

Avis de Soutenance

Monsieur Sami MEKSASSI

Matériaux

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés
Etude expérimentale et simulation numérique d'un procédé de friction-compression pour le recyclage de mélanges de thermoplastiques

Travaux dirigés par Monsieur Matthieu ZINET

Soutenance prévue le **lundi 22 juin 2026** à 14h00

Lieu : INSA Lyon - Département Génie Mécanique (Bâtiment Jacqueline Ferrand - Amphithéâtre Royer) 12 rue des Sports, , 69100 Villeurbanne

Composition du jury proposé

M. Matthieu ZINET	Maître de conférences	Lyon 1 Université	Directeur de thèse
M. Arthur LEVY	Maître de conférences	Nantes Université	Rapporteur
Mme Valérie NASSIET	Professeure des universités	École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes	Rapporteure
Mme Séverine BOYER	Chargée de recherche	CNRS Paris	Examinatrice
M. Agustin RIOS DE ANDA	Professeur des universités	Lyon 1 Université	Examineur
Mme Nadia BAHLOULI	Professeure des universités	Université de Strasbourg	Examinatrice
M. Shihe XIN	Professeur des universités	INSA Lyon	Co-encadrant de thèse
Mme Claire BARRES	Maître de conférences	INSA Lyon	Co-encadrante de thèse
M. M'hamed BOUTAOUS	INSA Lyon	Invité	

Mots-clés : Thermoplastiques, Recyclage, Modélisation thermo-rhéologique, Friction-Compression, Bilan énergétique

Résumé :

La valorisation des déchets plastiques post-consommation représente un défi majeur, notamment lorsque les flux sont constitués de mélanges de thermoplastiques immiscibles, difficiles à trier et peu compatibles avec les filières de recyclage conventionnelles. Pour ces matériaux, les procédés d'extrusion-granulation se révèlent énergivores et peu adaptés, conduisant trop souvent à leur incinération ou à leur enfouissement. Une alternative prometteuse consiste à traiter directement les broyats mixtes par friction-compression, afin de générer une phase fondue apte à la mise en forme. Ce procédé innovant étant encore insuffisamment compris, cette thèse vise à en décrypter les mécanismes et à identifier des pistes d'optimisation via une approche combinant modélisation numérique et investigation expérimentale. Sur le plan numérique, un modèle par éléments finis (COMSOL Multiphysics) a été développé afin de simuler l'évolution thermo-rhéologique d'un

polymère-type (polypropylène) soumis à des sollicitations représentatives du procédé. Le modèle couple la génération de chaleur par friction solide et dissipation visqueuse à la cinétique de fusion du matériau, dans une géométrie de type cellule de Couette. Le comportement rhéologique est décrit par une loi de Carreau-Yasuda thermodépendante, intégrant un terme de pénalisation pour la phase solide. Le modèle permet ainsi de suivre l'évolution de la température, de la viscosité et de la fraction fondue, et de quantifier l'influence de paramètres clés (vitesse de rotation, pression, propriétés rhéologiques) sur l'efficacité de la fusion. En parallèle, une cellule de friction-compression instrumentée a été conçue et réalisée afin de reproduire de manière contrôlée les conditions du procédé. La campagne expérimentale, menée sur différentes typologies de matières — des granulés vierges monomatière aux mélanges de broyats post-consommation — a confirmé la faisabilité de la fusion de mélanges hétérogènes de thermoplastiques représentatifs des flux couramment rencontrés. Elle a également permis de qualifier et de hiérarchiser l'influence des différents facteurs (nature et morphologie des broyats, vitesse, effort de compression) sur la cinétique de transformation et l'homogénéité de la phase fondue. La corrélation entre résultats expérimentaux et numériques témoigne d'une bonne prédictivité du modèle, notamment sur les temps de fusion. Enfin, la question de l'efficacité énergétique du procédé est abordée afin de positionner quantitativement la friction-compression face aux procédés de recyclage conventionnels.

Summary:

The recovery of post-consumer plastic waste poses a major challenge, particularly when the waste streams consist of mixtures of immiscible thermoplastics that are difficult to sort and poorly suited to conventional recycling processes. For these materials, extrusion-pelletizing processes are energy-intensive and ill-suited, all too often leading to their incineration or landfilling. A promising alternative involves directly processing mixed shredded materials using friction-compression to generate a molten phase suitable for shaping. Since this innovative process is not yet fully understood, this thesis aims to elucidate its mechanisms and identify avenues for optimization through an approach that combines numerical modeling and experimental investigation. On the computational side, a finite element model (COMSOL Multiphysics) was developed to simulate the thermo-rheological behavior of a model polymer (polypropylene) subjected to stresses representative of the process. The model couples heat generation from solid friction and viscous dissipation with the material's melting kinetics, within a Couette cell-type geometry. The rheological behavior is described by a temperature-dependent Carreau-Yasuda equation, incorporating a penalty term for the solid phase. The model thus allows for tracking the evolution of temperature, viscosity, and melt fraction, and for quantifying the influence of key parameters (rotational speed, pressure, rheological properties) on melting efficiency. In parallel, an instrumented friction-compression cell was designed and built to reproduce the process conditions in a controlled manner. The experimental campaign, conducted on various types of materials—from virgin single-material pellets to mixtures of post-consumer regrind—confirmed the feasibility of melting heterogeneous mixtures of thermoplastics representative of commonly encountered waste streams. It also made it possible to characterize and prioritize the influence of various factors (nature and morphology of the regrind, speed, compression force) on the transformation kinetics and the homogeneity of the molten phase. The correlation between experimental and numerical results demonstrates the model's good predictive capability, particularly with regard to melting times. Finally, the issue of the process's energy efficiency is addressed in order to quantitatively compare friction-compression with conventional recycling processes.