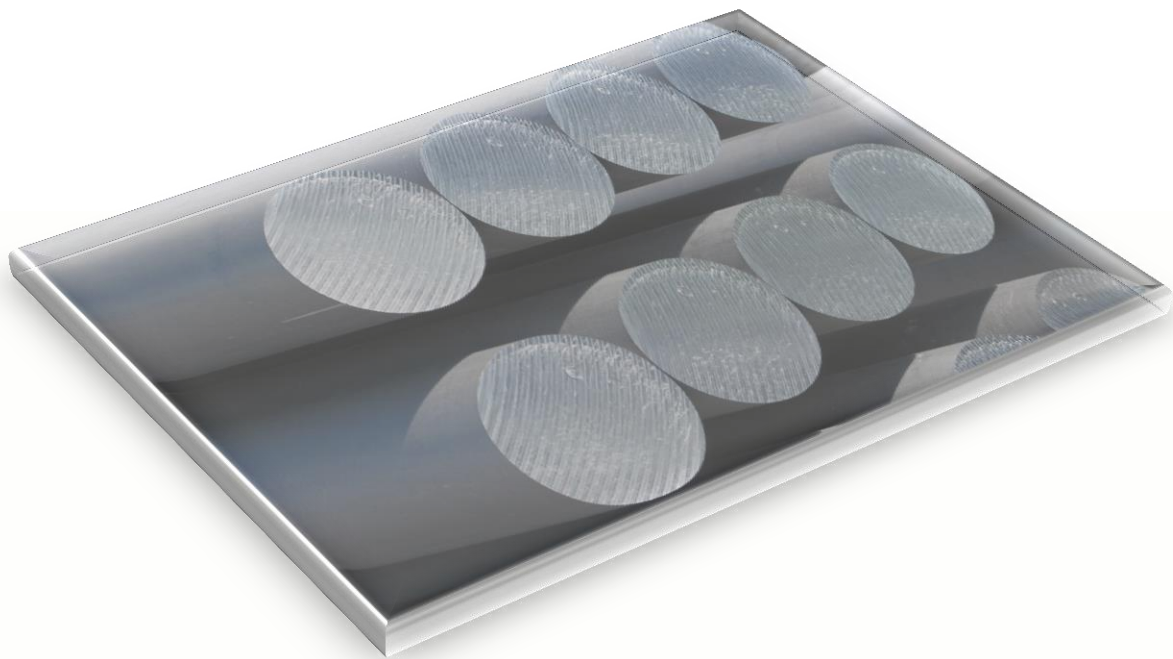


Projet de Physique P6
STPI/P6/2014 – 17

**Etude du comportement mécanique de
l'aluminium pur**



Etudiants :

Valentin COUSIN

Simon ROUZET

Pierre TOCQUEVILLE

Yixue DU

Timothée RUSCH

Enseignant-responsable du projet :

C. KELLER

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

Référence du projet : **STPI/P6/2014 – 17**

Intitulé du projet : ***Etude du comportement de l'aluminium pur***

Type de projet : ***Bibliographique et expérimental***

Objectifs du projet :

L'objectif de ce projet est de caractériser mécaniquement l'aluminium par des essais de traction, ou de dureté. Ces essais sont effectués sur différents morceaux d'aluminium variant en épaisseur et en temps de recuit.

Mots-clefs du projet (4 maxi) : ***Aluminium, caractérisation, résistance, essais***

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	5
2. Organisation du travail	5
3. Travail réalisé et résultats	6
3.1. Comportement mécanique d'un métal	6
3.1.1. Structure des métaux	6
3.1.2. Caractérisation d'un métal et cas de l'aluminium.....	8
3.2. Principes des différents traitements effectués	10
3.2.1. Traitement thermique	10
3.2.2. Essai de dureté	12
3.2.3. Essai de traction.....	15
3.3. Résultats expérimentaux et analyse	19
3.3.1. Résultats dureté	19
3.3.2. Résultats essais de tractions.....	20
3.3.3. Mise en relation des résultats et analyse.....	25
4. Conclusions	28
5. Bibliographie	29

1. INTRODUCTION

Au cours de ce semestre les élèves de stpi2 on dû travaillé en groupe de 6 sur un projet commun. Le projet sur lequel nous avons travaillé porté sur l'étude du comportement mécanique de l'aluminium pur. Projet qui nous a entre autre permis de mettre en application nos connaissances acquises en p9 (résistance des matériaux).

Lors de ce projet, nous nous retrouvions tous les lundi soir afin de faire différents essais (traction et dureté) sur des échantillons d'aluminium qui avaient au préalable été recuit à différentes températures et durées. le but de ces essais était de comprendre le comportement de l'aluminium.

Nous avons pour objectif de réaliser nos essais sur des échantillons recuit à 330°C et 450°C et sur le maximum d'échantillons possible pour avoir les résultats les plus proches de la réalité et pour mieux comprendre le comportement de l'aluminium. Nous avons parfois eu à faire à quelques difficultés : résultats incohérents, machine en panne, etc. Nous avons à notre disposition des machines de tractions et de calcul de dureté ainsi que des salles info pour visualiser nos résultats.

Au cours de ce dossier nous vous expliquerons le comportement mécanique d'un métal puis nous vous présenterons les principes des différents traitements effectués et enfin nous vous montrerons nos résultats et nous les interpréterons

2. ORGANISATION DU TRAVAIL

Les essais à réaliser pour notre projet étaient de deux types. Les essais de traction ainsi que les essais de dureté. Nous avons donc divisé le groupe en deux, d'un côté Valentin Cousin et Simon Rouzet pour effectuer les essais de traction et de l'autre Du Yixue, Pierre Tocqueville et Timothée Rusch.

En ce qui concerne les essais de traction, Valentin et Simon on tous les deux effectués les essais.

Pour les tests de dureté, trois taches étaient à effectuer, l'enrobage, le polissage et l'essai en lui-même. Pierre a effectué la majorité des essais et Timothée en a effectué quelques-uns. Nous sommes tous les trois passé à la polisseuse et Yixue et Timothée s'occupaient des enrobages.

Passons maintenant à l'écriture du rapport :

Valentin Cousin : introduction et conclusion.

Simon Rouzet : essais de traction, résultat essais de traction, mise en relation des résultats & analyse.

Pierre Tocqueville : essais de dureté, résultats dureté, mise en relation des résultats & analyse.

Timothée Rusch : organisation du travail, structure des métaux, traitement thermique.



3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

3.1. Comportement mécanique d'un métal

3.1.1. Structure des métaux

3.1.1.1 Monocrystal et polycristal

La différence entre monocristaux et polycristaux est simple, dans le premier cas, un seul grain compose le cristal, dans le second cas, ils sont composée de plusieurs grains.

Le monocristal est arrangement périodique d'atomes parfait qui se répète sur tout l'échantillon

Il existe à l'état naturel et peut être produit artificiellement



1: Monocrystal de grenat, Chine

Un Polycristal est le regroupement d'un grand nombre de petits cristaux aussi appelés grains. Entre ces cristaux ce forment des « joints » qui conditionnent en grande partie les caractéristiques mécaniques de ce genre de matériaux.

Bien évidemment, cela entraine des propriétés mécaniques différentes selon le type de cristal.

Ainsi, un polycristal sera bien moins élastique que le monocristal.

Par exemple, pour un poly cristal de Cu-25, 5Zn-8, 3Al, l'élasticité réversible sera de l'ordre de 3% alors que pour le monocristal, il sera de l'ordre de 10%, environs trois fois plus.

Qui plus est, la plupart des monocristaux possèdent des propriétés d'anisotropies. Cela signifie que les propriétés mécaniques diffèrent selon l'orientation du cristal.



3.1.1.2 *L'influence des grains sur les propriétés mécaniques*

Tout d'abord, un grain est constitué de millions d'atomes regroupés en un réseau cubiques, ce réseau forme une maille. Un monocristal est formé d'un seul grain.

Dans un polycristal, tous les grains sont liés par des joints qui assurent la cohésion de l'ensemble. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, plus les grains sont petits, plus la résistance élastique est élevée. Cela signifie donc que plus le nombre de joint est élevé plus le matériau sera résistant.

Chaque cristal qui forme le polycristal possède une orientation différente des autres, une propriété anisotrope différente. Du aux nombres important de cristaux, cet effet s'annule au niveau du polycristal.

Un grain peut être modifié par la température ou d'autres procédés tels que le laminage. Il entraîne un affinement des grains, ce faisant, il augmente la résistance au choc du polycristal.

3.1.1.3 *Les mailles et la température*

Les mailles peuvent être de plusieurs types : cubique centré, cubique face centré, rhomboédrique ...

Les propriétés mécaniques dépendent aussi du type de maille. Ainsi il est admis que les métaux « mou » possèdent généralement une maille de type cubique face centré alors que les métaux dis « dur » possèdent une maille cubique centré.

Ces mailles peuvent changer en fonction de la température auquel est soumis le métal.

Prenons le fer par exemple :

De 0 à 910°C, il est de type cubique centré. Au-delà de cette température, il sera de type cubique face centré donc moins résistant jusqu'à atteindre les 1394°C. A ce moment, il redeviendra cubique centré avant de devenir liquide à 1538°C



Système réticulaire	triclinique ou anorthique	monoclinique	orthorhombique	hexagonal	rhomboédrique	tétragonal (ou quadratique) ¹	cubique (ou isométrique)
Réseau primitif	$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$ 	$\beta \neq 90^\circ$ $\alpha, \gamma = 90^\circ$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq c$ 	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ 	$a \neq c$ 	
Réseau centré			$a \neq b \neq c$ 			$a \neq c$ 	
Réseau à base centrée		$\beta \neq 90^\circ$ $\alpha, \gamma = 90^\circ$ 	$a \neq b \neq c$ 				
Réseau à faces centrées			$a \neq b \neq c$ 				

1: les différents types de maille (Wikipédia)

3.1.2. Caractérisation d'un métal et cas de l'aluminium

Afin de les différencier les matériaux, on doit étudier leurs caractéristiques, et ce, de plusieurs manières. Comme détaillé précédemment, la première étape consiste en une analyse de la composition (atomes, grains, etc...) et de la structure du matériau. On peut ensuite effectuer de nombreux essais mécaniques sur l'échantillon, ce qui va nous permettre de déterminer les lois de comportement du matériau utilisé et ses grandeurs caractéristiques. Ces principales grandeurs sont les suivantes :

- Le module de Young est la grandeur la plus fréquemment utilisée. Elle exprime le rapport entre la déformation d'un matériau et la contrainte qui en est à l'origine. On le note E, et il est exprimé en unité de pression. On l'obtient par essai de traction, en utilisant uniquement la zone élastique du graphique exprimant la contrainte exercée (σ) en fonction de la déformation (ϵ , en %). Il suit la formule $\sigma = E \cdot \epsilon$. Le module de Young n'a cependant pas la même signification physique selon qu'il est utilisé pour caractériser des matériaux cristallins ou des polymères.
- La limite élastique notée R_e est elle aussi très souvent utilisée. Comme son nom l'indique elle représente la valeur de contrainte à partir de laquelle le matériau cesse



de se déformer de manière élastique. Elle est donc exprimée en unité de pression, généralement le MPa.

- Le coefficient de poisson, noté ν , caractérisant la contraction de matière perpendiculairement à la direction de l'effort appliqué. Il est compris entre -1 et 0,5, mais dans la pratique on retrouve toujours des coefficients proches de 0,3. Les matériaux à coefficient de poisson négatif sont encore en phase d'étude, cependant on notera que le liège a un coefficient de 0 et le caoutchouc 0,5.
- Le module de cisaillement G , représente, comme son nom l'indique, le comportement d'un matériau lorsqu'il est soumis à des forces de cisaillement. Il a la dimension d'une contrainte et est exprimé en MPa. Il peut être relié au coefficient de poisson et au module de Young par la formule $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$
- Le premier coefficient de Lamé λ , il n'a pas de signification physique mais est utilisé pour la résolution de la loi de Hooke
- Le module d'élasticité isostatique K .

Des essais de dureté peuvent aussi être réalisés, ce qui est le cas pour notre projet, et sont détaillés dans la suite de ce rapport.

Voici un récapitulatif des valeurs théoriques attendues pour de l'aluminium pur :

- Module de Young : 70000 MPa
- Limite élastique : de 90 à 440 MPa
- Dureté Vickers : entre 35 et 48



3.2. Principes des différents traitements effectués

3.2.1. *Traitement thermique*

3.2.1.1 *Traitement thermique ? Quels buts ?*

Un traitement thermique est « une succession d'opérations au cours desquelles un produit ferreux solide est soumis en totalité ou partiellement à des cycles thermiques pour obtenir un changement de ses propriétés et/ou de sa structure », selon la norme : NF EN10052

Le but des traitements thermiques est d'obtenir le compromis souhaité entre les quatre facteurs suivants : la ductilité (capacité à se déformer plastiquement sans rompre), la résilience (capacité à absorber l'énergie tout l'effet d'un choc), la résistance, la dureté (résistance à l'usure à la pression et au choc).

3.2.1.2 *Quels sont les différents facteurs d'un traitement thermique*

Plusieurs facteurs jouent sur le traitement thermique on peut les différencier en deux catégories. Premièrement les facteurs :

- Le temps, le milieu et la température.

Deuxièmement les phases :

- La montée en température, le maintien à température et le refroidissement.

La partie la plus importante de ce traitement est certainement le refroidissement. Il est très important de choisir le milieu de refroidissement tel que la glace pour un refroidissement rapide, l'eau pour refroidir un peu plus lent ou encore l'air. De temps en temps il est même question de refroidir à l'intérieur de four à plus basse température. Cette étape est cruciale car elle influe directement sur la taille des grains et donc sur la résistance et la flexibilité des matériaux

3.2.1.3 *Les principaux types de traitement chimique*

Les quatre principaux types de traitement thermique sont les suivants :

Le revenu, le traitement de normalisation, la trempe, et le recuit. Chacun de ces traitements est détaillé ci-dessous. Dans le cas de notre projet nous n'avons utilisé que le recuit.

La trempe :

La trempe ou trempage est composé de deux étapes. La première phase consiste à augmenter la température du matériau jusqu'à un point de transformation. Ensuite le matériau sera refroidi à une vitesse appropriée permettant l'obtention d'une phase hors



équilibre. Le but de la trempe est d'améliorer la résistance élastique et à la rupture mais cela se fait au détriment de sa résilience et de sa malléabilité. Normalement réservé aux métaux cette technique est aussi utilisée pour le verre.

Le recuit :

Le recuit est la seule et unique technique que nous avons utilisée lors de notre projet.

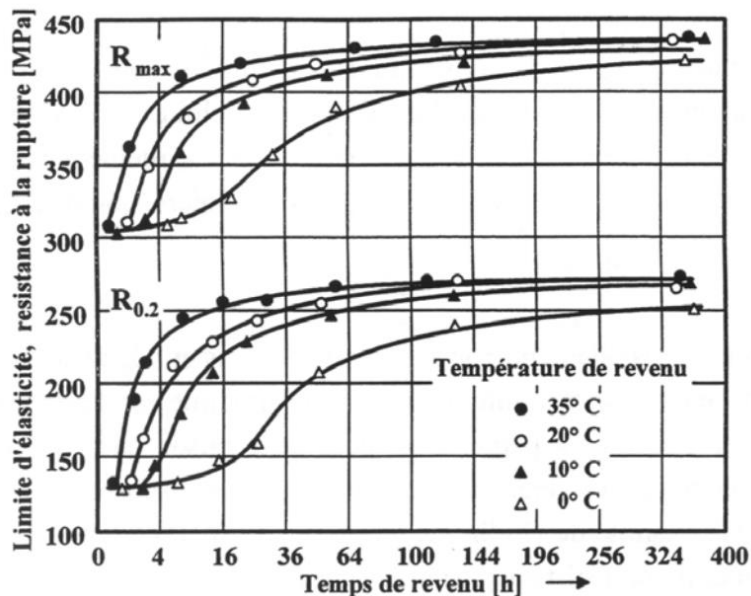
Le recuit est un procédé qui consiste à chauffer une pièce à une température choisie (maximum 1150 °C). Puis la pièce est maintenue à cette température pendant un temps donné. Suite à cela la pièce est refroidie à une vitesse adéquate jusqu'à un retour à la température ambiante donnant au métal une structure stable. Le but du recuit est d'éliminer les contraintes existantes dans la pièce dû à leur utilisation ultérieure. On obtient ainsi une pièce qui pourra de nouveau subir des déformations ou des traitements thermiques.

Le traitement de normalisation

Le traitement de normalisation correspond un recuit à très forte température (supérieur à 1150 °C). Le refroidissement se fait quant à lui à l'air libre. C'est dans ces conditions que sont livrées les pièces de sidérurgie.

Le revenu

Le revenu procède d'une manière similaire au recuit à la différence que l'on ne dépasse jamais les températures de transformation allotropique des métaux. Il produit un abaissement de la limite d'élasticité et donc par ce biais du module Young.



Et d'autres

Bien évidemment il existe de nombreux autres traitements thermiques. Dans le cas de l'aluminium, qui est le matériau étudié ici, les traitements thermiques possibles sont les



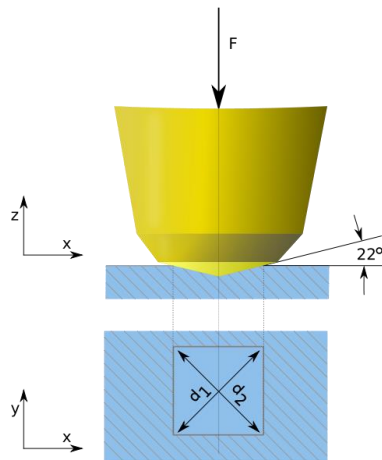
suivants : le recuit, la trempe, la maturation, la restauration (suppression partielle de l'écrouissage), détentionnement, homogénéisation, recristallisation (suppression totale de l'écrouissage). D'autre part, il ne faut pas oublier qu'il existe d'autres traitements dits « surfacique » tel que le laminage.

3.2.2. Essai de dureté

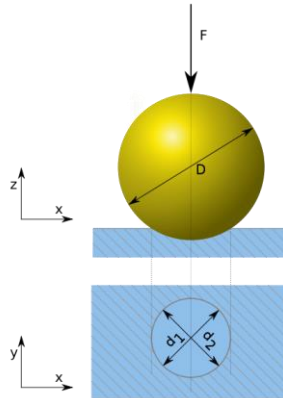
La dureté est une mesure qui permet de renseigner sur la capacité à usiner un matériau, sur sa résistance à l'usure. Elle est notamment utilisée en soudure puisqu'elle a l'avantage de pouvoir être mesurée directement sur la pièce (en ayant une machine adaptée). Dans le cadre de notre projet, la mesure de dureté sur des échantillons ayant subis différents traitements thermiques nous permet d'observer les modifications que ceux-ci apportent au métal, en l'occurrence ici l'aluminium. En effet les traitements thermiques influent sur la taille des grains d'un métal cependant il nous était impossible d'observer directement cela avec le matériel que nous avons à disposition, il aurait fallu utiliser un traitement à l'acide sulfurique ce qui représente un risque trop important. Le but recherché est donc d'étudier l'influence des températures et des durées de recuit sur la dureté d'échantillons d'aluminium, afin d'établir une relation logique entre tous ces paramètres. Il est cependant important de préciser que pour obtenir des résultats précis exploitables dans cette étude, l'état de surface de l'échantillon est très important, il doit être complètement poli.

La dureté peut être mesurée à l'aide de différentes machines et donc de différents test. Dans le cas des métaux, cette dureté est généralement mesurée par pénétration d'un élément indéformable dans le matériau à tester. La taille de l'empreinte laissée dans le métal, ainsi que la force exercée au début du test permettent de définir une échelle, qui change en fonction de la forme de l'objet pénétrant. Les plus répandues sont :

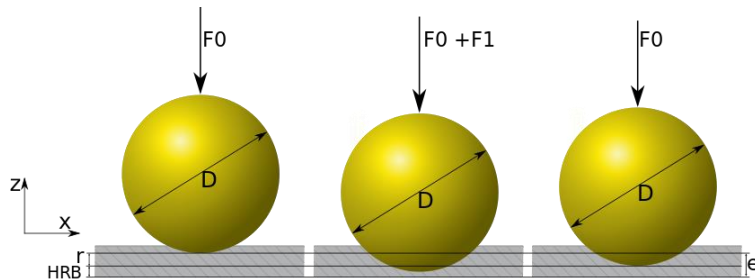
- La dureté Vickers qui utilise une pointe pyramidale en diamant, avec une base carrée et un angle au sommet de 136°. La dureté est ensuite calculée par la formule suivante : $Hv = \frac{2 * F * \sin(\frac{136^\circ}{2})}{d^2}$ approximée ici par $Hv = 0.189 * \frac{F}{<d^2>}$ Cette mesure de dureté est la plus répandue et c'est celle que nous avons utilisée dans le cadre de notre projet.



- La dureté Brinell utilise quasiment le même principe mais cette fois l'élément indéformable est une bille généralement en carbure poli, et on mesure le diamètre de l'empreinte laissée. La dureté est alors exprimée en fonction de ce diamètre, de celui de la bille et de la masse appliquée. Il est important que l'échantillon testé soit assez épais pour ne pas être déformé, ce qui fausserait les résultats.

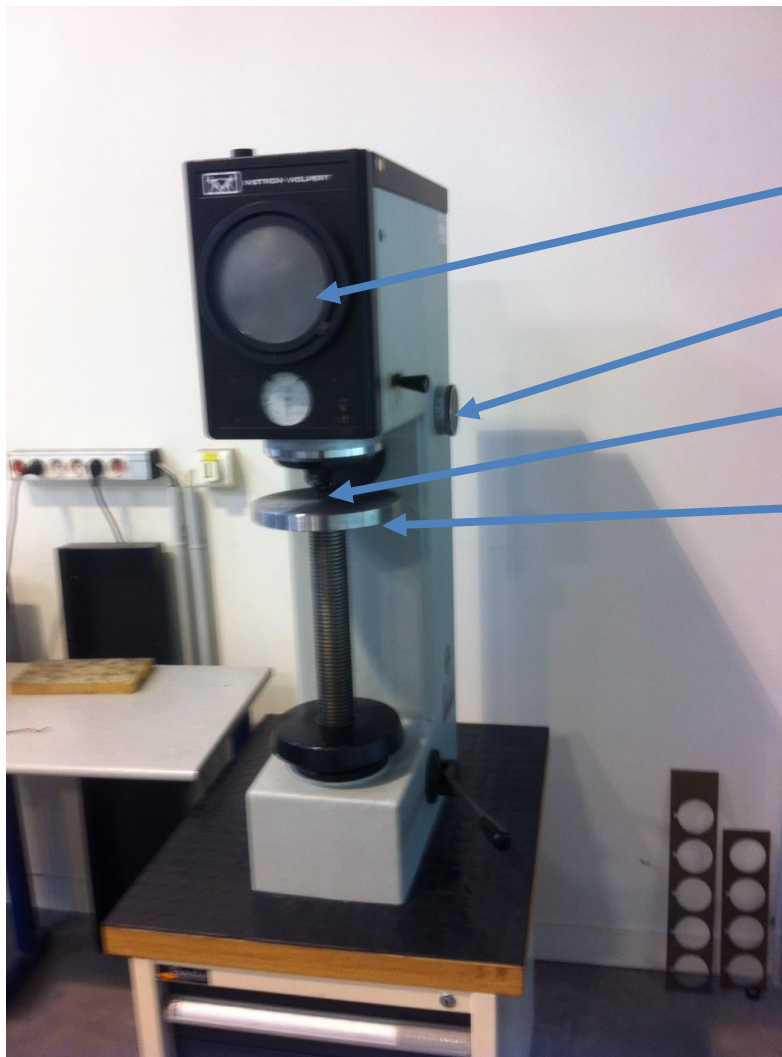


- D'autres mesures de dureté par pénétration sont quelquefois utilisées, comme la dureté Meyer (Même principe que la dureté Brinell mais formule différente) ou encore la dureté Rockwell (application d'une première force puis d'une seconde, et retour à l'état initial. La pénétration est alors mesurée).



Afin d'effectuer les essais sur nos échantillons, nous avons tout d'abord enrobé ces derniers de résine, ce qui nous a permis de les polir sur une polisseuse à disque plus facilement que si nous avions du tenir les tenir directement (échantillons relativement petits). Avant d'effectuer réellement les essais de dureté, nous avons éliminé les dernières impuretés avec de l'éthanol. Voici une photo montrant les principales parties du duromètre Vickers utilisé durant notre projet :





Ecran

Réglage de la force appliquée

Pointe en diamant et objectif

Plateau ajustable

La première chose à faire était de régler la hauteur du plateau sur lequel on pose l'échantillon, afin que l'empreinte visible à l'écran soit bien nette. Pour que les diagonales soient facilement mesurables, il a fallu utiliser une masse assez faible (de l'ordre de 15kg), des masses plus importantes laissant une empreinte trop grande pour être mesurées à l'écran. Nous avons ensuite pris les mesures de 10 empreintes, afin de calculer la dureté Vickers par la formule donnée précédemment à partir de la moyenne des diagonales plutôt qu'avec une seule mesure, puisque comme nous l'avons dit, cette mesure dépend grandement de l'état de surface.



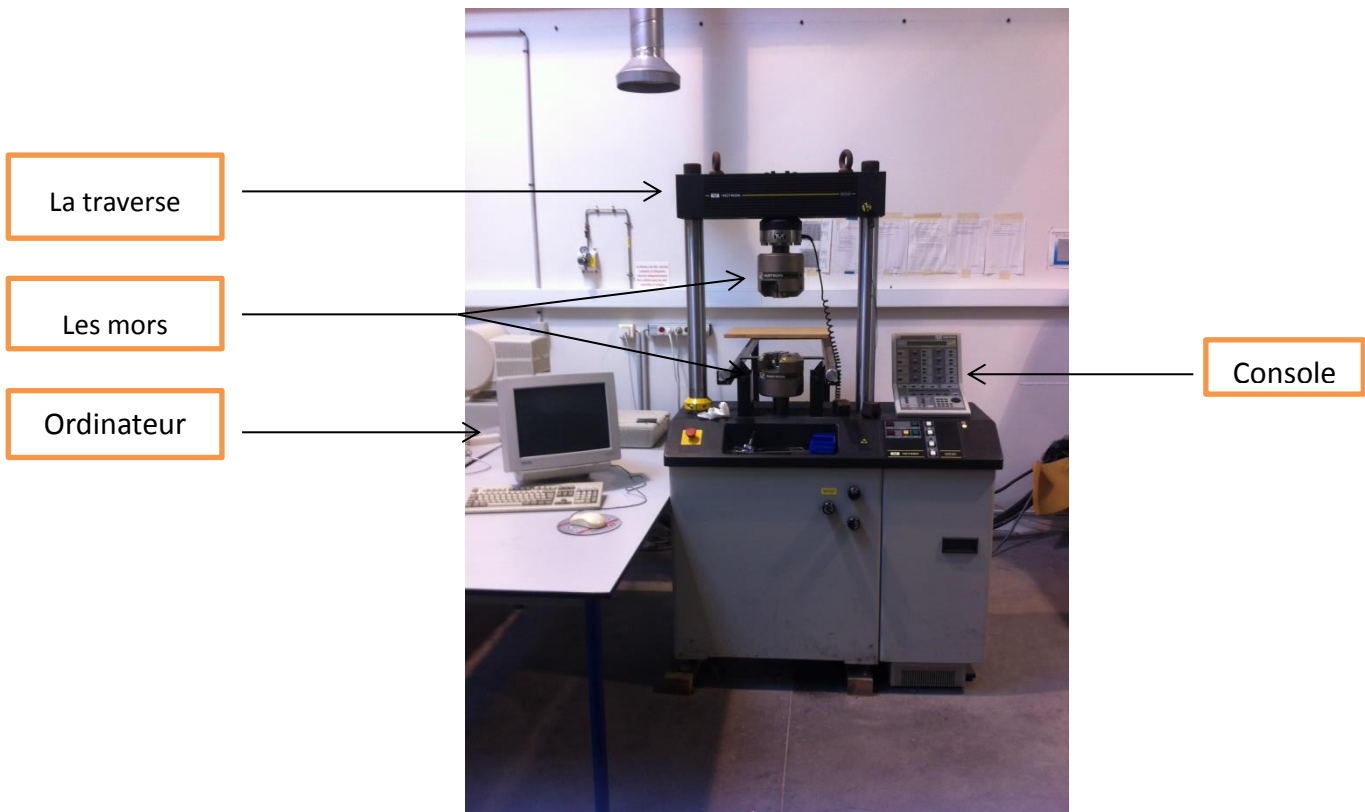
3.2.3. Essai de traction

3.2.3.1 Comment se déroule un essai de traction ?

Un essai de traction permet de déterminer plusieurs valeurs correspondantes aux caractéristiques d'un matériau :

- Le module d'Young : E (exprimé en MPa ou GPa)
- La limite élastique : σ_e (exprimée en N)
- La limite à la rupture : σ_m (exprimée en N)
- Le coefficient de Poisson

Pour effectuer un essai de traction, on utilise une machine de traction (évaluée à 75000€ environ) :



L'appareil est constitué d'une cellule de force permettant de transmettre la force pour déformer l'échantillon. Elle possède aussi un capteur de déplacement pour déterminer la position.



Les mors



Ce sont deux attaches qui permettent de serrer l'échantillon lors d'un essai de traction. Sur la photo ci-dessus, les mors sont à serrer manuellement mais il en existe des auto-serrantes. Il est très important de bien fixer l'échantillon en serrant les mors pour que ce dernier ne bouge pas et ne fausse pas les résultats.

La traverse est mobile, elle bouge verticalement permettant aux mors, fixés à la traverse, de tracter l'échantillon.

L'extensomètre : le mot extensomètre vient du mot « extensométrie » qui signifie science de la mesure des déformations. Lors d'un essai de traction, l'extensomètre est placé sur l'éprouvette et il permet de calculer l'allongement en temps réel de l'échantillon. Un extensomètre est estimé à environ 4500€.

La console permet de guider la traverse, c'est-à-dire de la descendre ou de la monter pour que l'éprouvette soit correctement installer entre les 2 mors. Ensuite la console indique la force exercée et la déformation (une fois l'extensomètre installé).



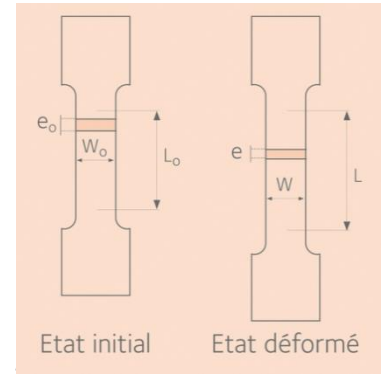
L'ordinateur permet de commencer l'expérience et l'acquisition des données avec l'aide du logiciel INSTRON Wave Maker - Editor



L'éprouvette

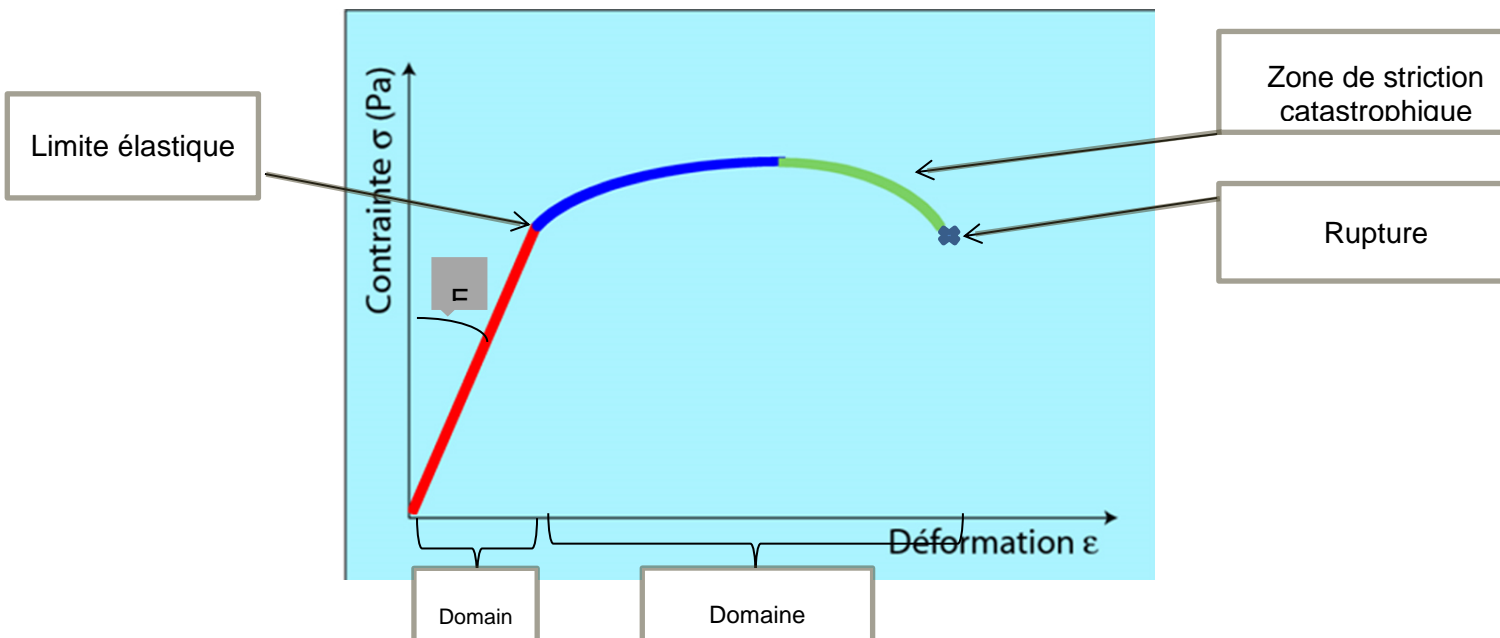
Lors de chaque essai, on définit une partie utile L_0 et on mesure l'épaisseur e_0 et la largeur W_0 . Après la réalisation d'un essai de traction, l'éprouvette est déformée, c'est-à-dire que sa partie utile a augmenté (L), son épaisseur (e) et sa largeur (W) ont diminué.

Les essais de traction permettent de déterminer la résistance d'un matériau. Les données acquises lors de chaque essai ont pour but de dessiner une courbe, appelée courbe de traction.



<http://automotive.arcelormittal.com/saturnus/sheets/images/large/Forme%20eprouvette%20traction.jpg>

Courbe de traction :



La limite élastique peut former un palier donnant une zone de striction stable. Mais au cours de nos expériences, le palier n'est pas souvent apparu.

Dans le domaine élastique, la déformation de l'échantillon est temporaire, c'est-à-dire que lorsqu'il n'y a plus de forces exercées sur le solide, ce dernier retrouve sa forme et sa taille habituelle.

Dans le domaine plastique, la déformation est permanente.

La contrainte à la limite élastique est notée R_e .

La contrainte maximale correspond à la résistance à la traction, elle est notée R_m .

Le module de Young est noté E .



Détermination de la contrainte et de la déformation :

-Contrainte :

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

F : Force (en N)
 S : Surface de l'échantillon (en mm²)
 σ : Contrainte (en Mpa)

-Déformation

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

ΔL : Allongement de l'échantillon
 L₀ : Longueur initiale de l'échantillon
 ε : Déformation

La limite élastique et la limite à la rupture peuvent se déterminer directement sur le graphique.

Module de Young :

Concernant le module de Young, il correspond à la pente de la courbe du domaine élastique (en rouge sur le graphe précédent). Donc, le module de Young (E) est tout simplement le rapport entre la contrainte de traction et la déformation du matériau.

La loi de Hooke nous permet de déterminer mathématiquement le module de Young :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$



3.3. Résultats expérimentaux et analyse

3.3.1. Résultats dureté

Des tests de dureté ont été effectués sur des échantillons recuits plus ou moins longtemps, et à différentes températures. Nous avons donc premièrement effectué plusieurs essais sur des échantillons recuits à 450°C, puis, les résultats ne nous apportant pas beaucoup de renseignements, nous avons de nouveau effectué des test sur des échantillons recuits à 330°C cette fois. Les résultats étant plus probants, nous avons fait des essais de dureté sur une gamme d'échantillons recuits entre 30 minutes et 6 heures. Enfin, nous avons pu comparer la différence de dureté lorsque l'essai était réalisé sur un morceau d'aluminium plus épais.

Les résultats obtenus sont contenus dans le tableau suivant :

450°

Temps(h)	Fin (Hv)	Epais	Ecart Type	
30 min	25,7	63,6882824		
1h	23,7569296	68,1597915		
1h30	24,522	67,7435		
Brut	40,83	68,98		
6h	22,8	64,85	0,5	1,59

330°

0,5	40,29	67,96	0,9	1,12
1	40,34	66,62	0,63	1,75
1,5	41,21		0,515	
2	37,5		1,47	
2,5	35,85		1,472	
3	34,8		1,25	
3,5	30,3		1,78	
4	24,9		1,02	
6	25,27		0,69	



On observe qu'avec une température de recuit de 450°C, quelque soit la durée, les valeurs sont quasi-identiques, ou du moins ne varient pas de manière significative. Ceci est vrai dans le cas des échantillons épais et des échantillons fins. On observe cependant une que la dureté des échantillons n'est pas la même. Ensuite on constate qu'à 330°C, la durée du recuit change la dureté, cependant pour des recuits de moins de 2h et de plus de 4h, la différence n'est pas significative non plus. L'essai sur l'échantillon recuit 2h30 à 330°C était totalement aberrant comparé aux autres résultats (Hv=41), nous avons donc effectué une deuxième fois le test qui était alors plus cohérent.

3.3.2. Résultats essais de tractions

Nous avons réalisé différents essais de traction sur plusieurs échantillons recuits à 450°C et à 330°C pendant 30min/1h/1h30 et nous avons obtenu différentes courbes de traction (contrainte en fonction de la déformation).

L'extensomètre utilisé a toujours été le même : INSTRON 25mm.

Le module de Young, la limite élastique et la résistance à la traction a été déterminé graphiquement et avec l'aide du logiciel Igor Pro 6.34A.

Le module de Young de l'aluminium est 70 GPa (70 000 MPa).

3.3.2.1 1^{er} test : aluminium recuit 1h30 à 450°C

Epaisseur : $e_0 = 2\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$

Largeur : $W_0 = 10\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$

Partie utile : $L_0 = 40\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$

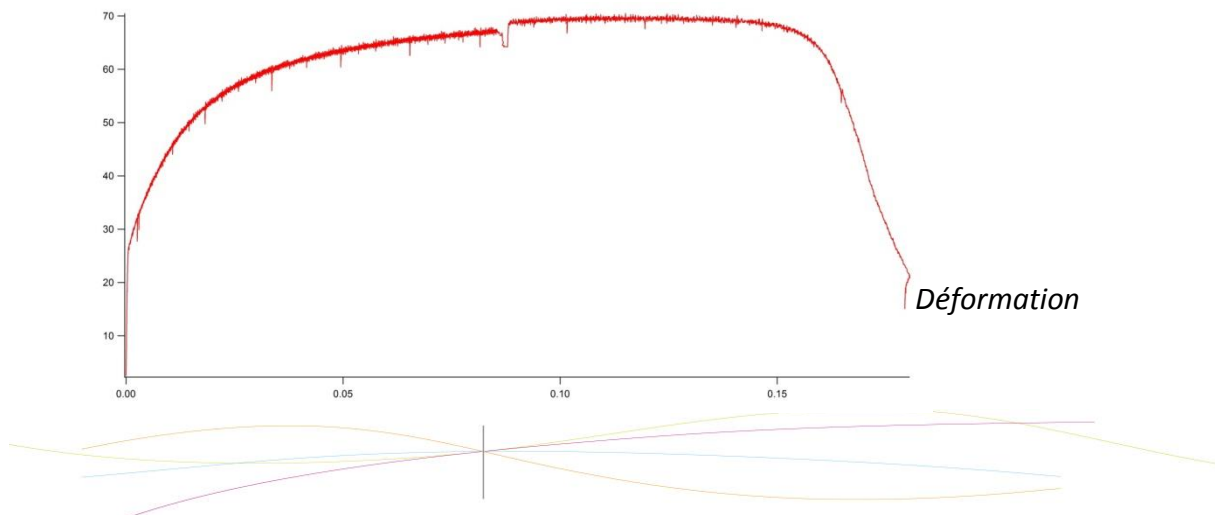
Vitesse : 1mm/min

Lors du 1^{er} test nous avons arrêté l'expérience pour ne pas détériorer l'extensomètre, ensuite nous avons repris l'expérience avec un nouveau test (2^{ème} test) sur le même échantillon pour atteindre la limite à la rupture. Nous avons gardé la même vitesse.

Pour l'acquisition des données, nous avons assemblés les 2 courbes.

Courbe traction de l'aluminium recuit 1h30 à 450°C :

Contrainte (MPa)



Module de Young : $54\,485 \pm 1390$ MPa (Ecart relatif à la valeur théorique : $0.22 \rightarrow 22\%$)

Limite élastique : 27 MPa Contrainte maximale (Résistance à la traction) : 70 MPa

3.3.2.2 3^{ème} test : aluminium recuit 1h à 450°C :

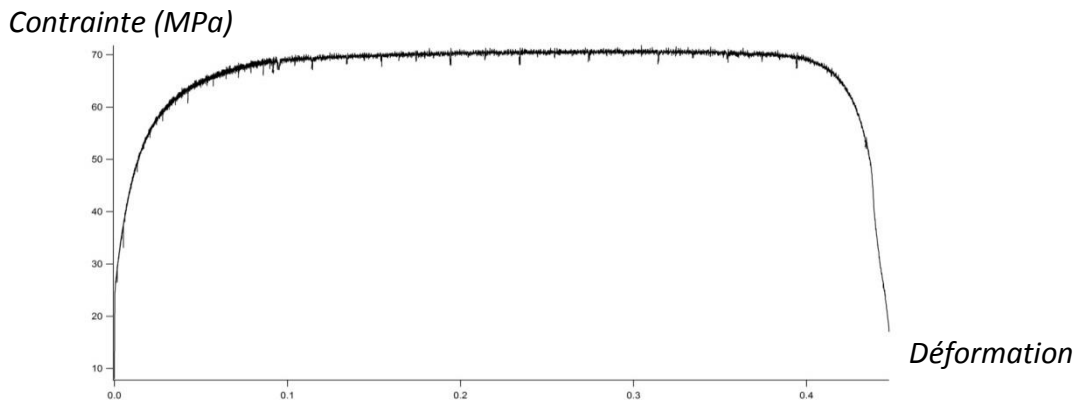
Epaisseur : $e_0 = 1.98\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$

Largeur : $W_0 = 10.8\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$

Partie utile : $L_0 = 40\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$

Vitesse : 2mm/min

Courbe traction de l'aluminium recuit 1h à 450°C :



Module de Young : $89\,658 \pm 5170$ MPa (Ecart relatif à la valeur théorique : $0.28 \rightarrow 28\%$)

Limite élastique : 25 MPa

Contrainte maximale (Résistance à la traction) : 69 MPa

3.3.2.3 4^{ème} test : aluminium recuit 30min à 450°C

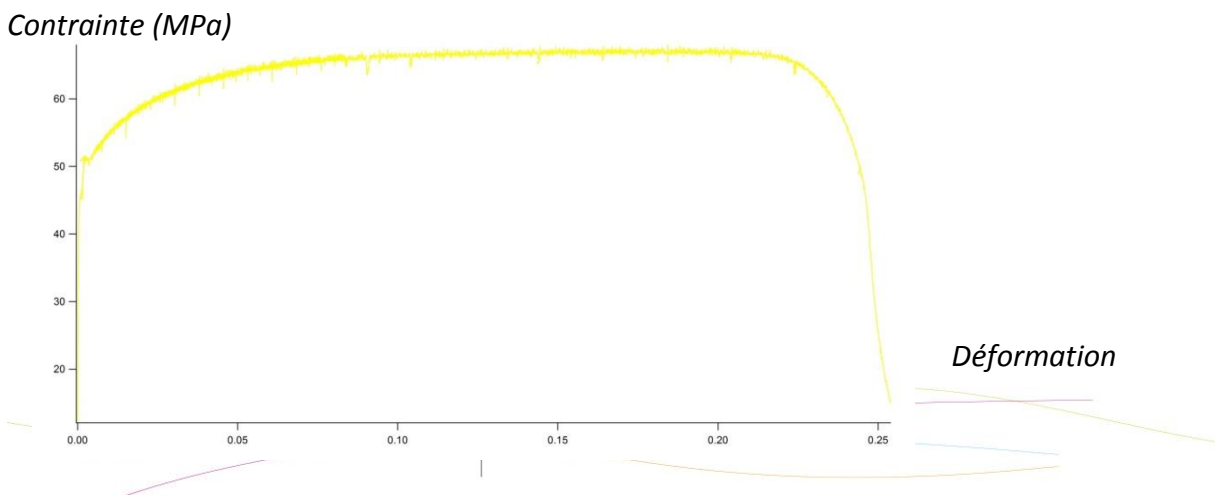
Epaisseur : $e_0 = 2.09\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$

Largeur : $W_0 = 10.22\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$

Partie utile : $L_0 = 40\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$

Vitesse : 2mm/min

Courbe traction de l'aluminium recuit 30min à 450°C :



- Module de Young : $52\,638 \pm 3040$ MPa (Ecart relatif à la valeur théorique : $0.24 \rightarrow 24\%$)
- Limite élastique : 50 MPa
- Contrainte maximale (Résistance à la traction) : 67 MPa

3.3.2.4 5^{ème} test : aluminium recuit 30min à 330°C :

Epaisseur : $e_0 = 1.96\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$

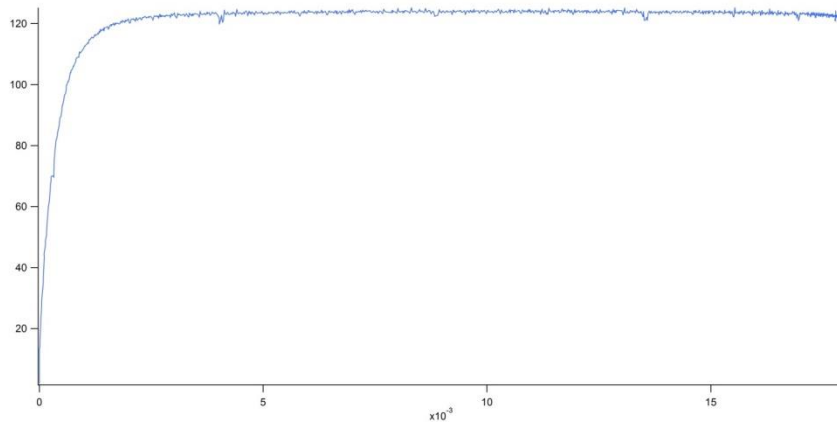
Largeur : $W_0 = 10.48\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$

Partie utile : $L_0 = 41.62\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$

Vitesse : 2mm/min

Courbe traction de l'aluminium recuit 30 min à 330°C :

Contrainte (MPa)



Déformation

- Module de Young : $181\,0126 \pm 3580$ MPa (L'écart relatif à la valeur théorique est trop important)
- Limite élastique : 70 MPa
- Contrainte maximale (Résistance à la traction) : 124 Mpa

3.3.2.5 6^{ème} test : aluminium recuit 1h à 330°C

Epaisseur : $e_0 = 2.06\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$

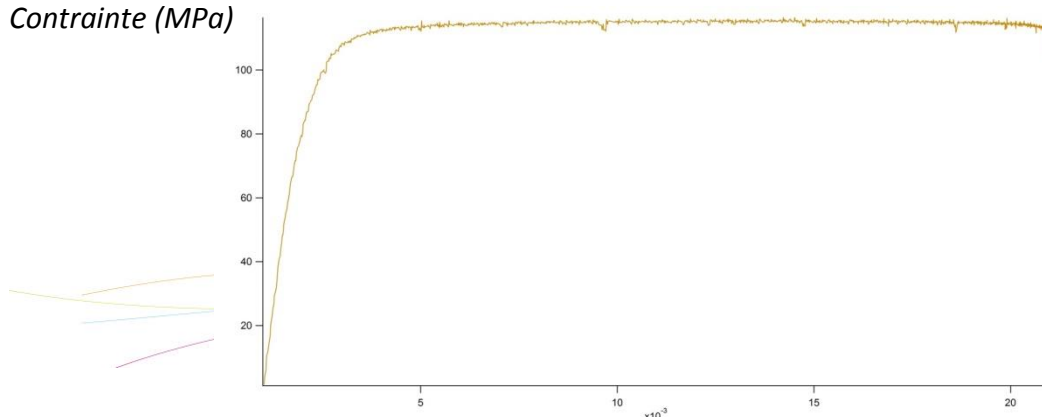
Largeur : $W_0 = 10.55\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$

Partie utile : $L_0 = 39.44\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$

Vitesse : 2mm/min

Courbe traction de l'aluminium recuit 1h à 330°C :

Contrainte (MPa)



Déformation

- Module de Young : $78\,494 \pm 1710$ MPa (Ecart relatif à la valeur théorique : $0.12 \rightarrow 12\%$)
- Limite élastique : 95 MPa
- Contrainte maximale (Résistance à la traction) : 115 MPa

3.3.2.6 7^{ème} test : aluminium recuit 1h30 à 330°C

Epaisseur : $e_0 = 1.92\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$

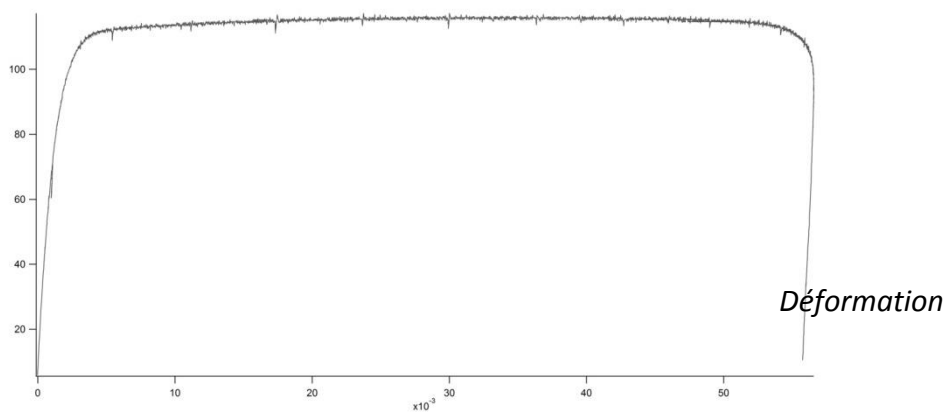
Largeur : $W_0 = 9.84\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$

Partie utile : $L_0 = 39.84\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$

Vitesse : 2mm/min

Courbe traction de l'aluminium recuit 1h30 min à 330°C :

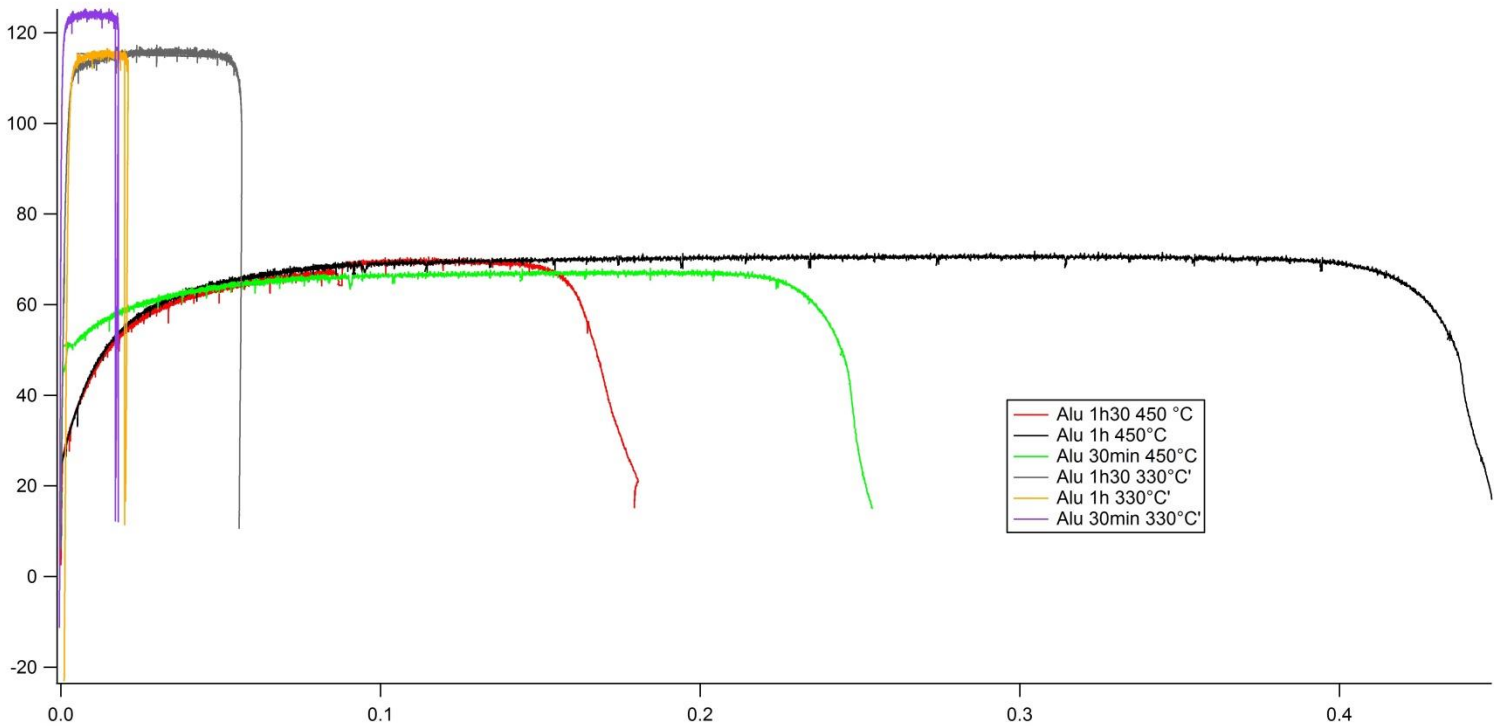
Contrainte (MPa)



- Module de Young : $63\,803 \pm 829$ MPa (Ecart relatif à la valeur théorique : $0.08 \rightarrow 8\%$)
- Limite élastique : 61 MPa
- Contrainte maximale (Résistance à la traction) : 116 MPa



Superposition de toutes les courbes de traction :



Interprétation des résultats :

On remarque que la température de recuit influe sur la contrainte du solide. En effet, la contrainte maximale pour les échantillons recuits à 330°C est deux fois plus importante que celle des échantillons recuits à 450°C. La contrainte maximale des solides recuits à 330°C est de 124MPa, alors que celle des solides recuits à 450°C est de 70MPa. Concernant la limite élastique, on remarque que les éprouvettes recuites à 330°C ont une contrainte à la limite élastique plus importante que celle des éprouvettes recuites à 450°C.

Ensuite la température de recuit influe aussi sur la déformation des échantillons. La déformation des éprouvettes recuites à 330°C est beaucoup plus faible que celles qui ont été recuites à 450°C. La déformation pour les solides recuits à 430°C varie entre 16% et plus de 44.7%, alors que la déformation des solides recuits à 330°C varie entre 1.7% et 5.6%.

Au final on constate donc que l'augmentation de la température de cuisson a un effet décroissant sur la contrainte et un effet croissant sur la déformation.

Le temps de recuit ne fait pas de gros changements concernant les contraintes ou les déformations.



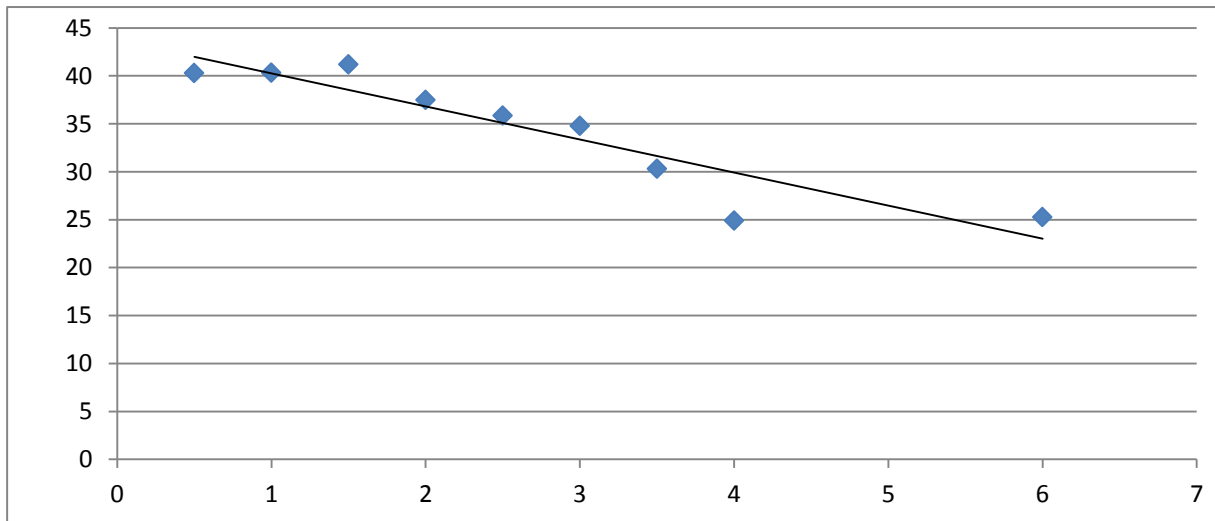
3.3.3. *Mise en relation des résultats et analyse*

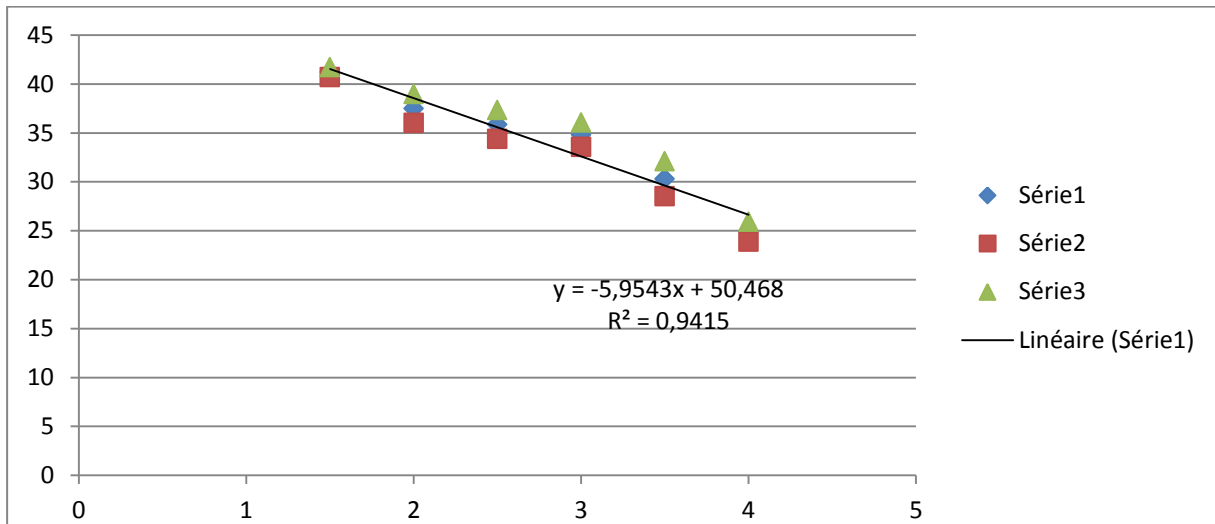
En premier lieu, nous avons effectué un essai de dureté sur un échantillon non traité d'aluminium, afin d'avoir une référence pour les autres essais. C'est l'échantillon appelé "Brut" dans le tableau de résultats.

Les premiers tests, réalisés à une température de 450°C n'étaient pas du tout concluants, car trop proches. Nous avons donc cherché une explication à ce phénomène et nous sommes parvenus à la conclusion que la température de recuit était trop élevée et que par conséquent les modifications de structure apportées par ce traitement au métal étaient déjà maximales pour un recuit de 30 minutes. On observe le même phénomène pour les échantillons recuits plus de 4h à 330°C, il n'ya plus de modifications à apporter à la structure au-delà de 4h.

A l'inverse, pour des recuits de moins de 2h à 330°C, les résultats quasi-identiques s'expliquent par le fait que l'énergie apportée par le traitement n'est pas suffisante pour modifier la structure de l'aluminium. On ne peut donc pas observer de différences dans la dureté des échantillons.

Enfin la partie la plus intéressante pour nous est celle que représente l'ensemble des échantillons recuits entre 2h et 4h à 330°C. En effet on s'aperçoit que plus la durée du traitement thermique est longue, plus la dureté diminue. On obtient ainsi les graphiques suivant :





Dureté exprimée en Hv en fonction du temps de recuit (en heures)

On s'aperçoit que dans cette zone la dureté est quasiment fonction linéaire du temps de recuit (Coefficient de 0.94, et droite qui passe par les barres d'erreurs, sauf pour la mesure de l'échantillon recuit 3h). Ce résultat pourrait être amélioré en réalisant de meilleurs polissages et éventuellement un rinçage aux ultra-sons (importance très forte de l'état de surface de l'échantillon), et en utilisant de l'aluminium pur.

D'après les résultats obtenus lors des essais de traction, on remarque que l'augmentation de la température de recuit va faciliter la déformation de l'aluminium. En effet, plus la température est élevée, plus la contrainte correspondant à la limite élastique est faible, ainsi le domaine plastique est atteint pour des contraintes plus faibles. C'est à partir du domaine élastique que la déformation est permanente.

Les échantillons recuits à 450°C ont besoin d'une contrainte inférieure à celles de 330°C pour atteindre le domaine plastique et se déformer de manière permanente. De plus, leur domaine plastique est beaucoup plus grand, et par conséquent la déformation aussi. L'élévation de la température sur l'aluminium recuit à 430°C va réduire la contrainte pour atteindre le domaine plastique mais elle va influencer fortement sur la déformation qui va être beaucoup plus importante avant d'arriver à la rupture.

Lorsque nous avons mesuré les modules de Young sur nos résultats expérimentaux, nous avons constaté qu'ils n'étaient pas similaires à ceux des résultats théoriques.

Tout d'abord, l'aluminium qui nous a été fourni n'était pas de l'aluminium totalement pur. L'échantillon a probablement été coupé grossièrement, et a donc subi diverses sollicitations, ceci pouvant fragiliser l'aluminium, et donc fausser les résultats.

L'incertitude des outils de mesures utilisée lors des expériences est aussi une raison (mesure de l'éprouvette,...)



La forme réglementaire des échantillons peut aussi intervenir dans la précision des résultats, la complexité de la pièce au niveau de sa structure et de sa forme fait qu'elle n'est pas soumise à une simple traction uni-axiale, d'autres sollicitations peuvent intervenir. De plus il n'y avait pas vraiment d'attaches appropriées pour les éprouvettes, c'est les mors qui serraient l'échantillon. Par conséquent, au cours de nos expériences, il est probable que nos éprouvettes ont glissé dans les mors. Ces attaches permettent à l'échantillon d'avoir qu'une seule sollicitation, c'est-à-dire une traction uni-axiale, mais elles permettent aussi d'éviter que la rupture de l'échantillon se fasse dans les mors. Sans attaches, les mors qui serrent l'échantillon vont influencer et exercer différentes sollicitations sur l'aluminium.

La détermination de la limite élastique n'est pas très visible graphiquement, car le palier au niveau de la limite élastique est souvent inexistant. Ainsi on a considéré que la limite élastique se trouvait au moment où la pente commence à se courber. Par conséquent, le module de Young aussi est défini de la même façon car il correspond à la pente de la limite élastique à l'origine.

Le but de notre projet était aussi d'étudier l'effet des traitements thermiques sur le comportement de l'aluminium. Or nous avons remarqué que les traitements thermiques modifient la structure du matériau. Nous cherchons donc à établir des relations entre la dureté, la limite d'élasticité et la résistance à la traction. Pour cela nous avons trouvé plusieurs formules, énoncées par Tabor, que nous souhaitons vérifier :

- $Hv = aRm$
- $Hv = 0.3Re$
- $Hv = \alpha Rm + \beta Re$

Où a est un coefficient dépendant du matériau choisi, où Rm est la résistance à la traction et Re la limite d'élasticité. α et β sont des coefficients qui doivent être très proches l'un de l'autre et compris tous les deux entre 0.15 et 0.18.

	Hv	Rm	Re	a	c(=0.3 en théorie)
450°C 30Min	25,7	67	50	0,38358209	0,514
450°C 1H	23,7569296	69	25	0,34430333	0,95027718
450°C 1H30	24,522	70	27	0,35031429	0,90822222
330°C 30 Min	40,29	124	70	0,32491935	0,57557143
330°C 1H	40,34	115	95	0,35078261	0,42463158
330°C 1H30	41,21	116	61	0,35525862	0,67557377



En effectuant les calculs avec nos valeurs, on obtient une valeur de a comprise entre 0.325 et 0.38 pour tous les échantillons, on peut donc dire que nos expériences sont en accord avec la première formule. Cependant les erreurs sur les limites élastiques citées précédemment ne nous permettent pas de vérifier les deux autres formules.

On peut donc conclure que, en se fiant à la résistance à la traction, les résultats obtenus par les deux expériences concordent : pour des valeurs de dureté proches, on remarque que les résistances à la traction sont elles aussi proches.

4. CONCLUSIONS

Au final, au cours de nos expériences, nous avons pu en apprendre plus sur le comportement mécanique de l'aluminium. Nous avons observé comment les hautes températures influent sur les caractéristiques de l'aluminium : limite élastique, module de Young, etc.

La bonne répartition du travail nous a permis d'avancer sur plusieurs axes de façon efficace et d'atteindre le but principal de notre projet : comprendre le comportement mécanique de l'aluminium.

Ce projet nous a permis de mieux s'organiser dans un travail de groupe, afin d'obtenir une cohésion maximale et d'être le plus efficace possible. Il nous a aussi apporté beaucoup de connaissances sur l'aluminium, les principes de traitement des métaux, la structure des métaux, etc..., qui pourront nous servir dans notre futur formation et travail d'ingénieur. Si nous envisagions de poursuivre ce projet, il serait intéressant de s'intéresser à des échantillons plus 'purs' d'aluminium mais aussi d'élargir les traitements à des températures plus élevées. nous pourrions même nous intéresser à d'autres test que la dureté et la traction. Enfin, comparer l'aluminium aux autres métaux enrichirai grandement notre projet.



5. BIBLIOGRAPHIE

Timothée Rusch

Livre :

Jean-Paul Bailon, Jean-Marie Dorlot, "Des Matériaux", Presses Internationales Polytechnique, 2000

Liens internet :

<http://www.a3ts.org/index.php/association-a3ts/traitements-thermiques/alliages-metalliques/> (valide à la date du 15/06/2014)

http://www.ats-ffa.org/fiches/traitements_thermiques.htm (valide a la date du 15/06/2014)

http://fr.wikipedia.org/wiki/Traitement_thermique (valide à la date du 15/06/2014)

<http://www.bodycote.com/fr-FR/services/heat-treatment.aspx> (valide à la date du 15/06/2014)

Simon Rouzet

<http://www.techniques-ingenieur.fr/> (valide à la date du 15/06/2014)

<http://fr.wikipedia.org/>(valide à la date du 15/06/2014)

<http://solar.energy.cours.free.fr/doc%20cours%20ing/science%20des%20matériaux/RAPPO-RT-TRACTION.pdf>(valide à la date du 15/06/2014)

http://Imm.epfl.ch/webdav/site/Imm/shared/TP_MX2-GM2/C%20Traction.pdf (valide à la date du 15/06/2014)

Pierre Tocqueville

Livre :

Jean-Paul Bailon, Jean-Marie Dorlot, "Des Matériaux", Presses Internationales Polytechnique, 2000

Liens internet :

<http://www.goodfellow.com/F/Aluminium.html> (valide à la date du 15/06/2014)

<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/essais-mecaniques-sur-les-metaux-et-alliages-42531210/essais-mecaniques-des-metaux-m4160/essais-de-durete-par-penetration-m4160niv10004.html#4.5> (valide à la date du 15/06/2014)

http://foad.univ-ubs.fr/file.php/977/TP/TP_winch/7_TI_durete.pdf (valide à la date du 15/06/2014)

http://mms2.ensmp.fr/mms_paris/experimental/polycop/caracterisation.pdf (valide à la date du 15/06/2014)

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Duret%C3%A9_\(mat%C3%A9riau\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Duret%C3%A9_(mat%C3%A9riau)) (valide à la date du 15/06/2014)

