

N° D'ORDRE :

# **THESE**

PRESENTEE

EN VUE DE L'OBTENTION DU TITRE

**DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITE  
PIERRE ET MARIE CURIE (PARIS 6)**

Spécialité : Métallurgie

PAR

**Jean MULLER**

Ingénieur E.N.S.C.P

**Contribution à la connaissance  
de la capacité d'amortissement des chocs  
dans les alliages à mémoire de forme**

Soutenue le 4 juillet 1991 devant la Commission d'Examen

MM	B.DUBOIS	Président
	G.GUENIN	Rapporteur
	P.BOCH	Rapporteur
	J.F.FRIES	Examineur
	P.CHARTAGNAC	Examineur
	M.DANNAWI	Examineur

## AVANT - PROPOS

### *De l'amortissement interne <sup>(1)</sup> ...*

Si l'amortissement interne d'un matériau semble bien défini tant que les déformations demeurent très faibles (entre  $10^{-7}$  et  $10^{-4}$ , dans le domaine d'élasticité), il n'en est pas de même dès que l'on aborde des déformations plus importantes, pour lesquelles les mécanismes de la plasticité interviennent. Nous posons alors deux questions :

- *Comment pourrait-on définir alors la notion d'amortissement interne d'un matériau du point de vue comportement plastique ?*
- *Comment aborder sa mesure (classique tant que la sollicitation reste de nature quasi-statique ou cyclique dans le domaine d'élasticité), lorsque le matériau est soumis à un choc à plus ou moins grande vitesse ?*

Ces deux questions montrent la nécessité d'étendre la notion d'amortissement interne au domaine des plus fortes déformations, et de définir la capacité d'amortissement interne pour une sollicitation quelconque (quasi-statique, cyclique, dynamique, choc,...).

### *... aux matériaux amortissants.*

Parmi les matériaux à fort amortissement interne se trouvent ceux qui peuvent changer de structure cristalline sous contrainte thermique et/ou mécanique de façon plus ou moins réversible.

Nous avons choisi le cas des alliages à mémoire de forme, qui sont le siège d'une transformation martensitique thermoélastique, déjà très étudiée, et celui d'un alliage Cuivre-Zinc-Aluminium en particulier.

Nous avons voulu savoir de quelle manière l'amortissement interne élevé pour ces alliages dans leur domaine "élastique" se manifeste sous sollicitations dynamiques, en particulier lorsqu'ils sont soumis à un impact.

---

1 / La plupart des matériaux possèdent dans leur domaine d'élasticité une certaine part d'anélasticité, qui se manifeste par des phénomènes de relaxation, et une perte d'énergie appelée amortissement interne (ou frottement intérieur). Cette relaxation anélastique, beaucoup étudiée depuis la monographie de ZENER en 1948, a pour origine thermodynamique un couplage entre la contrainte et la déformation par l'intermédiaire de certaines variables internes dépendantes de processus cinétiques (120 mécanismes connus, dont la diffusion en solution solide, les transformations de phase, etc...).

Les principales techniques expérimentales de caractérisation de cet amortissement interne procèdent soit par mesure de la relaxation de la contrainte ou de la déformation dans le domaine quasi-statique, soit par la mesure du déphasage entre contrainte et déformation dans le cas de sollicitations cycliques. Le choix de la technique expérimentale et de la gamme de fréquence utilisée dépend alors essentiellement de la vitesse du processus anélastique étudié (entre  $10^{-5}$  Hz et 100 GHz).

L'étude de l'amortissement des chocs et des vibrations associées dans les matériaux fait appel à deux types de connaissances expérimentales:

- la mécanique des chocs et le comportement dynamique des matériaux en général, qui permettront de donner la preuve expérimentale d'un amortissement que nous voulons mesurer ;
- la caractérisation de l'endommagement du matériau, c'est-à-dire l'étude des modifications structurales engendrées par les sollicitations extérieures.

Nous aurons donc simultanément deux approches expérimentales, mécanique et métallurgique, au travers des étapes suivantes :

- [i] la définition d'une grandeur physique caractérisant le pouvoir amortissant dans des conditions de sollicitations dynamiques ;
- [ii] l'établissement d'un dispositif expérimental d'investigation de l'amortissement interne d'un matériau soumis à un choc et aux vibrations associées ;
- [iii] le classement de différents matériaux en fonction de leur pouvoir amortissant.
- [iv] la caractérisation structurale avant et après impact de l'alliage à mémoire de forme Cuivre-Zinc-Aluminium ;

*Dans un premier chapitre à caractère bibliographique, nous présenterons les spécificités métallurgiques des alliages à mémoire de forme et celles de leurs propriétés amortissantes connues, en focalisant notre attention sur les alliages Cuivre-Zinc-Aluminium. Nous proposerons dans le second chapitre une extension de la notion d'amortissement interne aux chocs et aux vibrations associées.*

*Le troisième chapitre sera consacré aux méthodes expérimentales et aux matériaux étudiés <sup>(2)</sup>. Le comportement mécanique des alliages étudiés sera abordé au quatrième chapitre. L'étude métallurgique de l'endommagement par impact de l'alliage à mémoire de forme Cuivre-Zinc-Aluminium suivra dans le chapitre cinq. Enfin, le sixième chapitre proposera des critères expérimentaux concernant la prévision de l'amortissement interne sous impact des alliages à mémoire.*

---

2 / Nous étudierons plusieurs types de dispositifs expérimentaux mettant en oeuvre des énergies et des vitesses de déformations différentes :

- une machine de traction/compression hydraulique de 10 T pour l'étude des faibles vitesses de déformation (entre  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$  et  $1 \text{ s}^{-1}$ ) ;
- un dispositif de barres d'HOPKINSON (280 J maximum) en compression dynamique à grande vitesse (entre  $1000 \text{ s}^{-1}$  et  $5000 \text{ s}^{-1}$ ) ;
- un pendule de choc à secteur (60 J maximum) pour l'étude des vitesses de déformation intermédiaires (entre 50 et  $900 \text{ s}^{-1}$ ).

## REMERCIEMENTS

*Les travaux présentés dans ce mémoire ont été effectués au Centre de Recherches Matériaux (C.R.M) du Groupement Industriel de l'Armement Terrestre (G.I.A.T Industries) dans le Centre de Tarbes.*

*Je tiens en premier lieu à exprimer à Monsieur le Directeur du Centre de Tarbes , P.MARY ma profonde gratitude pour m'avoir accueilli dans son établissement.*

*Je voudrais remercier aussi Monsieur le Professeur B.DUBOIS, Directeur du Laboratoire de Métallurgie Appliquée de l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie de PARIS (ENSCP) pour ses encouragements et ses conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail. Je lui suis reconnaissant d'avoir accepté de présider le jury de ma thèse.*

*Je remercie également Monsieur J.F.FRIES, Chef du Centre de Recherches Matériaux de m'avoir fait bénéficier de ses compétences et de son enthousiasme lors de la réalisation de ce travail.*

*Je remercie particulièrement Monsieur M.DANNAWI, du Laboratoire de Mécanique des Structures de l'Ecole Nationale Supérieure de Mécanique de Nantes, d'avoir participer en tout point aux réflexions et aux expérimentations de mes travaux. Je lui suis reconnaissant d'avoir accepté de participer à mon jury de thèse.*

*J'adresse mes plus vifs remerciements à Monsieur G.GUENIN, Professeur dans le Département GEMPPM de l'INSA de LYON, d'avoir accepté d'examiner ce travail et de participer à mon jury de thèse.*

*Je tiens à remercier également Monsieur P.BOCH , Professeur au Laboratoire Céramiques et Matériaux Minéraux de l'ESPCI d'avoir accepté d'examiner ce travail en tant que rapporteur.*

*Je remercie particulièrement P.CHARTAGNAC, Ingénieur au Centre d'Etudes de GRAMAT, pour sa participation à mon jury et son éclairage avisé sur les aspects physiques des chocs.*

*Je remercie également tous les membres du C.R.M qui ont su me faire profiter de leurs compétences chacun dans leur domaine : Madame J.DUPRE, Messieurs J.L.VALLEE, J.P.LINAS, J.C.HARGOUS, L.DUBOIS, F.CAUBE et B.BAULIS.*

*Je tiens à remercier tout particulièrement J.CONDOURE, pour sa collaboration, ses échanges techniques et philosophiques, ainsi que J.D.LANVIN, avec qui j'ai partagé trois ans de travail en commun. Je leur dois certainement beaucoup plus que ce que le texte ne pourrait expliquer.*