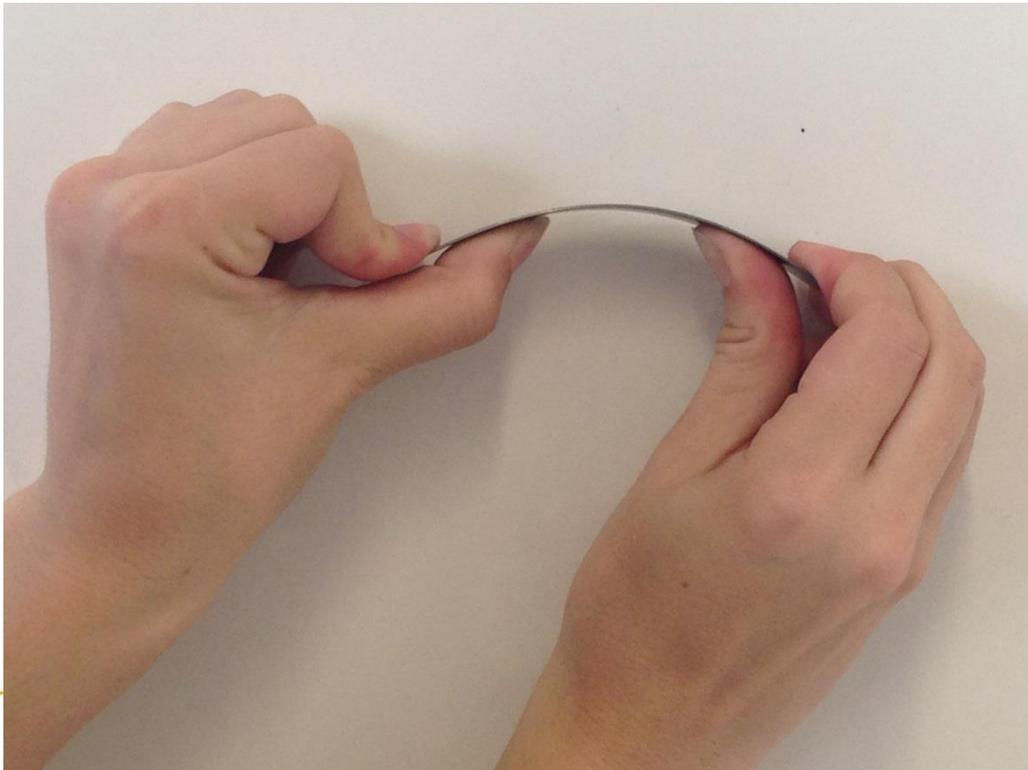


*Projet de Physique P6*  
*STPI/P6/2013 – n°9*

*Mise en évidence du comportement pseudoélastique  
des Alliages à Mémoire de Forme*



**Etudiants :**

**Caroline BONNAUD**

**Camille KAJ**

**Tiphaine KEROMEST**

**Qianhan ZHOU**

**Enseignant-responsable du projet :**

**Benoît Vieille**



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

Référence du projet : **STPI/P6/2013 – 9**

Intitulé du projet : **Mise en évidence du comportement pseudoélastique des Alliages à Mémoire de Forme**

Type de projet : **Biblio / Exp / Modèle**

Objectifs du projet :

- Approfondir nos connaissances sur la résistance des matériaux**
- Découvrir les AMF (Alliages à mémoire de forme)**
- Apprendre à construire diagrammes contrainte-déformation**
- Mettre en évidence la pseudoélasticité des AMF**

Mots-clefs du projet :

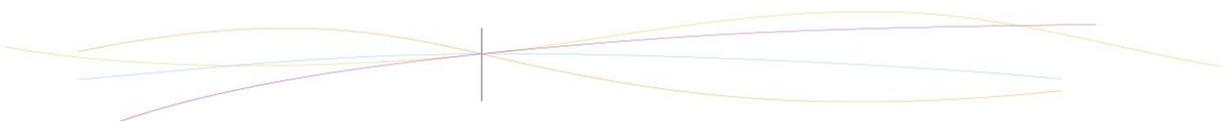
- AMF (Alliage à mémoire de forme)**
- Pseudoélasticité**
- Flexion**
- Contrainte**

## TABLE DES MATIERES

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction .....                           | 6  |
| 2. Méthodologie / Organisation du travail ..... | 7  |
| 3. Partie théorique.....                        | 8  |
| 3.1. Définitions théoriques.....                | 8  |
| 3.2. Mise en œuvre théorique .....              | 9  |
| 3.3. Historique et applications des AMF .....   | 11 |
| 4. Mise en œuvre expérimentale .....            | 12 |
| 4.1. Essai de flexion .....                     | 12 |
| 4.1.1. Dispositif expérimental .....            | 12 |
| 4.1.2. Essai de flexion sur l'acier .....       | 13 |
| 4.1.3. Essai de flexion sur AMF .....           | 15 |
| 4.2. Essai de traction sur AMF .....            | 18 |
| 5. Conclusions et perspectives.....             | 19 |
| 6. Bibliographie .....                          | 21 |

## NOTATIONS, ACRONYMES

AMF : Alliage à mémoire de forme



## 1. INTRODUCTION

Dans le cadre de nos études au sein de l'Institut National des Sciences Appliquées de Rouen, nous devons choisir un projet de physique parmi une multitude de sujets mise à notre disposition. Nous avons donc choisi la « mise en évidence du comportement pseudo-élastique des alliages à mémoire de formes ». Nous nous sommes intéressées à ce projet car il permet de lier l'aspect pratique et l'aspect théorique par la mise en œuvre d'un dispositif expérimental.

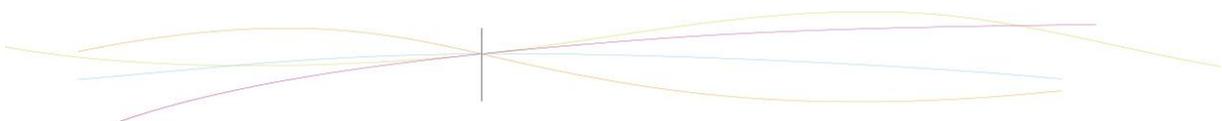
De plus, les matériaux sont autour de nous, sous différentes matières, sous différentes formes et pour des applications toujours plus nombreuses. Ce projet nous a permis de mieux connaître une catégorie de matériau : les Alliages à Mémoires de Formes, et de mieux comprendre en quoi le choix d'un matériau en fonction de son application est important.

L'objectif de ce projet est de nous faire acquérir des connaissances sur un sujet bien précis, ici les alliages à mémoires de formes. De plus, ce projet a aussi pour but de nous apprendre à travailler en groupe et ainsi acquérir une autonomie, une organisation de groupe. Ce qui nous prépare à l'avenir et plus précisément au monde professionnel car on sera forcément amenés à travailler en équipe.

Durant notre projet, nous avons fait des recherches sur différents supports (internet, livres...), et nous avons fait des expériences dans le but de montrer le comportement pseudo-élastique des alliages à mémoires de formes.

Dans ce rapport, nous avons voulu retracer le parcours que nous avons suivi durant le déroulement de notre projet.

Nous vous en souhaitons une bonne lecture.



## 2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

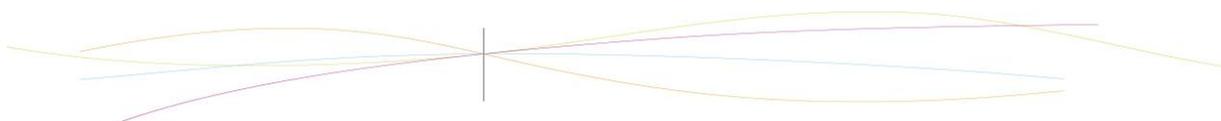
Le thème du projet n'étant pas particulièrement adapté à notre future orientation en département, nous avons toutes effectué des recherches bibliographiques afin de mieux cerner le sujet. Ces recherches ont été guidées par les explications données par notre professeur encadrant, en début de projet. Ainsi, après familiarisation avec le logiciel RDM Le Mans, nous avons eu suffisamment de connaissances pour mettre en œuvre le dispositif expérimental.

Après avoir trouvé les grands axes du projet, nous nous sommes répartis les différents travaux de rédaction afin d'être efficaces sur l'avancement du rapport. Afin de faciliter le travail à distance, nous partagions tout ce que nous faisons chacune de notre côté sur le réseau social Facebook. Ce moyen de communication nous permettait d'échanger et de communiquer facilement à distance : partage de fichiers, questions, mise en place de planning...

A chaque début de séance, nous faisons le point : avancées, déroulement du travail du jour... Le dispositif expérimental étant facile à mettre en œuvre, nous n'avons pas eu besoin de séances supplémentaires à effectuer. Cependant, la commande de l'AMF s'étant faite tardivement, nous avons dû être efficaces sur les manipulations de celui-ci afin de terminer dans le temps imparti. Nous n'étions donc pas toutes concentrées sur une même tâche : nous étions toujours 2 à nous occuper de l'expérimental pendant que 2 autres s'intéressaient à la création des diagrammes et à l'écriture du rapport.

Nous nous sommes répartis les tâches de la façon suivante :

|                        | Camille   | Caroline   | Qianhan | Tiphaine                            |
|------------------------|---|--|---------|-------------------------------------|
| Recherche documentaire |   |  |         |                                     |
| Etude théorique        |   |  |         |                                     |
| Manipulations          |   |  |         |                                     |
| Rédaction du rapport   | Introduction<br>Historique<br>Alliage NiTiNOL<br>Conclusion | Partie expérimentale<br>Conclusion<br>Mise en page |         | Partie sur la théorie<br>Conclusion |



### 3. PARTIE THEORIQUE

#### 3.1. Définitions théoriques

Les Alliages à Mémoires de Formes (AMF) sont des matériaux possédant de multiples propriétés. En effet, quand on exerce une contrainte mécanique sur un métal ou un alliage ne possédant pas les propriétés des AMF, on constate une déformation résiduelle lorsque l'on cesse d'exercer cette contrainte. Dans les propriétés des AMF, on peut constater une capacité à garder une forme initiale même après une déformation. Ces matériaux ont aussi la possibilité d'alterner entre deux formes mémorisées lorsque la température varie autour d'une température critique ou encore la présence d'un comportement super élastique qui permet des allongements sans déformation permanente. Ce comportement est appelé la pseudo-élasticité ou la super élasticité des matériaux.

La pseudoélasticité ou le comportement super-élastique d'un matériau se définit comme le retour à l'état initial d'un matériau après la déformation de celui-ci.

La pseudoélasticité des alliages à mémoire de forme est donc une observation de la flexion d'un matériau.

Afin d'observer cette flexion, il faut exercer une contrainte sur une forme et une dimension bien précise du matériau étudié. En effet, les caractéristiques (module de Young, dimensions...) des matériaux jouent sur la réponse de celui-ci à une contrainte.

Une contrainte est une pression exercée sur un objet. Dans notre cas, pour observer une flexion, il faut que la contrainte soit une masse qui s'exerce sur un point du matériau, et qui entraînera donc sa déformation.

Ainsi, lors de l'étude de la peuso-élasticité des alliages, nous pouvons utiliser le terme de « Module d'Young » appelé aussi module d'élasticité qui relie la contrainte de traction et le début de la déformation d'un matériau élastique isotrope.

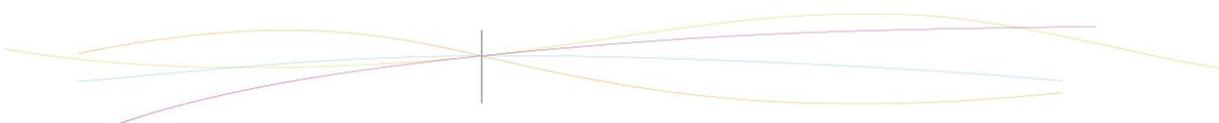
La contrainte, le module d'Young et l'allongement sont reliés par la loi de Hooke :

$$\sigma = E \varepsilon$$

Où  $\sigma$  est la contrainte(en unité de pression) ;

$E$  est le **module de Young** (en unité de pression) ;

$\varepsilon$  est l'allongement relatif, aussi appelé déformation.



Le module d'Young est la contrainte qui engendrerait un allongement de 100% c'est-à-dire qu'un matériau s'allongerait de moitié sa longueur initiale. Or, on ne peut pas réellement l'appliquer ; en vérité, le matériau se déforme de manière permanente ou se rompt au bout d'une certaine contrainte exercée, bien avant l'allongement théorique.

Sur un diagramme de l'allongement en fonction de la contrainte, le module d'Young est représenté par la pente initiale, lorsque la courbe est linéaire.

Un matériau dont le module d'Young est élevé est dit rigide (acier, diamant). L'aluminium et le plomb le sont moins. Les matières plastiques et organiques sont peu rigides ; on dit qu'elles sont souples, élastiques et flexibles.

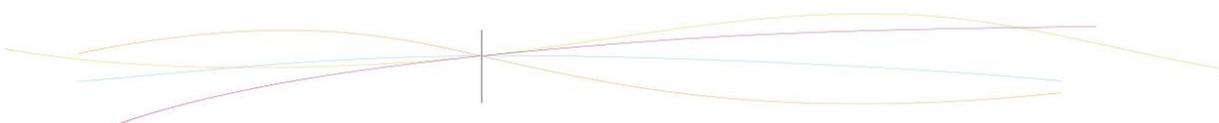
### 3.2. Mise en œuvre théorique

Le but de notre projet est d'étudier la pseudo-élasticité d'un AMF, c'est-à-dire qu'on va déterminer expérimentalement qu'elle est la limite de son domaine plastique, puis créer un diagramme expérimental qu'on comparera à un matériau ordinaire. Nous avons donc choisi de travailler avec l'acier, car celui-ci est courant, facilement utilisable pour les expériences et les résultats obtenus permettent de bien les comparer avec ceux de l'AMF.

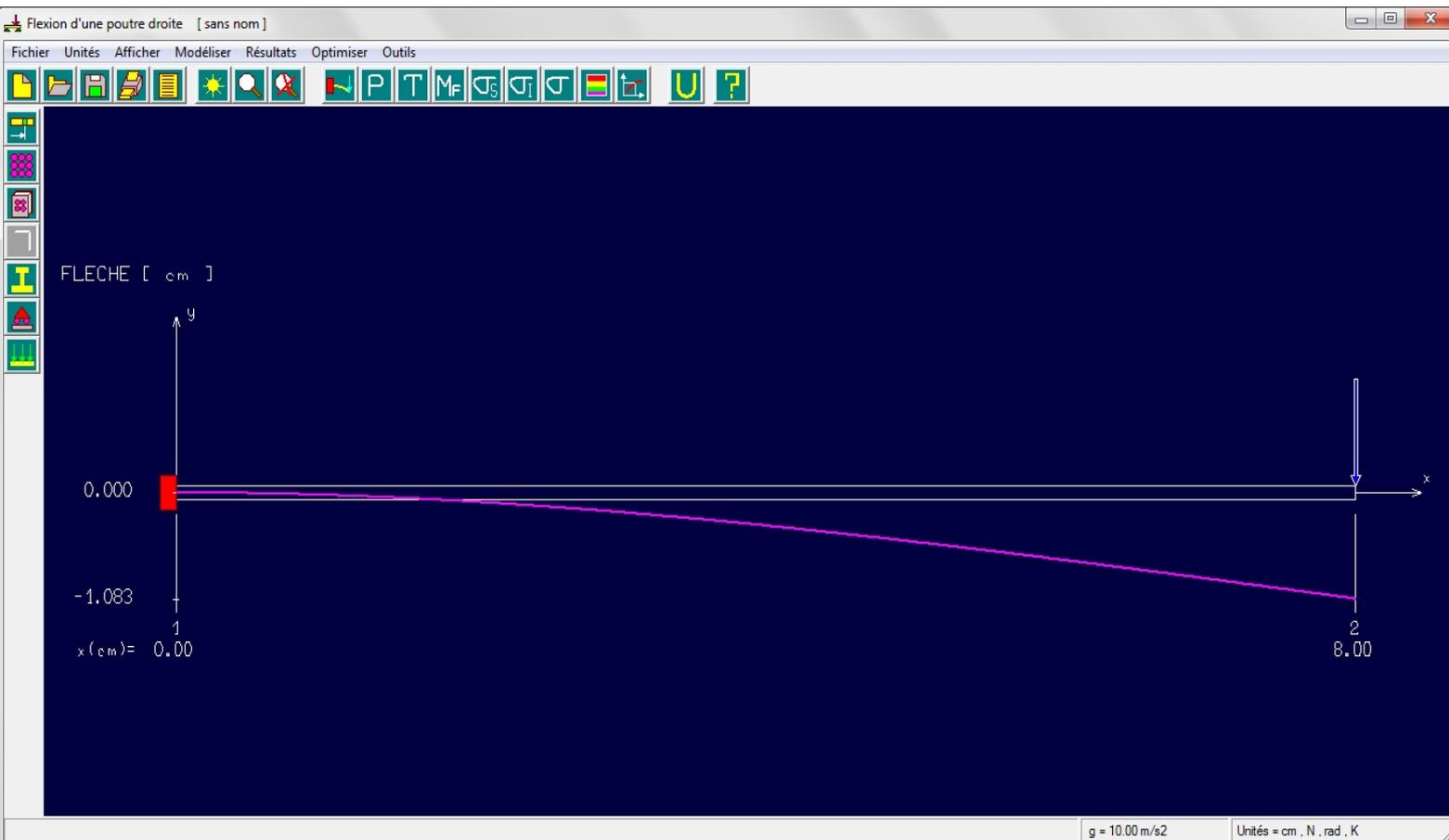
Avant de mettre en œuvre les tests expérimentaux, nous nous sommes concentrés sur le logiciel RDM, qui simule une contrainte exercée sur une plaque d'acier, dont les dimensions ont été données au préalable par les utilisateurs. Nous avons des dimensions bien précises à commander pour la plaque d'AMF donc nous les avons reproduites pour la simulation sur RDM (plaque rectangulaire de longueur : 8cm, hauteur : 0,8mm, base : 1,6cm et la plaque devait être encadrée dans un mur). Nous voulions aussi connaître la masse approximative qu'on devait utiliser afin d'observer une déflexion suffisante (entre 1 et 2cm) sur une lame en acier. Nous savions par la suite, que comme l'acier est plus rigide que l'AMF, que la déflexion observée sur l'AMF serait alors plus importante et nous aurions un moyen de comparer les deux matériaux.

Puis, grâce au logiciel, nous avons décidé de la force exercée à un point précis de la plaque. Celui-ci peut être au début de la plaque, au milieu ou tout au bout. Nous avons choisi cette dernière option, car il nous a semblé que pour la partie expérimentale, il serait plus facile d'accrocher les masses sur un crochet fixé au bout de la plaque.

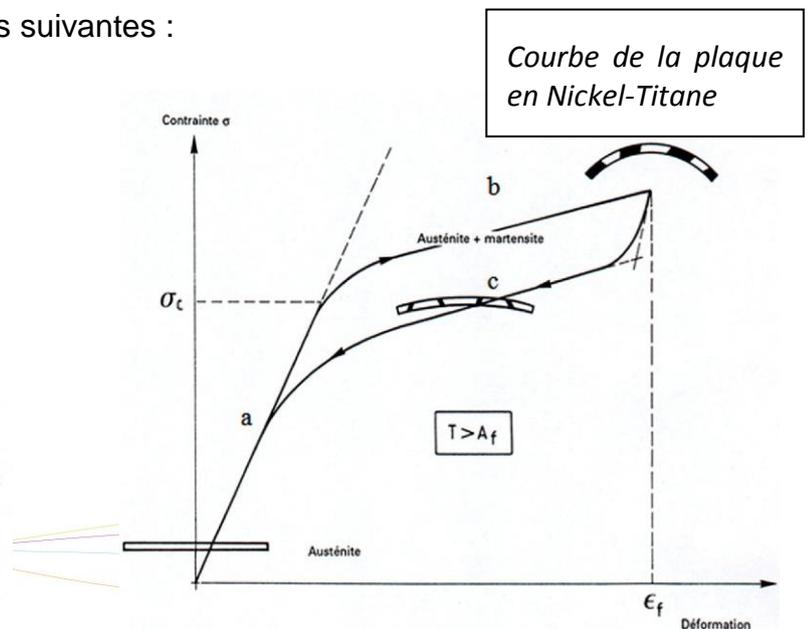
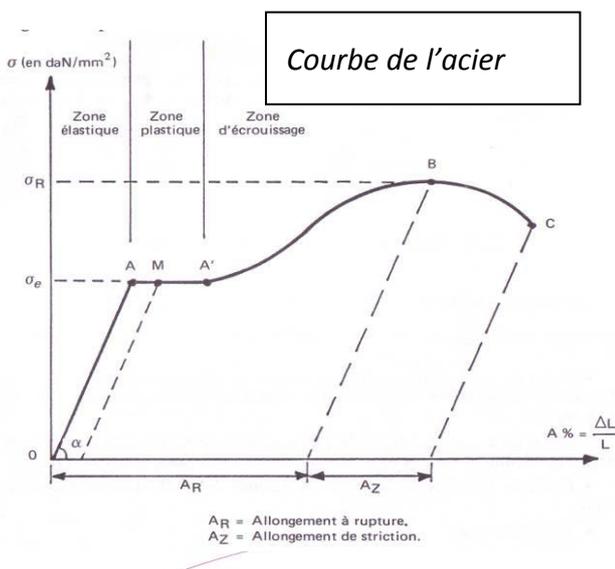
Nous avons testé différentes valeurs de force et puis quand une déflexion était suffisamment visible, nous calculions la masse utilisée grâce à la formule :  $F=m \cdot g$ .



Pour une force exercée de 9,1N, qui correspond à une masse de 910g, nous pouvons observer grâce au logiciel, une déflexion de 1,083cm sur la lame en acier :



Nous sommes ensuite passés à la partie expérimentale où nous avons fait l'expérience avec les mêmes dimensions sur 2 plaques à caractéristiques différentes ; l'une en acier et l'une en Nickel-Titane, dont les courbes effort-déformation théoriques représentatives suivantes :

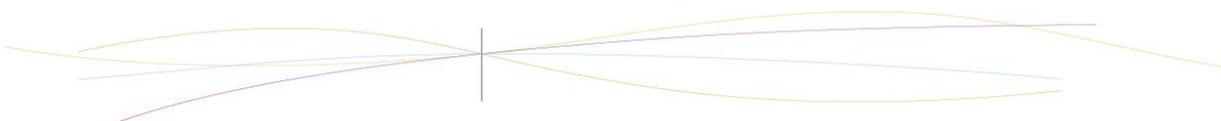


### 3.3. Historique et applications des AMF

La découverte des Alliages à Mémoires de Formes est très récente. La première fois que les chercheurs ont pu observer une des propriétés des AMF remonte à 1930. Cette découverte fut observée pas le suédois Arne Ölander sur un alliage Or-Cadmium. Il constate, à l'époque, que ce matériau est capable de retrouver sa forme initiale après une déformation. Mais ce n'est que dans les années 60 que les AMF constituent un intérêt pour la recherche et que l'on découvre le potentiel commercial de ce type de matériau. Aujourd'hui, les AMF intéressent beaucoup les ingénieurs et trouvent de nombreuses applications dans différents domaines. Cependant, les succès commerciaux demeurent faibles.

Les AMF trouvent de nombreux domaines d'applications dans l'industrie. On peut les retrouver par exemple dans le domaine électrotechnique pour le contrôle du déglacement des lignes à haute tension, dans le domaine du transport dans les casques de vélo, dans l'agroalimentaire pour les thermo marqueurs ou encore dans le biomédical pour les prothèses dentaires ou les fils dentaires super élastique. On les retrouve également dans la vie quotidienne dans les montures de lunettes, dans les pare chocs de voitures ou encore dans les armatures de soutien gorges. Mais c'est surtout dans l'aéronautique et l'aérospatial que les AMF sont les plus utilisés. Ils ont été employés lors de la construction du satellite HUBBLE et pour le robot Sojourner embarqué dans la sonde martienne Pathfinder. Les AMF ont servis à l'élaboration des armatures des panneaux solaires. En effet, avant et pendant la phase de lancement les panneaux solaires sont compacts, et lors de la mise en orbite les panneaux se déploient sous l'effet d'un signal électrique.

Les AMF les plus utilisés sont les alliages à base de cuivre (Cu-Al-Ni et Cu-Al-Zn) et les NiTiNOL (Nickel Titane découvert par le Naval Ordnance Laboratory).



#### 4. MISE EN ŒUVRE EXPERIMENTALE

##### 4.1. Essai de flexion

##### 4.1.1. *Dispositif expérimental*

Le but de notre projet est de mettre en évidence le caractère pseudoélastique des alliages à mémoire de forme (AMF). Pour mettre en évidence cette propriété, nous avons décidé de comparer les diagrammes contrainte-déformation d'un métal (l'acier) et d'un AMF, et les confronter aux diagrammes théoriques.

Afin de construire ces diagrammes, il nous fallait différentes valeurs de contraintes et déformations. Pour ce faire nous avons mis en place un dispositif permettant d'avoir des valeurs de déformations en fonction d'une force appliquée sur le métal : la force de gravité grâce à des masses accrochés au métal étudié.



Comme le montre la photo ci-contre, nous avons inséré deux lames entre deux planches de bois : La lame la plus longue est la lame de référence qui nous permet de mesurer la distance de déformation, l'autre lame correspond à la lame étudiée.



Sur la photo ci-contre, nous voyons mieux l'intérêt de la lame de référence. Nous mesurons la distance du bout de la lame étudiée jusqu'à la lame de référence.



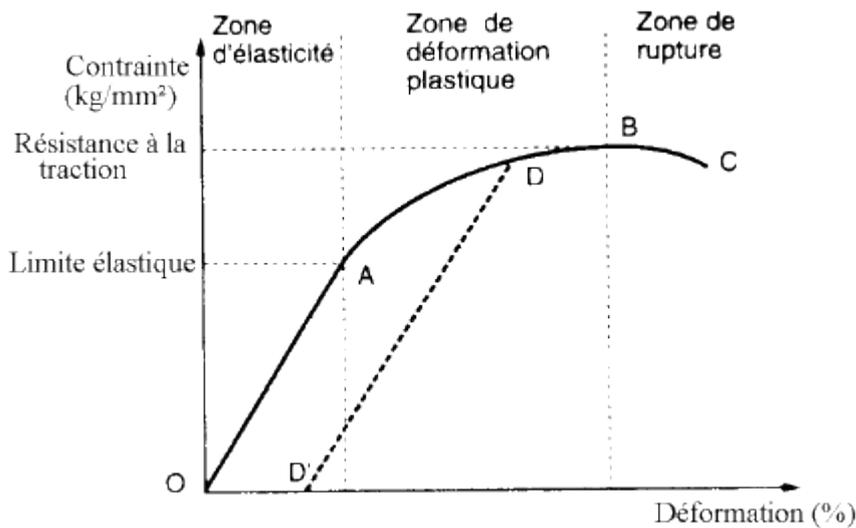
Nous mesurons les valeurs à la flexion (avec les masses), puis les valeurs à la déflexion (sans les masses) qui correspondent à l'arrivée d'une déformation résiduelle.

Une fois les valeurs prises, nous les insérons dans un tableur, et nous traçons le graphique correspondant à ces valeurs.

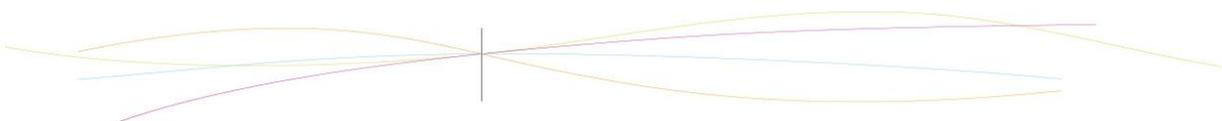
Nous allons ensuite vous exposer les résultats obtenus pour une lame d'acier et une lame d'AMF grâce à ce dispositif expérimental, que nous comparerons aux résultats théoriques obtenus.

#### 4.1.2. Essai de flexion sur l'acier

Grâce à notre dispositif, nous réalisons le graphique contrainte-déformation de l'acier. Théoriquement, nous devrions obtenir un diagramme de ce type :



C'est-à-dire que nous devons observer une déformation résiduelle que nous observons lors de la décharge (du point D au point D').

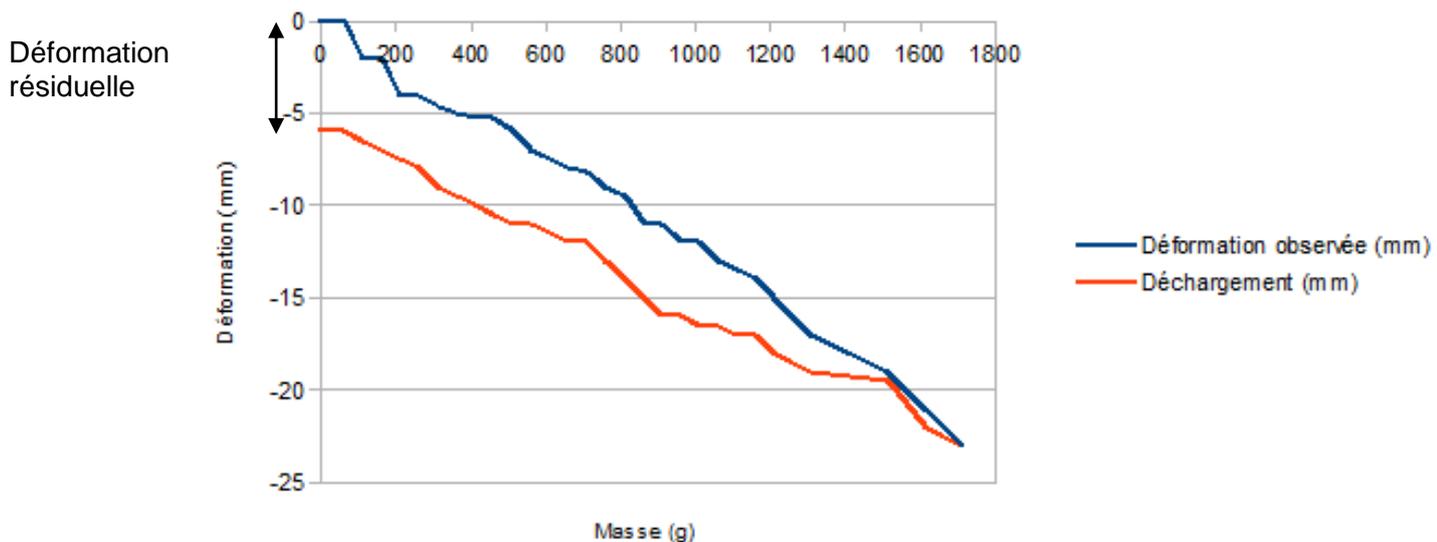


Visuellement nous observons bien ce phénomène, comme le montre les photos suivantes, à 1112,3g :

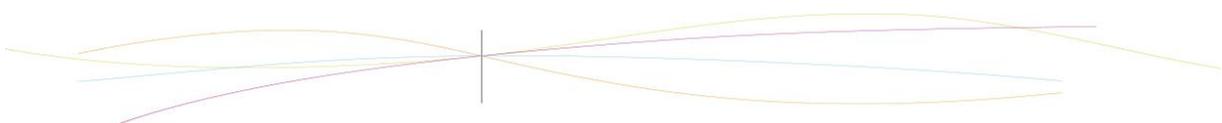


Sur la photo de droite nous voyons que la lame d'acier n'a pas repris sa forme initiale, elle est donc entrée dans le domaine plastique qui entraîne une déformation résiduelle. Nous pouvons en déduire que la lame que nous avons utilisé (acier) n'est pas un AMF.

Après avoir pris plusieurs mesures, nous avons tracé le graphique suivant :



Ce graphique montre la déformation résiduelle observée sur la lame d'acier : la courbe de décharge ne revient pas à 0.



### 4.1.3. Essai de flexion sur AMF

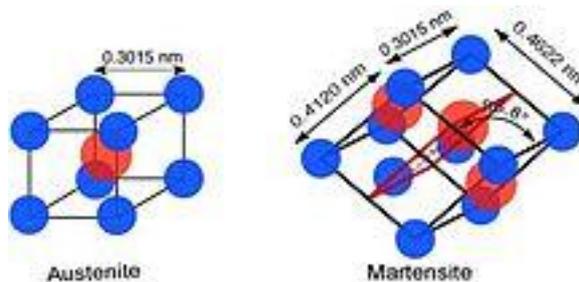
Nous avons fait les essais de traction sur une lame en Nickel Titane (NiTiNOL).

Le NiTiNOL fut découvert au Naval Ordnance Laboratory en 1962 par les chercheurs William J. Buehler et Frederick Wang.

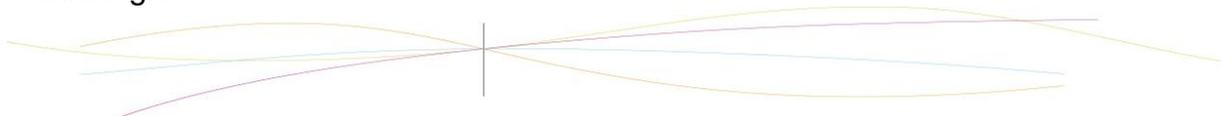
La commercialisation de ce type d'alliage n'a commencé que 10 ans après sa découverte. En effet, il y a eût quelques difficultés pour la mise en œuvre du processus de fabrication de cet alliage. L'alliage n'a pu être commercialisé à grande échelle que dans les années 90.

Dans cet alliage, les espèces chimiques, le nickel et le titane, sont approximativement présents dans les mêmes proportions. Il possède une élasticité exceptionnelle qui peut être 10 à 30 fois supérieure à celle d'un métal ordinaire type acier. De plus, cet alliage possède deux propriétés des AMF, la mémoire de forme (capacité de retrouver sa forme initiale après une déformation), et la super élasticité que nous prouverons expérimentalement dans la suite de cette partie.

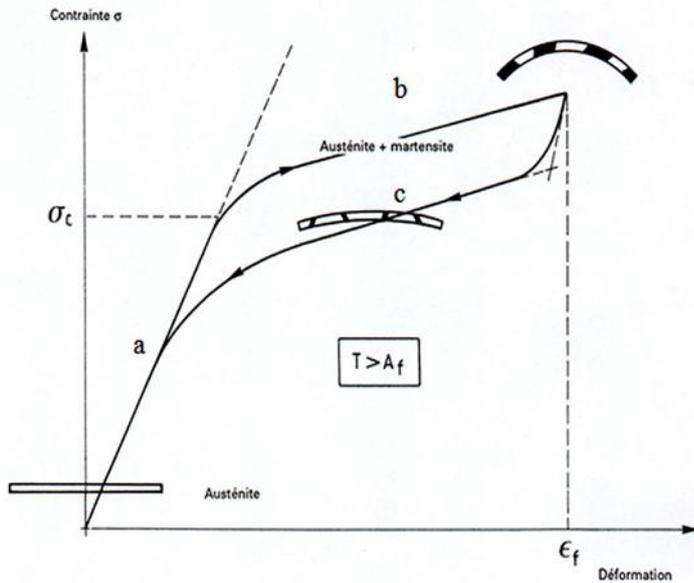
Concernant la structure cristalline de l'alliage, elle dépend de la température d'utilisation de celui-ci. En effet, à haute température l'alliage possède une structure de cube cristallin, c'est ce qu'on appelle l'état austénitique. A basse température, l'alliage possède une structure plus complexe, c'est l'état martensitique.



Les alliages en nickel titane trouvent de nombreuses applications et dans différents domaines tels que l'odontologie ou encore l'orthodontie car cet alliage possède une flexibilité et une déformation extraordinaire. Des tentatives d'utilisation de ce matériau ont été développées dans les domaines prothétiques, implantaires et chirurgicaux, mais les tests ne se sont pas révélés concluants. Mais l'utilisation de ce type de matériau dans l'automobile est prometteuse selon Chevrolet. En effet, lors de la conception de la dernière Corvette, voiture mythique du groupe, la marque américaine s'est retrouvée face un problème de taille : comment rendre la fermeture du coffre plus facile sans supprimer le hayon mythique que la voiture ? Plusieurs contraintes se sont imposées comme par exemple, le poids du système ou encore la place de ce dernier. En effet, la Corvette étant une voiture de sport, le but lors de la conception est de minimiser le poids des équipements mis à bord de la voiture. C'est donc dans cette optique que les ingénieurs de la marque ont décidé d'utiliser un alliage en nickel titane. Ce dernier par un simple chauffage dû à un courant électrique prend une forme et lors du refroidissement de l'alliage, il reprend sa forme initiale. Ce type de matériau peut trouver de nombreuses applications dans la conception de voiture de sport dans le futur, puisque dans ce type de voiture il y a jusqu'à 200 vérins électriques qui pourraient être remplacés par ce genre de technologie.

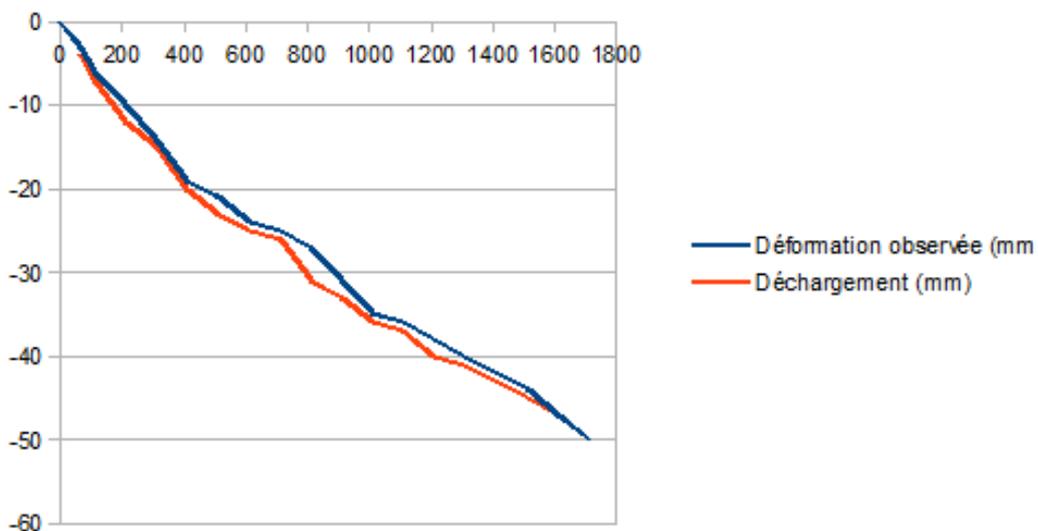


Nous effectuons le même travail que précédemment mais avec une lame en AMF. Cette fois-ci nous devrions obtenir une courbe différente, sans déformation résiduelle :

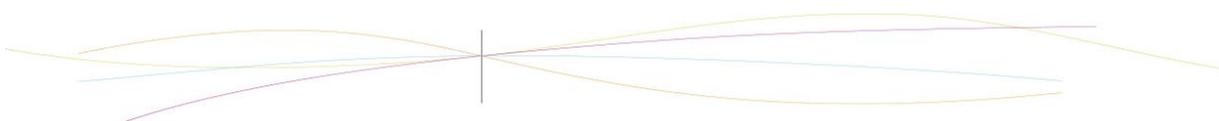


Ici, la courbe de décharge revient à 0, ce qui veut dire que la lame reprend sa forme initiale et donc qu'il n'y a pas de déformation résiduelle : C'est la pseudoélasticité.

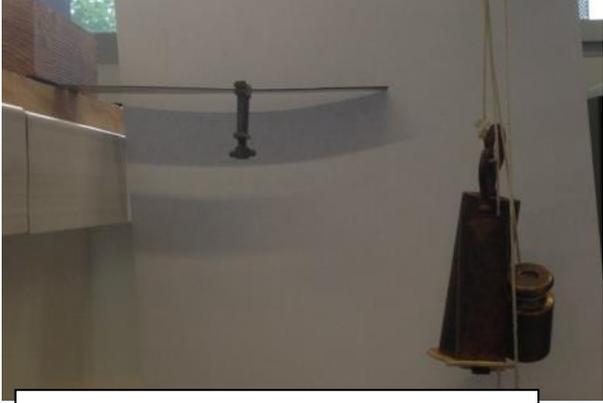
Après avoir pris les mesures de déformation, nous obtenons la courbe suivante :



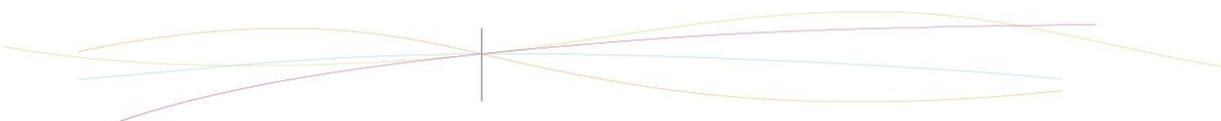
Notre dispositif expérimental ne permettant pas de faire des mesures assez précises, la courbe obtenue ne colle pas parfaitement au modèle théorique. Cependant elle nous permet tout de même de montrer la pseudoélasticité de notre lame en AMF : La courbe de décharge revient à 0.



Afin d'illustrer cette propriété nous avons photographié la flexion et la déflexion des deux lames (acier et AMF) subissant la même force (masse accrochée : 1112,3g), et ayant les mêmes dimensions (8\*1,6\*0,08 cm) :

|  |   |
|--|---|
| <div data-bbox="464 349 635 434" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">FLEXION</div> <div data-bbox="97 640 237 725" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">ACIER</div>  | <div data-bbox="1082 349 1289 434" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">DEFLEXION</div>  <div data-bbox="981 943 1465 1160" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>La lame ne revient pas à sa force initiale.<br/>Déformation de 6mm observée.<br/>→ <b>Domaine plastique</b></p> </div> |
| <div data-bbox="118 1312 242 1397" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">AMF</div>   |  <div data-bbox="946 1592 1465 1762" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>La lame revient à sa forme initiale.<br/>Pas de déformation observée.<br/>→ <b>Pseudoélasticité</b></p> </div>  |

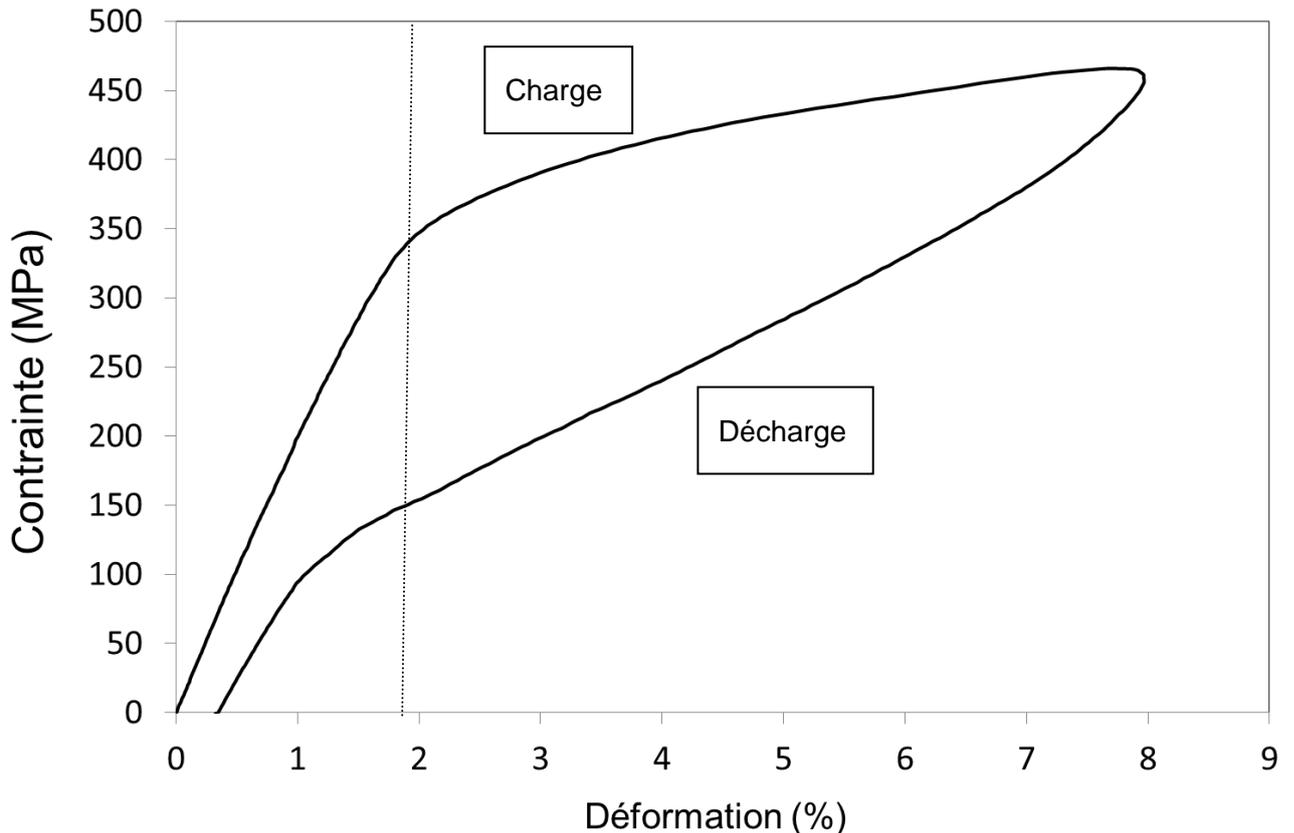
Grâce à notre dispositif, nous avons pu mettre en évidence les propriétés pseudoélastiques de l'AMF, en le comparant à l'acier.



Cependant étant donné que notre dispositif ne permettait pas de faire des mesures très précises, nous avons réalisé un essai de traction sur l'AMF dans les locaux du département MECA sur une machine permettant une étude plus rigoureuse des propriétés pseudoélastiques des AMF.

#### 4.2. Essai de traction sur AMF

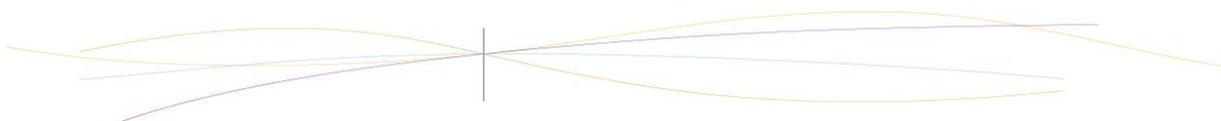
Après utilisation de la machine, nous obtenons le graphique suivant :



La courbe est plus représentative et les mesures sont plus précises. Ici nous différencions bien les courbes de charge et de décharge et nous pouvons plus facilement les comparer au diagramme théorique : il est possible de voir le passage du domaine élastique au domaine plastique (ligne pointillée). L'abscisse et l'ordonnée sont dans les mêmes unités que ceux des graphiques théoriques, ce qui rend ce diagramme tout de suite plus parlant.

Nous remarquons qu'il y a un écart de 0,03% par rapport à la théorie, que nous considérons comme négligeable. En effet la machine prend des mesures très précises, et l'AMF ne peut pas être « idéal » (il y a toujours un pourcentage d'erreur lors de la fabrication industrielle) donc il est normal qu'expérimentalement nous n'obtenons pas des mesures qui correspondent parfaitement à la théorie.

Ce diagramme est très proche du diagramme théorique, et montre bien les propriétés pseudoélastiques de l'AMF : lors de la décharge, l'AMF reprend sa forme initiale (à 0,03% près). Cette propriété est montrée graphiquement grâce à la courbe de décharge qui revient au 0.



## 5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La mécanique n'étant pas notre domaine de prédilection, nous n'avions que peu de connaissances sur le sujet. Ce projet nous a apporté des notions diverses et nous avons eu une première approche qui nous aidera dans nos futurs départements (l'étude de la métallurgie en CFI et résistance des matériaux en MRI). Nous avons compris le principe de la déformation ainsi que de la pseudo-élasticité de l'AMF, dont les applications sont aujourd'hui faibles mais à fort potentiel.

### Conclusions Personnelles

#### Camille

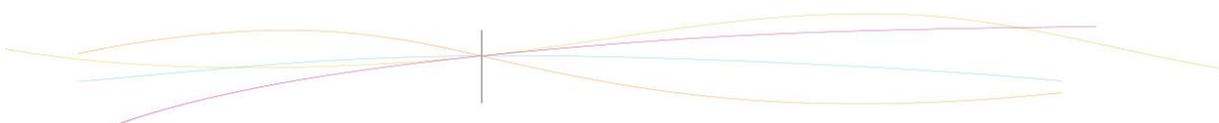
Le projet, même s'il ne correspond pas à ma future orientation en département, m'a apporté une connaissance sur un domaine que je ne connaissais pas, en l'occurrence ici les Alliages à Mémoires de Formes. Cela m'a permis d'étendre ma culture générale et m'a permis d'apprendre à travailler en groupe. Cette expérience me servira dans le futur, en effet l'essentiel du temps, un ingénieur travaille en équipe. De plus, ce projet m'a permis de tester mes capacités d'adaptation puisque je me suis retrouvée dans un groupe où je ne connaissais personne. Ce projet beaucoup plus conséquent que les deux précédents m'a permis de prendre de plus grandes responsabilités et m'a permis d'apprendre à respecter les dates que nous nous étions fixées comme par exemple les dates limites pour la rédaction du rapport. Ce sujet s'est retrouvé parmi mes choix car il me paraissait être un sujet intéressant, et je pensais qu'il me changerait des cours que je suis avec mes thématiques (MRI, CFI), ce qui s'est avéré être vrai.

#### Tiphaine

Ce projet a été pour moi une grande découverte. En effet, ne me destinant pas au département EP ou Mécanique, je n'avais que peu de notions sur le sujet de la résistance des matériaux. Cependant, celui-ci était dans ma liste de vœux, car je trouvais cela intéressant de faire une matière qui sortait des thématiques que j'avais choisies et que cela pouvait m'apporter des connaissances sur un sujet jamais étudié. Cependant, j'ai appris que la résistance des matériaux est un thème abordé dans le département MRI, celui auquel je me prédestine, et j'étais contente de comprendre un phénomène que je vais apprendre dans la suite de mon cursus.

Par ailleurs, la constitution des groupes se faisant aléatoirement, j'appréhendais un peu la rencontre avec mes camarades et j'avais peur que l'entente ne se passe pas bien. Cependant, il s'est avéré que ces peurs n'avaient pas lieu d'être puisque nous n'étions qu'un groupe de filles, qui plus est pratiquement toutes dans les mêmes thématiques. L'organisation et la répartition du travail s'est faite naturellement ; chacune a su donner ses idées et ses indications pour mener à bien le projet.

Cependant, le seul reproche que je pourrais faire sur ce sujet est le peu de moyen pour mettre en évidence le caractère pseudoélastique des AMF. En effet, nous ne



dispositions que d'un petit dispositif expérimental, où nous mesurons la déflexion avec une règle. Ce manque de rigueur ne nous a pas permis d'obtenir des courbes parfaites, qui aurait rendu une exploitation approfondie plus difficile.

### Qianhan

J'ai trouvé ce projet très intéressant et très enrichissant. En effet, il m'a permis d'acquérir de nouvelles connaissances sur différents matériaux surtout les AMF et de découvrir l'importance de faire un travail expérimental qui a rendu le projet d'autant plus captivant.

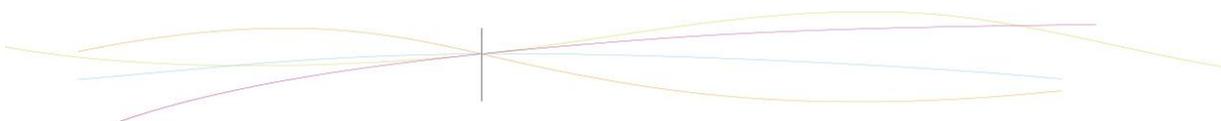
D'ailleurs, je tiens à remercier notre professeur, M. Vieille qui est quelqu'un de très passionné et mes camarades, qui m'ont beaucoup aidée. Finalement, je trouve que le travail en groupe est très important et je suis heureuse d'avoir travaillé sur ce projet avec mes camarades pendant ces 13 semaines.

### Caroline

N'étant pas spécialement attirée par le département MECA ou EP, j'ai tout de même voulu découvrir certains aspects de la mécanique et c'est pour cela que ce sujet a trouvé une place dans ma liste de vœux. Je ne regrette pas du tout ce choix, j'ai trouvé ce sujet très intéressant, j'ai beaucoup appris sur la résistance des matériaux, et sur les AMF. De plus me dirigeant plutôt vers le département MRI, ce sujet m'a permis d'acquérir certaines bases sur la résistance des matériaux qui est au programme de 3ème année.

Ensuite, ce projet m'a permis de travailler en groupe, d'apprendre à gérer et à m'adapter à certains problèmes (organisation, implication et capacités de chacun...), d'apprendre à m'organiser et s'organiser en groupe afin de rendre un projet dans les temps.

Cette expérience a été plutôt positive, l'organisation s'est faite assez facilement au sein du groupe, nous n'avons pas eu de difficultés à nous mettre d'accord, nous nous entraînions dès qu'une difficulté apparaissait pour l'une d'entre nous. Cependant nous n'avons pas beaucoup de manipulations à faire, de ce fait le sujet est devenu assez répétitif à la fin. Je pense qu'il aurait été plus intéressant d'étudier les propriétés des AMF en s'intéressant précisément à une de ses applications.



## 6. BIBLIOGRAPHIE

### Sites internet

1. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Traction>
2. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Compression>
3. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Torsion>
4. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Contrainte\\_de\\_cisaillement](http://fr.wikipedia.org/wiki/Contrainte_de_cisaillement)
5. [http://www.emse.fr/~molimard/publis\\_pdf/cours/cours\\_RDM.pdf](http://www.emse.fr/~molimard/publis_pdf/cours/cours_RDM.pdf)
6. <http://umvf.univ-nantes.fr/odontologie/enseignement/chap16/site/html/cours.pdf>
7. <http://dictionnaire.reverso.net/francais-definition/pseudo-%C3%A9lastique>
8. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Alliage\\_%C3%A0\\_m%C3%A9moire\\_de\\_forme](http://fr.wikipedia.org/wiki/Alliage_%C3%A0_m%C3%A9moire_de_forme)
9. <http://docinsa.insa-lyon.fr/these/2002/gonzalez/chap1.pdf>
10. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Alliage\\_%C3%A0\\_m%C3%A9moire\\_de\\_forme](http://fr.wikipedia.org/wiki/Alliage_%C3%A0_m%C3%A9moire_de_forme)
11. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/materiaux-actifs-et-intelligents-surfaces-fonctionnelles-42126210/alliages-a-memoire-de-forme-m530/>
12. [http://www.materiatech-carma.net/html/pdf/RapportAMF\\_CARMA.pdf](http://www.materiatech-carma.net/html/pdf/RapportAMF_CARMA.pdf)
13. <http://www.savoirs.essonne.fr/dossiers/les-technologies/mecanique/les-materiaux-ont-de-la-memoire/complement/resources/>
14. [http://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fimages.caradisiac.com%2Fimages%2F3%2F0%2F5%2F0%2F23050%2FS0-Salon-de-Geneve-2008-Skoda-Superb-coffre-et-hayon-au-programme-98223.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fcopper-mt.com%2Fthread%2Fmarques%2Fdacia%2F5361&h=1536&w=2048&tbnid=tNgsfkQ9AcvsM%3A&zoom=1&docid=O-3cJL5TkSPJuM&ei=KdaAU\\_rdJKSm0QX\\_yIGABQ&tbm=isch&iact=rc&uact=3&dur=1071&page=2&start=20&ndsp=30&ved=0CNQBK0DMCY](http://www.google.fr/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fimages.caradisiac.com%2Fimages%2F3%2F0%2F5%2F0%2F23050%2FS0-Salon-de-Geneve-2008-Skoda-Superb-coffre-et-hayon-au-programme-98223.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fcopper-mt.com%2Fthread%2Fmarques%2Fdacia%2F5361&h=1536&w=2048&tbnid=tNgsfkQ9AcvsM%3A&zoom=1&docid=O-3cJL5TkSPJuM&ei=KdaAU_rdJKSm0QX_yIGABQ&tbm=isch&iact=rc&uact=3&dur=1071&page=2&start=20&ndsp=30&ved=0CNQBK0DMCY)
15. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Nitinol>
16. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/materiaux-actifs-et-intelligents-surfaces-fonctionnelles-42126210/alliages-a-memoire-de-forme-de-type-nickel-titane-m532/applications-des-amf-niti-m532niv10005.html>
17. <http://www.cnetfrance.fr/cartech/alliage-a-memoire-de-forme-l-innovation-discrete-de-la-nouvelle-corvette-39787199.htm>
18. <http://auto.lapresse.ca/actualites/chevrolet/201302/22/01-4624581-surprise-high-tech-dans-le-coffre-de-la-corvette.php>

### Documents PDF

1. [http://www.materiatech-carma.net/html/pdf/RapportAMF\\_CARMA.pdf](http://www.materiatech-carma.net/html/pdf/RapportAMF_CARMA.pdf)
2. [http://www.emse.fr/~molimard/publis\\_pdf/cours/cours\\_RDM.pdf](http://www.emse.fr/~molimard/publis_pdf/cours/cours_RDM.pdf)
3. <http://umvf.univ-nantes.fr/odontologie/enseignement/chap16/site/html/cours.pdf>
4. [http://www.in2p3.fr/actions/formation/Materiaux06/AMF\\_IN2P3.pdf](http://www.in2p3.fr/actions/formation/Materiaux06/AMF_IN2P3.pdf)

### Livres

Aide-mémoire sciences des matériaux - Michel Dupeux – DUNOD

