

Méthode d'apprentissage automatique pour la reconstruction d'image en tomographie

Stage à Safran Tech en collaboration avec le L2S

Durée : 6 mois, Printemps/été 2027

Mots-clés : Reconstruction 3D, contrôle non destructif, inversion basée données, modèles de CAO

Encadrant SAFRAN Tech :

- Jean Rinkel

Encadrants laboratoire de recherche :

- Charles Soussen (**L2S**) <https://l2s.centralesupelec.fr/u/soussen-charles/>
- Nicolas Gac (**SATIE**) <https://cv.hal.science/nicolas-gac>

1 Contexte et motivation du stage

Ce stage porte sur la reconstruction d'objets 3D par tomographie à rayons X, avec application au Contrôle Non Destructif (CND) de pièces métalliques en aéronautique. La reconstruction tomographique est un problème inverse classique rencontré en imagerie médicale et en contrôle non destructif. Implémentée dans de nombreux scanners industriels, les innovations récentes sont liées d'une part à l'apparition de nouveaux systèmes d'imagerie, possiblement multimodale, et d'autre part au développement de nouvelles techniques d'inversion basées notamment sur l'apprentissage statistique [SoA-1, SoA-2, SoA-3]. Ces approches sont précisément l'objet du stage.

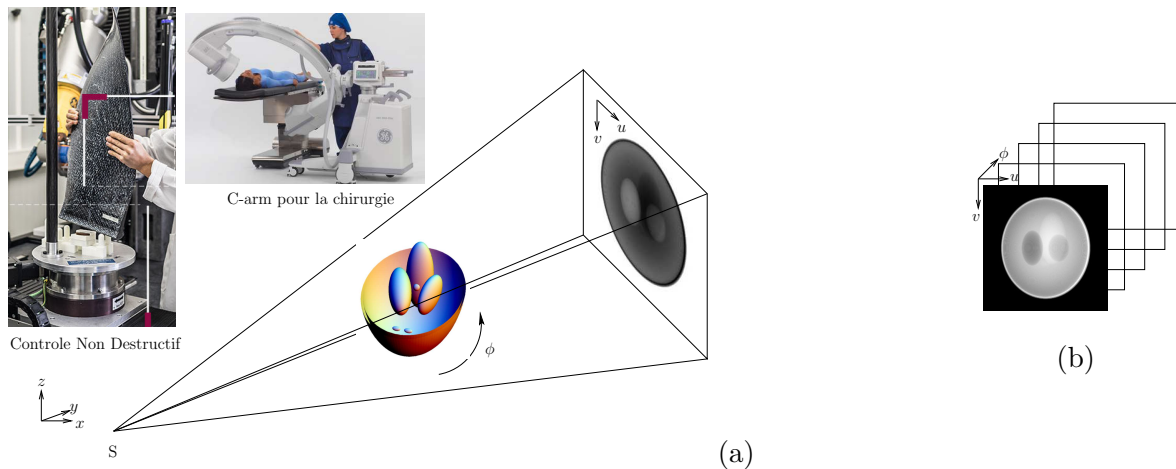


Figure 1: Tomographie X : (a) système d'acquisition à géométrie conique utilisé en imagerie médicale ou en CND; (b) collection de projections 2D correspondant à l'atténuation des rayons traversant le volume à imager.

En contrôle non destructif dans le domaine aéronautique, les volumes imagés correspondent à des pièces industrielles à géométrie complexe, issues de la fabrication additive pour des gains en légèreté et performance ou du procédé de fonderie à cire perdue pour la réalisation d'aubes de turbines haute pression qui endurent des contraintes thermomécaniques élevées et comportent des circuits internes de refroidissement. L'imagerie tridimensionnelle de ces structures est essentielle pour contrôler la présence éventuelle de défauts. Pour cela, de nouvelles modalités de tomographie par rayons X sont explorées par notre partenaire Safran Tech. Elles sont basées sur des trajectoires non-conventionnelles de la source et du détecteur, trajectoires optimisées en fonction de la géométrie et de la composition de la pièce.

2 Objectifs

Le premier objectif du stage est d'établir un état de l'art des méthodes d'inversion basées données, permettant d'exploiter un jeu de données d'entraînement pour apprendre la distribution *a priori* de l'image volumique à reconstruire, et ainsi guider le processus de reconstruction 3D dans des situations difficiles (angles de projection limités, faibles rapports signal-sur-bruit). Ces méthodes ont connu un succès important dans le domaine des problèmes inverses (approches dites "plug-and-play" et "unrolling"), l'idée sous-jacente étant d'entraîner des réseaux de neurones profonds et convolutifs, où le réseau est intrinsèquement lié à la fonctionnelle de régularisation du problème inverse [SoA-4]. Ces approches fournissent bien souvent des résultats empiriques supérieurs à ceux des méthodes classiques analytiques (non-itératives) comme la méthode FDK ou des méthodes itératives basées sur l'optimisation de critères régularisés. Cependant, les images reconstruites sont susceptibles de comporter des "hallucinations" lorsque les données d'entraînement ne sont pas assez riches, avec la reconstruction d'objets peu réalistes. Sur le plan de l'optimisation de fonction de coût, les approches basées données souffrent de l'absence de garanties de convergence. Il est intéressant de noter que des travaux récents ouvrent la voie à l'obtention de méthodes avec garanties [SoA-5][SoA-6]. Le travail d'état de l'art a pour but de comprendre les principales approches existantes, leurs garanties théoriques et leurs limitations.

Le deuxième objectif du stage est de concevoir une méthode basée données à partir de données obtenues par simulations. Ces données simulées sont un ensemble de couples volume 3D – projections radiographiques 2D associées, qui doit être suffisamment représentatif de la diversité des volumes 3D possibles. En contrôle non destructif, on dispose de modèles de CAO permettant de décrire les volumes 3D par un ensemble de paramètres de forme. Ces modèles permettent de générer des maillages réalistes représentant des structures plausibles et de simuler leur projection radiographique. L'objectif sera d'intégrer au processus de reconstruction d'image une technique de régularisation permettant de prendre en compte l'a priori lié à la connaissance du modèle CAO de la pièce. Les performances de la méthode proposée seront comparées aux méthodes de l'état de l'art sur données simulées et expérimentales.

Un projet de thèse CIFRE est envisagé à la suite du stage. Le travail de stage permettra d'identifier les informations utiles extraites des modèles de CAO et les méthodes les plus pertinentes de reconstruction tomographique adaptées au contrôle non destructif, en vue de développements plus approfondis.

3 Profil attendu et modalités de candidature

Compétences requises :

- Master 2 ou diplôme d'ingénieur en mathématiques appliquées/traitement du signal
- Intérêt pour la modélisation physique.
- Bonne maîtrise des outils de programmation scientifique (Python, Matlab, C/C++, etc.) et bon niveau d'anglais.

Candidatures : [lien Safran](#)

Contact : [Charles Soussen](#) et [Nicolas Gac](#).

Références

- [SoA-1] A. Bousse *et al.*, "A review on low-dose emission tomography post-reconstruction denoising with neural network approaches," *IEEE Transactions on Radiation and Plasma Medical Sciences*, vol. 8, no. 4, pp. 333–347, 2024.
- [SoA-2] G. Wang *et al.*, "Deep learning for tomographic image reconstruction," *Nature Machine Intelligence*, vol. 2, p. 737–748, 2020.
- [SoA-3] R. Zhang *et al.*, "Artificial intelligence in computed tomography image reconstruction: A review of recent advances," *J Comput Assist Tomogr.*, vol. 49(4), pp. 521–530, Jul-Aug. 2025.
- [SoA-4] S. Arridge *et al.*, "Solving inverse problems using data-driven models," *Acta Numerica*, vol. 28, p. 1–174, 2019.
- [SoA-5] S. Hurault *et al.*, "Convergent plug-and-play with proximal denoiser and unconstrained regularization parameter," *J. Math. Imaging Vis.*, vol. 66, no. 4, p. 616–638, Jun. 2024.
- [SoA-6] M. Savanier *et al.*, "Deep unfolding of the DBFB algorithm with application to ROI CT imaging with limited angular density," *IEEE Transactions on Computational Imaging*, vol. 9, pp. 502–516, 2023.