

THESE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 602

Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes

Spécialité : « SIS-Energétique-Thermique-Combustion »

Par

Alain AKIKI

Developpement d'un nouveau composite de polymeres barrieres incompatibles et des conditions de traitement optimales pour les feuilles d'emballage alimentaire recyclables

These présentée et soutenue à « Nantes » le « 10/7/2026 »

Unité de recherche : Laboratoire de Thermique et d'Energie de Nantes (LTEN)

Rapporteurs avant soutenance :

Bruno FAYOLLE
Pierre RAHME

Professeur des Universités, Arts et Métiers Institute of Technology, CNRS, PIMM
Maître de conférences, Lebanese American University

Composition du Jury :

Attention, en cas d'absence d'un des membres du Jury le jour de la soutenance, la composition du jury doit être revue pour s'assurer qu'elle est conforme et devra être répercutée sur la couverture de thèse

Président et Examineur : Khaled KHALIL Chef de département Génie Industriel et Mécanique, ECAM Louis de Broglie, Laboratoire de Matériaux et Mécanique

Dir. de thèse : Jean-luc BAILLEUL
Co-dir. de thèse : Georges CHALLITA
Encadrante : Elissa EI RASSI

Professeur des Universités, Nantes Université, LTEN
Professeur des Universités, Université Libanaise, CRSI
Maître de conférences, Nantes Université, LTEN

Titre : Développement d'un nouveau composite de polymères barrières incompatibles et des conditions de traitement optimales pour les feuilles d'emballage alimentaire recyclables

Mots clés : Compatibilization, Composites Thermoplastiques, MXD6, Confinement, Interface

Résumé : Récemment, les films d'emballage alimentaire multicouches ont été considérés comme des produits non circulaires. Les films composés de poly-m-xylylène adipamide (MXD6), un polymère barrière à l'oxygène unique, et de polyéthylène (PE) entrent dans cette catégorie de films non recyclables en raison de l'incompatibilité de leurs constituants polymères. Bien que les stratégies de compatibilisation soient bien documentées pour divers systèmes polymères, l'interface MXD6/PE reste largement inexplorée. De plus, très peu d'études ont porté sur la valorisation de mélanges compatibilisés dans les films d'emballage.

Cette recherche étudie l'impact du type de compatibilisant sur les propriétés d'un mélange binaire MXD6/PE ainsi que sur les propriétés des films plastiques issus de ces mélanges.

Des composites thermoplastiques de MXD6, PE et compatibilisants ont été fabriqués par extrusion à l'état fondu. Un polymère fonctionnalisé réactif et un di-bloc polaire ont été utilisés.

Les caractérisations morphologiques, thermophysiques et thermomécaniques des composites ont été réalisées par microscopie électronique à balayage (MEB), calorimétrie différentielle à balayage (DSC) et rhéologie en cisaillement. Le processus de compatibilisation a permis de confiner les gouttelettes de MXD6 à un niveau submicronique, favorisant une morphologie plus stable. Le compatibilisant réactif a créé une interface élastique se traduisant par une résistance à la déchirure supérieure de 115 %, une ténacité accrue de 30 % et des films 20 % plus extensibles. L'étirage des films plastiques a réduit la perméabilité à l'oxygène de plus de 30 % grâce à l'augmentation du chemin de tortuosité autour des gouttelettes de MXD6 déformées.

Cette étude démontre qu'une compatibilisation ciblée peut transformer les flux de déchets MXD6/PE immiscibles en matériaux d'emballage circulaires de haute performance.

Title : Development of Novel Composite of Incompatible Barrier Polymers and their Optimal Processing Conditions for Recyclable Food Packaging Sheets

Keywords: Compatibilization, Thermoplastic Composites, MXD6, Confinement, Interface

Abstract: Recently, most multilayer food packaging films have been considered non-circular products. Films made of the unique oxygen barrier poly-m-xylylene adipamide (MXD6) and Polyethylene (PE) fall under this category of non-recyclable films due to the incompatibility of the polymeric constituents. While compatibilization strategies are well-documented for various polymeric systems, the MXD6/PE interface remains largely unexplored. In addition, very few involved the valorization of compatibilized blends in packaging films.

This research investigates the impact of the compatibilizers type on the properties of a MXD6 and PE binary blend and on the properties of plastic films made of these blends.

Thermoplastic composites of MXD6, PE, and compatibilizers were manufactured using melt extrusion. A reactive functionalized polymer, and

a polar di-block were used as compatibilizers. Morphological, Thermo-Physical, and Thermo-Mechanical characterizations of the composites have been conducted using Scanning Electron Microscopy (SEM), Differential Scanning Calorimetry (DSC), and shear rheology. The compatibilization process successfully confined MXD6 droplets to a submicron level promoting a more stable morphology. The reactive compatibilizer created an elastic interface that resulted in 115% higher tear strength, 30% tougher, and 20% more extensible films. Stretching the plastic films reduced oxygen permeability by more than 30% due to an increased tortuous path around the deformed MXD6 droplets. This study demonstrates that targeted compatibilization can transform immiscible MXD6/PE waste streams into high-performance, circular packaging materials.