

FICHE PROJET EUROPEEN			
ACRONYME : FARM			
NOM COMPLET DU PROJET		Influence de la Fraction Amorphe Rigide sur les propriétés Mécaniques et physiques des polymères semi-cristallins : contexte aéronautique (FARM)	
NUMERO DE CONVENTION		17P04162 / 17E01501 / 17P04161	
DATE DE DEBUT		01/10/2017	
DATE DE FIN		30/09/2019	
COORDINATEURS		Laurent DELBREILH	
• Etablissement(s)	• Laboratoire(s)	• Responsable(s)	• Partenaire(s)
	GPM	NEM	
CONTACT			
SITE INTERNET DU LABORATOIRE ET PROJET			
DESCRIPTION DU PROJET			
RESUME		Contexte, présentation générale de l'opération : Les problématiques associées aux microstructures des polymères thermoplastiques semi-cristallins apparaissent aujourd'hui comme des enjeux majeurs, en termes de connaissances fondamentales mais aussi pour des questionnements applicatifs. Il a été montré, notamment par le partenaire 1, que les polymères semi-cristallins doivent être décrits non pas par un simple modèle à deux phases, mais par un modèle à trois phases où la 3ème phase (la fraction amorphe rigide, RAF) est une nana-phase localisée entre phase cristalline et phase amorphe mobile. La prise en compte de la RAF est essentielle pour comprendre les propriétés physiques et chimiques de nombreux matériaux très courants dans l'industrie régionale, aussi bien dans le secteur de l'emballage (Sidel, Aptar) que dans celui de l'aéronautique (Zodiac, Safran). En effet, la présence d'une nana-phase amorphe rigide est à prévoir non seulement dans le cas des polymères semi-cristallins, où les chaînes amorphes sont « bloquées » par le développement de domaines cristallins plus ou moins réguliers, mais aussi dans le cas des matériaux composites à matrice polymère, spécialité du partenaire 2, où l'action d'est exercée par les renforts au niveau de l'interface avec la matrice. Si les polymères thermodurcissables ont été quasiment exclusivement utilisés durant des décennies dans le domaine aéronautique, les avancées récentes en terme de synthèse et de mise en œuvre ont permis l'émergence de polymères semi-cristallins thermostables avec des tenues thermomécaniques très prometteuses. Cependant, des verrous technologiques persistent et une meilleure compréhension de la microstructure complexe de ces matériaux semble une nécessité. Par exemple, l'analyse de ces matériaux en termes de modèle à trois phases n'a jamais été faite. Or, la compréhension microstructurale des matériaux	

composites à matrice polymère thermoplastique passe par la description de la zone interfaciale matrice/fibre, mais également par la caractérisation des domaines locaux de rigidification de la phase amorphe tout près de l'interface (si la matrice reste amorphe) ou à proximité des domaines cristallins (si la matrice peut cristalliser), sujets non abordés pour l'instant sur de tels matériaux complexes. Aussi, avoir une expertise académique dans ce domaine pourra permettre de développer, dans un futur à moyens termes, des collaborations avec les industriels concernés.

L'étude fine de matériaux aussi complexes (composites multiphasiques) est un réel challenge, il est donc nécessaire de modéliser et de tenter de comprendre les liens microstructure-propriétés mécaniques en analysant des matériaux modèles. L'un des gros écueils de tels travaux de physiciens est de ne pas en investiguer l'aspect chimique. En effet, les polymères sont des matériaux complexes en tout point (distribution des masses moléculaires, dégradation par différents mécanismes, présence d'impuretés et d'adjuvants, sensibilité au vieillissement) et ne pas s'intéresser à cet aspect limite la pertinence de ces travaux. Le partenaire 3, de par ses compétences dans la chimie des polymères, renforcera significativement ce projet et pour la 1ère fois, des chercheurs normands en mécanique, chimie et physique des polymères proposent une approche multidisciplinaire afin de caractériser les polymères et leurs composites.

Le comportement mécanique de ces matériaux est intimement lié à la structuration à l'état solide des macromolécules qui les constituent: cristallinité, RAF... Les conditions de température et de cisaillement requises pour la mise en forme de matériaux composites dégradent chimiquement ces macromolécules et sont donc susceptibles d'induire des modifications de leur structuration et de leurs propriétés finales. Ce projet vise donc à établir des liens entre la structuration à l'échelle nano et le comportement macroscopique des polymères semi-cristallins utilisés pour la réalisation de composites pour le secteur aéronautique.

Caractère innovant de l'opération :

Ce projet est novateur dans le sens où il ambitionne : (i) de caractériser expérimentalement, dans le cadre d'une approche multi-physique et multi-échelles, l'influence d'une augmentation de la RAF sur l'évolution du comportement/propriétés mécaniques à l'échelle macroscopique, (ii) de relier des lois de comportements de l'échelle moléculaire à l'échelle macroscopique pour des matériaux composites fibreux destinés à des applications aéronautiques haute température. Ce projet pourrait constituer une véritable rupture dans les outils que l'on connaît aujourd'hui. Un potentiel stratégique pourrait également se confirmer en fonction de la démonstration opérationnelle qui pourra être faite.

En outre, ce projet permettra de développer et de renforcer une collaboration régionale inter-sites pour mener à bien un projet pluridisciplinaire à l'interface entre la chimie, la physique et la mécanique des matériaux polymères.

La thématique de recherche principale du partenaire 1 est l'étude des phases amorphes complexes ainsi que de leur vieillissement et des dynamiques moléculaires au voisinage de la transition vitreuse. Cela concerne les

	phénomènes de relaxations moléculaires existant dans les systèmes complexes, sachant que ces systèmes sont pour l'essentiel des 1 matériaux à structure macromoléculaire présentant au moins une phase désordonnée ou un état vitreux. La thématique principale du partenaire 2 concerne les propriétés thermomécaniques des matériaux composites, notamment à matrice thermoplastiques. La thématique principale du partenaire 3 est la modification des propriétés physico-chimiques des matériaux polymères à l'issue de leur mise en œuvre ou de leur formulation. Les trois partenaires évoluent dans des disciplines différentes (28ème CNU pour le partenaire 1, 60ème pour le partenaire 2, et 33ème CNU pour le partenaire 3), mais complémentaires, et seule la combinaison de leurs savoir-faire respectifs permettra l'atteinte des objectifs de ce projet transdisciplinaire. Ce projet est également une occasion unique de fédérer à l'échelle régionale les acteurs de la physique et de la chimie des matériaux polymères dont les compétences ont été identifiées dans le RIN Normandie Energies et Matériaux (physique des matériaux polymères).
OBJECTIFS	Objectifs recherchés, résultats escomptés et public visé : Ce projet comporte 2 grandes parties : l'une sur un système polymère semi-cristallin modèle et une seconde sur un polymère semi-cristallin applicatif avec une intervention des 3 partenaires sur chacun des polymères. La première a pour objectif d'établir des relations entre la structure chimique et la mobilité des macromolécules, la façon dont elles s'organisent à l'état solide (cristallinité, fraction amorphe rigide) et le comportement/propriétés mécaniques des matériaux résultants (comportement viscoélastique-viscoplastique, rigidité, propriétés à rupture). Afin d'atteindre ces objectifs, il est nécessaire d'utiliser des polymères semi-cristallins dont la structure et la mobilité macromoléculaires sont facilement modifiables, et dont la caractérisation chimique et physicochimique est maîtrisée par les différents acteurs du projet. Cette tâche sera confiée à un chercheur postdoctoral sur une période de 18 mois sous la forme d'un Co-encadrement entre les partenaires 1et 3. Un ingénieur de recherche sera également recruté spécifiquement pour prendre en charge la mise en service des équipements ainsi que leur utilisation optimale pour ce projet de recherche, en soutien des activités expérimentales du chercheur postdoctoral. Un matériau issu de bio- ressources, le poly (acide lactique) (PLA), semble être la cible la plus prometteuse en raison de l'expérience préalablement accumulée par les partenaires du projet dans sa caractérisation, au travers entre autres de travaux communs. Cette capacité établie à collaborer aux interfaces de la chimie et de la physique des matériaux polymères et bio-polymères contribuera à l'établissement de ces relations entre la structure chimique et l'organisation à l'état solide de ces polymères. La seconde partie vise à développer de nouveaux moyens de caractérisation expérimentale dédiés à l'analyse multiphysique du comportement thermomécanique des composites. Les matrices polymères étudiées seront celles actuellement utilisées par l'industrie, comme le PEEK et le PPS.

	Plus spécifiquement, ce projet a pour objectifs principaux : - D'obtenir une vision structurale du composite incluant non seulement la caractérisation des interfaces matrice/renfort mais également le continuum cristal/amorphe de la matrice. - De comprendre le rôle de la RAF sur l'évolution du comportement (notamment visqueux) et des propriétés mécaniques en fonction des températures d'essais (pour des températures avoisinant la transition vitreuse T_g) - De développer des lois de comportement avec 3 phases au moyen d'une analyse mécanique multi-échelle. - De modéliser le comportement macroscopique visqueux du matériau via des essais mécaniques à long terme (relaxation, fluage)
IMPACTS ATTENDUS ET FINALITE	Impacts attendus- diffusion et capitalisation des résultats : Cette collaboration sera génératrice de communications et de publications dans des revues à haut facteur d'impact et participera donc à la visibilité à l'échelle internationale de la recherche développée en Normandie. Elle sera également mise en valeur par l'organisation d'un workshop international autour de l'influence de la fraction amorphe rigide sur les propriétés mécaniques des polymères. L'acquisition via ce projet d'équipements de recherche mutualisés entre les différents partenaires contribuera à renforcer sur le long terme l'établissement de projets de recherche à l'échelle du territoire régional autour de cette thématique à fort potentiel, comme en témoigne le soutien que lui apporte Normandie Aerospace. L'accent sera particulièrement mis sur la dissémination de la propriété intellectuelle du travail pour permettre in fine une valorisation technologique et économique, au-delà de la nécessaire valorisation scientifique (publications et communications). Les retombées attendues dépassent largement le cadre du projet. Il est maintenant reconnu (#) que le développement et l'utilisation d'outils de modélisation des matériaux à un impact sur les secteurs industriels concernés. En effet, l'augmentation des coûts de développement d'un produit exige des procédures de conception optimisée permettant d'atteindre les fonctionnalités attendues.
RESULTATS	Principales actions présentées : D'un point de vue expérimental, le volet de ce projet consacré à l'étude de systèmes semi-cristallins modèles s'articulera autour de 4 tâches : Tâche 1: Sélection de deux grades de polymères semi-cristallins modèles présentant des comportements mécaniques significativement différents. Achat et mise en place des équipements. Recrutements post docs. Tâche 2 : Caractérisation approfondie de la structure chimique, de l'organisation à l'état solide et du comportement mécanique et physique de ces systèmes modèles. Tâche 3 : Quantification des modifications de structure et de mobilité moléculaire induites par la formulation et la mise en œuvre de ces systèmes modèles.

	Tâche 4 : Etablissements des corrélations entre la structure et la mobilité moléculaire, les organisations générées à l'état solide et le comportement mécanique et physique des matériaux. Du point de vue de la modélisation, ce projet est articulé autour de trois axes majeurs : Tâche 5 : dans le cadre d'une approche mécanique multi-échelle, des lois comportements à 3 phases seront adaptées pour décrire le comportement du matériau modèle. L'enjeu consistera alors à identifier les paramètres physiques caractéristiques de ces lois. Tâche 6 : Extrapolation des relations mises en évidence à l'échelle des matériaux modèles vers la compréhension des relations structure/propriétés au sein des thermoplastiques semi-cristallins utilisés dans le secteur aéronautique. Tâche 7 : Modélisation du comportement macroscopique visqueux des matériaux modèles et application de ce modèle dans le cas de matériaux composites renforcés avec prise en compte de la rigidification de la fraction amorphe.
MODALITES DE FINANCEMENT	
BUDGET TOTAL	184 300€
Niveau de soutien FEDER / FSE / FAEDER	92 150€
Niveau de soutien région	92 150€
Niveau de soutien Etat	
Autofinancement	
Autre	
NOMBRE D'ALLOCATIONS DOCTORANTS	0
NOMBRE D'ALLOCATIONS ET POST-DOCTORANTS	0
L'Europe s'engage en Normandie avec le Fonds Européen de Développement Régional	