

6 février 2025

## Offre de thèse pour un CDD doctorant

Début : octobre 2025

### Sujet : Analyse multi-échelle des lois de comportement mécanique des polymères en relation avec l'évolution de leur microstructure en temps réel.

#### Informations générales

**Lieu de travail** : Nancy**Type de contrat** : Contrat doctoral**Durée du contrat** : 36 mois**Date d'embauche prévue** : Octobre 2025**Quotité de travail** : Temps complet**Rémunération** : 2200 € brut mensuel (minimum)**Niveau d'études souhaité** : Diplôme d'Ingénieur ou Master en Sciences de l'Ingénieur**Expérience souhaitée** : Stage/projet dans les domaines des matériaux polymères, de la mécanique du solide et/ou de la physique des interactions rayonnement matière.

#### Missions / Activités

Les polymères thermoplastiques sont choisis dans de nombreuses applications structurelles en raison de leurs excellentes propriétés mécaniques en regard de leur faible masse volumique. Leur utilisation en tant que matrice dans les matériaux composites suscite par ailleurs beaucoup d'intérêt en raison de leur versatilité et des possibilités de recyclage qu'ils offrent. Comprendre et pouvoir mesurer les changements qui affectent la microstructure de ces matériaux lorsqu'ils sont soumis à différents chargements thermiques et/ou mécaniques est donc crucial pour maîtriser leur mise en forme, leurs propriétés en service et leur durabilité. Parmi ces thermoplastiques, la famille des polyesters comprend de nombreux polymères très utilisés pour leur excellente propriétés mécaniques et barrière, avec comme exemple le poly(éthylène téréphtalate) (PET). De nombreux polyesters sont également intéressants pour leur biodégradabilité (comme le poly(acide lactique) (PLA)) et/ou leur origine biosourcée (comme le polyéthylène furane-2,5-dicarboxylate (PEF)).

L'équipe Physique, Mécanique et Plasticité de l'Institut Jean Lamour développe depuis plusieurs années des méthodes d'analyse combinant essais mécaniques et analyses in situ par spectroscopie Raman et diffraction des rayons X (par WAXS - Wide Angle X-ray Scattering). Ces travaux ont ainsi permis d'établir des liens entre comportement mécanique macroscopique et phénomènes physiques à l'échelle microstructurale (cristallinité, orientation des chaînes macromoléculaires, endommagement volumique, transfert de charges mécanique, concentration de contraintes...), pour plusieurs polymères thermoplastiques et leurs composites [1-4], et en particulier le PET [1-2] et le PEF [3]. Dans cette thématique, la dernière thèse de doctorat soutenue en 2024 sur ce sujet [5] a permis de mettre en avant deux ensembles de résultats qui serviront de fil directeur au sujet ici présenté.

Un des résultats issus de cette thèse, prolongeant les travaux antérieurs de notre équipe, montre l'importance du suivi par spectroscopie Raman de la fonction ester dans le PET et le PEF pour quantifier l'ordre, et par extension la cristallisation, de ces polymères [2-3]. Les analyses tendent à

montrer que cette corrélation peut être généralisée aux autres polyesters. Le premier volet de la thèse portera donc sur la consolidation des résultats précédents et à l'extension des analyses à d'autres polyesters économiquement importants et notamment le PLA.

Le deuxième volet de la thèse se portera sur le suivi de la déformation des polymères à l'aide de la spectroscopie Raman. En effet, la déformation des polymères implique une modification de l'organisation du matériau à l'échelle des chaînes macromoléculaires, ce qui se traduit par entre autres par le changement de position des bandes vibrationnelles mesurées. Il a été démontré qu'il était possible de quantifier la déformation en analysant les spectres Raman acquis *in situ* pendant un essai mécanique, à l'aide de la méthode de Grüneisen [6-7]. De cette manière, nos premiers résultats pour le PET et le PEF amorphes et semi-cristallins dans leur état vitreux indiquent la possibilité de calculer l'évolution du tenseur complet des déformations à l'échelle microstructurale [5]. Cette thèse s'intéressera ainsi à l'application de cette méthode pour les polymères étudiés afin de confirmer et d'améliorer nos résultats préliminaires et d'étendre les analyses aux autres conditions physiques (état caoutchoutique notamment).

Cette thèse comportera une partie expérimentale importante. Celle-ci s'articulera autour d'essais mécaniques couplés à des mesures *in situ* par spectroscopie Raman. Ces mesures Raman seront également complétées et validées par des essais WAXS *in situ* réalisés sur des Grands Instruments (comme les synchrotrons ESRF à Grenoble ou Alba à Barcelone) qui constituent une spécialité de l'équipe d'accueil. Ce sujet implique également un grand travail d'analyse de résultats et de traitement de signal. De bonnes compétences en programmation (Python/MATLAB) seront donc appréciables. En fonction de l'avancée des travaux, il pourra être envisagé d'appliquer les résultats obtenus à la mise en place de modèle de comportement mécaniques des polymères prenant en compte les phénomènes physiques à l'échelle microstructurale.

- [1] M. Donnay, M. Ponçot, J-P Tinnes, T. Schenk, O. Ferry, I. Royaud, "In situ study of the tensile deformation micro-mechanisms of semi-crystalline poly(ethylene terephthalate) films using synchrotron radiation x-ray scattering". *Polymer*, 117, 268–281, (2017).
- [2] M. Bouïta, J.P. Tinnes, P. Bourson, M. Malfois, M. Ponçot, "A new Raman spectroscopy-based method for monitoring the crystallinity ratio of polyethylene terephthalate". *Journal of Raman Spectroscopy*, 54 (2), 225-232, (2023).
- [3] M. Bouïta, J.P. Tinnes, P. Bourson, M. Ponçot, "Monitoring The Thermal Behavior of Polyethylene 2,5 Furandicarboxylate Using Raman Spectroscopy". *Journal of Raman Spectroscopy*, 54 (6), 683-690, (2023).
- [4] M. Ponçot, J. Martin, S. Chaudemanche, O. Ferry, T. Schenk, J.P. Tinnes, D. Chapron, I. Royaud, A. Dahoun, P. Bourson "Complementarities of high energy WAXS and Raman spectroscopy measurements to study the crystalline phase orientation in polypropylene blends during tensile test", *Polymer*, 80, 27–37, (2015)
- [5] M. Bouïta, "Étude des propriétés et des lois de comportement mécaniques à différentes échelles de polyesters par WAXS et spectroscopie Raman *in situ*", Thèse de Doctorat, Université de Lorraine (2024)
- [6] B.D. Sanditov, S. Sh. Sangadiev, D. S. Sanditov, "Grüneisen parameter and fluctuation volume of amorphous polymers and glass", *Glass Physics and Chemistry*, 39, 382–389, (2013).
- [7] R. J. Young, "Raman spectroscopy and mechanical properties", In: *Spells S.J. (eds): Characterization of Solid Polymers*. Springer, Dordrecht, (1994).

## Contexte de travail

La thèse sera réalisée au sein de l'équipe Physique, Mécanique et Plasticité de l'Institut Jean Lamour (site Artem).

## Compétences

- Titulaire d'un diplôme d'Ingénieur ou d'un Master 2 en science des matériaux ou équivalent.
- Connaissances en mécanique et physique des polymères. Des compétences dans un ou plusieurs domaines suivants seront appréciés : spectroscopie Raman; diffraction des rayons X, cristallographie
- Connaissances en programmation et traitement de données (Python / MATLAB).
- Anglais courant (écrit/oral)

## A propos de l'Institut Jean Lamour

L'Institut Jean Lamour (IJL) est un laboratoire de recherche fondamentale et appliquée en science des matériaux. Unité mixte (UMR 7198) du CNRS et de l'Université de Lorraine, il est rattaché à l'Institut de Chimie du CNRS.

Laboratoire multi-thématique, il couvre les matériaux, la métallurgie, les nanosciences, les plasmas, les surfaces et l'électronique en réponse aux enjeux sociétaux que sont : l'énergie, l'environnement, l'industrie du futur, la mobilité, la préservation des ressources et la santé.

Ses travaux de recherche vont de la conception du matériau jusqu'à ses applications industrielles.

Ses travaux de recherche sont menés au sein de 25 équipes organisées en 4 départements scientifiques et une équipe de recherche technologique. Ils s'appuient sur 8 centres de compétences et 3 services support. L'IJL collabore avec plus de 150 partenaires industriels et ses collaborations académiques se déploient dans une trentaine de pays.

L'IJL est basé à Nancy, sur le campus Artem et plusieurs de ses équipes sont localisées sur d'autres campus nancéiens ainsi qu'à Metz et Epinal.

## Modalités de candidature

Adresser CV et lettre de motivation à :

[jean-philippe.tinnes@univ-lorraine.fr](mailto:jean-philippe.tinnes@univ-lorraine.fr)

[marc.poncot@univ-lorraine.fr](mailto:marc.poncot@univ-lorraine.fr)