



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Génie des Matériaux

Présenté par :

Terdjat Abdelbasset & Mazouzi Warda

Thème

Etude sur l'amélioration de matériaux par les traitements thermiques

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
BOUDILMI aissa	MCA	Encadreur
DAOUDARI Ameer	MAA	Président
ZAMMAMOUCHE Redouane	MCB	Examineur

Année Universitaire : 2012 / 2023

N° d'ordre : GM/...../2022

REMERCIEMENTS

*Nous remercions tout d'abord le directeur de ce mémoire :
BOUDILMI aïssa pour ses directives et ses conseils précieux et pour
le temps qu'il nous a consacré.*

*Nous remercions également Messieurs les membres du jury,
d'accepter nos sentiments respectueux pour avoir bien voulu
participer et analyser notre travail.*

*Nous remercions tous les responsables du hall technologique de la
faculté de technologie de l'université de Mohamed Boudiaf, M'sila.*

*Nous tenons à remercier tous le corps de département de génie
mécanique, notamment nos chers enseignants.*

*Nous aimerions à exprimer nos remerciements à nos parents et nos
familles, ceux qui nous ont apportés leurs soutiens et leurs aides
précieuses tout au long de l'étude*

*Nous souhaitons exprimer nos reconnaissances aux personnes qui
nous ont soutenues à la réalisation de ce travail.*

- A tous, Grand Merci -

Table des matières.....	i
Liste des figures	iii
Liste des tableaux.....	iv
Introduction générale	1

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TRAITEMENTS THERMIQUES ET TRAITEMENTS DES ALLIAGES D'ALUMINIUM

I.1 Historique et Introduction.....	3
I.2 Le traitement thermique d'un matériau	5
I.2.1 Traitementssuperficiels (amélioration des propriétés superficielles)	5
I.2.2 Traitements dans la masse (amélioration des propriétés de masse	6
I.3 Le traitement thermique d'un métal	6
I.3.1 Généralités	7
I.4 Traitements thermiques des alliages d'aluminium	8
I.4.1 Introduction	8
I.4.2 Traitements thermique d'homogénéisation	8
I.4.3 Traitements thermique d'adoucissement	8
I.4.4 Traitements thermiques de durcissement structural.....	9
I.4.4.1 Différents stades du traitement de durcissement structural	9
I.4.5. Traitements de mise en solution	10
I.4.5.1 Influence de la température de mise en solution.....	10
I.4.5.2 Influence de la durée de mise en solution.....	11
I.4.6 Traitement de Trempe.....	11
I.4.6.1 Vitesse critique de trempe	11
I.4.6.2 Influence du fluide de trempe	12
I.4.6.3 Influence du temps de transition entre mise en solution et trempe	13
I.4.7 Maturation	14
I.4.8 Traitements de revenu ou de maturation artificielle	15
I.4.8.1Introduction (Phénomènes généraux)	15
I.4.8.2 Influence du temps d'attente entre trempe et revenu	15
I.4.8.3 Alliages peu sensibles au temps d'attente entre trempe et revenu.....	15
I.4.8.4 Alliages influencés favorablement par l'attente entre trempe et revenu.....	15
I.4.8.5 Alliages influencés défavorablement par l'attente entre trempe et revenu	15

CHAPITRE II : PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

II.1 Introduction	18
II.2. Choix de Matériau	18
II.3 Préparation des échantillons	20
II.3.1 Le découpage.....	20
II.3.2 Traitements thermiques	22
II.3.2.1 Traitement de mise en solution.....	23
II.3.2.2 Traitement de trempe.....	23
II.3.2.3 Traitement de maturation	23
II.4 Essais de dureté	23
II.4.1 Préparation d'échantillon pour l'analyse micro dureté.....	23
II.4.2 Mesure de MICRODURETE VICKERS	25

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 Introduction.....	28
III.2 Micro dureté Vickers HV	28
III.3 Résultat de la Micro dureté Vickers HV	29
III.4 Mesure de la moyen HV en fonction de la charge	35
III.5 Les Courbes HV en fonction de la charge	35
III.6 Calcule de l'empreinte (d).....	36
III.6.1 Les Courbes HV en fonction de (d)	37
III.6.2 Les Courbes HV en fonction de (1/d) :	38
Conclusion générale	40

Liste des Figures

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TRAITEMENTS THERMIQUES ET TRAITEMENTS DES ALLIAGES D'ALUMINIUM

Figure I.1: Organisation des atomes sous forme decristaux dans les métaux	7
Figure I.2: Solution solide de substitution(haut) et d'insertion (bas) dans un cristal.	7
Figure I.3 : Diagramme d'équilibre aluminium-cuivre	9
Figure I.4 : Influence de la vitesse de trempe sur la limite d'élasticité de différents alliages d'aluminium à l'état trempé revenu (T6).....	12
Figure I.5 : Influence du milieu de trempe et de l'épaisseur sur la vitesse moyenne de refroidissement en mi- épaisseur de tôles en alliages d'aluminium	13
Figure I.6 : Courbes de maturation des alliages 2014, 2024, 6061, 7050 et 7075 à différentes températures.....	14

CHAPITRE II : PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

Figure II.1 : Matériau utilisés.....	19
Figure II.2 : Machines à scier les métaux KFD-250	20
Figure II.3 : Cisaille guillotine Fasti	21
Figure II.4 : Les six (6) échantillons pour Le traitement thermique	21
Figure II.5 : four de traitement thermique.....	22
Figure II.6 : Struers Prestopress-3.....	24
Figure II.7 : polisseuse struers planopol-3	25
Figure II.8 : Micro d'uromètre Indente ZHV	26

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

Figure III.1 : Schéma illustratif de l'empreinte du pénétrateur sur l'échantillon.....	28
Figure III.2 : échantillon 4 test 3 (50g)	29
Figure III.3 : échantillon 5 test 3 (50g)	29
Figure III.4 : échantillon 6 test 1 (50g)	30
Figure III.5 : échantillon 4 test 2 (100g)	30
Figure III.6 : échantillon 5 test 1 (100g)	31
Figure III.7 : échantillon 6 test 1 (100g)	31
Figure III.8 : échantillon 4 test 3 (200g)	32

Figure III.9 : échantillon 5 test 1 (200g)	32
Figure III.10 : échantillon 6 test 3 (200g)	33
Figure III.11 : échantillon 4 test 3 (300g)	33
Figure III.12 : échantillon 5 test 2 (300g)	34
Figure III.13 : échantillon 6 test 3 (300g)	34

Liste des Tableaux

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TRAITEMENTS THERMIQUES ET TRAITEMENTS DES ALLIAGES D'ALUMINIUM

Tableau I.1: Les principaux traitements thermique dans la masse.....	6
Tableau I.2: Conditions de traitements thermiques des alliages d'aluminium	16

CHAPITRE II : PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

Tableau II.1 Composition chimique (composition massique %) d'Aluminium 6063.	18
---	----

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau III.1: résultat de la micro dureté vickers HV charge 50g	29
Tableau III.2: résultat de la micro dureté vickers HV charge 100g	30
Tableau III.3: résultat de la micro dureté vickers HV charge 200g	31
Tableau III.4: résultat de la micro dureté vickers HV charge 300g	33
Tableau III.5: résultat de de la moyen HV en fonction de la charge echantillon 4.....	35
Tableau III.6: résultat de de la moyen HV en fonction de la charge echantillon 5.....	35
Tableau III.7: résultat de de la moyen HV en fonction de la charge echantillon 6.....	35
Tableau III.8: HV en fonction de (d) echantillon 4.....	37
Tableau III.9: HV en fonction de (d) echantillon 5.....	37
Tableau III.10: HV en fonction de (d) echantillon 6.....	37

Introduction générale

Le traitement thermique est un ensemble de procédés industriels qui consistent à modifier les propriétés physiques, mécaniques et/ou chimiques de matériaux, principalement des aciers et des alliages métalliques.

Les traitements thermiques sont réalisés dans un four où les pièces métalliques sont chauffées à haute température dans une atmosphère gazeuse contrôlée et choisie selon les propriétés que l'on souhaite modifier : dureté en surface, ductilité, résistance à l'usure, aspect esthétique etc. L'étape finale d'un cycle de traitement thermique est la trempe, qui est un refroidissement contrôlé des pièces pour les amener à la température ambiante. L'objectif est d'obtenir des pièces avec des caractéristiques mécaniques différentes des pièces initiales.

Les matériaux en général et les métaux en particulier prennent une place importante dans tout développement industriel ou progrès technologique. Vu les exigences de l'industrie moderne, nombreux programmes de recherches sont en route pour le développement d'autres matériaux plus performants et moins coûteux tels que les composites, les céramiques, les polymères...etc., mais les alliages métalliques occupent toujours une place importante, car les caractéristiques de ces derniers s'améliorent de jour en jour grâce aux recherches.

L'aluminium à l'état pur présente de faibles caractéristiques mécaniques rendant impossibles son utilisation dans la construction de structures mécaniques. Cependant, l'ajout d'éléments d'addition et l'application de traitements thermiques provoquent la précipitation de certaines phases dans la matrice d'aluminium. L'alliage est alors généralement plus résistant mais aussi moins ductile que l'aluminium pur. Il existe plusieurs familles d'alliages d'aluminium corroyés qui diffèrent par leurs éléments d'addition principaux; Al-Cu (série 2000), Al-Mn (série 3000), Al-Si (série 4000), Al-Mg (série 5000), Al-Mg-Si (série 6000) et les alliages Al-Mg- Zn (série 7000). La faible masse volumique des alliages d'aluminium associée à leurs bonnes caractéristiques mécaniques intéresse l'industrie du transport (ferroviaire, navale, routière, aéronautique).

Dans cette étude, nous sommes intéressés par traitements thermiques de mise en solution suivie d'une trempe à l'eau sur les caractéristiques mécaniques de microdureté avec différentes temps de maintien dans le four.

CHAPITRE I :
GENERALITES SUR LES
TRAITEMENTS THERMIQUES ET
TRAITEMENTS DES ALLIAGES
D'ALUMINIUM

I.1 Historique et Introduction :

La plupart des matériaux sont susceptibles de subir des traitements thermiques. C'est ainsi que l'on peut modifier les structures des matières plastiques, des verres, des céramiques, mais ce sont les matériaux métalliques, métaux et alliages, qui offrent les plus grandes possibilités de traitements thermiques : on peut même dire que c'est grâce à eux que l'on peut en tirer le plus grand profit. L'importance commerciale des traitements thermiques est considérable.

Les modifications structurales obtenues par traitement thermique permettent, de conférer à un matériau des propriétés particulières adaptées à sa meilleure utilisation sous forme de pièce finie, ou à sa mise en œuvre dans les meilleures conditions, sous forme de demi-produit ou d'ébauche. Ces améliorations contribuent très souvent à une diminution des coûts, car elles permettent l'emploi d'alliages bon marché quand on sait les traiter convenablement, ou la diminution du nombre de nuances à utiliser pour un type de fabrication donné, en choisissant un traitement bien adapté à chaque propriété recherchée.

Il faut préciser, dès à présent, que les traitements thermiques permettent une modification de toutes les propriétés des matériaux, car celles-ci sont toutes étroitement liées à leur structure : propriétés mécaniques, propriétés chimiques et de résistance à la corrosion, propriétés physiques diverses (électriques, magnétiques, etc.). On commence à bien comprendre les relations entre structure et propriétés, et, comme on peut maîtriser les évolutions structurales par traitement thermique, il est souvent possible d'obtenir ainsi les propriétés voulues.

Il s'agit, bien entendu, d'améliorer les propriétés des matériaux pour leur emploi mais, souvent, l'amélioration de l'une d'elles va généralement de pair avec une dégradation d'autres propriétés. Ainsi, une augmentation de dureté ou de résistance mécanique est toujours associée à un accroissement de la fragilité ou à une diminution de la ductilité, et à l'altération de nombreuses autres propriétés, mais aussi à une diminution de l'usinabilité ou à une impossibilité d'emploi du matériau traité thermiquement pour le soudage par exemple. De même, un recuit permet en général d'augmenter la malléabilité et la facilité de mise en forme, mais diminue la dureté, la résistance mécanique et la résistance à l'usure, l'usinabilité pouvant être, selon le cas, améliorée ou diminuée.

Ce sont surtout les industries de pointe (aéronautique, nucléaire, essentiellement) et les industries de grande série (automobile) qui ont poussé au développement des performances des

alliages et à la mise au point de traitements thermiques permettant d'atteindre ces performances. On rencontre alors, parmi les alliages traités thermiquement, des domaines d'application spécifiques.

Quand un alliage doit être utilisé sous des sollicitations diverses et simultanées, il est souvent nécessaire de faire des choix entre les propriétés et de faire des concessions à certaines d'entre elles. C'est ainsi qu'un acier traité à haute résistance est en général sensible à la corrosion sous tension, et que, dans le cas où un tel acier est soumis.

à ce type de corrosion, il convient de ne pas le traiter à son plus haut niveau de résistance mécanique ; l'emploi de cet acier pourra néanmoins se révéler plus intéressant, même s'il n'est pas traité à son niveau optimal de résistance.

Pour ces raisons, le choix d'un traitement thermique résulte souvent d'un compromis entre plusieurs propriétés contradictoires, les solutions sont souvent multiples, et le choix de la place des traitements thermiques dans une gamme de fabrication est d'une importance capitale. [17]

Les techniques de fabrication se perfectionnent au Ve siècle, à partir de la période mérovingienne où se développent les épées en brocart soudé (fig. 1). Le traitement thermique est devenu plus reproductible et nous avons vu l'apparition de la cémentation, de la carbonituration et même de la nitruration ajoutée par le soudage, la cémentation, le revenu et la nitruration. Avec une structure martensitique, la dureté peut atteindre Vickers 610.

Les techniques métallurgiques sont restées largement inchangées jusqu'au XVIIIe siècle, et reposaient en grande partie sur l'expérience et l'observation : elles sont restées profondément mystérieuses. Les forgerons à cette époque s'appuyaient sur la pratique rend parfait, parfois des dieux, parfois des dieux, parfois des dieux, parfois comme des démons, les épées de héros sont célèbres. Au début du XVIIIe siècle, Réaumur mène d'importantes recherches sur le traitement thermique de l'acier et de la fonte [1] : trempe, revenu, cémentation, nitruration de l'acier et recuit de la fonte blanche, qui permettent d'obtenir des fontes malléables. fer. Il y a un coeur blanc. C'est lui qui a été le pionnier de l'utilisation des microscopes pour étudier les structures métalliques et a ainsi fondé la métallographie. Cependant, il y a cent ans, nous n'avions pas.

Le bon traitement thermique de l'acier peut être lu dans un ouvrage de 1874[2] : "Autant que possible, il est préférable de traiter thermiquement l'acier La dureté requise est obtenue par la teneur en carbone et non par une trempe de manière irrégulière, brutale et dont l'énergie est imprévisible". Jusqu'à la fin du XIXe siècle, commencer à développer de manière profonde et rationnelle Phénomènes métallurgiques à l'état solide, notamment travaux en

France d'Osmond, Le Chatelier, Charpy, Guillet, Portevin, Chevenard et Guinier. Cependant, si le traitement thermique de l'acier est pratiqué depuis longtemps, pour la fonte il ne s'est développé que plus tardivement (la fonte malléable à cœur noir a été obtenue au début du 20ème siècle) et seulement récemment, le traitement thermique pour les autres alliages a été développé. Des progrès significatifs dans les attributs L'alliage moderne, obtenu en perfectionnant le traitement thermique de durcissement par précipitation, a une conception plus originale, qui a été développée à partir de la recherche du duralumin, qui a été conçu à Dürr, en Allemagne (d'où leur nom) et est uniquement Recherche depuis 1910. Cependant, ces traitements thermiques de durcissement par précipitation n'ont été compris et maîtrisés que récemment, à partir de 1935, notamment grâce aux études menées par Guin I à l'aide d'instruments scientifiques sophistiqués. Les traitements thermiques pour les aciers inoxydables et les alliages réfractaires, les alliages de magnésium, les alliages de cuivre ont ensuite été développés et, au cours des deux dernières décennies seulement, pour maraging les aciers à haute résistance et les superalliages à base de nickel ou de cobalt.

1.2 Le traitement thermique d'un matériau :

Le traitement thermique des matériaux est un ensemble de procédés industriels permettant de modifier les propriétés physiques et chimiques de ces derniers. Ce traitement est utilisé pour Fabrication de matériaux tels que le verre, le bois, les aliments et surtout le métal.

Le traitement thermique implique l'utilisation de chaleur et/ou de refroidissement, souvent à des températures extrêmes, pour obtenir un résultat souhaité, tel que la modification de la fragilité, de la dureté, de la ductilité, de la fragilité, de la plasticité, de l'élasticité ou de la résistance mécanique d'un matériau.

Le traitement thermique peut être divisé dans les catégories suivantes [3] :

1.2.1 Traitements superficiels (amélioration des propriétés superficielles) :

Les traitements superficiels sont classés en deux grandes familles :

Le durcissement par trempe après chauffage superficiel.

Les traitements thermochimiques.

1.2.2 Traitements dans la masse (amélioration des propriétés de masse) :

Le traitement thermique de la qualité des matériaux est un traitement thermique qui concerne tous les matériaux, pas seulement le cas du traitement thermique de surface. Le traitement principal pour les masses est (Tab.1) :

Traitement	Évolution de l'état d'équilibre thermodynamique	Procédé
Recuit	Évolution vers l'état d'équilibre le plus stable	Chauffage suivi d'un refroidissement lent
Trempe	Évolution vers un état hors d'équilibre, instable ou métastable	Refroidissement rapide
Revenu	Évolution à partir d'un état hors d'équilibre comportant des phases métastables, vers un état d'équilibre plus ou moins complet	Chauffage lent suivi d'un refroidissement lent

Tableau I.1: Les principaux traitements thermique dans la masse

Le revenu succède généralement à une trempe et le stade ultime du revenu est l'état recuit[4]. Les traitements thermiques dans la masse peuvent être réalisés soit sous atmosphère, soit sous pression partielle[5] .

1.3 Le traitement thermique d'un métal :

Le traitement thermique d'une pièce métallique consiste à lui faire subir les transformations suivantes Les structures sont soumises à des cycles de chauffage et de refroidissement prédéterminés pour améliorer leurs propriétés mécaniques : dureté, ductilité, limite élastique, etc.

Ce procédé est souvent associé à l'utilisation d'une atmosphère contrôlée lors de la mise en température de la pièce pour éviter son oxydation, ou pour apporter des apports ou des modifications moléculaires à la surface (traitement de surface).

I.3.1 Généralités :

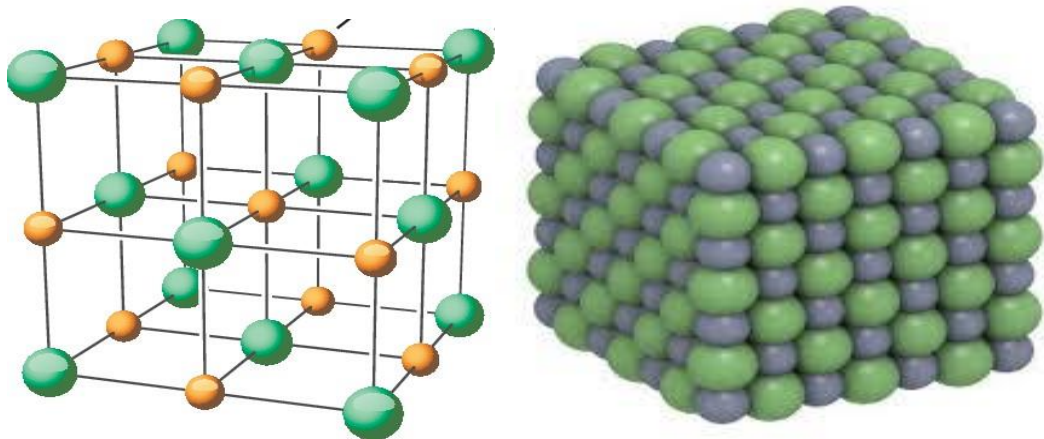


Figure I.1: Organisation des atomes sous forme de cristaux dans les métaux

Dans les métaux, les atomes sont organisés sous la forme de cristaux (fig.1) : ils forment une structure ordonnée. Des atomes étrangers (impuretés, éléments d'alliage...) peuvent s'introduire dans ce réseau, soit en substitution des atomes de base, soit en insertion, c'est la notion de solution solide (fig.2).

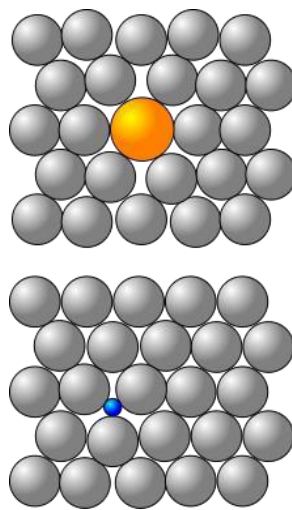


Figure I.2: Solution solide de substitution(haut) et d'insertion (bas) dans un cristal.

Par ailleurs, il peut y avoir des cristaux de plusieurs types, comme des inclusions par exemple. Les cristaux minoritaires sont appelés « Précipités ».

Avec l'élévation de la température, les atomes du cristal s'agitent autour de leur position et s'écartent les uns des autres, provoquant la dilatation. Cela a plusieurs conséquences :

L'espace entre les atomes augmente, ce qui permet d'accueillir plus d'atomes en solution d'insertion, et des atomes plus gros. Par conséquent, on peut avoir une dissolution des précipités:

les atomes de ces cristaux passent en solution solide ; les atomes s'agitent, ils deviennent mobiles et peuvent se déplacer dans le cristal, phénomène appelé diffusion ; dans certains cas, les atomes du cristal se réorganisent en une autre phase cristallographique, on parle d'allotropie. Ce sont ces mécanismes qui entrent en jeu lors des traitements thermiques.

1.4 Traitements thermiques des alliages d'aluminium :

1.4.1 Introduction :

Certains alliages d'aluminium peuvent être traités thermiquement pour améliorer leurs propriétés mécaniques (résistance à la traction, dureté, etc.). D'une manière générale, le traitement thermique en métallurgie comprend : l'homogénéisation, l'adoucissement et le durcissement structural.

1.4.2 Traitements thermique d'homogénéisation :

Ce sont des traitements comportant un chauffage à des températures relativement élevées appliqués à certains produits bruts de fonderie et corroyés, et destinés le plus souvent à faciliter la transformation à chaud ou à froid (filage, étirage, laminage, forgeage). Ils consistent en général en des maintiens de 6 à 48 heures à des températures allant de 450° C à 610° C, qui ont pour but de dissoudre les phases métalliques en excès et de réaliser une homogénéisation de la composition de la solution solide. Le corroyage est une opération consistant à déformer un métal avec allongement. Il est effectué à chaud, à tiède ou à température ambiante et permet par déformation appropriée (forgeage, matriçage, laminage, filage) d'obtenir des produits à la forme désirée [6].

1.4.3 Traitements thermique d'adoucissement :

Le but est d'adoucir un alliage durci par écrouissage ou par trempe structurale. Nous avons ici le traitement de restauration et le traitement de recristallisation utilisés dans le cas de matériaux écrouis. Lorsqu'on fait subir à l'aluminium durci par écrouissage, un chauffage à température suffisante, la structure écrouie est progressivement remplacée par une nouvelle structure à grains reformés : lorsque la recristallisation est complète, l'alliage est dit "recuit". C'est dans cet état que l'aluminium ou l'alliage d'aluminium présente la résistance mécanique

minimale mais la plasticité maximale. L'état recuit est l'état optimal pour réaliser des déformations ou des mises en forme à froid importantes et difficiles.

I.4.4 Traitements thermiques de durcissement structural :

Dans ce paragraphe, on étudie surtout les traitements de mise en solution, trempe, maturation et revenu des alliages d'aluminium.

I.4.4.1 Différents stades du traitement de durcissement structural :

L'aluminium est capable de former des solutions solides avec la plupart des métaux qui lui sont associés comme constituants d'alliage. La possibilité de traiter thermiquement un alliage est due à l'augmentation, avec la température, de la solubilité à l'état solide des éléments d'addition [7]. Un alliage soit traitable thermiquement, il y a lieu que l'un au moins des constituants donne avec l'aluminium un diagramme d'équilibre binaire du type de celui de la figure 3 qui représente le cas de la solubilité du cuivre dans l'aluminium.

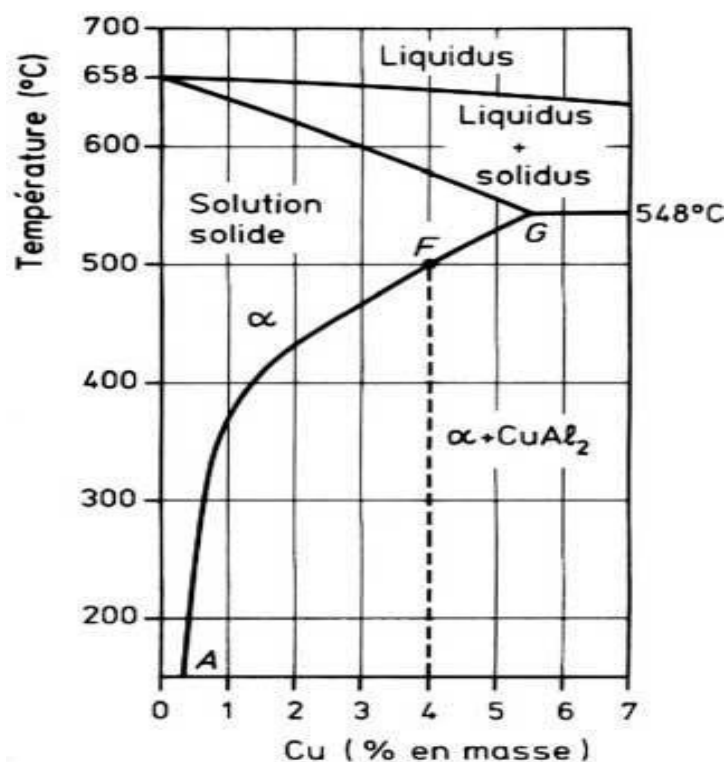


Figure I.3 : Diagramme d'équilibre aluminium-cuivre

Le traitement thermique de durcissement structural comporte trois grands stades :

I.4.4.1.1 Mise en solution solide :

Chauffage à température élevée (400°C à 600°C suivant les alliages considérés). Dans le cas de l'alliage Al- Cu 4 %par exemple, il a pour but théorique la mise en solution dans l'aluminium à l'état solide des 4 % de cuivre. D'après le diagramme d'équilibre binaire (figure II. 1), la température minimale de mise en solution est de 500 °C. Il faut en effet atteindre le point F sur la courbe AG traduisant la limite de solubilité, à l'état solide, du cuivre dans l'aluminium en fonction de la température.

I.4.4.1.2 Refroidissement :

L'alliage est refroidi assez lentement pour qu'à chaque température, l'équilibre ait le temps de s'établir, il va y avoir la précipitation dès que la température passera au-dessous de 500°C. Comme la solubilité du cuivre dans l'aluminium diminue avec la température, la quantité de précipités va augmenter lorsque la température va diminuer. Cependant, si au lieu de refroidir lentement la solution homogène, on l'amène brusquement à la température ambiante par trempe, la précipitation n'a pas en général le temps de se former durant le refroidissement. On peut ainsi obtenir, à la température ambiante, la solution solide homogène qui était stable au-dessus de 500 °C, mais qui se trouve alors sursaturée.

I.4.4.1.3 Durcissement structural :

A l'état métastable, il va tendre à rétablir l'équilibre par expulsion sous forme de fractions précipitées de cuivre à l'état sursaturé : c'est ce phénomène qui conduit au durcissement de la structure par vieillissement à température ambiante [8].

I.4.5. Traitements de mise en solution :

L'objectif de ce traitement est d'amener dans la solution solide la quantité maximale de l'élément de durcissement soluble ou élément d'alliage (ex. Cu, Mg, Si) dans la matrice. La procédure consiste à maintenir l'alliage à une température suffisamment élevée et pour une période de temps assez long afin d'obtenir une solution solide homogène. Les domaines des températures de mise en solution s'étendent le plus souvent de 450°C à 500°C pour l'aluminium et de 450°C à 590 °C pour ses alliages [9].

I.4.5.1 Influence de la température de mise en solution :

La mise en solution des alliages d'aluminium a pour caractère remarquable d'avoir une cinétique à peu près indépendante de la température. Bien entendu, les diagrammes d'équilibre montrent que la solubilité des éléments d'addition usuels augmente avec la température [7].

I.4.5.2 Influence de la durée de mise en solution :

La durée de mise en solution devait être suffisante pour mettre en solution solide la plus grande quantité possible d'éléments intermétalliques, mais qu'il n'était théoriquement pas utile de dépasser cette valeur de maintien. Néanmoins, cette durée dépend d'autres facteurs, et en particulier :

a) de la nature de l'alliage

Par exemple, dans le cas de tôles de 1 mm d'épaisseur, la durée de la mise en solution est de l'ordre de 1 min pour les alliages 6060 et 7020 ; 3 à 8 h pour l'alliage 7075 ; 2 min pour les alliages 6005 A, 6081, 6082 et 6181 .

I.4.6 Traitement de Trempe :

Cette opération consiste en un refroidissement suffisamment rapide de la solution solide obtenue dans la première étape, pour que les précipités intermétalliques stables n'aient pas le temps d'être formés. Elle ne prend pas de temps, puisqu'elle a une très courte durée. Elle peut être faite à l'eau, à l'air, à l'huile ou dans des métaux en fusion à différents intervalles. Son but est de supprimer la formation de la phase à l'équilibre Mg_2Si pendant le refroidissement et de préserver la solution soluble solide formée lors de la mise en solution, par un refroidissement rapide ($\sim 260\text{ }^{\circ}C/s$) à basse température, habituellement près de la température de la pièce. Le résultat de cette opération est une solution solide sursaturée en éléments d'alliages, et également en lacunes [9].

Si le refroidissement est très lent, il y a précipitation grossière et non homogène des phases qui ne pourraient plus participer au durcissement structural. Il existe pour chaque alliage une vitesse critique de trempe et une vitesse de refroidissement.

I.4.6.1 Vitesse critique de trempe :

La vitesse critique de trempe est la vitesse de trempe minimale qui permet d'éviter tout début de transformation perlitique ou bainitique et d'obtenir ainsi une structure entièrement martensitique. En fait, dans les alliages d'aluminium, il faut, pour que les caractéristiques mécaniques soient optimales, que la concentration de la solution solide soit sensiblement la même qu'à la température de mise en solution, ce qui n'implique pas nécessairement que le refroidissement soit très rapide. C'est là qu'intervient la notion de vitesse critique de trempe qui peut être considérée comme la vitesse de refroidissement minimale qui permette d'obtenir à la température ambiante la solution solide sursaturée. Cette vitesse critique de trempe, qui est

fonction de la composition chimique de l'acier et de son histoire antérieure (taille des grains austénitiques, condition d'austénitisation...etc.) [10].

La figure 4 donne également, à titre d'exemple, l'influence de la vitesse moyenne de trempe entre 400°C et 290 °C sur la limite d'élasticité de différents alliages à moyenne ou haute résistance et à l'état trempé revenu [11] : on observe que la détermination de la limite en fonction de la vitesse de trempe peut varier fortement d'un alliage à un autre. Par ailleurs, la présence d'additions secondaires est susceptible d'avoir une grande importance sur la vitesse critique de trempe des alliages ; par exemple, l'addition de zirconium augmente la vitesse critique de trempe des alliages Al Cu-Mg-Si, l'addition de manganèse, mais surtout de chrome, augmente celle des alliages Al-Zn-Mg et Al-Zn-Mg-Cu [12].

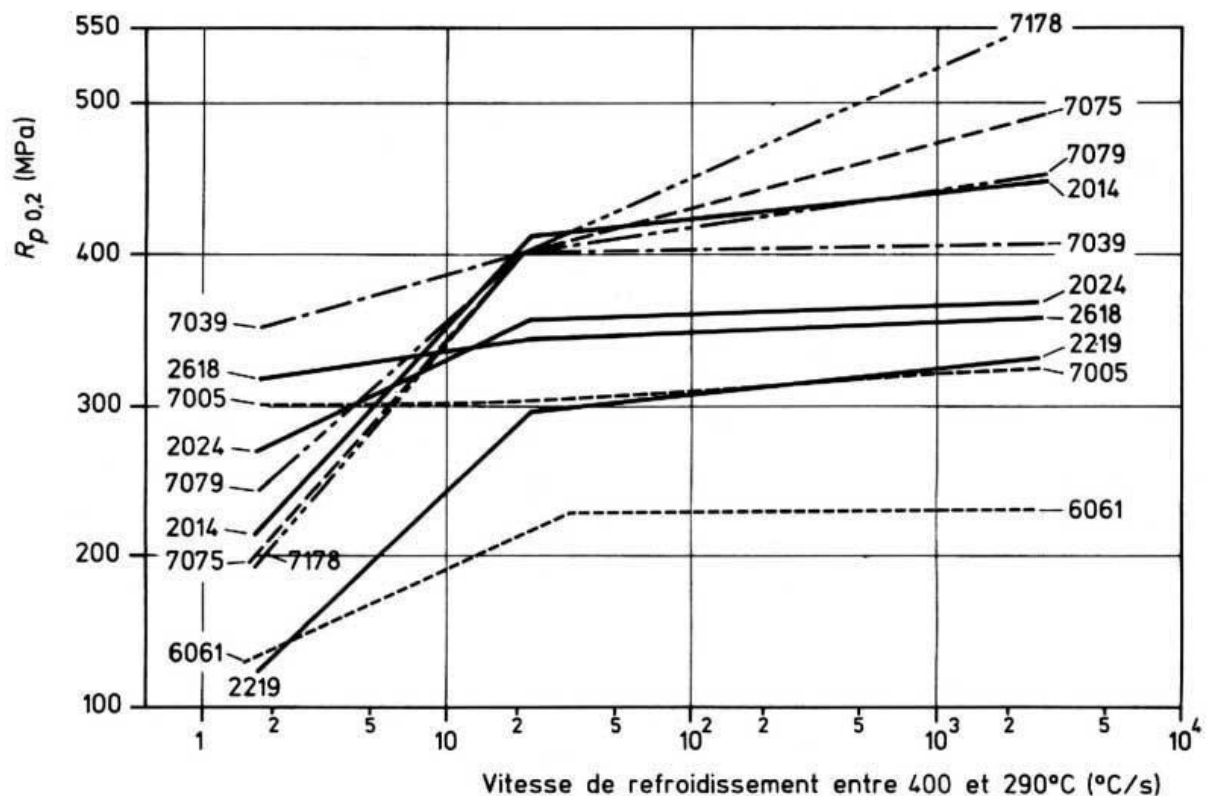


Figure I.4 : Influence de la vitesse de trempe sur la limite d'élasticité de différents alliages d'aluminium à l'état trempé revenu (T6).

I.4.6.2 Influence du fluide de trempe :

La figure 5 illustre l'influence du milieu de trempe et surtout de la température de l'eau de trempe sur la vitesse moyenne de refroidissement à cœur des tôles en alliages d'aluminium et cela en fonction de l'épaisseur de la tôle considérée. D'une façon générale, toutes les conditions qui augmentent la stabilité des films de vapeur autour de la pièce lors de son immersion

diminuent la vitesse de refroidissement. Il en est de même des additions dans l'eau de trempe, additions dont le but est de diminuer sa tension superficielle. Dans la pratique de la trempe des alliages d'aluminium, la trempe à l'eau est le procédé le plus largement utilisé parce que le plus efficace. Le choix de la température de l'eau est extrêmement important. D'une façon générale, la trempe à l'eau froide est la plus favorable sur le plan de la résistance mécanique et d'autres propriétés telles que la résistance à la corrosion, mais dans le cas des produits épais ou de forme irrégulière, elle engendre des contraintes internes qui peuvent s'avérer rédhibitoires. En revanche, ces contraintes sont généralement sensiblement diminuées dès que la température de l'eau de trempe dépasse 60 °C.

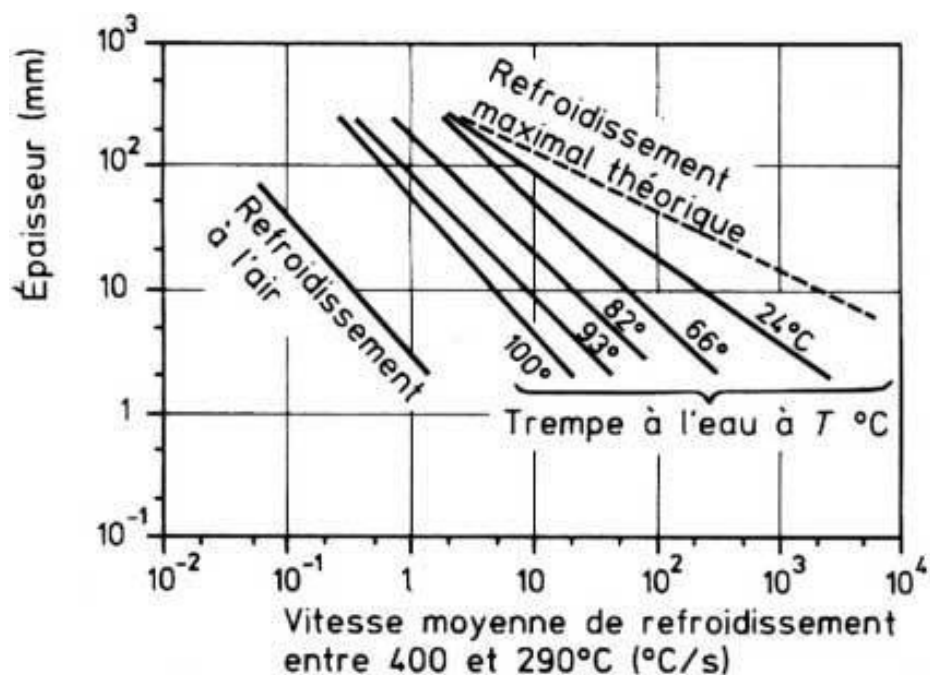


Figure I.5 : Influence du milieu de trempe et de l'épaisseur sur la vitesse moyenne de refroidissement en mi- épaisseur de tôles en alliages d'aluminium [13] .

I.4.6.3 Influence du temps de transition entre mise en solution et trempe :

Lorsqu'on trempe des produits de faible épaisseur, il y a lieu de tenir compte du temps de transition qui s'écoule entre la sortie du four de mise en solution et l'immersion dans le fluide de trempe. Pendant ce temps de transition, les produits refroidissent généralement à faible vitesse. Si le temps de transition est assez long pour que la température des produits pénètre dans l'intervalle critique, une partie au moins de cet intervalle est parcouru à faible vitesse. Les effets du temps de transition sont similaires à ceux déjà indiqués concernant la diminution de la vitesse de refroidissement. Certaines spécifications stipulent que le temps de transition doit

être inférieur à une durée variant de 5 à 15 s dans le cas de tôles dont l'épaisseur varie de 0,4 à 2,3 mm [14] .

I.4.7 Maturation :

La maturation est un chauffage modéré. Son but est de donner de la mobilité aux atomes pour leur permettre de former des précipités. On utilise parfois le terme vieillissement. Le but principal des traitements de vieillissement est de provoquer un durcissement structural et modifier les propriétés mécaniques des alliages après trempe. Ces propriétés mécaniques sont convenables pour plusieurs applications. Le comportement des alliages lors de la maturation est variable d'une famille à l'autre. Il peut être fortement influencé par les températures ambiantes auxquelles sont soumis les produits trempés.

La figure 6 donne les courbes de maturation à la température ambiante (soit 20 °C environ), à 0 °C et à – 18 °C des alliages 2014, 2024, 6061, 7050 et 7075 sous forme de tôles, la maturation étant caractérisée par l'évolution des caractéristiques mécaniques de traction en fonction du temps de maintien après trempe à la température considérée .

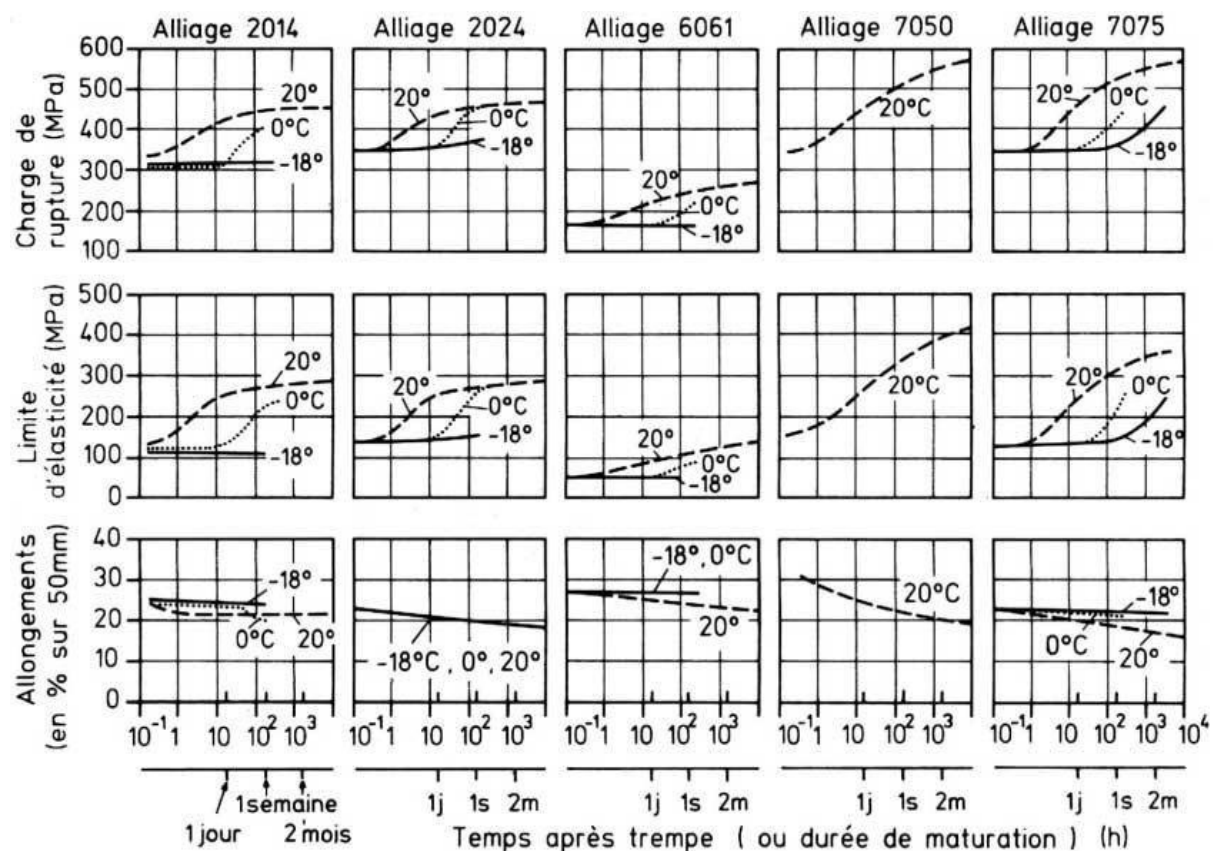


Figure I.6 : Courbes de maturation des alliages 2014, 2024, 6061, 7050 et 7075 à différentes températures

I.4.8 Traitements de revenu ou de maturation artificielle :

I.4.8.1 Introduction (Phénomènes généraux) :

Il consiste en un chauffage à une température au-dessus de la température ambiante, et en maintient selon les objectifs désirés et la nature du matériau traité, la précipitation s'accélère et la dureté augmente encore par comparaison au vieillissement naturel et il est effectué à des températures allant jusqu'à 240°C (100°C à 240°C dans le cas de la série 6000). Pendant le vieillissement artificiel à une température donnée, la dureté augmente jusqu'à atteindre une valeur maximale après un temps de maintien donné, un abaissement de la limite d'élasticité et du module d'élasticité pendant la montée en température.

I.4.8.2 Influence du temps d'attente entre trempe et revenu :

Pour certains alliages, les courbes de revenu ne sont pas identiques si l'on part d'un état fraîchement trempé ou d'un état trempé et déjà plus ou moins mûri. Dans le second cas, qui est le plus industriel, la maturation est en réalité conduite en deux étapes dont la complexité est d'autant plus grande que la température entre trempe et revenu ne reste généralement pas constante. Or, les alliages d'aluminium réagissent de façon très différente à l'influence de la maturation naturelle entre trempe et revenu [15] .

I.4.8.3 Alliages peu sensibles au temps d'attente entre trempe et revenu :

Ce sont les alliages du type 2014 ainsi que les alliages Al-Zn-Mg-Cu du type 7075.

I.4.8.4 Alliages influencés favorablement par l'attente entre trempe et revenu :

Ce phénomène favorable peut s'expliquer par le fait que, lors de la maturation à la température ambiante, il se forme des germes dont les plus gros se transforment, lors du revenu, en particules de précipités durcissant, les plus petits étant redissous. Plus cette maturation est longue, plus le nombre de germes donnant naissance à des précipités est grand et plus le durcissement lors du revenu sera important.

I.4.8.5 Alliages influencés défavorablement par l'attente entre trempe et revenu :

En revanche, pour certains alliages, l'attente entre trempe et revenu peut présenter un effet franchement défavorable : il s'agit des alliages type 6181 et également 6060 relativement chargés en Mg₂Si (à teneur en Mg₂Si supérieure à 1,2-1,5 %). On peut cependant penser que le revenu expérimenté de 10 h à 160 °C ne correspond pas, pour chaque cas considéré, aux

Chapitre I

caractéristiques optimales et que, pour chaque attente entre trempe et revenu, il existe, en revanche, une condition de revenu bien déterminée et conduisant à ces caractéristiques optimales. Les températures et durées varient d'un alliage à l'autre : alliage de fonderie EN AC-42200 (ancienne désignation AS7G06) :

mise en solution : 8 à 12 heures à 535 °C .

trempe à l'eau (20 °C) dans les 7 secondes qui suivent la sortie du four de mise en solution.

revenu : 6 heures minimum à 170 °C.

Pour certains alliages, on effectue une trempe, mais pas de revenu. Dans ce cas, il y a « maturation » (exemple : 5 jours à 20 °C pour les AU), c'est-à-dire que l'on considère que l'alliage atteint ses caractéristiques mécaniques seulement après cette période. Tout essai de dureté ou de résistance mécanique avant ces 5 jours n'est pas significatif.

Le tableau 2.1 indique les conditions de traitements thermiques des alliages d'aluminium [11].

ALLIAGE			État	Mise en solution (°C)	Trempe	Maturation	Revenu
Classe	Série	Nom					
CORROYÉS	2000	2011 2014	T6 – T8 T6	510 ± 5 505 ± 5	Eau ≤ 40 °C Eau ≤ 40 °C	≥ 4 jours ≥ 4 jours ≥ 4 jours	14 h/160 °C 20 h/160 °C ou 10 h/175 °C
		2017A 2024	T4 T3 – T4	500 ± 5 495 ± 5	Eau ≤ 40 °C Eau ≤ 40 °C		20 h/200 °C 8 h/175 °C ou 6 h/185 °C 8 h/175 °C ou 6 h/185 °C
		2030 2618A	T3 – T4 T6	490 ± 5 530 ± 5	Eau ≤ 40 °C Eau ≤ 80 °C		
		6005A	T6	530 ± 5	Eau ≤ 40 °C		
		6060	T5 – T6	535 ± 5	Eau ou air soufflé		
		6061	T6	535 ± 5	Eau ± 40 °C		
	6000	6082	T6	535 ± 5	Eau ± 40 °C		8 h/175 °C ou 6 h/185 °C 16 h/165 °C ou 8 h/175 °C
		6106	T5 – T6	530 ± 5	Eau ou brouillard		8 h/175 °C ou 6 h/185 °C
		7020	T6	450 ± 10	Eau ou air soufflé		5 h/100 °C + 25 h/140 °C
		7049A	T6 T73	465 ± 5 465 ± 5	Eau ≤ 40 °C Eau ≤ 40 °C		12 h/135 °C 24 h/120 °C + 12 h/165 °C
	7000	7075	T6 T73	465 ± 5 465 ± 5	Eau ≤ 50 °C Eau ≤ 40 °C		12 h/135 °C 7 h/108 °C + 10 h/175 °C

Tableau I.2: Conditions de traitements thermiques des alliages d'aluminium[16]

CHAPITRE II :
PROCÉDURE
EXPÉRIMENTALE

II.1 Introduction :

L'objet de ce travail est l'étude de l'effet de traitement thermique sur propriétés mécaniques et la microstructure de l'alliage d'aluminium.

Ce chapitre représente un aperçu sur l'alliage d'aluminium étudié et sa composition chimique. Ainsi que une présentation des traitements thermiques appliqués. Nous présentons aussi, les différentes techniques expérimentales utilisées pour identifier les caractéristiques mécaniques de notre alliage.

Cette partie est consacrée à la présentation des différentes méthodes, appareils et techniques expérimentales utilisées.

II.2. Choix de Matériau:

L'additionne des éléments à l'aluminium pur tel que le fer, le silicium, le cuivre, le magnésium, le manganèse et le zinc à des concentrations combinées est appelé un alliage d'aluminium, ils sont identifiés par un numéro à quatre chiffres dans lequel le premier chiffre identifie une série caractérisée par ses principaux éléments d'alliage. Le matériau étudié dans ce travail est un alliage d'aluminium 6063 série 6xxx (à base: magnésium et silicium), Leurs composition chimique normale selon norme EN 573-1 est présentées dans le Tableau II.1

<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Mg</i>	<i>Zn</i>	<i>Ti</i>	<i>Cr</i>	<i>autres</i>	<i>Al</i>
0,2-0,6	0.35	0.10	0.10	0.45-0,9	0.10	0.10	0.00187	0,15	<i>reste</i>

Tableau II.1 Composition chimique (composition massique %) d'Aluminium 6063.

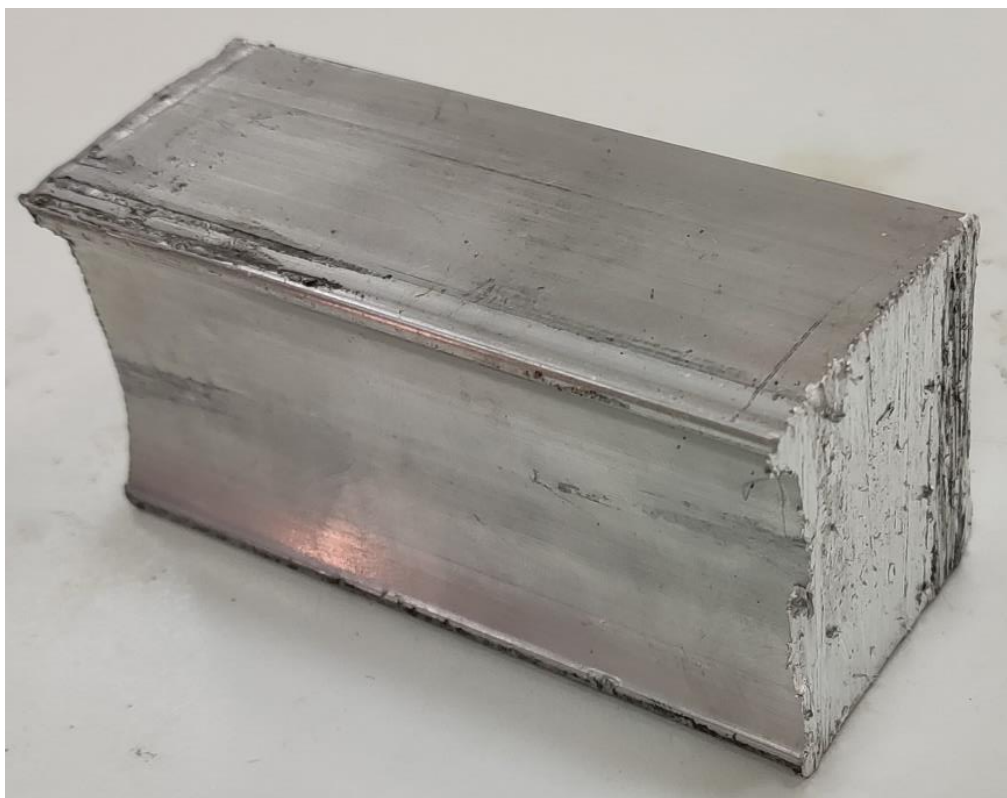


Figure II.1 : Matériau utilisés

II.3 Préparation des échantillons :

II.3.1 Le découpage :

A ce stade, nous avons découpé l'échantillon en six (6) parties. Et nous avons utilisé ces machines pour la découpe.

Machine 1 :

Alors que pour le découpage des échantillons pour la dureté et la microstructure, on a utilisé une scie mécanique .



Figure II.2 : Machines à scier les métaux KFD-250

Machine 2 :

Nous avons utilisé la deuxième machine pour couper l'échantillon en six parties pour le traitement thermique.



Figure II.3 : Cisaille guillotine Fasti

Enfin, nous avons obtenu les six(6) échantillons que nous traiterons thermiquement plus tard.



Figure II.4 : Les six (6) échantillons pour Le traitement thermique

II.3.2 Traitements thermiques:

Les traitements thermiques ont été effectués dans un four du type NABERTHERM B180. Les alliages ont subi les traitements thermiques avec une vitesse de chauffage de $5^{\circ}\text{C}/\text{mn}$.

Les échantillons ont été chauffés à 540°C avec Temps d'accélération de 108 minutes. et temps de maintien 15 heures et 51 minutes pour le première échantillon Avec une augmentation d'une heure de temps de maintien pour chaque échantillon dans un four de chauffage.

Le but de cette étude est d'étudier l'effet des traitements thermiques sur des échantillons d'aluminium 6063 avec différentes temps de maintien dans le four Avec la même méthode de refroidissement trempe à l'eau. Sur la microdureté.



Figure II.5 : four de traitement thermique

II.3.2.1 Traitement de mise en solution:

Il consiste à chauffer les échantillons dans un four de trempe à une température de 540° Pendant un temps de maintien 15 heures et 51 minutes pour le première échantillon Avec une augmentation d'une heure de temps de maintien pour chaque échantillon.

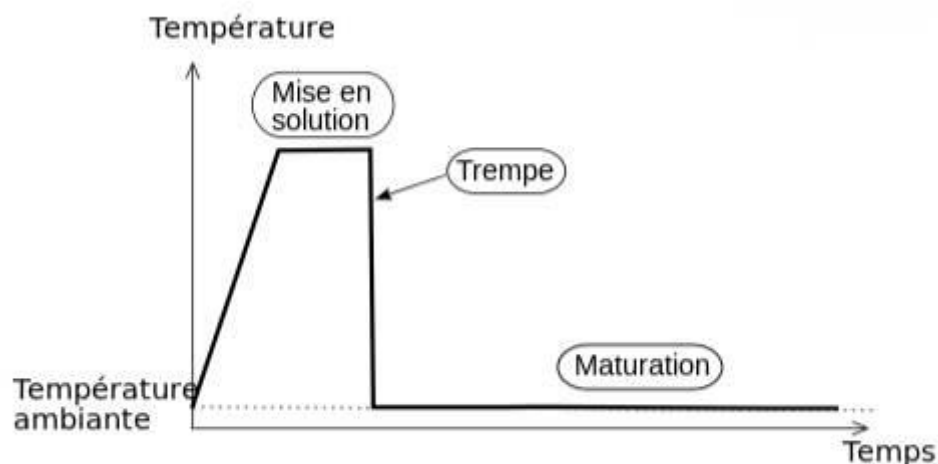
II.3.2.2 Traitement de trempe :

Le traitement de trempe consisté à trempés par gravité (avec grande vitesse). Alors exactement lorsque nous sortons les éprouvettes et les échantillons du four, nous effectuons un choc thermique.

Nous avons utilisé trempe à l'eau (WQ) Sur tous les échantillons, nous avons traité thermiquement.

II.3.2.3 Traitement de maturation:

À ce stade, nous avons laissé nos échantillons pendant 22 jours à température ambiante.



II.4 Essais de dureté :

II.4.1 Préparation d'échantillon pour l'analyse micro dureté :

Étape 1: L'enrobage:

La Struers Prestopress-3 est une presse d'enrobage hydraulique manuelle avec chauffage électrique et refroidissement par eau conçue pour le montage sous pression à chaud d'échantillons .

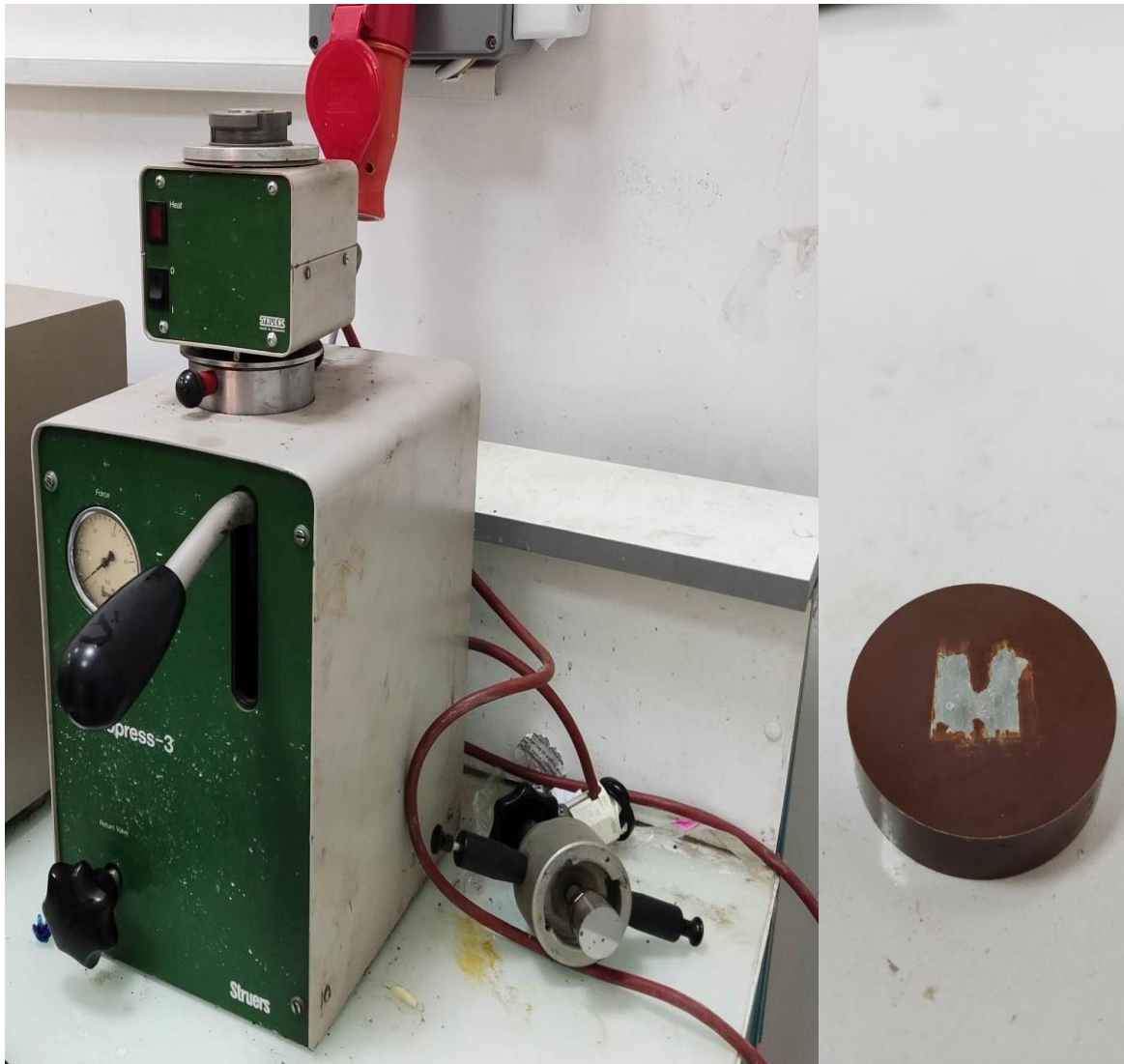


Figure II.6 : Struers Prestopress-3

Étape 2: La polissage :

Les échantillons ont subi un polissage mécanique en utilisant des papiers émeri de granulométrie décroissante 220, 400, 600, 1000, 2000 . Afin d'éviter les rayures produites par le papier abrasif on a effectué une rotation de 90° à chaque fois qu'on change de papier abrasif. Les échantillons sont ensuite lavés à l'eau et séchés à l'air comprimé après chaque polissage.



Figure II.7 : polisseuse struers planopol-3

II.4.2 Mesure de MICRODURETE VICKERS:

L'essai de la MICRODURETE VICKERS consiste à imprimer dans la pièce à essayer un pénétrateur en forme de pyramide droite, à base carrée, d'angle au sommet 136° , sous une charge F , et à mesurer la diagonale d de l'empreinte laissée sur la surface après enlèvement de la charge .

Nous avons utilisé le MICRODUROMETRE (Figure). Nous avons effectué plusieurs essais pour chaque échantillon .

Nous avons appliqué une charge de 50g 100g 200g 300g. Donc la dureté d'un matériau caractérise sa résistance à la pénétration, un pénétrateur est appliqué sur la surface du matériau à tester avec une force pendant 10 secondes.

Nous avons mené des expériences sur trois échantillons. Le quatrième échantillon, le cinquième échantillon et le sixième échantillon.

Le quatrième échantillon Temps de maintien 18 heures et 51 minutes

Le cinquième échantillon Temps de maintien 19 heures et 51 minutes

Le sixième échantillon Temps de maintien 20 heures et 51 minutes



Figure II.8 : Micro d'uromètre Indente ZHV

CHAPITRE III :
RESULTATS ET
DISCUSSION

III.1 Introduction :

L'aluminium a une apparence blanche argentée, il est très léger et est utilisé comme allié pour une multitude de différentes applications. Seules de très petites quantités d'éléments d'alliage peuvent renforcer sa robustesse, et en raison de leur faible densité, et de leurs propriétés mécaniques, physiques et chimiques. Les alliages d'aluminium sont tout particulièrement indiqués pour les applications dans l'industrie aéronautique et aérospatiale. Les alliages d'aluminium sont aussi fréquemment utilisés dans l'industrie automobile pour favoriser les réductions de poids. Dans cette partie on s'est intéressé à l'étude des effets de la temps de maintien Avec la même méthode de refroidissement trempe à l'eau .

Dans cette partie, nous présentons les résultats expérimentaux ainsi que l'interprétation. Nous avons considéré trois échantillon pour le micro dureté.

III.2 Micro dureté Vickers HV :

Les mesures de micro dureté ont été prises au moyen d'un Micro uromètre.

Les tests se font avec un pénétrateur pyramidal en diamant sous une charge de 50g 100g 200g 300 g avec une force pendant 10 secondes.

Nous avons effectués des mesures d'échantillon soumis à un traitement thermique et le même traitement de refroidissement trempe à l'eau et l'objectif est de connaitre l'effet temps de maintien dans le four.

La dureté Vickers HV est liée à la charge appliquée (F) et la longueur de la diagonale de l'empreinte (d) par la relation :

$$HV = 2. \sin\left(\frac{136^\circ}{2}\right) \cdot \frac{F}{D^2}$$

Avec **F** en **g** et **D** en **mm**

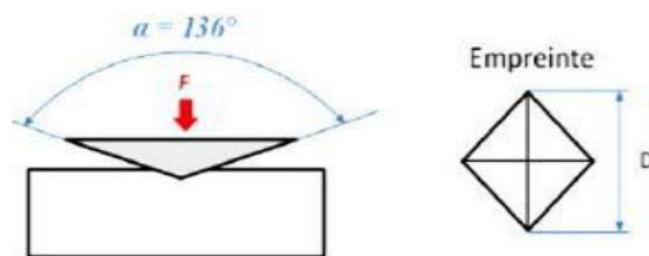


Figure III.1 : Schéma illustratif de l'empreinte du pénétrateur sur l'échantillon

III.3 Résultat de la Micro dureté Vickers HV :

Chrg 50g :

échantillon 4	86.7	70	71.1	Moyen : 75.9
échantillon 5	61.9	63.5	66.6	Moyen : 64
échantillon 6	67	74	63.9	Moyen : 68.3

Tableau III.1: résultat de la micro dureté vickers HV charge 50g

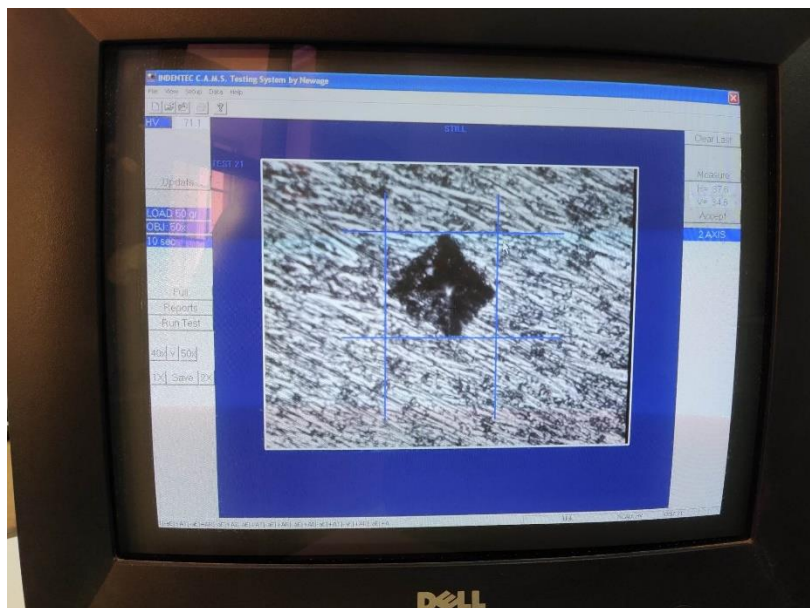


Figure III.2 : échantillon 4 test 3 (50g)

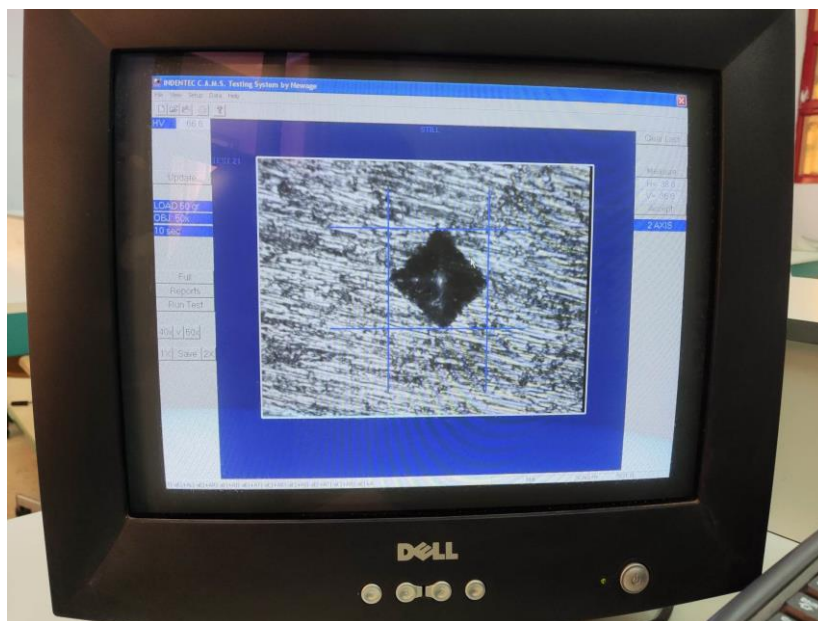


Figure III.3 : échantillon 5 test 3 (50g)

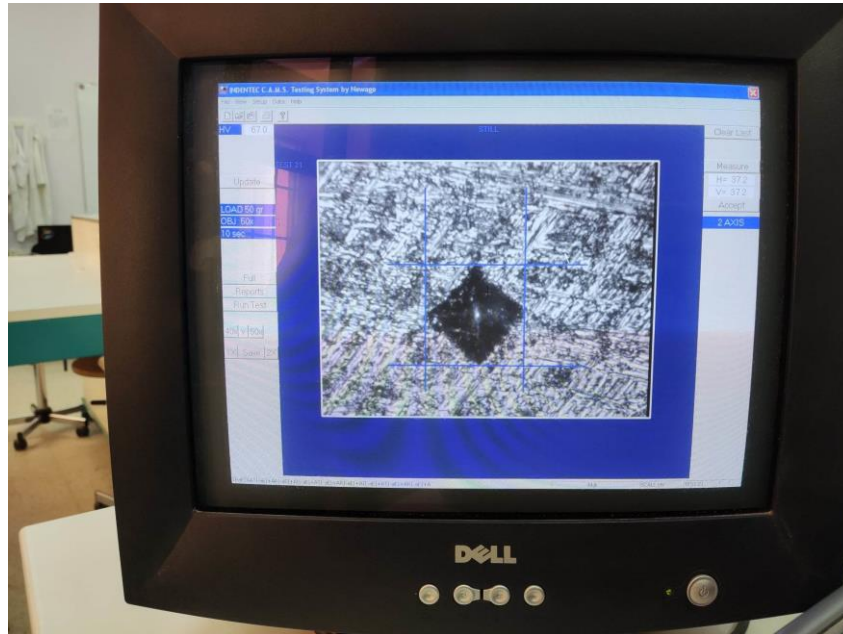


Figure III.4 : échantillon 6 test 1 (50g)

Charge 100g :

échantillon 4	62.2	63.1	63.1	Moyen : 62.8
échantillon 5	63.8	60.2	61.8	Moyen : 61.9
échantillon 6	66	62.6	63.6	Moyen : 64.1

Tableau III.2: résultat de la micro dureté vickers HV charge 100g

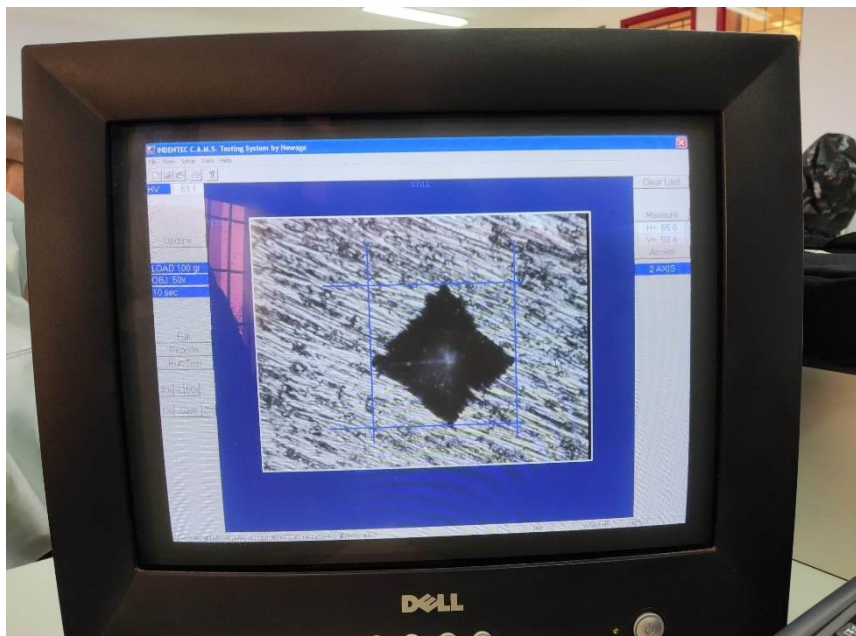


Figure III.5 : échantillon 4 test 2 (100g)

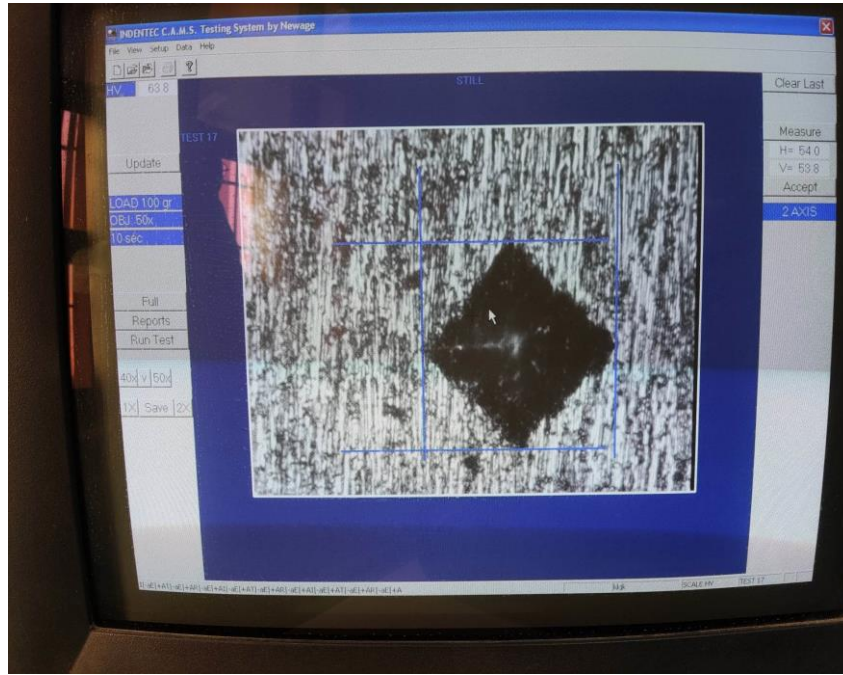


Figure III.6 : échantillon 5 test 1 (100g)

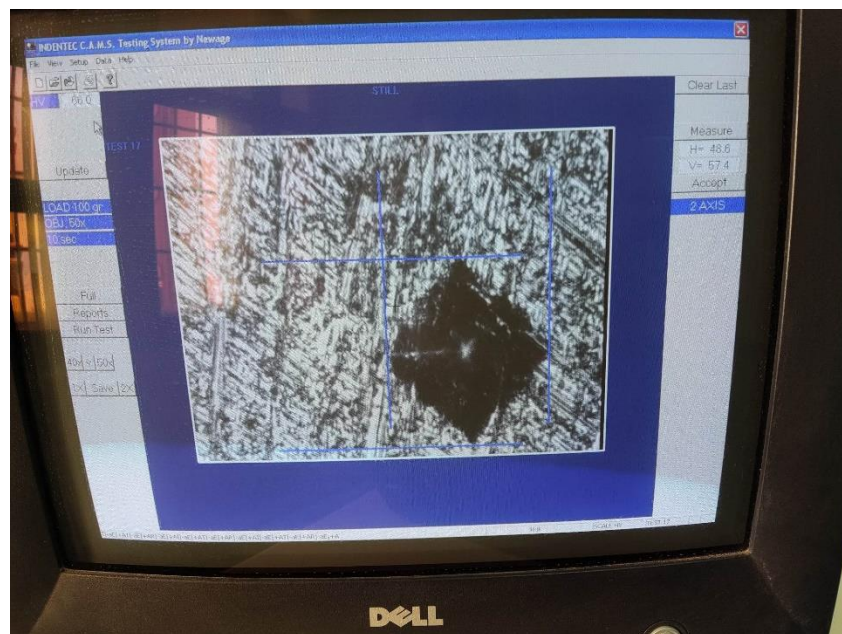


Figure III.7 : échantillon 6 test 1 (100g)

Chrg 200g :

échantillon 4	63.5	66.1	59.6	Moyen : 63.1
échantillon 5	59.9	66.3	63.7	Moyen : 63.3
échantillon 6	62.6	60.8	61.1	Moyen : 61.5

Tableau III.3: résultat de la micro dureté vickers HV charge 200g

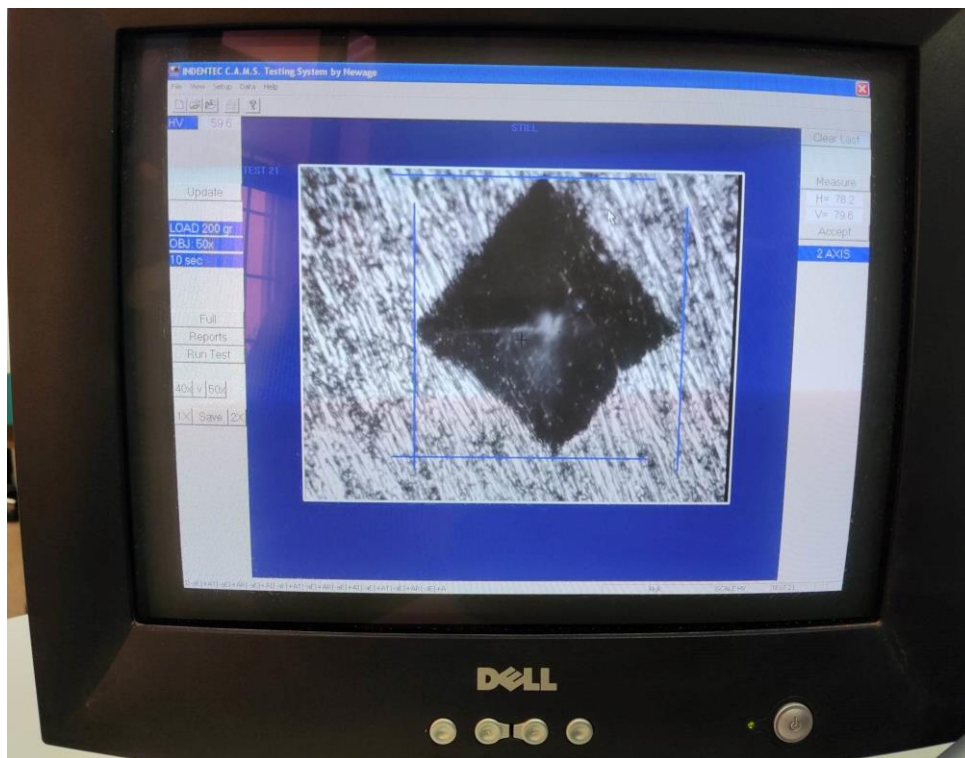


Figure III.8 : échantillon 4 test 3 (200g)

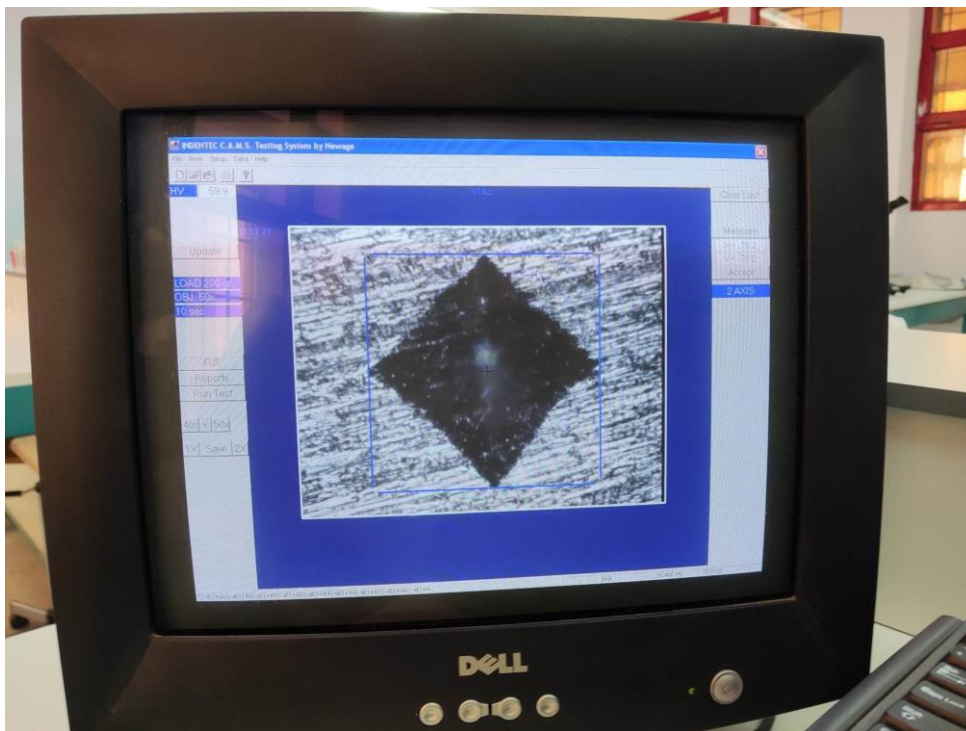


Figure III.9 : échantillon 5 test 1 (200g)

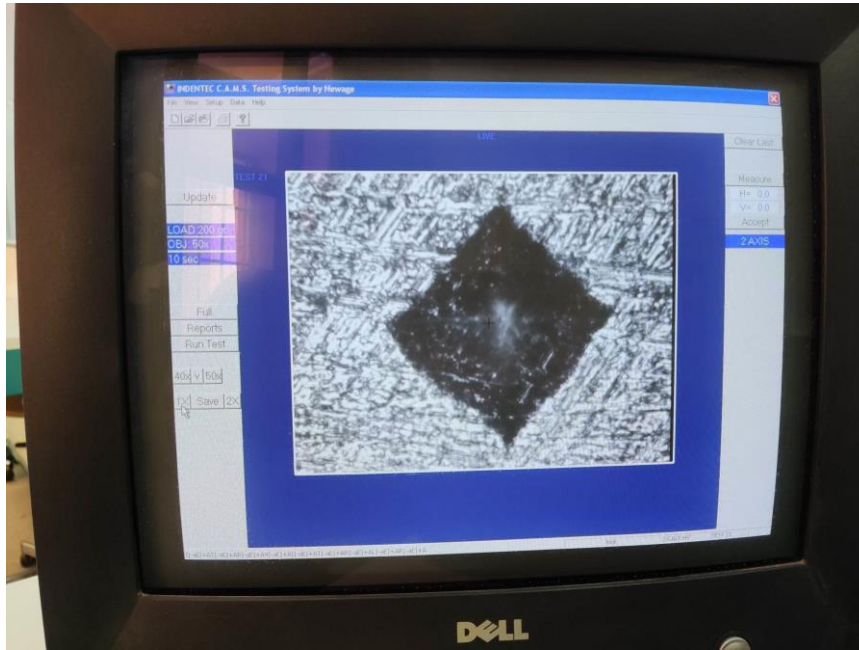


Figure III.10 : échantillon 6 test 3 (200g)

Chrg 300g :

échantillon 4	62.8	66.6	61.1	Moyen : 63.5
échantillon 5	59.5	60.4	61.3	Moyen : 60.4
échantillon 6	63.6	60.4	63.5	Moyen : 62.5

Tableau III.4: résultat de la micro dureté vickers HV charge 300g

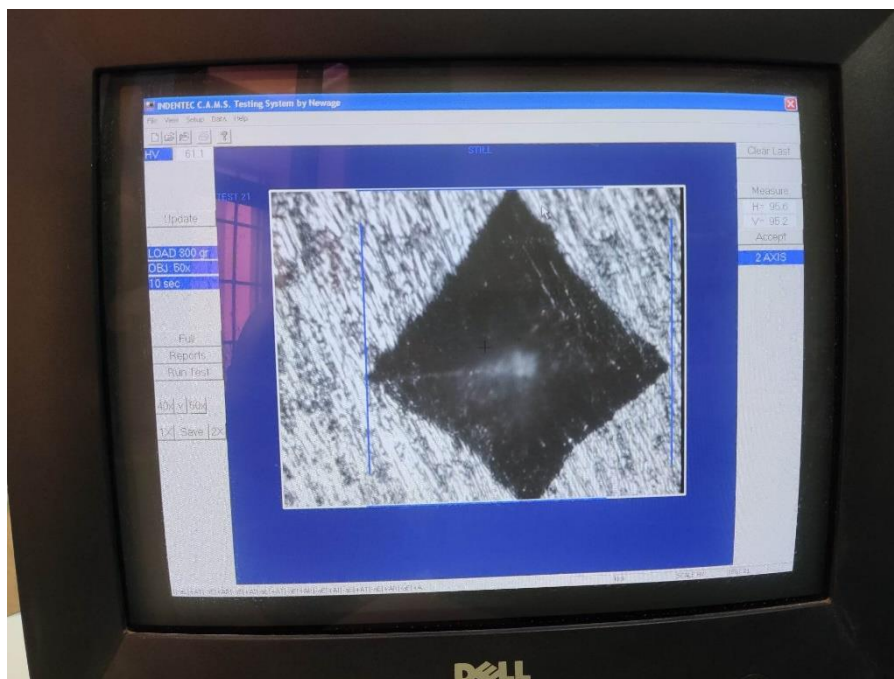


Figure III.11 : échantillon 4 test 3 (300g)

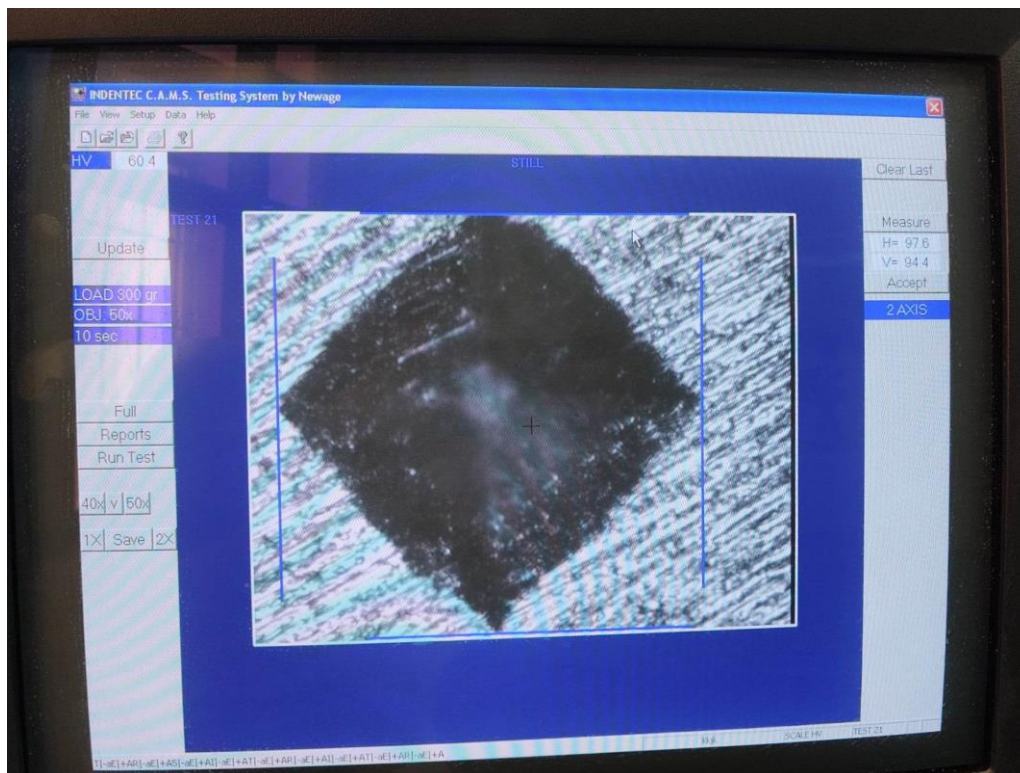


Figure III.12 : échantillon 5 test 2 (300g)

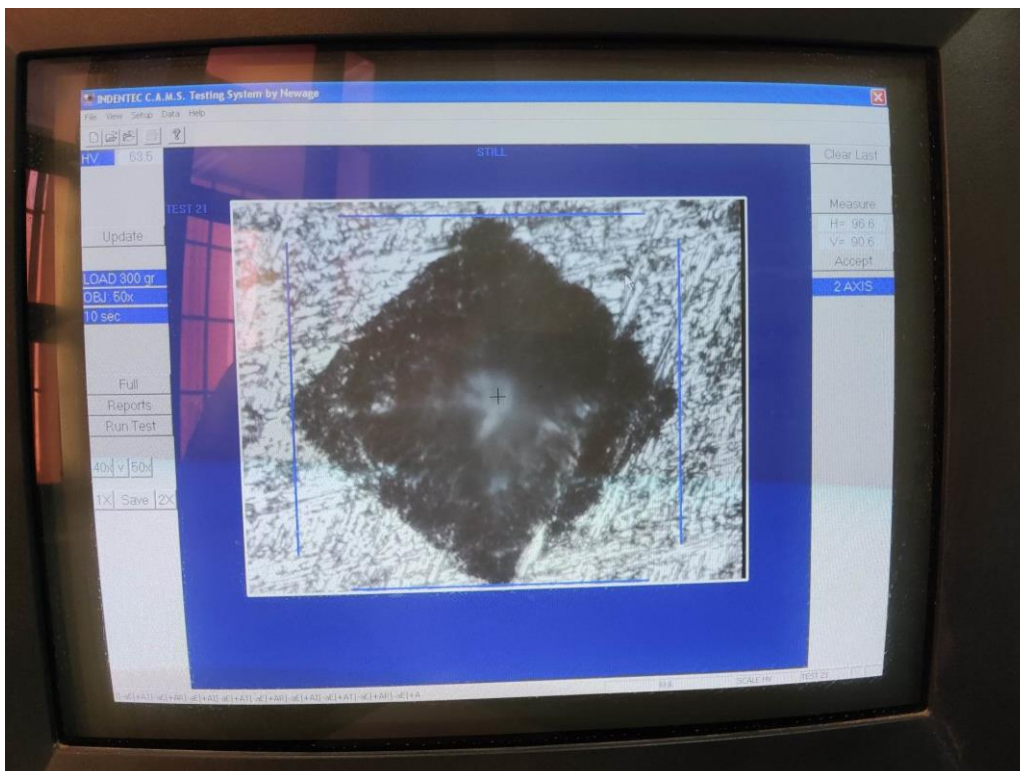


Figure III.13 : échantillon 6 test 3 (300g)

III.4 Mesure de la moyen HV en fonction de la charge :

Echantillon 4 :

Charge	50g	100g	200g	300g
HV(Moyen)	75.9	62.8	63.1	63.5

Tableau III.5: résultat de de la moyen HV en fonction de la charge echantillon 4

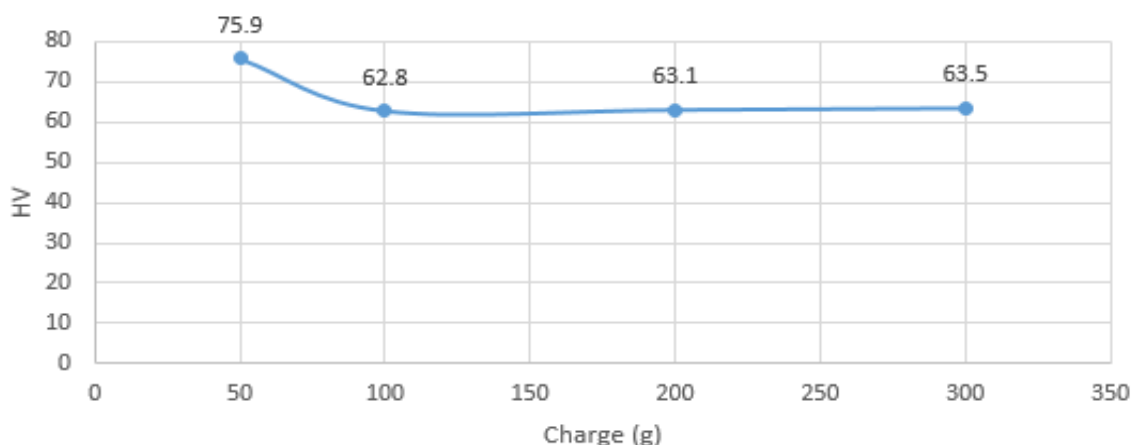
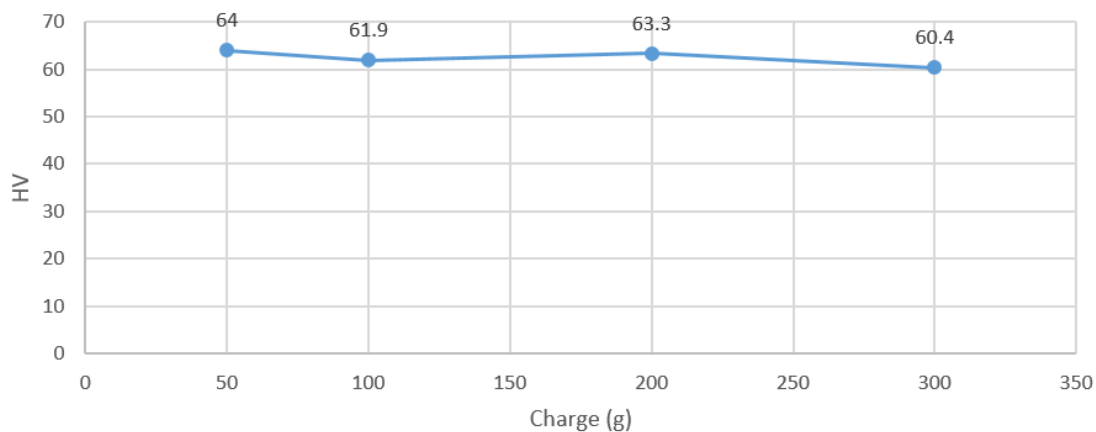
Echantillon 5 :

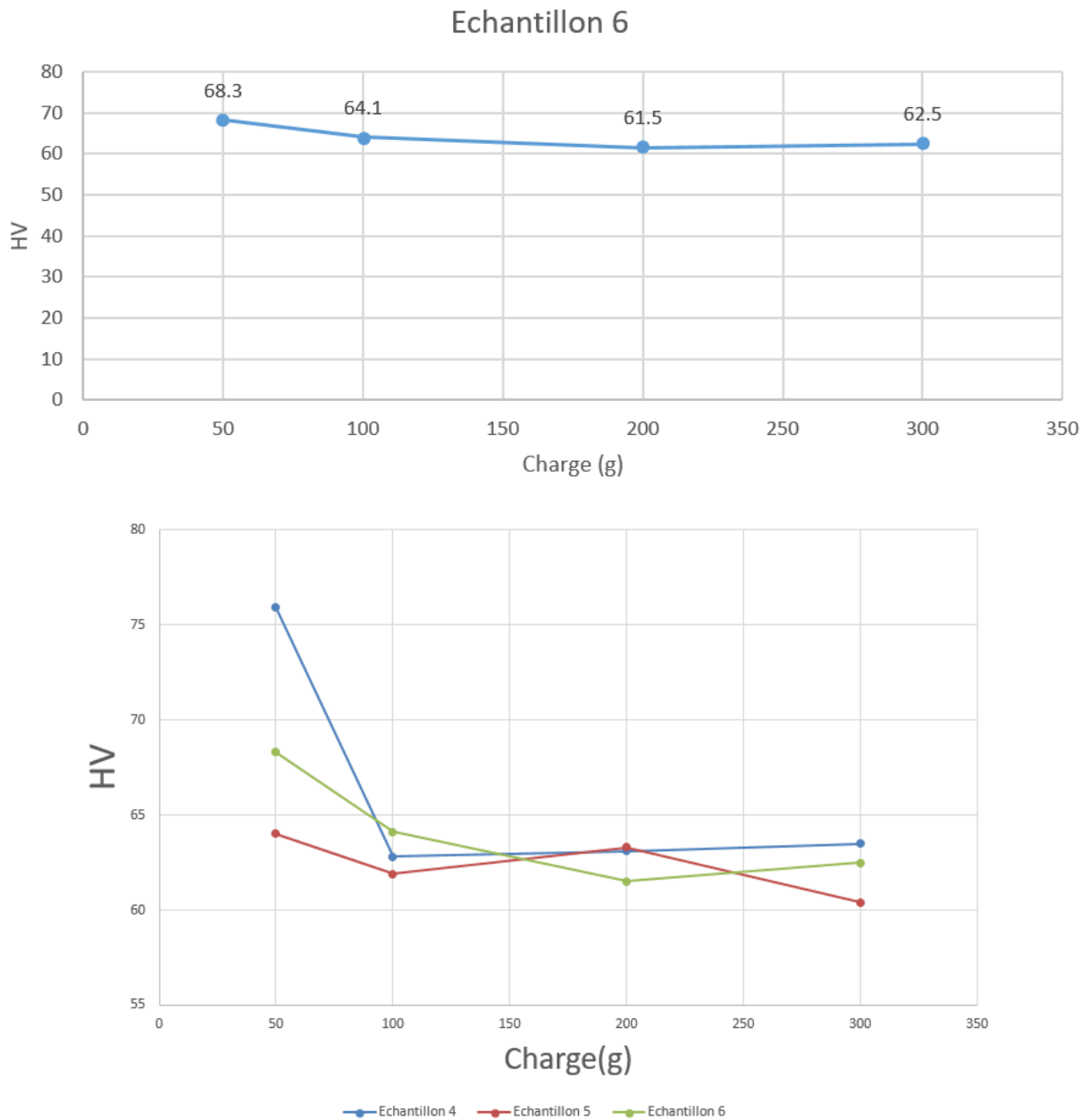
Charge	50g	100g	200g	300g
HV(Moyen)	64	61.9	63.3	60.4

Tableau III.6: résultat de de la moyen HV en fonction de la charge echantillon 5

Echantillon 6 :

Charge	50g	100g	200g	300g
HV(Moyen)	68.3	64.1	61.5	62.5

*Tableau III.7: résultat de de la moyen HV en fonction de la charge echantillon 6***III.5 Les Courbes HV en fonction de la charge :****Echantillon 4****Echantillon 5**



III.6 Calcule de l'empreinte (d) :

$$HV = 2 \cdot \sin\left(\frac{136^\circ}{2}\right) \cdot \frac{F}{D^2}$$

$$d = \sqrt{\frac{2 \sin\left(\frac{136}{2}\right) \cdot p}{HV}}$$

CHAPITRE III : Résultats et discussion

Echantillon 4 :

HV	75.9	62.8	63.1	63.5
d	1.1	1.71	2.42	2.95
1/d	0.91	0.58	0.41	0.33

Tableau III.8: HV en fonction de (d) echantillon 4

Echantillon 5 :

HV	64	61.9	63.3	60.4
d	1.2	1.72	2.41	3.03
1/d	0.83	0.58	0.41	0.33

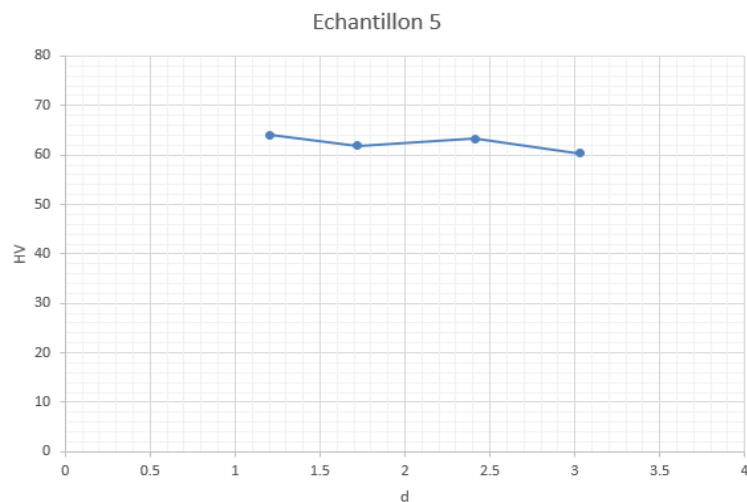
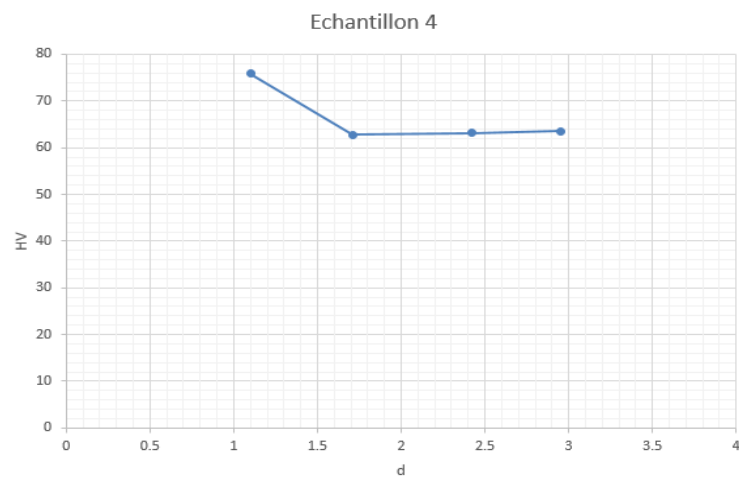
Tableau III.9: HV en fonction de (d) echantillon 5

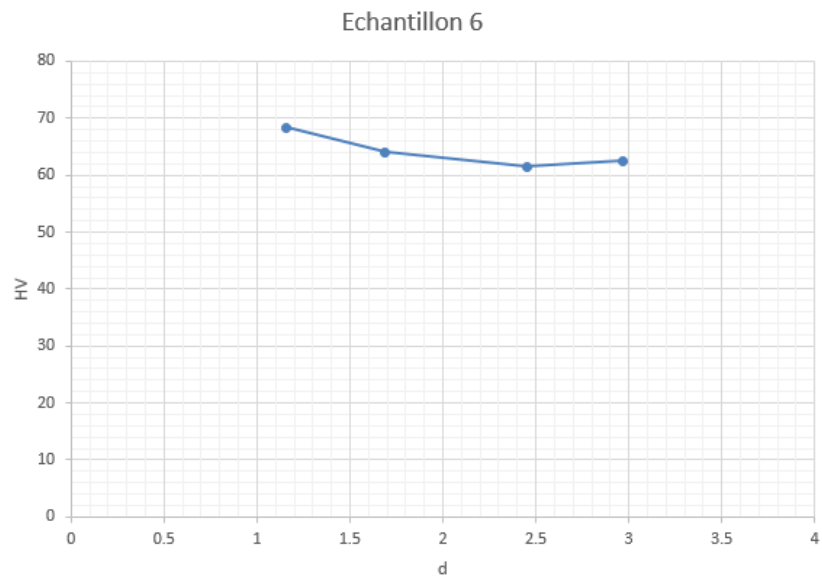
Echantillon 6 :

HV	68.3	64.1	61.5	62.5
d	1.16	1.69	2.45	2.97
1/d	0.86	0.59	0.4	0.34

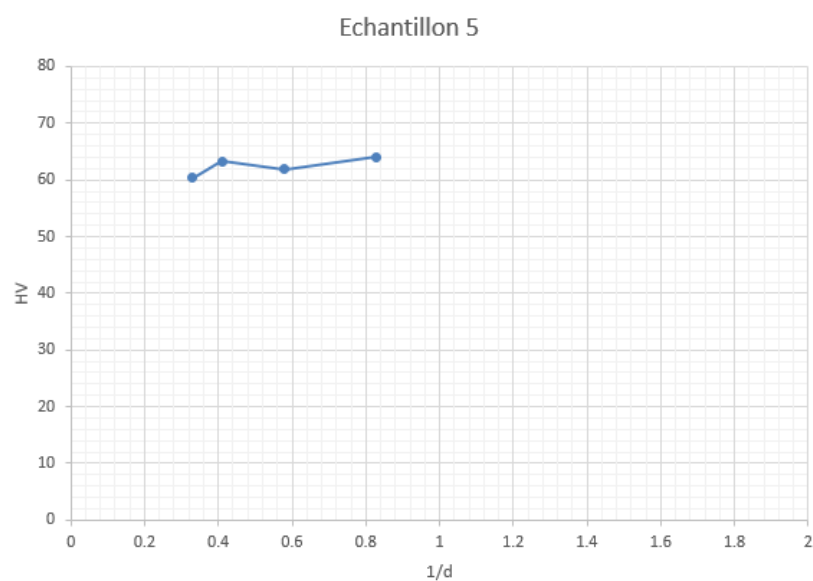
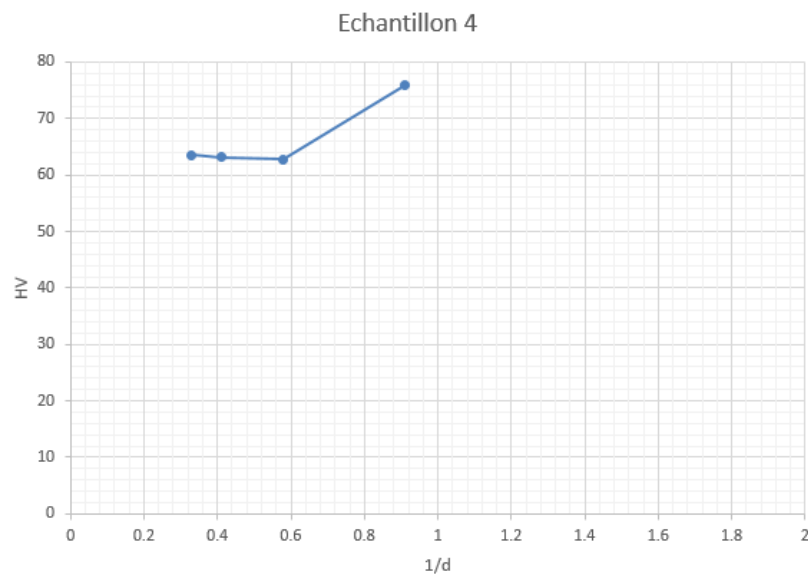
Tableau III.10: HV en fonction de (d) echantillon 6

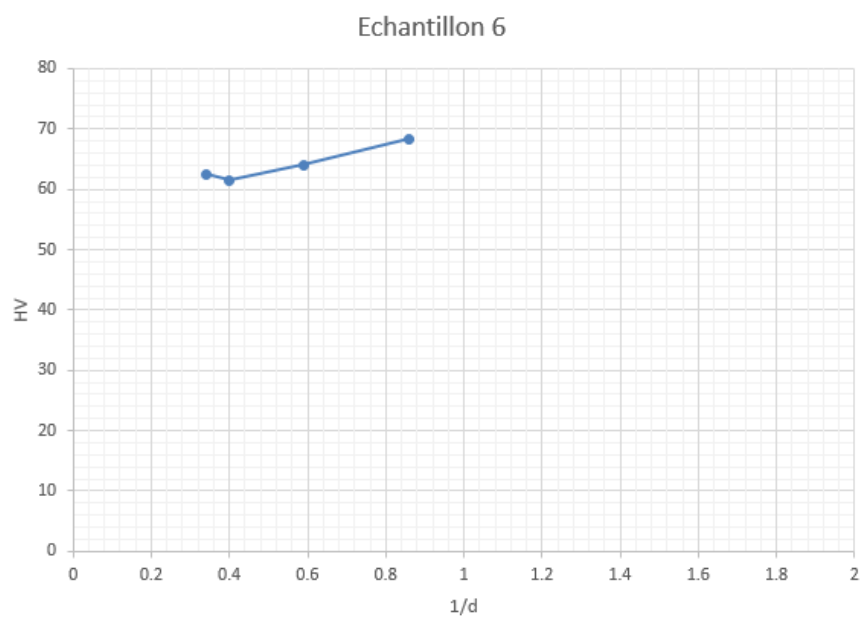
III.6.1 Les Courbes HV en fonction de (d) :





III.6.1 Les Courbes HV en fonction de (1/d) :





Conclusion générale :

Dans ce mémoire de master, le travail effectué nous a permis de conclure les résultats suivants :

- Le traitement thermique revêt une grande importance pour la modification des propriétés mécaniques et physiques des matériaux.
- L'aluminium et ses alliages sont très utiles dans différents domaines technologiques dans le monde en raison de leurs propriétés physiques, L'aluminium et ses alliages sont très utiles dans différents domaines technologiques dans le monde en raison de leurs propriétés physiques, mécaniques, chimiques et électriques, ainsi que de leur faible coût et de leur production.
- Le traitement thermique est un élément essentiel dans la modification de plusieurs propriétés de l'aluminium.
- Le traitement thermique de l'alliage d'aluminium 6063 est un travail d'actualité qui a déjà été le sujet d'un certain nombre de projets de recherche. Il est utilisé pour modifier plusieurs propriétés du matériau dans le but de lui donner des aptitudes nouvelles.
- L'analyse et l'étude de l'alliage 6063 pouvant être un avantage dans l'industrie, et d'autre part pour combler les défauts du métal pur.
- Ce travail a permis de venir compléter et améliorer, nos connaissances et compréhension générale sur le sujet via l'essai mécanique, le traitement thermique de l'alliage de l'aluminium et le matériau d'aluminium.
- Le traitement thermique qui subit les échantillons a modifié un peu la microdureté de l'alliage d'alumine étudié.
- Finalement, nous croyons que nous avons contribué dans le domaine du traitement thermique et la caractérisation d'alliage d'aluminium 6063 qui peut être élargi leur comportement.

REFERENCES:

- [1] FERCHAULT DE RÉAUMUR (R.A.). – L’art de convertir le fer forgé en acier et l’art d’adoucir le fer fondu (1722).
- [2] GARNIER (J.). – Le fer. Hachette (1874).
- [3] Dominique Ghiglione, Claude Leroux, Christian Tournier, « Pratique des traitements thermochimiques », Éditions techniques de l’ingénieur, traité Matériaux métalliques.
- [4] Michel Dupeux, « Aide-mémoire de science des matériaux », Dunod, 2005.
- [5] <http://www.adtaf.com/nos-prestations/traitement-thermique-dans-la-masse/>.
- [6] Rémi Desgagnés, Métallurgiste Raymond Langevin ; GUIDE D’AUTO APPRENTISSAGE pour les opérateurs en traitement thermique. p77 (sep 2015).
- [7] Roger DEVELAY ; Traitements thermiques des alliages d’aluminium. p16.
- [8] DEVELAY (R.), CROUTZEILLES (M.) et CHEVIGNY (R.). – Phénomènes de brûlure et qualité des soudures des alliages légers. Mém. Sci. Rev. Métallurgie, LVI, no 5, p. 409-17, 16 fig., bibl. 3 réf. (1959).
- [9] S. Vyazovkin, D. Dollimore, J. Chem. Inf. Comput. Sci., 36 p42-55(1996).
- [10] Jean-Paul Bailon, Jean-Marie Dorlot, des matériaux, école polytechnique de Montréal, 2000 p 475.
- [11] VRUGGINK (J.E.). – Quenching rate effects on mechanical properties of heat-treatable aluminium alloys (Influence de la vitesse de trempe sur les propriétés des alliages d’aluminium à traitement thermique). TMS Paper Selection, The Metallurgical Society of AIME, 10 fig., bibl. 2 réf., Conférence présentée at the Fall Meeting of TMS, Detroit Michigan, 13-17 oct. 1968.
- [12] BRYANT (A.J.). – The effect of composition upon the quench sensitivity of some Al-Zn Mg alloys (Les effets de la composition sur la sensibilité à la trempe de quelques alliages Al-Zn-Mg). J. Inst Metals, 94, p. 94-8, 1 tabl., 10 fig., bibl. 16 réf. (1966).
- [13] HUNSICKER (H.Y.). The metallurgy of heat treatment (La métallurgie des traitements thermiques) dans : Aluminium par Van HORN (K.R.), Chapman and Hall, vol. 1, p. 109-61, 36 fig., bibl. 29 réf. (1967).
- [14] K. Boulemzaoud. Mémoire de Magister, Université de Constantine, Algérie, (2012).
- [15] MOULIN (J.), ADENIS (D.) et DEVELAY (R.). –Influence de l’attente entre trempe et revenu sur la précipitation dans quelques alliages d’aluminium. Mém. Sci. Rev. Métallurgie, LXVI, no 12, p. 881-93, 3 tabl., 13 fig., bibl. 19 réf. (1969). Tabl. 63 fig., bibl. 26 réf., Techn. Sci. Aéronaut. Spatiales 2 (1962) ; 2, 3 et 4 (1963).
- [16] Michel Colombie, matériau métallique, 2eme édition, Paris 2008, pp.352-355.
- [17] Traitements thermiques des métaux et alliages par Philippe POUPEAU Ingénieur des Arts et Manufactures, Docteur-Ingénieur Professeur à l’École Centrale des Arts et Manufactures .