



Méthode primale-duale proximale pour l'estimation conjointe de l'objet et de paramètres inconnus en tomographie

DTN / SMTA / LMN

Dans le cadre de l'utilisation durable et sûre de l'énergie nucléaire au service de la transition énergétique décarbonée, le réacteur de recherche Jules Horowitz, en cours de construction sur le site du CEA Cadarache, est un outil-clé pour l'étude du comportement des matériaux sous irradiation. Une ligne d'imagerie tomographique est prévue en accompagnement des dispositifs expérimentaux afin d'obtenir l'image de la dégradation des échantillons en temps réel. Cette ligne d'imagerie présente des caractéristiques extraordinaires de par sa géométrie. En conséquence, certains paramètres d'acquisition indispensables pour la bonne reconstruction de l'image, ne sont pas connus avec précision.

L'objectif de ce stage consiste en la proposition et le développement d'un algorithme permettant à la fois la reconstruction de l'image mais également l'estimation des paramètres d'acquisition inconnus. Mathématiquement, le problème est formulé sous la forme d'un problème de minimisation des moindres carrés non-linéaires séparables régularisé, comme suit :

$$\min_{\mathbf{x}, \theta} \|A(\theta)\mathbf{x} - \mathbf{b}\|^2 + R_{\mathbf{x}}(\mathbf{x}) + R_{\theta}(\theta).$$

Dans la formule précédente, $\mathbf{x}$ désigne l'objet à reconstruire à partir des données $\mathbf{b}$. L'opérateur $A(\theta)$ modélise l'acquisition des données et dépend des paramètres d'acquisition inconnus θ . La particularité de cette formulation réside dans la présence de deux termes de régularisation, un sur l'objet $R_{\mathbf{x}}(\mathbf{x})$ et l'autre sur les paramètres d'acquisition inconnus $R_{\theta}(\theta)$.

La méthode de résolution explorée durant ce stage est une extension de la méthode variable-projection (initialement développée par Golub et Pereyra [1]) basée sur les méthodes primales-duales proximales [2]. En particulier, cette méthode devra être capable de gérer les deux régularisations tout en offrant des garanties de convergence théoriques.

D'un point de vue pratique, la méthode développée devra être capable de reconstruire des objets de grande taille, de l'ordre de quelques giga-octets. Les paramètres à estimer pourront eux aussi être nombreux, de l'ordre de plusieurs centaines. La méthode développée sera intégrée dans la boîte à outils Tigre [3], qui offre un cadre performant pour le développement de méthodes de reconstruction tomographiques, avec des fonctions de base optimisées pour GPU.

Enfin, l'efficacité de l'algorithme développé sera validée sur des données expérimentales. En particulier, différentes fonctions de régularisation seront investiguées afin d'obtenir la meilleure reconstruction d'image possible.

Ce stage sera mené en collaboration avec l'Institut de Mathématiques de Marseille (I2M CNRS 7373, Aix Marseille Université, site Saint Charles). Le stagiaire sera amené, pour ses travaux, à se rendre à l'I2M et au CEA Cadarache. Il ou elle évoluera ainsi au sein de deux environnements stimulants où il/elle pourra développer ses travaux en lien avec des problématiques stratégiques liées au contrôle non destructif.

[1] G. H. Golub and V. Pereyra, Separable nonlinear least squares: the variable projection method and its applications, *Inverse Probl.*, 19 (2003), pp. R1–R26, <https://doi.org/10.1088/0266-5611/19/2/201>

[2] A. Repetti, E. Chouzenoux and J. C. Pesquet, Un petit tutoriel sur les méthodes primales-duales proximales pour l'optimisation convexe. Colloque GRETSI (2015). <https://hal.science/hal-01379997v1/file/PrimalDual.pdf>

[3] A. Biguri, M. Dosanjh, S. Hancock and M. Soleimani, TIGRE: a MATLAB-GPU toolbox for CBCT image reconstruction. *Biomedical Physics & Engineering Express*, 2(5):055010, Sept. 2016.

Modalités de candidature: Envoyer CV, lettre de motivation et relevé de notes M1 par mail.

Date limite de candidature : 30 Novembre 2026 (Cette date est susceptible d'évoluer en l'absence de candidatures correspondant au profil recherché.)

■ Formation souhaitée :

Master 2 ou Diplôme d'ingénieur en mathématiques appliquées et/ou en traitement du signal orienté vers le machine learning

■ Durée du stage :

6 mois

■ Méthode/logiciel(s):

Programmation Python

■ Mots clés :

Reconstruction d'images;
Tomographie;
Optimisation;
Méthode primale-duale proximale

■ Possibilité de thèse :

Oui

■ Contacts :

TARPAU Cécilia
cecilia.tarpau@cea.fr
MARMIN Arthur
arthur.marmin@univ-amu.fr
RICHARD Frédéric
frederic.richard@univ-amu.fr