomique

**Mots clés :** TEP, Reconstruction, Deep Image Prior, Multimodalité, Hyperparamètres, Optimisation

**Résumé :** La TEP est une modalité d'imagerie fonctionnelle utilisée en oncologie permettant de réaliser une imagerie quantitative de la distribution d'un traceur radioactif injecté au patient. Les données brutes TEP présentent un niveau de bruit intrinsèquement élevé et une résolution spatiale modeste, en comparaison avec les modalités d'imagerie anatomiques telles que l'IRM et la TDM. Par ailleurs, les méthodes standards de reconstruction des images TEP à partir des données brutes introduisent du biais positif dans les régions de faible activité, en particulier dans le cas de faibles statistiques d'acquisition (données très bruitées).

Dans ce travail, un nouvel algorithme de reconstruction, appelé DNA, a été développé. Par l'intermédiaire de l'algorithme ADMM, le DNA combine la récente méthode du Deep Image Prior (DIP) pour limiter la propagation du bruit et améliorer la résolution spatiale par l'ap-

port d'informations anatomiques, et une méthode de réduction de biais développée pour l'imagerie TEP à faibles statistiques. En revanche, l'utilisation du DIP et d'ADMM requiert l'ajustement de nombreux hyperparamètres, souvent choisis manuellement. Une étude a été menée pour en optimiser certains de façon automatique, avec des méthodes pouvant être étendues à d'autres algorithmes. Enfin, l'utilisation d'informations anatomiques, notamment avec le DIP, permet d'améliorer la qualité des images TEP mais peut générer des artéfacts lorsque les informations des modalités ne concordent pas spatialement. C'est le cas notamment lorsque les tumeurs présentent des contours anatomiques et fonctionnels différents. Deux méthodes ont été développées pour éliminer ces artéfacts tout en préservant au mieux les informations utiles apportées par l'imagerie anatomique.

**Title :** PET image reconstruction with hybrid optimization methods using an unsupervised neural network and anatomical information

**Keywords :** PET, Reconstruction, Deep Image Prior, Multimodality, Hyperparameters, Optimization

**Abstract :** PET is a functional imaging modality used in oncology to obtain a quantitative image of the distribution of a radiotracer injected into a patient. The raw PET data are characterized by a high level of noise and modest spatial resolution, compared to anatomical imaging modalities such as MRI or CT. In addition, standard methods for image reconstruction from the PET raw data introduce a positive bias in low activity regions, especially when dealing with low statistics acquisitions (highly noisy data).

In this work, a new reconstruction algorithm, called DNA, has been developed. Using the ADMM algorithm, DNA combines the recently proposed Deep Image Prior (DIP) method to limit noise propagation and improve spatial resolution by using anatomical information, and

a bias reduction method developed for low statistics PET imaging. However, the use of DIP and ADMM algorithms requires the tuning of many hyperparameters, which are often selected manually. A study has been carried out to tune some of them automatically, using methods that could benefit other algorithms. Finally, the use of anatomical information, especially with DIP, allows an improvement of the PET image quality, but can generate artifacts when information from one modality does not spatially match with the other. This is particularly the case when tumors have different anatomical and functional contours. Two methods have been developed to remove these artifacts while trying to preserve the useful information provided by the anatomical modality.