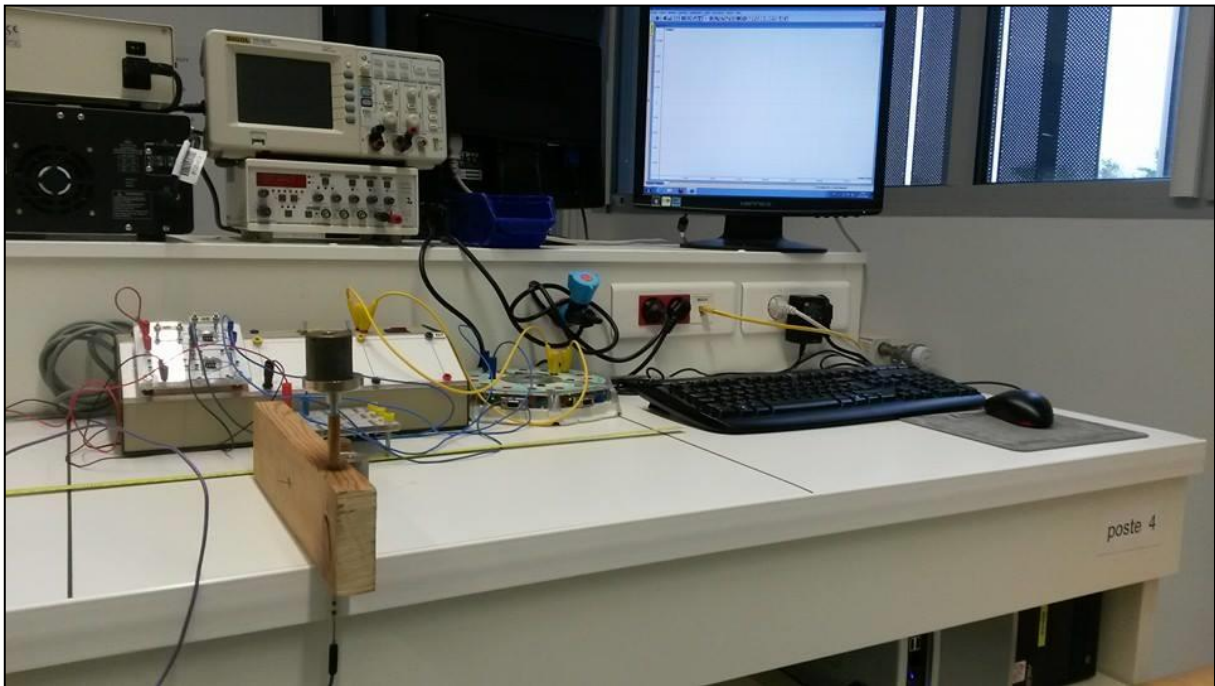


Projet de Physique P6

STPI/P6/2014 – 008

Étude des performances d'un actionneur en alliage à mémoire de forme



Etudiants :

Antoine DRUILHE

Adèle DUMAY

Adrien GONÇALVES

Julien LEFIEUX

Xin LU

Enseignant-responsable du projet :

Benoit VIEILLE



Date de remise du rapport : **16/06/2014**

Référence du projet : **STPI/P6/2014 – 008**

Intitulé du projet : Étude des performances d'un actionneur en alliage à mémoire de forme.

Type de projet : Bibliographique, expérimental, modèle.

Objectifs du projet:

- Découverte et compréhension des alliages à mémoire de forme (AMF) à l'aide de la résistance des matériaux.
- Utilité des AMF pour l'actionnement, qu'est-ce qu'un matériau intelligent ?
- Dimensionner, choisir un matériau AMF.
- Définir un protocole expérimental.
- Mettre en évidence la capacité d'actionnement.

Mots-clefs du projet:

- Alliage à mémoire de forme
- Capacité d'actionnement

TABLE DES MATIERES

1.	Introduction	6
2.	Méthodologie / Organisation du travail.....	7
2.1.	Carnet de bord	7
2.2.	Répartition des tâches au sein du groupe.....	9
3.	Travail réalisé et résultats.....	10
3.1.	Recherches.....	10
3.1.1.	Transitions de phase	10
3.1.2.	Différents alliages	11
3.1.3.	Propriétés thermomécaniques des AMF	12
3.1.4.	Évolution de ces propriétés	13
3.1.5.	Application des AMF - Actionnement	13
3.2.	Mise en évidence de l'effet mémoire simple sens	14
3.2.1.	Réalisation du démonstrateur	14
3.2.2.	Essais et résultats.....	16
	Conclusions et perspectives.....	18
3.3.	Apports personnels	18
3.4.	Conclusion générale	19
4.	Bibliographie	20
5.	Annexes	21
5.1.	Documentation technique	21
5.2.	Schéma du montage (vue en coupe)	22

NOTATIONS, ACRONYMES

AMF : Alliage à mémoire de forme

RDM : Résistance des matériaux

EMSS : Effet mémoire simple sens

EMDS : Effet mémoire double sens

PFD : Principe fondamental de la dynamique



1. INTRODUCTION

Ce projet a pour principal objectif de nous permettre de placer la résistance des matériaux au centre d'une démarche expérimentale, ici l'étude d'un nouveau type de matériau: les alliages à mémoire de forme.

Découverts pour la première fois en 1932, les AMF constituent un sujet d'étude unique. Leurs particularités ouvrent en effet des perspectives intéressantes. C'est la première fois que nous étudions un matériau intelligent, qui se déforme de façon réversible sous l'effet d'un changement de température. Or cette caractéristique pourrait se trouver être avantageuse dans le cas d'un actionneur, il serait peut-être possible de transformer facilement une variation de température en effort. On se demande donc ici quelle est l'utilité des AMF pour l'actionnement ? Qu'est ce qu'un matériau intelligent ?

Pour répondre à ces questions, nous avons défini un protocole expérimental, suivi par le dimensionnement et le choix du matériau. Ces deux dernières étapes n'ont pu être mises en place qu'après des recherches sur les AMF, leur découverte et leur compréhension, et quelques approfondissements de RdM, comprenant la prise en main de certains logiciels. Le dimensionnement et le choix du matériau ont été deux étapes primordiales pour mettre en évidence la capacité d'actionnement des AMF.

Nous avons donc effectué des essais, en chauffant des ressorts en alliage Nickel-Titane afin d'obtenir l'effort produit par ces derniers sous l'effet d'une température relativement haute. Ceci nous permet d'avoir une idée de l'étendue du potentiel de ces matériaux, dont les applications sont nombreuses et variées.



2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

2.1. Carnet de bord

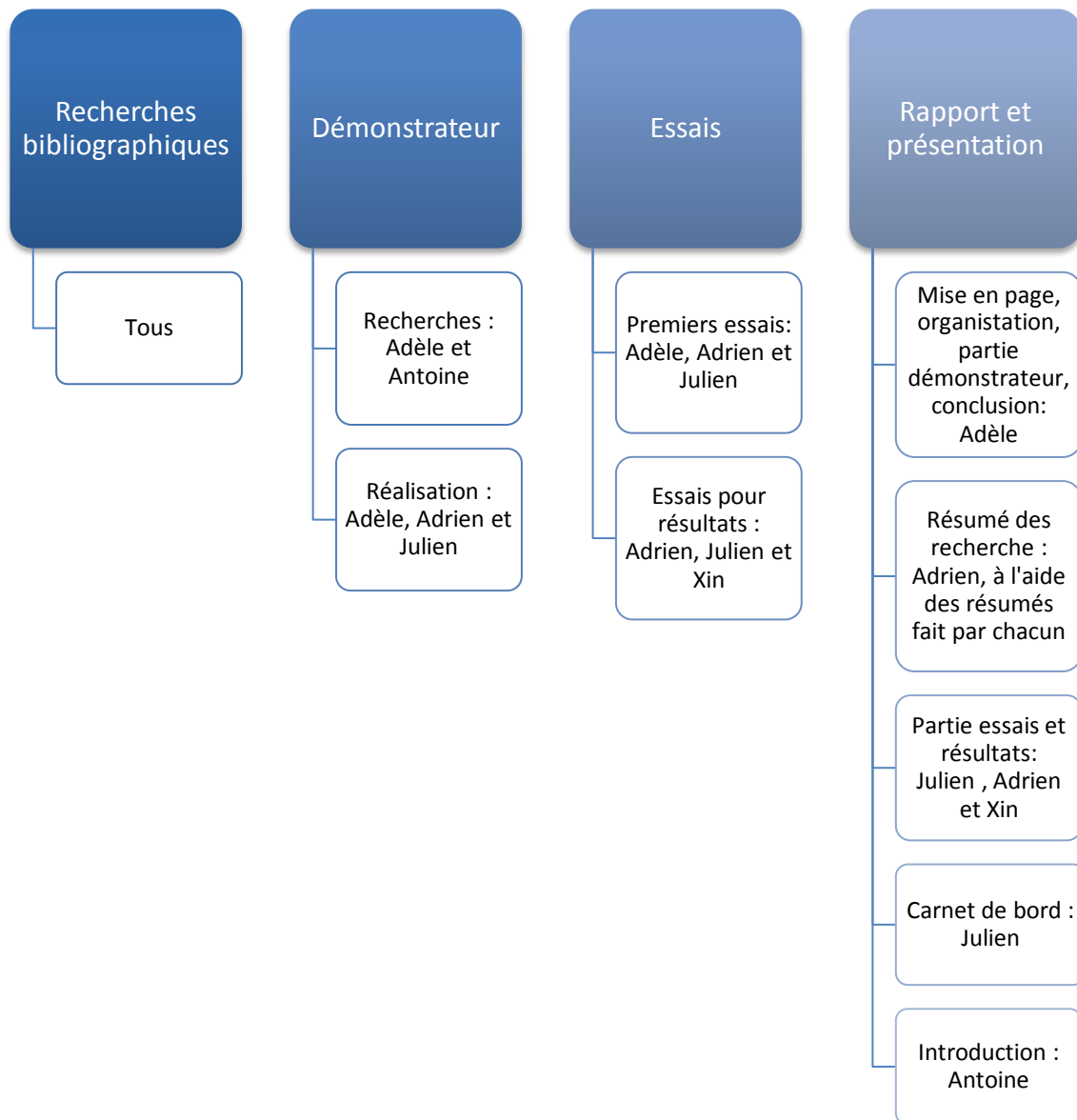
<i>Séance</i>	<i>Travail réalisé</i>
<i>Séance 1</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Présentation du projet : Evaluation des performances d'un actionneur en Alliage à Mémoire de Forme. • Détermination des objectifs
<i>Séance 2</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Recherches bibliographiques • Recherches sur la RdM, sur les AMF et sur les actionneurs
<i>Séance 3</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en commun des recherches • Prise en main du logiciel RDM 6 (simulation de sollicitations) • Compréhension de la démarche à suivre pour le dimensionnement du matériau AMF.
<i>Séance 4</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Découverte du logiciel SMA (Shape Memory Alloy) • Prise en main du logiciel, avec simulation pour un ressort en AMF, avec une contrainte provoquée par une masse. Visualisation de l'évolution de la déformation en fonction de la température.
<i>Séance 5</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Compréhension du système proposé par le logiciel SMA. Modélisation des forces (force de rappel des ressorts, et poids de la masse), pour appliquer le PFD et obtenir une équation différentielle par rapport au déplacement de la masse. • Mise en évidence du phénomène d'actionnement : On a accroché une masse à un ressort AMF, il s'est donc étiré, puis en chauffant avec un pistolet thermique, le ressort a repris sa forme initiale et a soulevé la masse. Tests pour l'EMF simple sens et double sens assisté. • Prochaines séances : faire des tests avec plusieurs masses, et donc plusieurs contraintes, et voir qu'elle est la contrainte maximale (=travail maximal) que peut fournir le ressort.



<i>Séance 6</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Réflexion pour améliorer le démonstrateur : faire travailler le ressort AMF en extension pour soulever une masse donnée • Mise en place de ce démonstrateur à l'aide d'un « rail » permettant de mettre en série les trois ressorts AMF
<i>Séance 7</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration du système précédent : meilleur précision dans le perçage des trous pour le thermocouple et le rail en cuivre • Visualisation de la fonction d'actionnement avec trois ressorts AMF et une masse. Temps de réponse un peu plus long (le temps que le tuyau en cuivre conduise la chaleur).
<i>Séance 8</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Expérimentation avec différentes masses • Résultats rassemblés dans un tableur (temps, course, force, travail, puissance, puissance relative).
<i>Séance 9</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Début d'obtention de la température en fonction du temps avec Synchronie, et un thermocouple. • Calcul du rapport entre la tension captée par Synchronie (en V) et la température enregistrée par le thermocouple (en °C) • Début de rédaction du rapport.
<i>Séance 10</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Rédaction du rapport • Début de réalisation du diaporama • Fin des calculs permettant d'obtenir la température fournie par le pistolet thermique, à partir de la tension enregistrée par le thermocouple sur Synchronie.
<i>Séance 11</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Rédaction du rapport • Obtention de la température en fonction du temps pour différentes masses • Calcul des rapports entre tensions et températures enregistrées.
<i>Séance 12</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Finalisation du rapport • Préparation du diaporama pour la soutenance et répartition des rôles.



2.2. Répartition des tâches au sein du groupe



3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

3.1. Recherches

La première étape de nos recherches a été la documentation sur la RDM. En fait nous étions tous inscrits au cours de RDM (P9), c'est pourquoi les recherches nous ont simplement permis de consolider nos connaissances en parallèle de l'avancement du cours. Nous nous sommes donc renseignés d'avantage sur les notions de traction et de compression qui allaient nous être utiles pour mettre en évidence l'effet mémoire de forme et pour réaliser un démonstrateur.

Cette documentation nous a aussi permis de nous familiariser avec les notions de déformations et de contraintes qui sont des concepts très importants dans le domaine des AMF (élasticité, résistance, allongement...).

Nous nous sommes ensuite concentrés sur les AMF. Ce sont des matériaux métalliques capables de reprendre leur forme initiale après avoir subi une déformation au-delà du domaine élastique usuel quand ils sont chauffés. Cette capacité a été découverte en 1932 sur un alliage Or-Cadmium.

3.1.1. Transitions de phase

Un AMF est un matériau qui possède deux phases stables **solides** nommées **Austénite** et **Martensite**. L'Austénite est une phase stable à haute température et pour un faible niveau de contrainte. Le réseau atomique au sein de cette phase est très symétrique et organisé. Au contraire, la Martensite est une phase stable à basse température et pour un niveau de contrainte élevé. Le réseau atomique au sein de cette phase est moins symétrique et un peu plus désorganisé.

La déformation du matériau est appelée **transformation martensitique**. Elle consiste en une déformation homogène du réseau atomique, ce qui se traduit par une déformation à échelle macroscopique. On passe donc de la phase Austénite à la phase Martensite ce qui est considéré comme la transformation directe. Celle-ci est exothermique et quasi-instantanée.

Pour repasser en phase Austénite, il faut chauffer le matériau en AMF. Celui-ci va alors reprendre sa forme initiale plus ou moins rapidement car cette transformation inverse est liée à la température et à la contrainte appliquée à l'AMF. Cette transformation est endothermique.

À l'état libre de toute contrainte on pose :

- M_s^0 : Température de début de la transformation martensitique
- M_f^0 : Température de fin de la transformation martensitique
- A_s^0 : Température de début de transformation austénitique
- A_f^0 : Température de fin de transformation austénitique. L'austénite est stable pour $T > A_f^0$
- $M_f^0 - M_s^0$: Etalement de la transformation (propre au matériau)
- $A_s^0 - M_f^0$: Hystérésis



Nous retrouvons toutes ces données sur le diagramme ci-dessous représentant les deux transformations à l'état libre de contrainte, lorsqu'elles sont pilotées par la température uniquement.

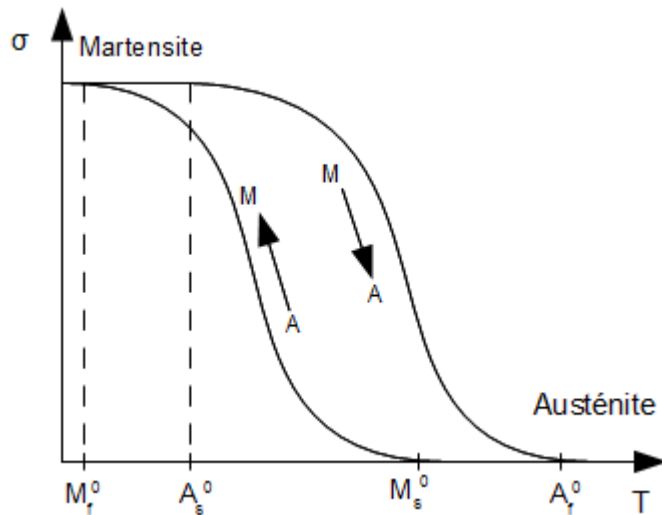


Figure 1 - Cycle de transformation avec contrainte nulle

3.1.2. Différents alliages

Nickel-Titane : C'est l'alliage le plus étudié et développé car il réalise de bonnes performances, résiste facilement à la corrosion et permet de fabriquer tous types de formes (fils, ressorts, tubes, feuilles métalliques, etc). C'est le type d'alliage que nous avons étudié dans notre démonstrateur (cf 3.2).

Cuivreux : Ces alliages possèdent moins d'hystérésis que ceux de type Ni-Ti. On les associe généralement à deux autres composants afin d'améliorer la facilité de fabrication, la résistance ou encore les gammes de températures des différentes transformations.

Ferreux : Ces alliages sont moins intéressants car la superélasticité est très faible voire inexistante.

Nickel-Aluminium : Ce type d'alliage possède une très large gamme de température (-200°C - +200°C). En revanche c'est un alliage très fragile dont la ductilité est souvent renforcée par un troisième composant tel que Fe, B, Cr ou encore Mn.



3.1.3. Propriétés thermomécaniques des AMF

Superélasticité : On prend un AMF dans sa phase austénitique et on lui applique une contrainte croissante afin de le déformer. Il existe alors un pourcentage qui représente la déformation recouvrable à la décharge, c'est-à-dire la capacité de l'alliage à reprendre sa forme initiale lorsqu'on supprime la contrainte appliquée.

Le terme de "superélasticité" est utilisé car la déformation recouvrable à la décharge pour un AMF est beaucoup plus importante que celle des métaux usuels !

Comportement superthermique : Les températures de début et de fin de transformation pour un AMF (M_s^0 , M_f^0 , A_s^0 , A_f^0) dépendent de la contrainte appliquée au matériau. Cependant, l'hystérésis et l'étalement de la transformation sont des caractéristiques qui sont dues au matériau lui-même, elles sont indépendantes de la contrainte appliquée.

Effet Mémoire Simple Sens : On refroidit le matériau jusqu'à un état totalement martensitique ($T < M_f^0$) puis, on lui applique une contrainte pour le déformer. L'EMSS indique qu'en le chauffant, il va retourner en phase austénite et retrouver sa forme initiale. C'est l'effet que nous avons étudié à travers notre projet.

Effet Mémoire Double Sens : Le matériau est capable de passer de la phase austénitique à la phase martensitique par simple refroidissement ou chauffage, en l'absence de contrainte appliquée.

En revanche la transformation martensitique n'est pas totalement réversible, l'accumulation de déformations minimales (après plusieurs cycles) peut entraîner une déformation macroscopique : on dit que le matériau est **éduqué**. Si l'EMDS est perturbé voire annulé, on dit que le matériau est **amnésique**.

Les cycles d'éducation entraînent l'évolution de certaines températures de transformation il faut donc bien gérer le nombre de cycles (trop de cycles = peu d'efficacité, pas assez = instabilité).

EMDS Assisté : On remplace les cycles d'éducation par une force de rappel (ex : ressort) qui va aider le matériau à retrouver sa forme basse température.

On évite alors les cycles d'éducation et donc les phénomènes d'amnésie, néanmoins de l'énergie va être consommée par la force de rappel. L'avantage est que l'AMF va s'auto-éduquer au cours de son fonctionnement.

Effet caoutchoutique : Cet effet est présent seulement dans la phase martensitique. Il dit qu'une contrainte, même très faible, va permettre un déplacement partiellement réversible. La température ne jouera qu'un rôle secondaire car il n'y a pas de changement de phase.





Amortissement mécanique : C'est la capacité d'un matériau à transformer la dégradation de l'énergie mécanique (ex: vibrations) en chaleur. Cette propriété existe pour tout phénomène physique mais la capacité d'amortissement d'un AMF est largement supérieure à celle des matériaux usuels.

De plus, le contrôle des vibrations étant un grand problème dans de nombreux secteurs industriels, cette propriété constitue une source de développement pour les AMF.

3.1.4. *Évolution de ces propriétés*

Fatigue thermomécanique : La durée des AMF ne peut pas être calculée de façon "standard" car il existe plusieurs types de fatigue selon l'utilisation du matériau (traction, compression, torsion, etc...). Dans tous les cas, la fatigue est l'accumulation de défauts suite à la succession de cycles d'utilisation. Elle dépend de la contrainte appliquée au matériau, de la température et de la déformation imposée.

La fatigue thermomécanique entraîne la modification des températures de transformation, la dégradation de la reprise de forme et la modification des caractéristiques de superélasticité.

Viellissement : Quand on maintient le matériau à une température donnée pendant une longue période, ses propriétés vont se dégrader avec le temps. La stabilisation de la température peut aussi supprimer l'effet mémoire (=amnésie).

3.1.5. *Application des AMF - Actionnement*

Les AMF sont assez souvent utilisés pour remplir la fonction d'actionnement, généralement sous forme de ressorts ou de fils. Ils présentent en effet de nombreux avantages pour cette tâche, qui sont :

- La production de mouvement sans frottement;
- La réduction de la masse du système et de ses dimensions (gain de place);
- Ils permettent de développer un travail mécanique important lors de la reprise de la forme initiale, lorsque l'on augmente la température;
- Si l'on bloque cette déformation, le matériau peut développer des forces considérables.
- Leur capacité à effectuer un travail silencieux et efficace.

Néanmoins ils possèdent quelques inconvénients tels que :

- Un long temps de réponse car il dépend de la température
- Un faible rendement énergétique car la chaleur à fournir est considérable.
- Une dégradation des propriétés à cause du nombre de cycles (fatigue/vieillessement).



3.2. Mise en évidence de l'effet mémoire simple sens

3.2.1. Réalisation du démonstrateur

Afin de mettre en évidence la capacité d'actionnement des alliages à mémoire de forme, et de pouvoir ensuite étudier leur performance, nous avons fait le choix d'utiliser des ressorts en AMF, pour pouvoir montrer leur effet mémoire simple sens. Le principe du démonstrateur était donc de chauffer le ressort, afin qu'il change de forme, et puisse développer un travail mécanique.

Nous avons tout d'abord en notre possession un ressort AMF fonctionnant en traction. L'idée était donc d'accrocher des masses à ce ressort, et de le chauffer afin qu'il se contracte et soulève les masses. Grâce à ce premier ressort, nous avons pu nous familiariser avec le fonctionnement des AMF.

Après avoir reçu les trois ressorts en AMF (alliage Nickel-Titane), fonctionnant en compression, nous avons décidé qu'il faudrait poser différentes masses sur ces ressorts, et les chauffer afin qu'ils s'étendent et puissent soulever les masses.

Nous avons donc cherché un montage qui permettrait de guider les ressorts afin qu'ils restent dans l'axe lors de leur étirement, mais aussi de les chauffer. Il fallait également qu'ils soient soumis au poids des masses. La dernière contrainte à prendre en compte était le thermocouple. On devait en effet prévoir de l'insérer quelque part afin de relever la température au cours de la transformation.

Après deux séances de recherches et d'essais de montage, nous sommes arrivés à celui-ci :

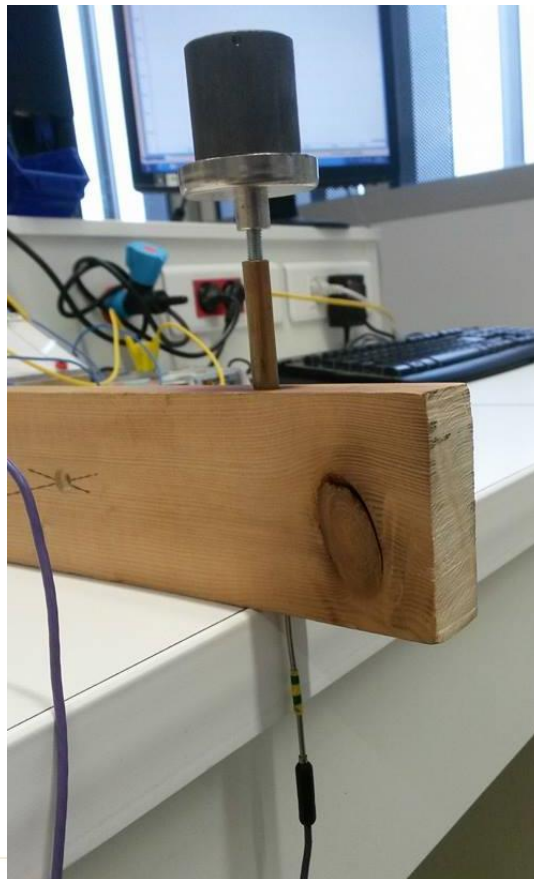


Figure 2 - Démonstrateur



Nous avons percé le bois à l'aide de deux forets différents : un de 8,5mm de diamètre pour le tube de cuivre et un de 2,5mm de diamètre pour le thermocouple. Ainsi, le thermocouple tient sans aide extérieure et peut mesurer la température à l'intérieur du tube.

Nous avons fait le choix du cuivre pour notre tube car c'est un matériau qui conduit bien la chaleur. Nous pouvions ainsi faire chauffer les ressorts en AMF à travers le tube.

À l'intérieur du tube de cuivre se trouvent les ressorts en AMF, posés sur deux entretoises en acier. La tige filetée repose sur les ressorts et son plateau aimanté permet de faire tenir les différentes masses. (Un schéma en coupe du démonstrateur est disponible en annexe.)

De plus, nous avons fait attention à la longueur du tube. Celui-ci ne devait être ni trop grand pour que la tige filetée appuie sur les ressorts comprimés, ni trop petit pour que la tige ne tombe pas lorsque les ressorts sont allongés.



Figure 3 - Détail des composants

Ce démonstrateur nous permet d'observer l'allongement des ressorts lorsqu'ils sont chauffés et soumis à un poids, tout en mesurant la température grâce au thermocouple. Ce dernier, relié à Synchronie, nous permet de relever une tension (en Millivolts) en fonction du temps et donc d'obtenir l'évolution temporelle de la température (en degrés Celsius) grâce à la formule :

$$\text{Equation n°1:} \quad \Delta T = k. (\text{Tension entrée})$$

Le coefficient k est propre au thermocouple (qui est de type k) et permet donc de passer d'une tension à une température. D'après nos calculs, $k = 24,5$.

De plus, notre circuit comporte des résistances, ce qui amplifie la tension mesurée. La tension réelle est donc égale à 1/100 de la tension mesurée.

Le montage global comprenant le démonstrateur ainsi que montage électrique reliant le thermocouple à Synchronie est le suivant :

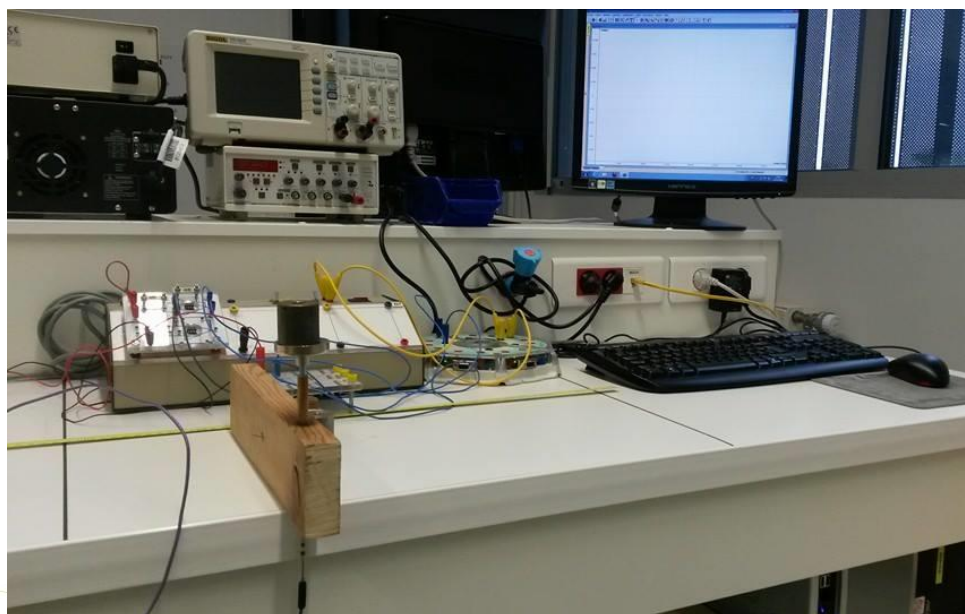


Figure 4 - Montage global

3.2.2. Essais et résultats

Une fois notre démonstrateur mis en place, la partie expérimentale consistait à effectuer des mesures pour différentes masses. Pour chaque masse, nous avons alors chronométré le temps mis par les ressorts pour fournir l'effort nécessaire à soulever les masses. Connaissant le poids de chaque masse, il était également possible de calculer le travail mécanique fourni par chaque ressort.

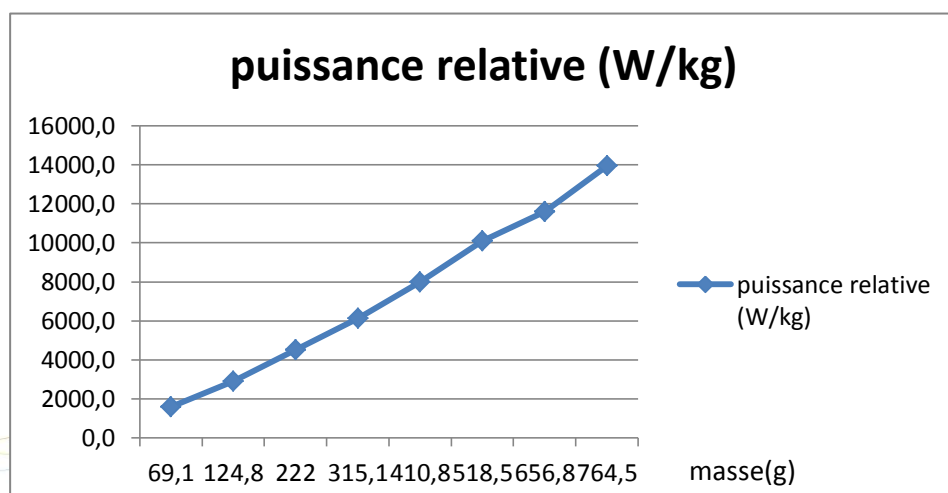
Equation n°2 : Travail=course*poids

En multipliant ce travail par le temps nécessaire, nous avons pu en déduire la puissance fournie par chaque ressort. Enfin, il était intéressant de regarder quelle était la puissance relative, c'est-à-dire la puissance par unité de masse de ressort, afin de mieux estimer les performances des ressorts en AMF. Nous avons obtenu le tableau suivant :

masse(g)	longueur à chaud	temps (s)	allongement	allongement pour 1 ressort	poids (N)	travail pour chaque ressort (N.m)	puissance d'un ressort (W)	puissance relative (W/kg)
69,1	90	85	25	8,3	0,678	0,0056	0,480	1600,5
124,8	90	85	25	8,3	1,224	0,0102	0,867	2890,7
222	87	85	22	7,3	2,178	0,0160	1,358	4525,0
315,1	86	85	21	7,0	3,091	0,0216	1,839	6130,7
410,8	86	85	21	7,0	4,030	0,0282	2,398	7992,7
518,5	86	85	21	7,0	5,086	0,0356	3,026	10088,2
656,8	83	90	18	6,0	6,443	0,0387	3,479	11597,8
764,5	83	93	18	6,0	7,500	0,0450	4,185	13949,5
	longueur à froid	masse d'un ressort		allongement /3	P=masse* g	W = poids * allongement pour 1 ressort	P=W*temps	Relative = P/masse d'un ressort
	65 mm	0,3g						

On peut noter que les ressorts n'arrivent pas toujours à s'étendre entièrement, puisque l'allongement pour un ressort passe de 8.3 mm pour de faibles masses, à 6mm pour des masses plus élevées. De plus, les puissances relatives obtenues sont très impressionnantes. Pour les masses les plus importantes, la puissance relative atteint jusqu'à 14 kW/kg, ou encore 14W/g, ce qui paraît plutôt élevé.

On peut enfin tracer l'évolution de cette puissance relative en fonction des masses imposées :



Grâce à Synchronie nous avons pu suivre l'évolution de la température en fonction du temps au cours d'une transformation. Si l'on recoupe avec les temps de début et de fin de transformation on obtient les températures de début et de fin de transformation : 75 – 120°C, ce qui est cohérent avec les données fournies par le constructeur qui indiquent des températures de transformation comprises entre 80 et 110°C.

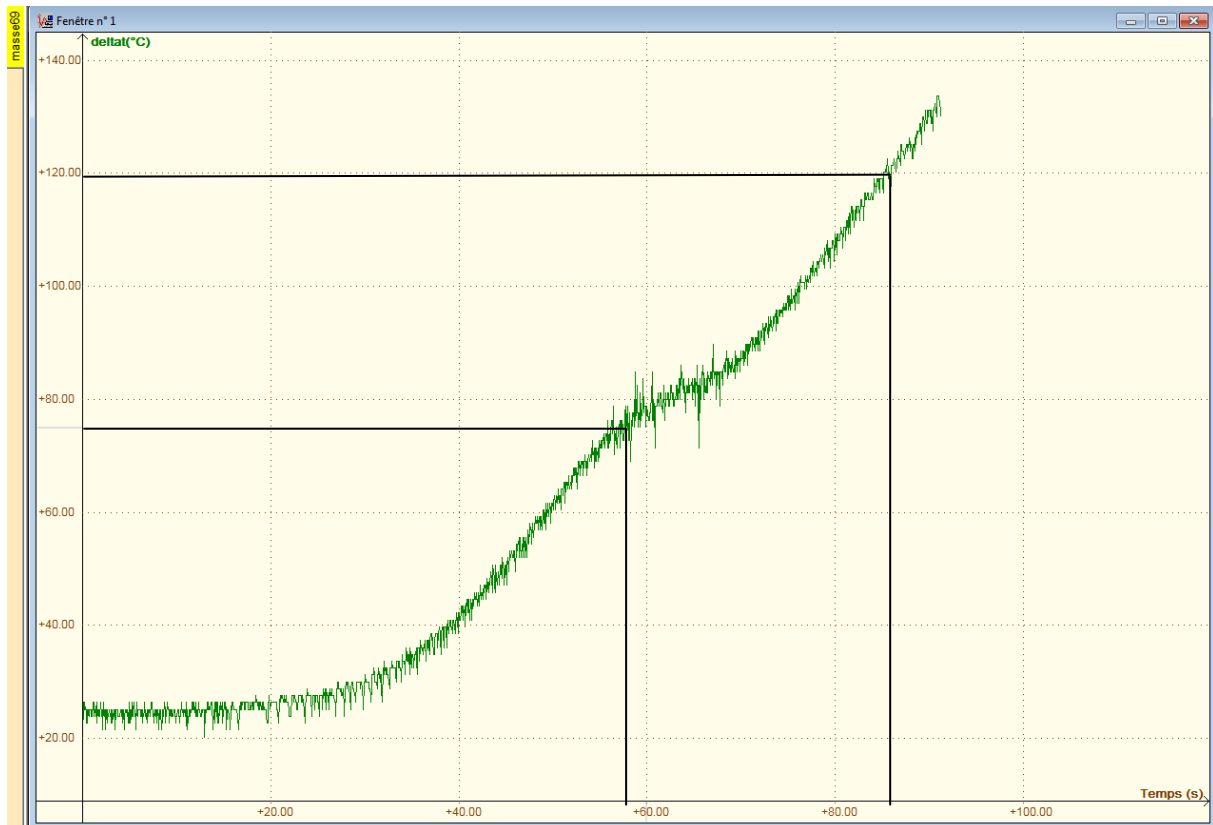


Figure 5 - Evolution de la température

Nous avons donc mis en évidence la capacité d'actionnement des AMF. Ils sont bel et bien capables de développer des puissances importantes afin de retrouver leur forme initiale. C'est pourquoi ils sont utilisés dans la plupart des domaines industriels (automobile, aéronautique, biomédical, etc). Ils apportent une simplification du mécanisme et un gain de place et de poids. Malheureusement l'inconvénient des AMF est leur long temps de réponse ; cette réponse dépend en effet de la température.



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

3.3. Apports personnels

Adèle : Ce projet a été une expérience enrichissante, tant au niveau des connaissances acquises, qu'au niveau humain et organisationnel. En effet, on ne sait pas à l'avance avec qui on va réaliser le projet, on doit donc s'adapter et travailler avec des personnes que l'on ne connaît pas forcément. De plus, les alliages à mémoire de forme étaient une nouveauté pour moi. Ce projet m'a donc permis d'en apprendre plus sur le sujet.

Adrien : Ce projet m'a permis de développer des qualités dans le travail en groupe telles que la communication, le sens des responsabilités, la collaboration... Il a été d'autant plus intéressant car il se composait d'une partie théorique/ rédaction mais aussi d'une partie pratique grâce au démonstrateur, ce qui est plus ludique et captivant. Enfin, il m'a permis de découvrir les AMF qui sont des matériaux d'avenir et très surprenants ainsi que quelques logiciels intéressants (RDM 6, SMA).

Antoine : Ce projet m'a tout d'abord permis d'effectuer une démarche scientifique au sein d'un groupe. Il était d'autant plus intéressant que le sujet était les AMF. Étudier un matériau inconnu pour en trouver les applications possibles est fascinant. De plus, le projet possède un important côté pratique, comportant la découverte de logiciels ou encore la création d'une démarche expérimentale.

Julien : Le projet de P6 nous a permis de découvrir une démarche expérimentale, à partir d'un simple sujet, d'une problématique. J'ai trouvé cette démarche très intéressante, parce que nous sommes partis de recherches, d'appréhension du sujet donné, pour nous diriger vers la recherche d'un démonstrateur, et finalement effectuer des mesures permettant de répondre à la problématique. De plus, ce projet était une nouvelle opportunité de travailler en groupe, d'échanger et d'avancer avec les autres, dans un domaine physique, et plus particulièrement mécanique (mon choix de département).

Xin : Grâce à ce projet, j'ai acquis plus de connaissances concernant les AMF. Auparavant, je ne connaissais que des informations générales, par exemple, les AMF sont appliqués amplement dans les domaines de haute technologie. Il change de forme lorsque sa température atteint une température critique. Cependant, après l'étude de ce semestre, théoriquement, on a bien vu la réaction Martensitique-Austénitique et les caractéristiques précisément. Expérimentalement, des connaissances de mécanique ont été appliquées. Par ailleurs, on a aussi utilisé l'amplificateur opérationnel vu en P3 pour l'analyse.





3.4. Conclusion générale

À travers ce projet, nous avons découvert cet étonnant matériau que sont les AMF. Pour cela, nous avons effectué des recherches sur les AMF qui étaient, avant ce projet, inconnus de tous les membres du groupe. La réalisation du démonstrateur et l'étude de l'effet mémoire simple sens de ressorts en alliage Nickel-Titane nous ont également permis de mieux comprendre le fonctionnement des AMF, mais aussi de renforcer certaines notions de RdM comme celle de contrainte exercée sur un matériau. Ce projet nous a également permis d'acquérir une nouvelle méthode de travail : aboutir à des résultats expérimentaux en partant de recherches bibliographiques.

Pour ce projet, nous avons étudié l'effet mémoire simple sens d'un seul alliage sollicité en compression à des masses différentes. Il pourrait être intéressant d'étudier le comportement de différents alliages à mémoire de forme en réaction à une même sollicitation, ou encore d'étudier d'autres propriétés de ce même alliage.



4. BIBLIOGRAPHIE

[1] Etienne Pator, Marcel Berveiller, « Les alliages à mémoire de forme », Hermes, 1990.

[2] Jean-Louis Dorlot, Jean-Paul Bâilon, Jacques Masounave, « Des Matériaux », Ecole Polytechnique de Montréal, 2002

[3] Michel Colombié et coll., « Matériaux métalliques », Dunod, 2012


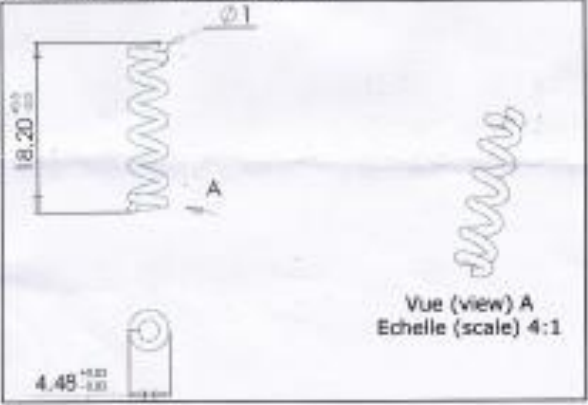
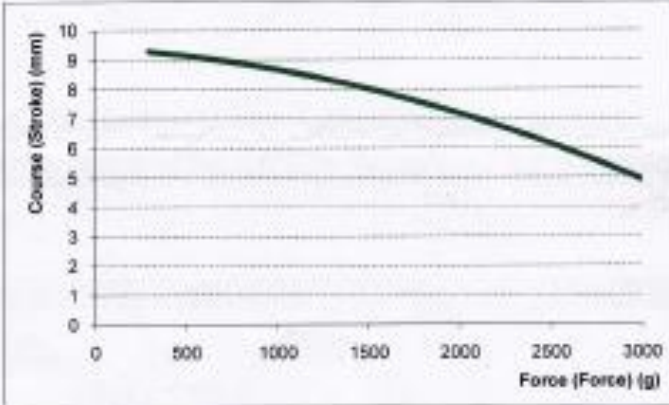
[4]<http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/15766/CFM2007-0872.pdf?s> (Valide à la date du 27/05/2014)

[5]http://www.abmecatronique.com/alliages-a-memoire-de-formes-quand-les-sciences-de-la-matiere-font-avancer-la-mecatronique_500511/ (Valide à la date du 27/05/2014)



5. ANNEXES

5.1. Documentation technique

	<p>FICHE DONNEES RESSORT (Spring data sheet)</p>	<p>Nimesis Technology 14 rue Félix Savart 57070 Metz - FRANCE</p> <p>tel./fax: +33 (0)3 87 74 26 87 info@nimesistechnology.com www.nimesistechnology.com</p>														
Dimensions (dimensions):																
<p>Plan ressort libre (Free spring drawing) (mm):</p>  <p>Vue (view) A Echelle (scale) 4:1</p>	<p>Données ressort comprimé (spring constrict data):</p> <p>Diamètre extérieur comprimé (outside diameter of the compressed spring) : 4.78mm +/- 0.03mm</p> <p>Longueur ressort comprimé (length of the compressed spring) : 8.40 +/- 0.04 mm</p> <p>Nombres de spires (coil number) : 5,5 +/- 0,2 spires (coils)</p> <p>Spires rapprochées aux extrémités (squared ends)</p>															
Matériau (Material)																
<p>Alliage (Alloy) Diamètre fil (Wire diameter) Température de transformation (Temperature of transformation)</p>	<p>Nickel-Titane (titanium nickel) 1 mm 80 to 110°C</p>															
Course (Stroke)																
 <table border="1"> <caption>Graph Data: Stroke vs Force</caption> <thead> <tr> <th>Force (g)</th> <th>Stroke (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>500</td> <td>9.5</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>8.5</td> </tr> <tr> <td>1500</td> <td>7.5</td> </tr> <tr> <td>2000</td> <td>6.5</td> </tr> <tr> <td>2500</td> <td>5.8</td> </tr> <tr> <td>3000</td> <td>5.5</td> </tr> </tbody> </table>			Force (g)	Stroke (mm)	500	9.5	1000	8.5	1500	7.5	2000	6.5	2500	5.8	3000	5.5
Force (g)	Stroke (mm)															
500	9.5															
1000	8.5															
1500	7.5															
2000	6.5															
2500	5.8															
3000	5.5															
Nombre de cycles (Number of cycles)																
<p>Le nombre de cycle dépend de l'environnement du ressort, de la sollicitation (force). The number of cycles depends on the environment of the spring and yield strength.</p>																



5.2. Schéma du montage (vue en coupe)

