

	Stage	SAFRAN SA, Safran Tech Département des Sciences et Technologies du Numérique
	Période : 6 mois	

Analyse spatio-temporelle de la dissolution de durcisseurs dans un mélange epoxy par tomoptychographie

Safran est un groupe international de haute technologie, équipementier de premier rang dans l'aéronautique, le spatial et la défense. Ayant une activité à forte valeur ajoutée, Safran place un effort fondamental dans la Recherche et Technologie (R&T). A ce titre, Safran Tech regroupe les activités R&T de Safran, autour de plusieurs plateformes dédiées aux innovations pour la fabrication additive, la fonderie, les matériaux composites, céramiques, et le digital. La plateforme Sciences et Technologies du Numérique (STN) a pour but de répondre aux enjeux stratégiques du Groupe dans le domaine du digital. Au sein de cette plateforme, l'unité de recherche PRISM (Physics-based Research on wave-matter Interaction, Sensing and Monitoring) a en charge la recherche et l'innovation du groupe dans le domaine de la surveillance et du contrôle.

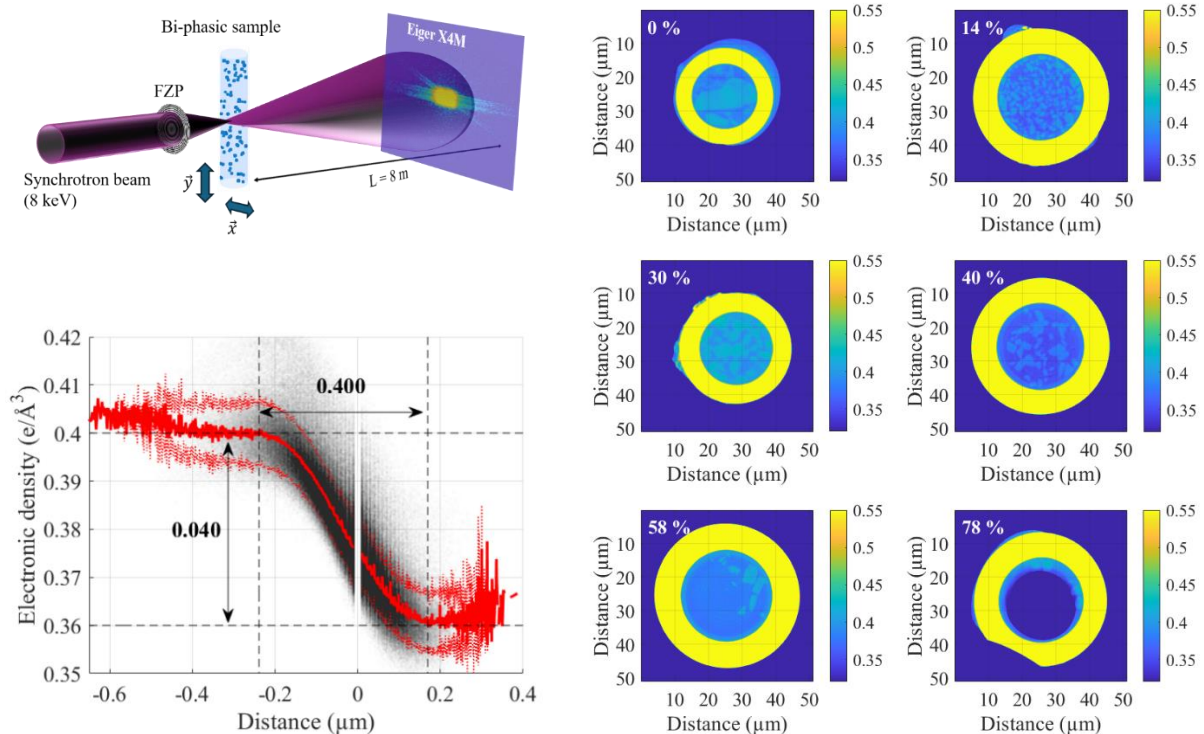


Figure 1 : haut-gauche : principe des expérimentations synchrotron de tomo-ptychographie. Droite : Images issues de tomo-ptychographie réalisées sur échantillons présentant différents taux de dissolution. Bas-Gauche : Exemple d'analyse physique des mesures. Ici, évaluation de la densité électronique en fonction de la distance à l'interface. Images issues de [1]

Dans le cadre de cette mission, nous étudions le processus de réticulation des résines époxy utilisées dans la conception des matériaux composites à matrice organique (CMO), matériaux qui constituent des éléments clés des composants des moteurs de nouvelle génération. Ces investigations s'appuient en particulier sur des analyses opérées sur synchrotron, notamment *via* la technique de tomoptychographie avec rayons X. Cette approche a déjà démontré son intérêt pour l'étude des matériaux composites, en permettant d'accéder à la structure électronique des fibres de carbone à l'échelle

nanométrie [2] et de suivre la dynamique de dissolution des agents durcisseurs dans les résines époxy [1]. Ceci est illustré sur la figure 1, où l'on présente le principe expérimental des acquisitions sur synchrotron (haut, gauche), des images issues de différentes acquisitions sur différents échantillons présentant différents taux de dissolution (droite), ainsi que des mesures physiques réalisées à partir de l'analyse des données : ici, une mesure de la densité électronique en fonction de la distance à l'interface entre de l'époxy et les durcisseurs (bas, gauche). Ces travaux nous permettent d'un point de vue industriel de mieux comprendre les phénomènes physiques survenant lors de l'injection de la résine lors de la conception des CMO, pour une utilisation optimale de ces matériaux et contribuer ainsi à une réduction de l'empreinte carbone du secteur aéronautique.

Nous avons très récemment franchi une étape majeure en réalisant des acquisitions expérimentales similaires à celles présentées sur la figure (1), mais obtenues sur un unique échantillon, au même endroit. A partir de celles-ci nous souhaitons passer d'une analyse physico-chimique qualitative à une analyse quantitative. Ce travail constitue le sujet de stage proposé ici.

Nous prévoyons en particulier d'utiliser des outils d'intelligence artificielle pour segmenter et différencier chaque durcisseur (méthodologie acquise), pour ensuite arriver à retrouver les mêmes durcisseurs dans les différentes tomographies. Ce faisant, la dynamique spatio-temporelle de dissolution des durcisseurs pourra être révélée et analysée. Celle-ci semble bien plus complexe qu'imaginée initialement. Ce travail pourra éventuellement être valorisé dans une revue scientifique de premier plan.

Le stagiaire devra utiliser des outils de traitement d'image et de signal (Python/Matlab) pour l'analyse des données par apprentissage automatique ou profond. Il se servira des outils dédiés à l'analyse tomographique (ex. Dragonfly) et devra savoir placer les analyses réalisées en fonction de la physique sous-jacente.

Ce stage de recherche sera basé à Safran Tech (centre de recherche du groupe Safran) sous la direction de M. Ducouso (PhD - HDR), Expert Capteur et Instrumentations et professeur des universités associé au laboratoire PIMM (ENSAM Paris) et d'Arturo Mendoza Quispe, Expert en traitement d'images pour les matériaux à Safran Tech également. Ce stage nécessite d'avoir un goût prononcé pour l'analyse physique de données expérimentales, pour le traitement d'images, pour l'utilisation et le développement d'outils d'intelligence artificielle. Il nécessite de savoir travailler aussi bien en autonomie qu'en groupe de travail et des qualités de communications sont souhaitées.

[1] M. Ducouso *et al.*, Nanoscale observation of hardener dissolution in epoxy using X-ray tomography, *Journal of Chemical Physics* (Soumis).

[2] M. Ducouso, *et al.*, X-ray tomography of single micrometric carbon and basalt fibres, *Carbon Trends*, **19**, p. 100490 (2025).

Profil souhaité : Grandes école d'ingénieur ; master de physique / informatique / mathématiques appliquées.

Mots-clés : Traitement d'image / Intelligence artificielle / Analyse Physico-Chimique

Lieu de travail : Votre lieu de travail sera situé à Safran Tech, Département des Sciences et Technologies du Numérique, 78114, Magny-Les-Hameaux.

Contacts : mathieu.ducouso@safrangroup.com ; arturo.mendoza-quispe@safrangroup.com