

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA

FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de Magister en physique

Option : Physique du solide

THEME

CARACTERISATION DES ALLIAGES A MEMOIRE DE
FORME : Ti-49.91 %at. Ni , Cu-65 %at. Zn.-25 % at. Al
et Cu-68.93 %at. Zn -21.87 %at. Al

Présenté par : Houda GHAMRI

Soutenu le : / / 2003

Devant le jury :

Président :	M. OMARI	M.C	Université de Biskra
Rapporteur :	Z. BOUMERZOUG	M.C	Université de Biskra
Examineurs :	B.A. BOUZIDA	M.C	Université de Batna
	L. HADJADJ	M.C	Université de Constantine



*à mes très chers parents
à Fatima
à ma famille*

REMERCIEMENTS

Tout d'abord remercions Dieu tout puissant qui nous a éclairé vers le bon chemin.

Cette étude a été menée au sein des laboratoires du département de mécanique et de physique à l'université Mohamed Khider – Biskra.

J'adresse mes plus vifs remerciements à Monsieur Z.Boumerzoug, Maître de conférences au département de mécanique à l'université de Biskra, dont le choix du sujet de cette thèse lui doit. Je lui suis particulièrement reconnaissante du temps consacré à l'encadrement de ce travail, des nombreux conseils qu'il m'a prodigués et de ses critiques pour l'écriture de ce mémoire.

Que Monsieur A. Chala Chargé de cours et ex-chef de département de physique trouve ici l'expression de mon plus profond respect pour m'avoir aidé d'analyser mes échantillons par diffraction des rayons X et d'obtenir les micrographies au MEB, c'est grâce à lui que j'ai pu continuer mon travail. Je le remercie aussi pour ses conseils et ses encouragements.

Je tiens à assurer de ma reconnaissance Monsieur M. Omari Maître de conférences à l'université de Biskra qui a bien voulu accepter de présider le jury de cette thèse.

Je remercie ardemment Monsieur B.A. Bouzida, Maître de conférences à l'université de Batna qui a accepté d'être un examinateur de mon mémoire. Je le remercie également pour son aide et ses conseils et ses encouragements.

Je souhaiterais remercier Monsieur L. Hadjadj Maître de conférences à l'université de Constantine qui m'a fait l'honneur d'être un examinateur de mon mémoire.

Je remercie également l'équipe du laboratoire de transformations de phases de l'université de Constantine (Prof. Hamana Chef du labo., Dr. Boucheur membre du Labo. et les autres membres sans exception).

Je remercie sincèrement Mlle. S. Saïda et Me. H.Benmachiche, responsables du laboratoire de physique et de chimie, de m'avoir aidé.

Mes remerciements s'adressent aussi à Monsieur T. Tedjani directeur de CDTA d'Alger et aux responsables du laboratoire des milieux ionisés au CDTA Monsieur M. Layachi et Madame Y. Belaroussi, pour m'avoir effectué des essais de microdureté.

Je remercie chaleureusement l'ensemble de mes enseignants ayant contribué à ma formation universitaire.

Sans oublier, enfin, mes amies surtout Nadia, Noura Amel et Saïda et les deux sœurs Amjed et Afak et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iv
SOMMAIRE.....	v
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA TRANSFORMATION MARTENSITIQUE	
I.1 Introduction.....	3
I.2 La transformation martensitique.....	3
I.2.1 Définition	4
I.3 Aspect macroscopique et microscopique et les théories cristallographiques.....	7
I.4 Classification de la transformation martensitique	12
I.4.1 La transformation thermoélastique et non thermoélastique.....	12
I.4.2 Températures de transformation et Hystérésis thermique.....	13
I.5 Aspect Thermodynamique de la transformation	17
I.5.1 Détermination de T_0	18
I.5.2 Détermination de $\Delta G_{M \rightarrow A}$	19
I.6 Effet d'une contrainte appliquée.....	21
I.7 Aspect cinétique de la transformation martensitique	24
I.7.1 Germination	25
I.7.2 Croissance	25
CHAPITRE II : PROPRIETES THERMOMECHANIQUES DES ALLIAGES A MEMOIRE DE FORME	
II.1 Introduction.....	27
II.2 Propriétés thermomécaniques des alliages à mémoire de forme.....	27
I.7.1 Les effets pseudoélastiques	28
I.7.1.1 Effet Superélastique	28
I.7.1.2 Effet caoutchoutique.....	30
I.7.2 Les effets mémoire de forme.....	31
I.7.2.1 Effet mémoire de forme simple sens	31
I.7.2.2 Effet mémoire de forme double sens assisté (EMDSA).....	32
I.7.2.3 Effet mémoire de forme réversible ou double sens (EMDS).....	33
I.7.2.4 Effet amortissant des alliages à mémoire de forme.	34
CHAPITRE III : PRESENTATION DES ALLIAGES A MEMOIRE DE FORME DE TYPE TiNi ET CuZnAl	
III.1 Introduction.....	37
III.2 Quelques caractéristiques des alliages à mémoire de forme Ti-Ni.....	37
III.3 Diagramme d'équilibre du système Ti-Ni.....	39
III.4 Transformations dans les alliages à mémoire de forme Ti-Ni.....	40
III.4.2 Transformation prémartensitique.....	41
III.4.3 Transformation martensitique.....	42

III.5 Influence de quelques éléments d'addition.....	43
III.5.1 Influence du fer en substitution au Nickel ($Ti_{50}Ni_{50x}Fe_x$).....	43
III.5.2 Influence du cuivre en substitution au Nickel($Ti_{50}Ni_{50x}Cu_x$).....	43
III.5.3 Influence d'autres éléments.....	44
III.6 Influence des traitements thermiques et thermomécaniques.....	45
III.6.1 Procédés de mise en forme	46
III.7 Présentation des alliage à mémoire de forme Cu-Zn-Al.....	48
III.7.1 Les phases d'équilibre.	48
III.7.2 Les phases martensitiques.....	52
III.7.3 Les températures de transformation.....	53
III.7.4 Vieillessement.....	54
III.7.4.1 Vieillessement en phase martensitique.....	54
III.7.4.2 Vieillessement en phase mère.....	55
III.7.5 Fragilité des joints de grains.....	55

CHAPITRE IV : PROCEDURES ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES

IV.1 Introduction.....	57
IV.2 Alliages étudiés et leurs traitements thermiques.....	57
IV.2.1 Choix des alliages.....	57
IV.2.2 Préparation des échantillons.....	58
IV.2.3 Traitements thermiques.....	59
IV.3 Techniques expérimentales utilisées.....	61
IV.3.1 Microanalyse élémentaire par EDS.....	61
IV.3.2 Etude par diffraction des rayons X.....	62
IV.3.3 Microscopie optique.....	62
IV.3.4 Microscopie électronique à balayage (MEB).....	63
IV.3.5 Mesures de microdureté.....	63
IV.3.6 Mesures de calorimétrie DSC.....	63
IV.3.7 Dilatométrie.....	64
IV.3.8 Mesure de l'effet mémoire de forme double sens assisté (EMDSA).....	64

CHAPITRE V : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS

V.1 Introduction.....	66
V.2 Caractérisation de l'alliage Ti-49.9 % at. Ni	66
V.2.1 Mesure des températures de transformation et de l'hystérésis thermique.....	66
V.2.2 Résultat de l'analyse dilatométrique.....	68
V.2.3 Analyse par diffraction des rayons X.....	70
V.2.3.1 Analyse de l'état brut.....	70
V.2.3.3 Effet des traitements thermiques et thermomécaniques sur les transformations de phases dans l'alliage Ti-49.9 % at. Ni	72
a) Effet des traitements thermiques sur les transformations de phases dans l'alliage Ti-49.9 % at. Ni	73
b) Effet des traitements thermomécaniques sur les transformations de phases dans l'alliage Ti-49.9 % at. Ni	73
V.2.4 Conclusion	81
V.3 Caractérisation des deux alliages de CuZnAl	82

V.3.1 Comportement de deux ressorts en alliage de CuZnAl lors du cyclage thermomécanique	82
V.3.1.1 comportement de deux ressorts en alliage de CuZnAl lors d'un cycle thermomécanique complet.....	82
V.3.1.2 Evolution de l'élongation du ressort lors d'un cycle thermique complet en fonction de la Charge.....	84
a) Analyse qualitative de l'effet de charge.....	84
b) Effet de la charge sur l'élongation du ressort lors du premier cycle thermique.....	87
c) Effet d'un cyclage thermique sous charge élevée sur le comportement du ressort en alliage Cu-68.93 % at. Zn-21.87 % at. Al.....	88
d) Effet de la charge sur les températures de transformation et l'hystérésis thermique.....	89
V.3.2 Effet des traitements thermiques sur l'évolution structurale de l'alliage Cu-68.93 % at. Zn-21.87 % at. Al	91
V.3.2.1 Structure de l'état homogénéisé.....	91
V.3.2.2 Structures des états de recuit.....	94
V.3.3 Conclusion	100
CONCLUSION GENERALE	102
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	105