



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

LORRAINE
INP

LEM3
LABORATOIRE D'ÉTUDE DES MICROSTRUCTURES
ET DE MÉCANIQUE
DES MATÉRIAUX



Sujet de thèse de doctorat

Caractérisation des performances dynamiques et amortissantes
des structures en alliages à mémoire de forme : une approche
numérique et expérimentale

Informations générales

Lieu de travail : LEM3, site de Polytech Nancy, 2 rue Jean Lamour 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy

Date de publication : Novembre 2024

Type de contrat : CDD Doctorant/Contrat doctoral

Durée du contrat : 36 mois

Date de début de la thèse : 1er octobre 2025

Quotité de travail : Temps complet

Rémunération : 2200,00 € mensuel brut

Section CNU : 60^{ème}, Mécanique, génie mécanique, génie civil

Contact : Frédéric THIEBAUD (frederic.thiebaud@univ-lorraine.fr) – Directeur de la thèse

Description du sujet de thèse

Mots clés : alliages à mémoire de forme ; transformation martensitique ; analyse dynamique ; essais dynamiques ; simulation numérique ; optimisation du pouvoir amortissant ; matériaux architecturés

Description : La transformation martensitique confère aux alliages à mémoire de forme (AMF) des propriétés particulièrement intéressantes comme l'effet mémoire de forme ou la superélasticité. A l'échelle macroscopique, cette dernière propriété se caractérise par des déformations réversibles induites par transformation martensitique pouvant atteindre 5 à 6% pour les AMF à base de NiTi et 10 à 12% pour certains AMF à base cuivre. Associée à un phénomène d'hystérésis et une perte de raideur comme le montre un simple essai de traction, la transformation martensitique met en évidence le comportement thermomécanique non linéaire des AMF et leur caractère dissipatif d'énergie mécanique. Ainsi, ils apparaissent comme d'excellents candidats pour concevoir des systèmes amortisseurs passifs, ne nécessitant donc pas d'apport particulier en énergie lors du fonctionnement.

Des premières études se sont intéressées à caractériser l'amortissement de structures unidimensionnelles en AMF soumises à des sollicitations simples (barres, arbres, poutres) [1] ou encore des structures plus complexes [2]. Des applications concrètes ont vu le jour dans le domaine du Génie civil notamment pour concevoir des systèmes antisismiques [3]. Au bilan, il existe une base de données expérimentale intéressante pouvant être encore enrichie d'un point de vue « matériau » en étudiant l'influence de plusieurs paramètres physiques. De plus, peu d'outils numériques ont été développés à ce jour, pour prédire le comportement

dynamique des structures en AMF et l'optimisation de leur pouvoir amortissant. Ces outils sont élaborés dans une optique de conception des systèmes amortissants notamment pour le génie civil. Enfin, si l'on se focalise sur le matériau, il n'est pas forcément évident aujourd'hui pour l'ingénieur de choisir une nuance d'AMF en particulier pour concevoir un amortisseur passif. De plus, le développement des procédés de fabrication additive devrait permettre d'amplifier le ratio transformation de densité/densité et ainsi la capacité massique d'amortissement.

C'est dans ce cadre que se dessine ce projet de thèse. Il s'agit de poursuivre les travaux d'investigations expérimentales, de modélisation et de simulations numériques, réalisés au laboratoire sur cette thématique [4,5]. Une campagne expérimentale complètera la base de données en cours de construction sur le comportement dynamique des nuances d'AMF et les modèles de comportement thermomécaniques disponibles seront étendus au domaine dynamique avec l'intégration des effets de la fréquence du chargement et la quantification du pouvoir amortissant. Enfin, les nouveaux développements seront couplés à des codes de calcul par éléments finis afin d'aboutir à un outil d'optimisation du pouvoir amortissant des structures en AMF se basant sur des facteurs matériels et géométriques. Chronologiquement, ce projet s'inscrit dans la continuité des travaux numériques entamés par l'équipe en considérant un système amortissant à base de ressort hélicoïdal [4] et qui se sont poursuivis de manière à la fois numérique et expérimentale via l'acquisition d'une machine de traction dynamique sur une structure amortissante à un degré de liberté [5].

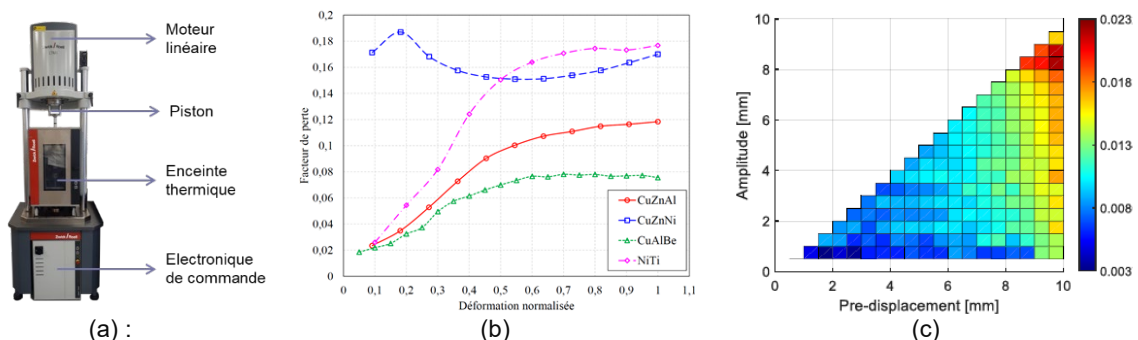


Figure 1 : Machine de traction dynamique (DMA) utilisée pour les essais expérimentaux (a) ; comparaison du pouvoir amortissant de quatre nuances d'AMF (b) ; prédiction numérique de l'amortissement d'une structure superélastique en NiTi (c) (d'après [5]).

Ainsi, quatre axes de travail fortement connectés seront considérés pour mener à bien ce projet de thèse.

- ❖ Dans une première tâche, un important travail bibliographique sera mené par le candidat retenu sur ce projet pour dresser un état l'art sur la réponse dynamique des structures en AMF.
- ❖ Dans la deuxième tâche, un travail expérimental sera mené pour caractériser le pouvoir amortissant des différentes nuances d'AMF et les classer en fonction de leurs performances et ainsi établir une base de données expérimentale conséquente.
- ❖ Dans la troisième tâche, on s'intéressera à développer un modèle thermomécanique de prédiction du comportement dynamique des nuances d'AMF considérées précédemment dans le cadre d'une analyse modale.
- ❖ Dans la quatrième et dernière tâche, le travail précédent sera utilisé pour caractériser expérimentalement le comportement dynamique et le pouvoir amortissant d'une structure originale en AMF dont les facteurs matériels et géométriques sont issus d'une procédure d'optimisation numérique du pouvoir amortissement en considérant les cas des matériaux denses ou cellulaires.

Références :

- [1] Seelecke, S. (2002). Modeling the dynamic behavior of shape memory alloys. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 37(8), 1363-1374.
- [2] Speicher, M., Hodgson, D. E., DesRoches, R., & Leon, R. T. (2009). Shape memory alloy tension/compression device for seismic retrofit of buildings. *Journal of materials engineering and performance*, 18, 746-753.
- [3] Dolce, M., & Cardone, D. (2001). Mechanical behaviour of shape memory alloys for seismic applications 2. Austenite NiTi wires subjected to tension. *International journal of mechanical sciences*, 43(11), 2657-2677.
- [4] Thiébaud, F., & Ben Zineb, T. (2014). Experimental and finite element analysis of superelastic behaviour of shape memory alloy for damping applications. *Mechanics & Industry*, 15(5), 371-376.
- [5] Thiebaud, F., & Ben Zineb, T. (2024). Structural analysis of the dynamic response of a shape memory alloy based damper. *Journal of Vibration and Control*, 10775463241263374.

Contexte de travail

Ce projet de thèse sera supervisé par Frédéric THIEBAUD et Céline BOUBY, respectivement en tant que directeur et co-directrice de thèse ; et enseignants-chercheurs au Laboratoire d'Étude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux (LEM3) ; équipe Mécanique des Matériaux, des Structures et du Vivant (MMSV), axe Milieux multiphasés et couplages multiphysiques.

Le travail de thèse se fera sur le site de Polytech Nancy du LEM3 à Vandoeuvre-lès-Nancy.