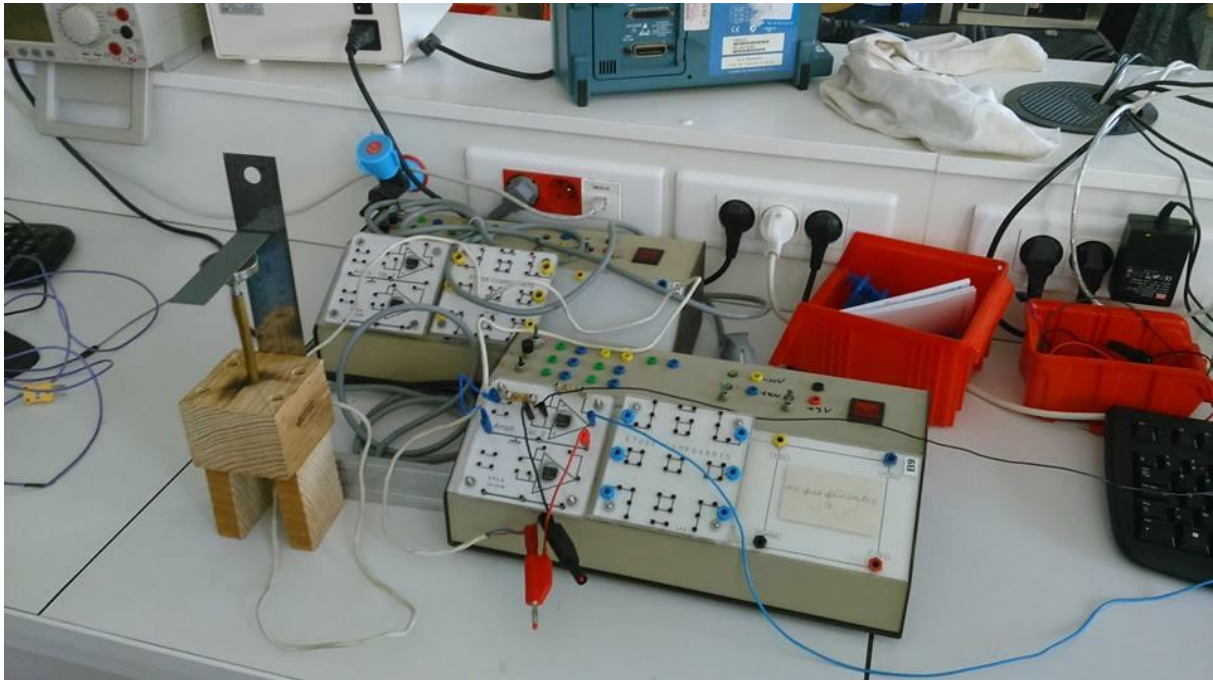


Effet mémoire de forme double sens assisté dans un Alliage à Mémoire de Forme



Etudiants :

Yan CAI

Sarah EL KHATIB

Gautier REUX

Emma CHANCÉ

Élodie MULLER

Yang XU

Enseignant-responsable du projet :

Benoît VIEILLE

Date de remise du rapport : **15/06/2015**

Référence du projet : **STPI/P6/2015 – 10**

Intitulé du projet : ***Effet mémoire de forme double sens assisté dans un Alliage à Mémoire de Forme***

Type de projet : ***expérimental, bibliographique***

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

Dans un premier temps, l'objectif de ce projet était de nous familiariser avec le domaine de la résistance des matériaux. Pour cela, nous avons étudié la notion de contrainte et déformation, ainsi que les différentes sollicitations. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux propriétés des Alliages à Mémoire de Forme (AMF) afin de mettre en évidence l'effet mémoire de forme double sens assisté (EMFDSA) sur un ressort en AMF.

Mots-clefs du projet (4 maxi) : AMF, EMFDSA, contrainte, déformation.

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : /

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	6
2. Méthodologie / Organisation du travail	7
3. Travail réalisé et résultats	8
3.1. Eléments théoriques.....	8
3.1.1. Contrainte, déformation et sollicitations	8
3.1.2. Alliages à mémoire de forme.....	9
3.2. Etude expérimentale	12
3.2.1. Montage et matériel	12
3.2.2. Protocole expérimental.....	13
3.2.3. Résultats.....	15
4. Conclusions et perspectives.....	20
4.1. Conclusions sur le travail réalisé	20
4.2. Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet	20
4.3. Perspectives d'évolution.....	21
5. Bibliographie/ Crédits d'illustration	22
6. Annexes.....	23

NOTATIONS, ACRONYMES

AMF :	Alliage à Mémoire de Forme
A_s^0 :	Austenite start
A_f^0 :	Austenite finish
Cu-Al-Be :	Cuivre- Aluminium- Béryllium
EMFDSA :	Effet Mémoire de Forme Double Sens Assisté
M_s^0 :	Martensite start
M_f^0 :	Martensite finish



1. INTRODUCTION

Le projet physique P6 a pour but, d'une part, de nous faire travailler en groupe ; aspect essentiel du métier d'ingénieur vers lequel nous évoluons, et d'autre part, d'utiliser nos connaissances acquises au cours de nos deux années d'étude en STPI. Pour cela, nous avons choisi de travailler sur le sujet de l'effet mémoire de forme double sens assisté dans un alliage à mémoire de forme.

Nous avons choisi ce sujet car il nous fait découvrir des notions inconnues jusqu'à lors sur la résistance des matériaux ; connaissances qui nous seront utiles dans nos années futures. Il nous a permis de découvrir les propriétés particulières et intéressantes des alliages à mémoire de forme ; matériaux qui sont utilisés dans de nombreux domaines (biomédical, aérospatial, automobile...).

Afin d'évoluer vers la mise en œuvre expérimentale de notre projet, nous avons d'abord dû passer par un certain nombre d'étapes. Une étude théorique préalable était nécessaire à la compréhension de notre sujet et à l'élaboration de l'étude expérimentale. Ce projet permet donc de mettre en évidence expérimentalement les connaissances théoriques que nous avons assimilées au cours des premières séances sur les alliages à mémoire de forme.



2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Pour effectuer ce projet nous avons réparti le travail au sein de notre groupe de six, et ce, tout au long du semestre.

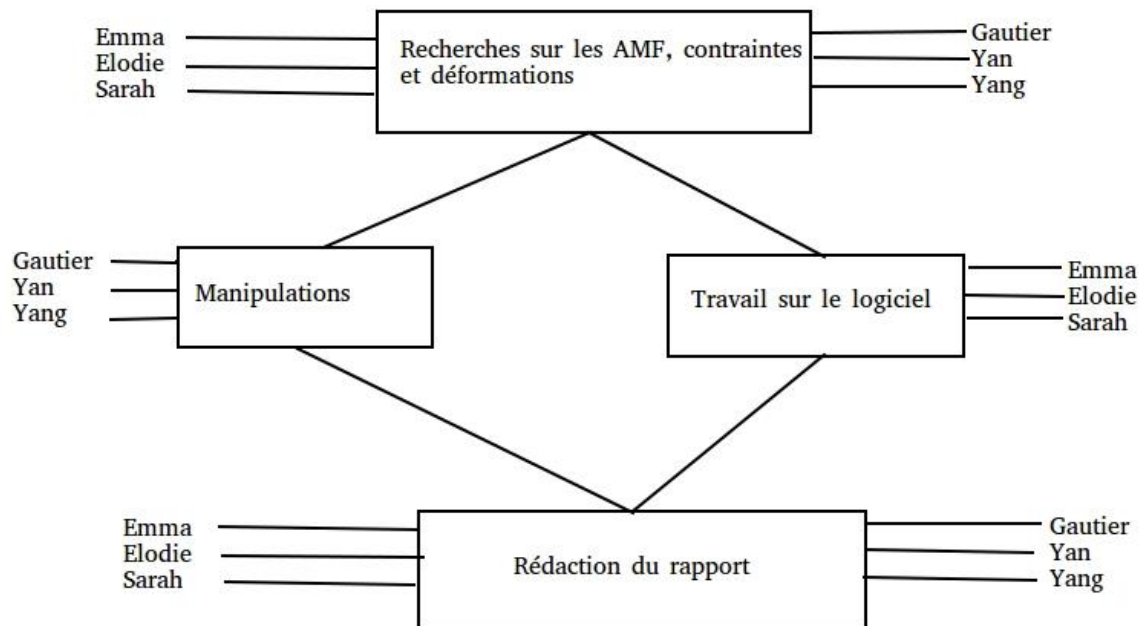
En premier lieu nous avons effectué un travail de recherches afin de comprendre ce qu'est un AMF, ainsi que les notions de contraintes et de déformations associées aux matériaux. Chacun cherchait des documents, des livres ou encore des sites en rapport et les faisait parvenir à l'ensemble du groupe par l'intermédiaire de Dropbox, afin de permettre à tous de se tenir au courant de l'avancement et de ne pas rechercher à nouveau ce qui avait déjà été fait.

En parallèle, lors des premières séances, notre enseignant-responsable de projet, Monsieur Benoît Vieille, nous a présenté le sujet sous la forme d'un cours pour que nous puissions avoir les connaissances de base sur la résistance des matériaux et les propriétés des AMF.

Ensuite, en ce qui concerne les expériences, nous avons fait, dans un premier temps, deux sous-groupes. De ce fait, trois personnes se sont occupées des mesures en manipulant le montage afin d'obtenir des résultats expérimentaux pendant que les trois autres ont cherché à comprendre et utiliser le logiciel de simulation afin d'avoir des résultats théoriques. Dans un second temps, à l'approche de la date butoir, nous avons séparé notre groupe en trois sous-groupes afin d'avancer sur le rapport.

Concernant le rapport, nous l'avons séparé en six sous-parties afin que chacun rédige un peu du rapport et s'y investisse. Puis, chacun a relu le dossier complet afin de rajouter ou modifier certaines parties dans le but de le rendre plus clair, plus complet. Ainsi les recherches de documentation ont été faites par tous les membres du groupe et les expériences ont été séparées pour que tous y participent ; que ce soit dans la manipulation ou la stimulation grâce au logiciel.

La communication est un point clé au bon déroulement de la réalisation de notre projet. Par conséquent, en chaque début de séance nous avons fait le point sur notre avancée dans le projet et sur ce qu'on allait faire au cours de la séance. De même, en fin de séance, nous décidions de ce qui était à faire pour la séance prochaine. Ainsi, chaque membre du groupe était au courant du déroulement du projet.



3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

3.1. Eléments théoriques

3.1.1. *Contrainte, déformation et sollicitations*

En mécanique des matériaux, on retrouve très souvent les notions de contrainte et déformation.

La contrainte représente une pression appliquée à un point donné d'un matériau. Au cours de ce projet, la contrainte est modélisée par différentes masses appliquées sur nos ressorts en AMF. Elle est définie par :

eq 1. $\sigma = F/S$ [MPa]

Avec F : Force [N] et S : Surface [m²]

La déformation représente la variation des positions relatives d'un point donné. Elle est définie par :

eq 2. $\epsilon = \Delta l/l_0$

Avec Δl : Variation de longueur et l_0 : Longueur initiale

Ces deux notions sont liées par la Loi de Hooke :

eq 3. $\sigma = E.\epsilon$

Avec E : Module de Young (caractérise la raideur du matériau)

On peut observer deux types de comportements :

- **Elastique** : le domaine élastique est le domaine de déformation du matériau dans lequel les déformations engendrées par des actions mécaniques s'annulent si l'on supprime ces actions mécaniques.
- **Plastique** : Le domaine plastique est le domaine de déformation du matériau dans lequel, si l'on supprime les actions mécaniques, il reste des déformations résiduelles.

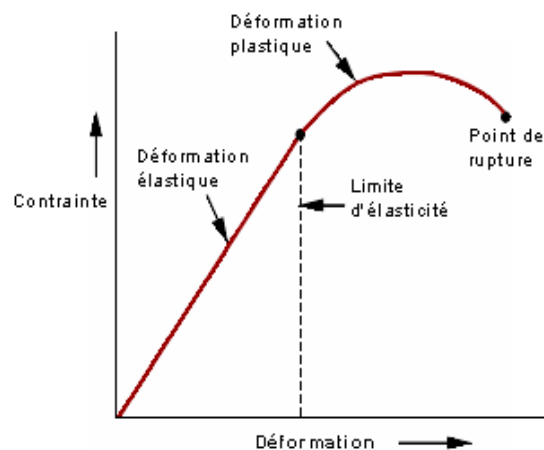


Figure 1 : Contrainte en fonction de la déformation



La limite d'élasticité permet de délimiter un comportement élastique et un comportement plastique.

La pente de la portion de droite correspondant au domaine élastique est le Module de Young E.

Ajouté à cela, les matériaux peuvent subir différents types de sollicitations. On retrouve notamment la traction, la compression, le cisaillement, la torsion et la flexion. Dans le cadre de notre projet, nous nous intéressons essentiellement à la notion de compression.

Par définition, la compression est une sollicitation par effort normal aux sections droites de la poutre¹. On retrouve alors la contrainte :

eq 1.2. $\sigma_N = N/S$

Avec N : Effort normal [N] et S : Surface d'application [m²]



3.1.2. Alliages à mémoire de forme

3.1.2.1. Historique²

La découverte des premiers alliages à mémoire de forme remonte à 1938. Néanmoins, malgré cette découverte, ceux-ci furent longtemps ignorés des industriels, et restèrent de nombreuses années considérés comme une curiosité scientifique.

L'appellation « Alliage à mémoire de forme » est due à une caractéristique tout à fait particulière de ces métaux, et est mise en évidence pour la première fois par le chercheur suédois Arne Olander. En effet, les métaux classiques, lorsqu'ils sont soumis à une déformation extérieure qui dépasse leur limite élastique, se déforment de façon permanente, même après suppression de la contrainte. Ce n'est pas le cas des AMF, qui eux, adaptent un autre comportement. A basse température, un AMF peut subir une déformation plastique qu'il est possible d'annuler par simple chauffage. C'est cette propriété singulière qui peut être qualifiée de « mémoire de forme ».

¹ <http://www.iut-acy.univ-savoie.fr/fileadmin/DUT/MPH/fichiers/semestre3/SPM2-resistance-des-materiaux-2010-2011.pdf>

² http://fr.wikipedia.org/wiki/Alliage_%C3%A0_m%C3%A9moire_de_forme



Ce n'est qu'en 1962 que le vrai potentiel des AMF fut pleinement compris et exploité, et ce à l'occasion de la découverte d'un effet mémoire de forme dans un alliage de nickel-titane par Buehler et Wiley. Depuis, de nombreux alliages de ce type ont été développés, les plus connus étant les alliages Cu-Al-Ni et Cu-Al-Zn. Durant les vingt dernières années, l'intérêt pour les AMF en industrie n'a fait que croître et leurs applications n'ont eu de cesse de se multiplier. Parmi les plus importantes, on peut citer les pare-chocs de voiture.

Pour notre projet, nous utilisons des ressorts en AMF qui sont faits d'un alliage de Cu-Al-Be.

3.1.2.2. Propriétés³

Outre leur mémoire, les AMF possèdent d'autres spécificités tout à fait remarquables. L'ensemble des propriétés tire sa source de la transformation de phase thermoélastique durant laquelle une phase mère, appelée austénite, donne naissance, de façon réversible, à une phase martensitique sous l'effet d'une variation de température et/ou sous l'application d'une contrainte mécanique.

De cette transformation découlent cinq propriétés essentielles des AMF :

- Effet de mémoire simple
- Effet de mémoire double
- Effet super élastique
- Effet caoutchoutique
- Effet d'amortissement

Nous nous intéresserons uniquement aux deux premières dans le cadre de ce projet.

De manière générale, on peut définir l'austénite comme la phase stable à haute température tandis que la martensite, plus stable à basse température, est la phase obtenue lorsque l'austénite subit une transformation martensitique.

La transformation martensitique est un changement de phase à l'état solide de par une modification du réseau cristallin. Cette modification se fait de façon quasi-instantanée.

En fonction de l'avancement de la réaction, les deux phases peuvent se trouver simultanément au sein de la matière. Au cours d'un tel type de transformation, un élément de volume subit une déformation caractérisée par une faible variation de volume et un cisaillement dans une direction préférentielle. Les variables thermodynamiques externes pouvant alors influencer sur le système sont la température et la contrainte (dans notre cas, la contrainte en compression).

Soit σ la contrainte et T la température. Lors d'une étude thermodynamique d'une réaction de transformation martensitique, il est alors possible de déterminer si une telle réaction peut avoir lieu et, le cas échéant, de trouver les domaines de stabilité de la martensite et de l'austénite.

On définit selon la norme NF A 51-080 relative aux AMF :

- Le point M_s^0 : la température d'apparition de la martensite au cours du refroidissement d'un AMF austénitique.

³ http://www.materiatech-carma.net/html/pdf/RapportAMF_CARMA.pdf



- Le point M_f^0 : la température pour laquelle toute trace de phase austénitique a disparu, l'AMF étant devenu martensitique à 100 %.
- Le point A_s^0 : la température d'apparition de l'austénite au cours du réchauffage d'un matériau martensitique.
- Le point A_f^0 : la température pour laquelle toute trace de phase martensitique a disparu, l'AMF étant devenu austénitique à 100 %.

Toutes les températures citées ci-dessus peuvent être affectées de l'exposant σ . Elles correspondent alors aux températures définies plus haut sous la contrainte spécifiée.

Un alliage classique (aluminium, acier...), lorsqu'il est soumis à un essai de traction, subit une déformation plastique persistante même après la fin de l'expérience et le retrait de la contrainte (cette déformation peut aller de quelques pourcents à quelques dizaines de pourcents). Un AMF, quant à lui, s'il est à l'état complètement martensitique (donc $T_0 < M_f$, état complètement martensitique), il peut subir une déformation plastique du même type que le métal précédemment cité. Cependant, à la différence de celui-ci, l'AMF est capable de retrouver exactement sa forme initiale par simple chauffage à une température T_1 ($A_f < T_1$, on revient donc à l'état austénitique).

3.1.2.3. Effet mémoire de forme double sens assisté⁴

L'effet mémoire de forme double sens assisté est le passage réversible d'une forme haute température à une forme basse température sous contrainte constante (force de rappel). Le rôle de cette force est de ramener le matériau dans sa forme basse température lors du refroidissement.

A $T > A_f$, on applique une contrainte constante qui produit une déformation purement élastique. Au refroidissement, il apparaît des variantes orientées par la contrainte appliquée. Ces variantes provoquent une déformation importante dans le même sens que la contrainte. Au chauffage, en phase austénitique, cette déformation disparaît. Au refroidissement, la martensite apparaît à la température M_s ; croissante avec la contrainte.

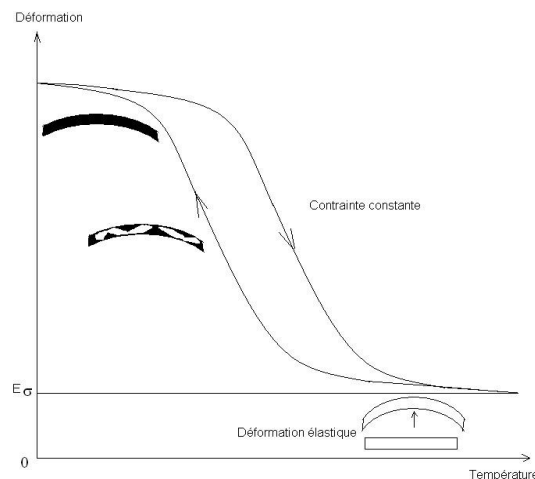


Figure 2 : Effet mémoire de forme double sens assisté des AMF

⁴ <http://lab.univ-batna.dz/lepcm/images/files/magister/sce0052.pdf>



3.2. Etude expérimentale

3.2.1. Montage et matériel

3.2.1.1. Méthode pour obtenir les signaux du thermocouple

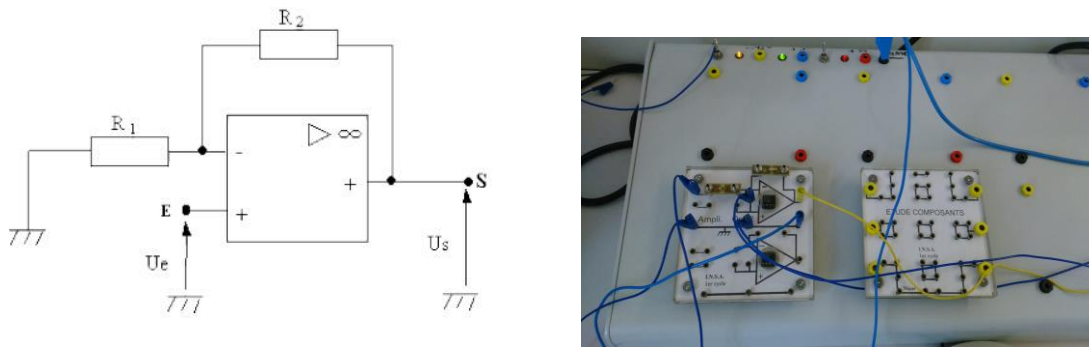


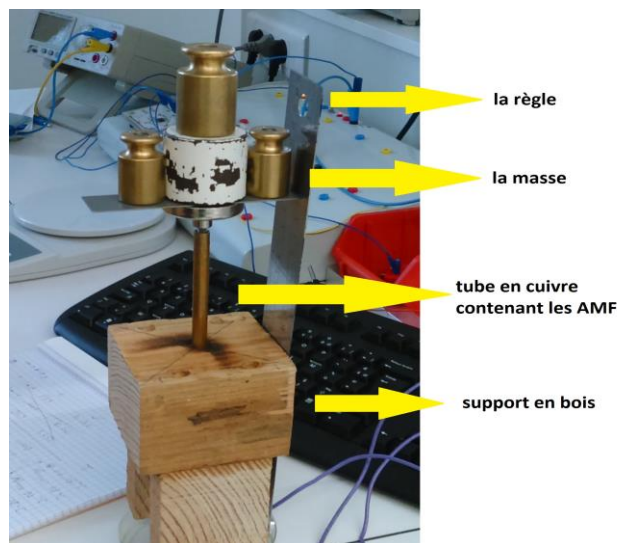
Figure 3 : Circuit amplificateur

Relation entre U_e et U_s :

eq 4.
$$U_s = (1 + R_2/R_1) U_e$$
 avec $R_1 = 100 \Omega$ et $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$

Dans cette expérience on utilise le circuit ci-dessus pour obtenir la tension que l'on mesure grâce au thermocouple. Comme la tension initiale est très faible, on l'amplifie 1000 fois pour obtenir une courbe exploitable sur synchronie.

3.2.1.2. Le support pour les ressorts en AMF



3.2.2. Protocole expérimental

3.2.2.1. Détermination des températures de transformations

La première étape de notre étude expérimentale est de déterminer les températures de transformations A_s^0 , A_f^0 , M_s^0 et M_f^0 . En effet, ces valeurs nous sont indispensables à la simulation sur logiciel.

Par conséquent, à charge constante :

- A l'aide du pistolet thermique, chauffer le tube en cuivre jusqu'à ce que les ressorts atteignent leur déformation maximale.
- Refroidir le tube à l'aide de la seringue d'eau froide.
- Relever le temps et la mesure dès que les ressorts commencent à se détendre, quand ils ne bougent plus, quand ils commencent à se re-comprimer et quand ils ont atteint leur mesure initiale.
- Lire les temps et la tension correspondants sur synchronie et en déduire la température.

M_f^0 : Température lorsque les ressorts sont comprimés

A_s^0 : Température lorsque les ressorts commencent à se détendre

A_f^0 : Température de fin de transformation

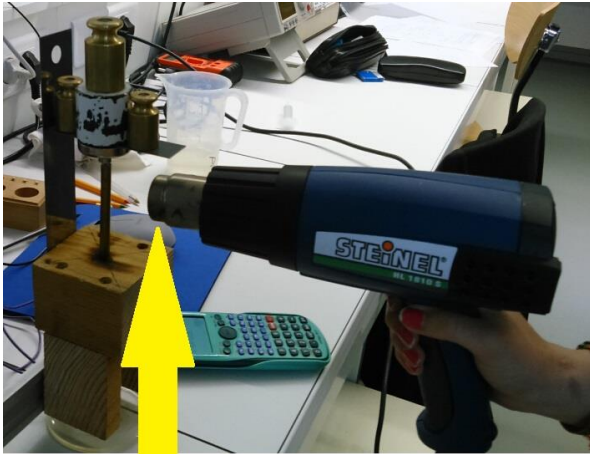
M_s^0 : Température lorsque les ressorts se re-compriment sous l'effet de la masse

3.2.2.2. Mise en évidence de l'effet mémoire de forme double sens assisté

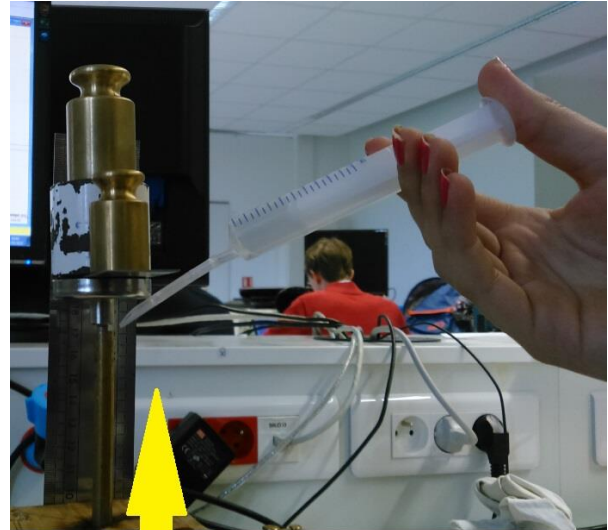
La deuxième étape de notre étude expérimentale consiste à mettre en évidence l'effet mémoire de forme double sens assisté.

- A l'aide du pistolet thermique, chauffer le tube en cuivre jusqu'à ce que les ressorts atteignent leur déformation maximale.
- Relever 4 mesures de déformations.
- Refroidir le tube à l'aide de la seringue d'eau froide.
- Relever 4 mesures de déformations.



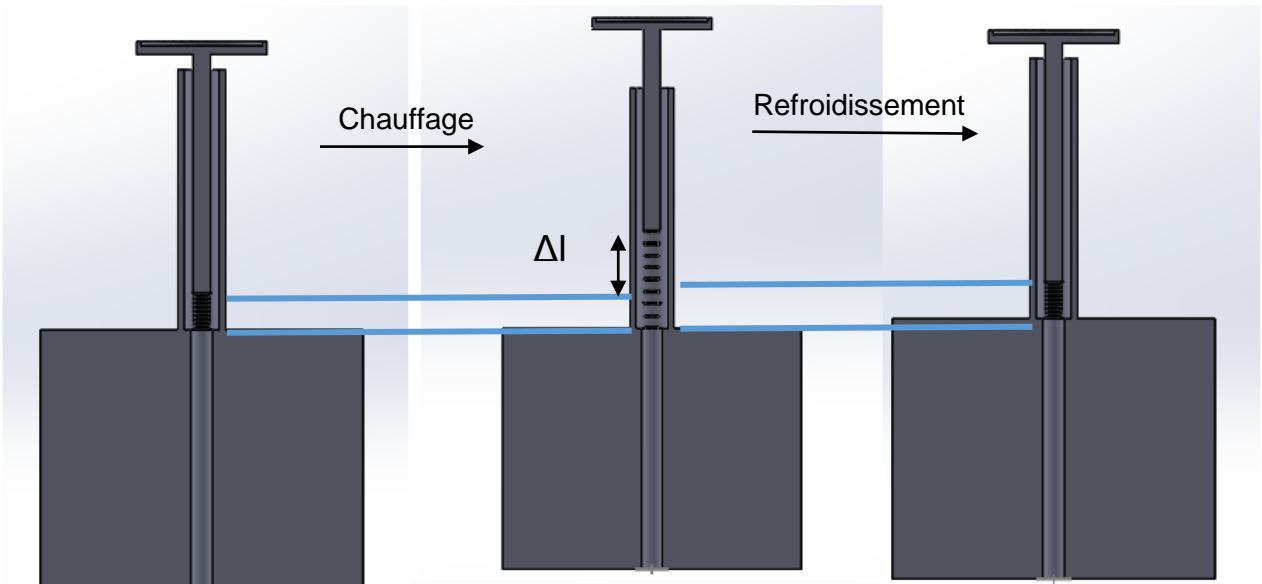


chauffage au niveau
du tube en cuivre



Eau injectée sur les ressorts

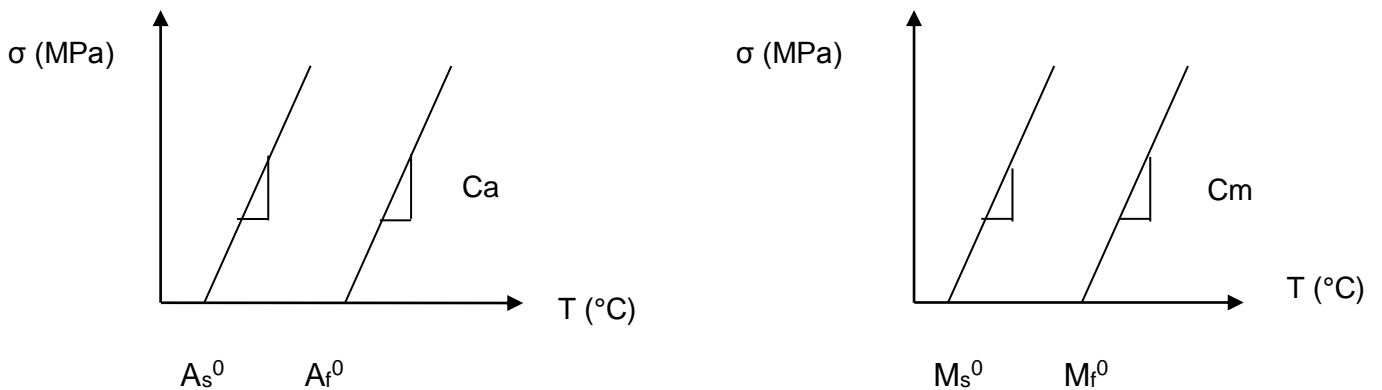
On recommence ces étapes avec différentes charges puis on trace la déformation en fonction de la température ; courbe que nous pourrons alors comparer à celle obtenue par le logiciel.



3.2.3. Résultats

3.2.3.1. Logiciel de simulation

Afin de comparer nos résultats expérimentaux, nous avons à notre disposition un logiciel de simulation. Pour cela, nous avons dû fournir les températures de transformation, les propriétés des ressorts en Cu-Al-Be, ainsi que d'autres données telles que les pentes Ca et Cm représentées ci-dessous :



Pour les calculer on utilise :

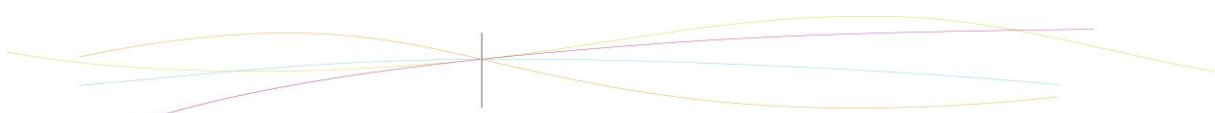
eq 5. $Ca = (\sigma - \sigma_0) / (A_s^\sigma - A_s^0)$ et $Cm = (\sigma - \sigma_0) / (M_s^\sigma - M_s^0)$

Avec comme valeur de contrainte :

eq 6. $\sigma = [(16 F D \sin(\alpha)) (1 + 1/4 d/D)] / \pi d^3$

- Avec D : diamètre du ressort
- d : diamètre du fil
- $\alpha = \text{Arctan}(m/dD)$ avec m : distance entre 2 fils
- F = mg : force appliquée

Initialement, après avoir rentré toutes les valeurs initiales, la courbe obtenue ne correspondait pas à nos attentes. Après réflexion, la source d'erreur semblait provenir des coefficients Ca et Cm. Comme nous avons des valeurs différentes, nous avons fait l'hypothèse que, pour une modélisation, les coefficients devraient être égaux.



Nous avons ainsi obtenu la courbe suivante :

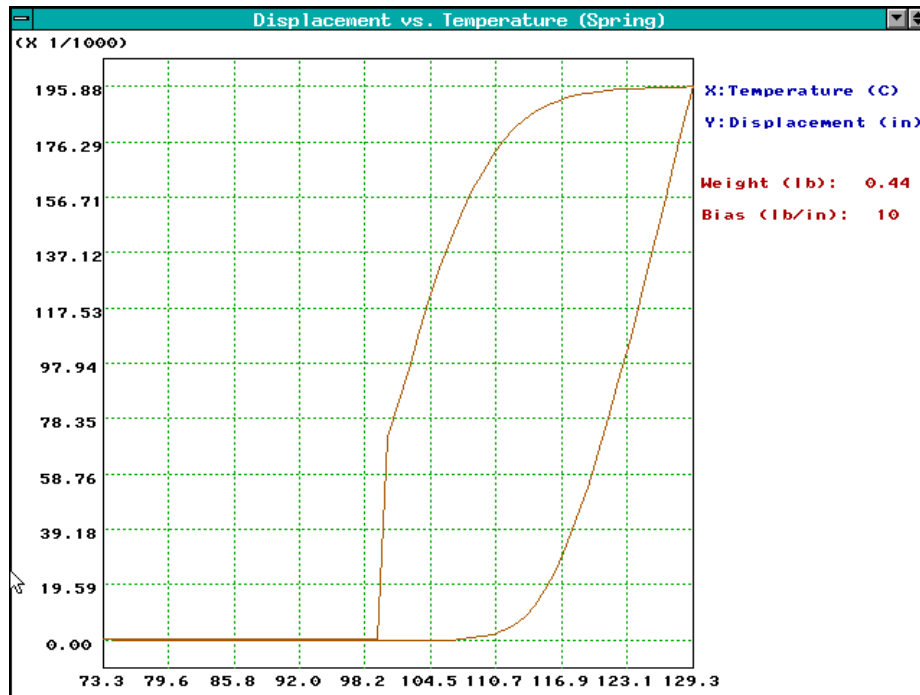


Figure 4 : Déformation en fonction de la température

3.2.3.2. Résultats expérimentaux

3.2.3.2.1. Etude préalable

L'objectif de l'expérience est de déterminer la déformation des deux ressorts en AMF dont nous disposons, faits d'un alliage de cuivre-aluminium-béryllium en fonction de la température. Il ne nous était pas possible d'utiliser directement un thermomètre car le montage utilisé ne le permettait pas. Nous avons donc utilisé un thermocouple de type K. Un thermocouple exploite une propriété des matériaux qui le composent : l'effet Seebeck ($dV=S_{a/b}.dT$ où $S_{a/b}$ est appelé coefficient de Seebeck, et varie en fonction de la nature des matériaux utilisés).

Il était dans un premier temps nécessaire de déterminer le coefficient K afin de déduire les températures des valeurs lues sur Synchronie. Pour cela, nous avons chauffé simultanément le thermocouple et un thermomètre à l'aide du pistolet thermique, puis nous avons relevé à plusieurs instants les valeurs de température et de tension associées (après amplification). Nous en avons déduit la relation suivante, que nous avons utilisée durant nos expériences :

eq 7. $U = K.T$ avec $K = 0,05 \text{ V. } ^\circ\text{C}^{-1}$



3.2.3.2.2. Résultats

Nous avons effectué plusieurs séries de mesures afin de déterminer entre autre les températures de transformation mais aussi mesurer la température à laquelle une certaine déformation était atteinte et ce pour différentes masses. Au total nous avons réuni 9 séries de données comprenant :

- 3 séries de mesures pour une masse de 220g (considérée comme série de référence avec $\sigma = 0$)
- 3 séries de mesures pour une masse de 420g (ajout d'un poids de 200g à la masse de base)
- 3 séries de mesures pour une masse de 669g (ajout d'un poids de 449g à la masse de base)

Les mesures nécessitent au moins deux personnes : une s'occupant de chauffer le tube en cuivre contenant les ressorts puis de le refroidir à l'aide de la seringue remplie d'eau et une notant le temps aux différents points de transformation ainsi qu'aux valeurs de déformations prévues.

Masse(g)	0			200			449		
Expérience N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
As σ (°C)	98,56	104,58	97,98	104,44	111	106,48	108,2	103,74	112,88
Af σ (°C)	128,02	126,96	141,24	134,7	123,74	130,06	140,9	130,16	131,76
Ms σ (°C)		115,04	111,36		111,04	117,84	114,42	115,28	116,48
Mf σ (°C)		74,34	78,28			59,94	75,36	88,26	83,44

Figure 5 : Points de transformations observés durant les différentes expériences

Ces valeurs ont permis de calculer pour chaque masse les moyennes pour chaque point de transformation :

Moyennes(°C)/ M	0	200	449
As σ	100,37	107,31	108,24
Af σ	132,07	129,9	134,27
Ms σ	113,2	114,44	115,39
Mf σ	76,31	-	82,35

Figure 6 : valeurs moyennes des différents points de transformations





Figure 7 : Tension en fonction du temps, pour une masse de 200g

Les phases de chauffage et de refroidissement sont bien visibles. Ces courbes ne sont pas très pertinentes en l'état puisque le temps n'est pas un facteur déterminant du phénomène. Cependant, il est nécessaire d'y relever les valeurs de tension aux moments importants afin d'en déduire les valeurs de températures associées.

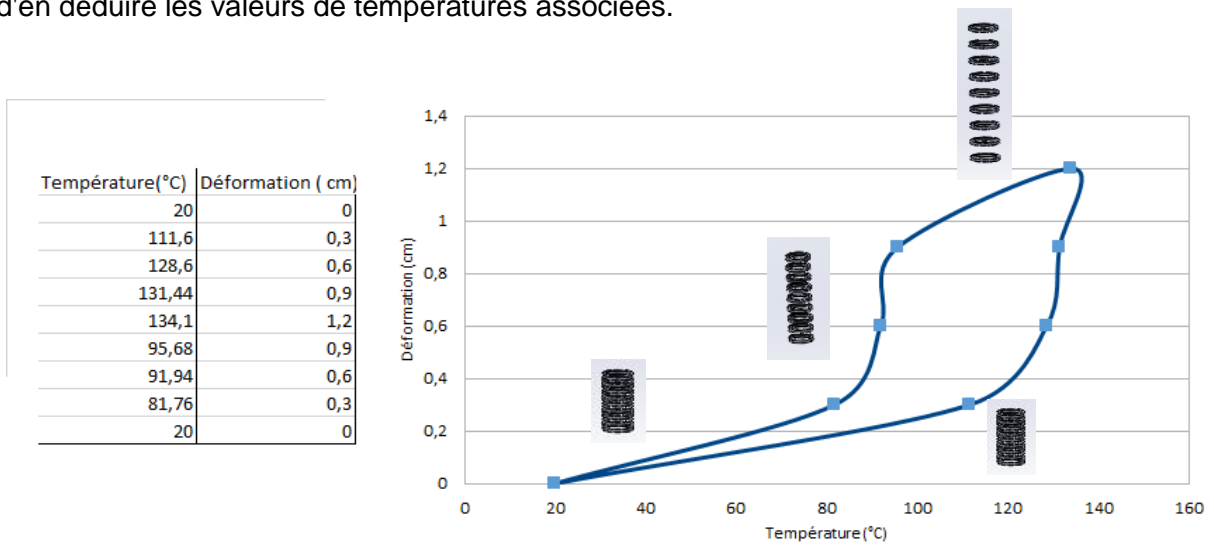


Figure 8 : Déformation en fonction de la température, pour une masse de 200g

3.2.3.2.3. Analyse des résultats

Plusieurs conclusions peuvent être dégagées de ces séries de mesures.

Premièrement, on remarque que, comme l'avait prédit le graphique, l'augmentation de la contrainte normale implique une augmentation des valeurs de températures au niveau des points de transformations (observable au niveau du tableau des valeurs moyennes).



Les valeurs expérimentales pour les points de déformations concordent plutôt bien : par exemple 106°C pour A_s^0 en théorie et 100°C environ expérimentalement, soit 6 % d'erreur relative.

Les mesures de début de transformation austénitique et martensitique sont en général plus précises (plus faible écart type) que celles de fin de transformation. Cela est dû au fait que les débuts de transformation sont souvent assez brutaux et facilement visibles à l'œil nu. Au contraire, la fin de transformation est en générale plus lente : le moment où l'on s'aperçoit que la transformation est finie suit parfois de plusieurs secondes sa fin réelle, et donc entraîne une perte conséquente de précision.

Le lissage approximatif de la courbe réalisé par le logiciel ne rend pas compte de la réalité du phénomène, même si on peut apercevoir aisément les deux phases du phénomène d'effet mémoire double sens : la partie inférieure croissante correspondant à la transformation austénitique et la partie supérieure croissante correspondant à la transformation martensitique. Les valeurs de température ne font qu'augmenter durant la transformation austénitique (contrairement à ce qui peut être exploité grâce au graphique aux alentours de 130°C). De la même manière, les valeurs de température ne font que diminuer lors de la transformation martensitique (aux alentours de 95°C).

L'aspect général de la courbe reste assez proche de celui obtenu théoriquement par le logiciel. Une plus grande quantité de point aurait certainement permis de tracer des courbes présentant des angles plus marqués et donc plus proches du modèle, cependant la rapidité du phénomène rend l'acquisition d'un grand nombre de valeurs délicat.

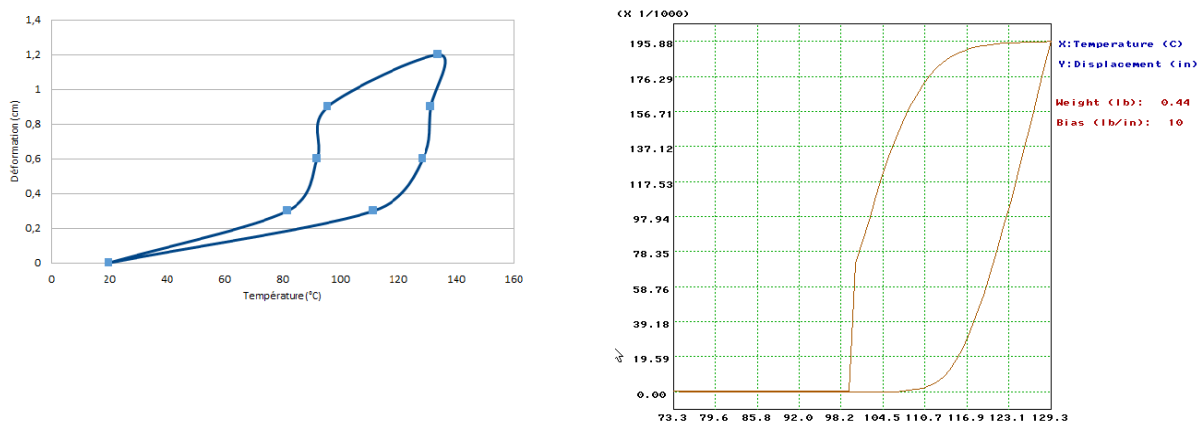
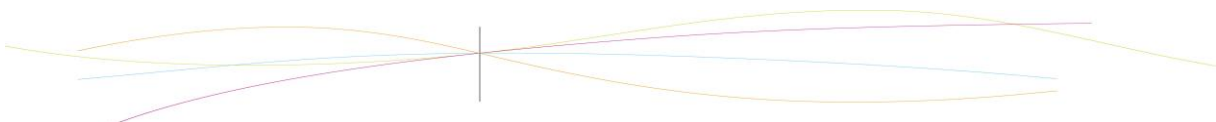


Figure 9 : Comparaison de la courbe expérimentale et théorique



4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

4.1. Conclusions sur le travail réalisé

Au cours de ce projet, nous avons pu mettre en évidence l'effet mémoire de forme double sens assisté des AMF. En effet, le montage utilisé nous a permis d'une part d'appliquer différentes contraintes sur les ressorts et d'autre part d'être en mesure de montrer l'influence de la température sur les comportements des ressorts. Ainsi, les courbes que nous avons obtenues à partir des séries de mesures effectuées correspondent à la courbe théorique donnée par le logiciel.

L'entente au sein du groupe a été très bonne, chacun s'investissant et faisant de son mieux afin d'apporter sa pierre à l'édifice. Nous aimerions souligner aussi la bonne communication dont nous avons su faire preuve, via Facebook et Dropbox notamment. Cet EC est aussi une parfaite opportunité de développer notre esprit d'équipe, notre sens de l'organisation ainsi que notre réflexion et notre persévérance.

Nous tenons à remercier M. Vieille pour son sens de l'écoute et sa disponibilité. A chaque fois que nous en avons besoin, il n'a pas hésité à prendre le temps de nous expliquer et nous conseiller; ce qui nous a permis d'évoluer au cours du projet et d'appréhender convenablement le sujet des AMF.

4.2. Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet

Elodie :

Malgré mon choix de la chimie pour l'an prochain j'ai pu découvrir une fonction intéressante de certains matériaux. En effet j'ai pu remarquer que les AMF pouvaient retrouver leur forme grâce à la chaleur. Cela m'a aidée à me renseigner sur d'autres sujets que ceux de la chimie. J'ai pu ouvrir mon esprit à d'autres domaines et j'ai bien aimé voir ce phénomène avec les expériences sur les ressorts.

Emma :

J'ai trouvé ce projet très intéressant car il m'a fait découvrir des notions de bases sur la mécanique des matériaux et de faire un lien avec la thématique Mécanique que je suis actuellement. J'avais choisi ce sujet par curiosité puisque l'intitulé m'était complètement inconnu. Cependant, je ne regrette pas de l'avoir choisi car il m'a permis d'une part d'assimiler des connaissances sur les alliages à mémoire de forme ; matériaux passionnants de par leurs propriétés, et d'autre part de me conforter dans mon choix de département futur.

Gautier :

J'étais de prime abord sceptique à propos de ce sujet puisqu'il n'était pas dans les choix que j'avais indiqués dans la liste de vœux. Cependant, ce sujet sur les matériaux m'a paru intéressant lorsqu'on me l'a proposé peu après car je souhaite m'orienter vers le génie civil. C'est cela qui m'a fait choisir ce thème des AMF parmi les autres thèmes proposés.

Cela fut un plaisir de travailler avec des personnes qui n'ont pas compté leurs heures afin que le projet avance de façon significative de séance en séance.



Sarah :

Cet EC de projet P6 m'a été très enrichissant. Il m'a dans un premier temps permis de découvrir des notions que je n'aurais pas forcément rencontrées plus tard et qui sont pour le moins extrêmement intéressantes. En effet, avant d'avoir participé à ce projet, je n'aurais jamais même suspecté l'existence de matériaux ayant des propriétés aussi particulières que celles des AMF.

Un autre aspect que j'ai également apprécié dans ce projet est le fait de se retrouver confrontés, avec mes camarades, à un problème concret. En outre, je trouve la présence d'un tel EC dans le cursus absolument essentielle car il représente une nouvelle occasion, – en plus des travaux pratiques d'autres matières-, de se familiariser avec la résolution de cas mêlant des notions théoriques et surtout pratiques.

Yan :

Au début, j'ai été content de pouvoir participer à ce projet sur les AMF parce qu'il était dans les choix que j'avais indiqués dans ma liste de vœux. Il m'a bien intéressé et le professeur M. Vieille, qui m'a appris le cours de P1, est très gentil et patient. Ce projet ne m'a pas seulement enseigné la connaissance des AMF, mais a aussi amélioré ma capacité de coopération. Je suis heureux de travailler dans un groupe où l'entente est très bonne. Nous avons bien communiqué et chacun a fait son propre travail avec effort.

Yang :

Grâce à ce projet, j'ai acquis beaucoup de connaissances concernant les AMF. Avant, je connaissais juste quelques propriétés des alliages à mémoire, mais après cette expérience de travail et de recherche sur les AMF de notre groupe, on a vu la réaction Martensitique-Austénitique et les caractéristiques de façon plus précise. Je pense que ça nous aide beaucoup pour entrer dans le monde de la science de matériaux. De plus, ce projet nous a aussi permis d'effectuer une démarche scientifique au sein d'un groupe, c'était vraiment une expérience précieuse pour moi.

4.3. Perspectives d'évolution

Ce projet s'est centré sur une des propriétés particulières des AMF. Néanmoins, les AMF possèdent d'autres propriétés telles que la super élasticité, l'effet caoutchoutique ou encore l'effet d'amortissement. Par conséquent, l'étude des AMF peut être abordée d'une autre façon que celle de notre projet, en s'intéressant à la mise en évidence des ces propriétés.

De plus, il aurait aussi été intéressant de comparer le comportement des AMF de différents alliages.



5. BIBLIOGRAPHIE/ CREDITS D'ILLUSTRATION

Sites Internet :

[1] Alliages à Mémoire de Forme_ Historique

http://fr.wikipedia.org/wiki/Alliage_%C3%A0_m%C3%A9moire_de_forme

Documents PDF :

[1] Alliages à Mémoire de Forme

http://www.materiatech-carma.net/html/pdf/RapportAMF_CARMA.pdf

[2] Sollicitation simples :

<http://www.iut-acy.univ-savoie.fr/fileadmin/DUT/MPH/fichiers/semestre3/SPM2-resistance-des-materiaux-2010-2011.pdf>

[3] Effet mémoire de forme double sens assisté :

<http://lab.univ-batna.dz/lepcm/images/files/magister/sce0052.pdf>



6. ANNEXES

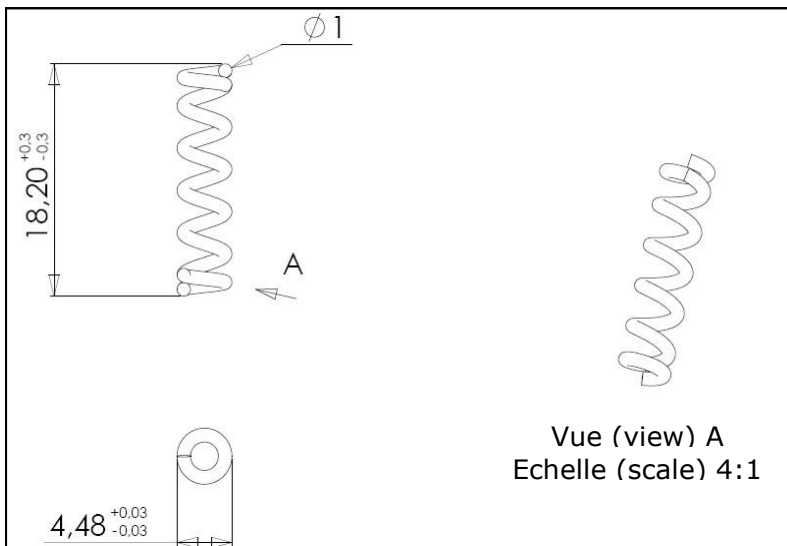


**FICHE DONNEES RESSORT
(Spring data sheet)**

Nimesis Technology
 14 rue Félix Savart
 57070 Metz - FRANCE
 tel./fax: +33 (0)3 87 74 26 87
 info@nimesistechnology.com
 www.nimesistechnology.com

Dimensions (dimensions):

Plan ressort libre (Free spring drawing) (mm):



Données ressort comprimé (spring constrict data):

Diamètre extérieur comprimé (outside diameter of the compressed spring) :

4.78mm +/- 0.03mm

Longueur ressort comprimé (length of the compressed spring) : **8.40 +/- 0.04 mm**

Nombres de spires (coil number) : **5,5 +/- 0,2 spires (coils)**

Spires rapprochées aux extrémités (squared ends)

Matériau (Material)

Alliage (Alloy)	Nickel-Titane (titanium nickel)
Diamètre fil (Wire diameter)	1 mm
Température de transformation (Temperature of transformation)	80 to 110°C



Propriétés	Unités	Ni-Ti	Cu-Zn-Al	Cu-Al-Ni	Cu-Al-Be
Point de fusion	°C	1260-1310	950-1020	1000-1050	970-990
Densité	Kg/m ³	6400-6500	7800-8000	7100-7200	7300
Résistivité électrique (aust-mart)	$\Omega \cdot m \times 10^{-6}$	0,5-1,1	0,7-0,12	0,1-0,14	0,07-0,09
Conductivité thermique à l'ambiante	W/(m.K)	10-18	120	75	
Coefficient de dilatation (aust-mart)	$10^{-6}K^{-1}$	6,6-10	17	17	
Chaleur spécifique	J/(Kg.k)	490	390	440	
Enthalpie de transformation	J/Kg	28000	7000	9000	7200
Module de Young	Gpa	95	70-100	80-100	90
Résistance à la traction	Mpa	800-1000	800-900	1000	900-1000
Allongement à rupture (en martensite)	%	30-50	15	8-10	15
Limite de fatigue en austénite	Mpa	350	270	350	
Taille de grain	μm	20-100	50-300	30-300	100-500
Domaine de transformation	°C	-100 à 100	-100 à 100	-100 à 170	-200 à 150
Hystérésis (A _s -M _s)	°C	20-40	10-20	20-25	20-25
Étalement (A _r -A _s)	°C	30	10-20	20-30	15-20
Déformation maximale: - mémoire simple effet - mémoire double effet	%	8	3-5	3-6	3-5
Cycle (N)= 10 ²		5	2	3	2
Cycle (N)= 10 ³		5	1	1,2	
Cycle (N)= 10 ⁷		2	0,8	0,8	
Température max. d'utilisation (1 heure)	°C	400	160	300	400
Déformation superélastique maximale: - polycristal - monocristal	%	4 10	2 10	2 10	3 10
Amortissement	SDC-%	15	30	10	
Résistance à la corrosion		Excellente	Moyenne	Bonne	Moyenne
Biocompatibilité		Bonne	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise

Tab. – Comparaison des propriétés des AMF les plus utilisés [VIE]

