

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE
PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER
FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE
SPÉCIALITÉ : MATÉRIAUX POUR L'INGÉNIERIE MÉCANIQUE

PAR :
RABIA NASSIM
KALI AHMED

Thème

**Influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques
d'un acier au manganèse utilisé dans la fabrication des marteaux de
concasseurs.**

Devant le jury composé de :

Dr M.BRADAI Président.

Dr R.YOUNES Examineur.

Dr DJ.AMARI Examineur.

Mme MAROUF Invitée.

Encadré par :

Mr SAD-EDDINE.

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2016-2017

Remerciements

*Nous louons dieu le tout puissant de nous avoir donné la force et la patience de réaliser
de ce travail*

*Nous tenons à remercier chaleureusement notre promoteur Mr SAD-EDDME de nous
avoir accompagné au long de ce travail.*

*Nous tenons à remercier particulièrement Mme MAROUF pour sa disponibilité et son
guide tout au long de ce travail.*

*Nous adressons nos remerciements au Dr M. BRADAI de nous avoir fait l'honneur de
présider le jury et d'évaluer ce travail.*

*Nous remercions les examinateurs Dr DJ. AMARI et Dr R. YOUNES d'avoir
accepté de juger ce travail.*

*Nous remercions également l'ensemble du personnel du SONELEC de Tizi Ouzou en
particulier Mr. DJIDJA et Mr BELABES.*

*Nous saisissons cette occasion pour exprimer notre profonde gratitude à Mr
R. YOUNES pour ses conseils, son guide et sa disponibilité.*

*Nous tenons à remercier également tous les enseignants qui ont contribué notre cycle de
formation et aussi tout le personnel du hall de technologie pour leur serviabilité.*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents qui m'ont soutenu le long de mon parcours.

Mes frères, mes sœurs.

Tous les membres de ma famille.

Mes ami(e)s : " Fayçal, Naima, Assia..."

Et à tous ceux qui m'ont soutenu de près et de loin.

Ainsi que mon binôme Nassim

Ahmed

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents qui m'ont soutenu le long de mon parcours.

Mes sœurs.

Tous les membres de ma famille.

Mes ami(e)s

“Kermani, Mohamed, Zouaoui, Lahcene, Widad, Imène, Nawal”

Et à tous ceux qui m'ont soutenu de près et de loin.

Ainsi que mon binôme Ahmed.

RABIA Nassim

Sommaire

Chapitre I : Revenu bibliographique

Introduction générale	1
I. 1.Généralités sur les concasseurs	3
I.1.1. Définition	3
I.1.2. Usage industriel	3
I.1.3. Types de concasseurs	4
I.1.3.1.Concasseur à mâchoire	4
I.1.3.2.Concasseur Giratoire	5
I.1.3.3.Broyeur à cône	7
I.1.3.4.Broyeur à percussion	8
a. Broyeur à percussion à axe horizontal.....	8
b. Broyeur à percussion à axe vertical.....	9
I.1.4. Positionnement du concasseur à mâchoire dans une chaine de concassage	10
I.1.4.1.Définition du concassage	10
I.1.4.2.Alimentateur Vibrant	10
a. Principe de fonctionnement	10
I.1.4.3. Concasseur à mâchoire	11
I.2.Généralités sur les aciers.....	12
I.2.1.Définition de l'acier	12
I.2.2. Classification des aciers	12
I.2.3. Les aciers ordinaires ou aciers au carbone	12
I.2.4.Les aciers de traitements thermiques	13
I.2.5.Les aciers à outils	13
I.2.6.Les aciers inoxydables	14
I.2.6.1.Aciers martensitiques	14

I.2.6.2.Aciers ferriques	14
I.2.6.3.Aciers austénitiques	15
I.2.7.Acier au Manganèse (Hadfield)	15
I.2.7.1.Domaine d'utilisation des aciers au manganèse	16
I.2.7.2.Désignation des aciers	19
I.2.8.Influence spécifique des éléments d'addition	19
I.2.9.Diagramme Fe-carbone	20
I.2.9.1.Les différentes phases du système Fer-Carbone.....	21
I.2.10.Traitements thermiques	22
I.2.10.1.Principe des traitements thermiques	22
I.2.11.La trempe.....	23
I.2.12.Diagramme T.R .C (transformation-refroidissement-continue)	23
I.2.13.Diagrammes T.T.T (temps-température-transformation)	25
I.2.14.Revenu.....	26
I.2.15.Recuit	26
I.2.15.1.Trois types de recuits peuvent être envisagés	27

Chapitre II : Matériaux et techniques expérimentales

Introduction	28
II.1.Trempe et revenu	29
II.2. Présentation des matériaux	30
II.3. Préparation des éprouvettes	30
II.4. Présentation des essais mécaniques utilisés dans notre étude	31
II.4.1 Essai de résilience (essai de flexion par choc).....	31
II.4.2. Essai de dureté Vickers	33
II.4.3. Essai d'usure	34

Chapitre III : Résultats et discussions

Introduction	36
III.1. L'acier utilisé	36
III.2 Dureté Vickers des échantillons	36
III.3 .Essais de résilience	38
III.4. Les tests d'usure	40
III.4.1. perte de masse relative des différents échantillons ayants subit une trempe à l'eau normale et à l'eau glacé avec une vitesse de glissement de 0.5m/s	40
Conclusion générale	49

Introduction générale

Les aciers au manganèse ou Hadfield, contiennent une quantité importante de manganèse, qui peut dans certains cas atteindre 18% de manganèse.

La présence de cet élément leur confère une structure austénitique à l'état brut d'élaboration. Après un traitement thermique adéquat, la structure obtenue est exempte de carbures et/ou de phases intermédiaires.

Cet acier, destiné à des sollicitations continues d'usure et de choc, est recommandé pour les industries lourdes dont les applications utilisent les mâchoires de broyeur, les marteaux d'impact, les aiguilles de chemins de fer et les bandes de roulements de chenilles.

En fonctionnement, la structure austénitique de dureté voisine de 200 HB, subit un traitement thermique qu'est l'hypertrempe suivi par un revenu, et la structure obtenue austénite enrichie de dureté plus élevée de l'ordre de 450 HB, permet aux pièces de présenter une bonne résistance à l'usure. Les aciers austénitiques au manganèse combinent une bonne ductilité avec une résistance à l'abrasion élevée.

Le point qui détermine les propriétés finales du produit qui doit être considéré, en particulier au cours du processus de fabrication est la composition chimique de l'acier fondu, suivi par un traitement thermique afin de produire une microstructure appropriée et d'éviter des défauts structuraux (vides, fissures, inclusions) et phases fragiles (carbures). Par conséquent, les divers paramètres tels que les éléments d'alliage, les conditions de coulée, la vitesse de solidification de l'alliage et cycles de traitement thermique peuvent déterminer la microstructure optimale. Par conséquent, l'optimisation de ces paramètres est essentielle pour la production des pièces aptes à résister aux chocs et prolonger la durée de vie (problème des mâchoires des concasseurs).

Ainsi ce mémoire de fin d'études est une contribution à l'étude de l'influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques de l'acier Hadfield, et encore l'étude de l'état microstructurale de base sur le rendement et la durée de vie des pièces fabriquées en acier Hadfield, destinées à travailler dans un environnement agressif de chocs. et la proposition d'une gamme de traitement thermique optimal, afin de répondre aux exigences et les conditions de travail des mâchoires des concasseurs.

Ce mémoire est donc structuré comme suit :

Chapitre I qui consiste :

- Généralités sur les concasseurs.
- Un rappel théorique qui consiste :

Les aciers en général, diagramme fer-carbone, les différents traitements thermiques.

Chapitre II : consacré principalement à la description de l'acier étudié, les essais et les tests effectués.

Et dans le chapitre III on fait exposer les résultats et leur discussion.

Et on terminera par une conclusion générale qui résume tous les chapitres et l'objectif atteint.

Chapitre I : Généralités sur les concasseurs

I.1.1. Définition [1]

Un concasseur est une machine conçue pour réduire les grosses roches en petits pierres, gravier, ou poussière de roche. Les concasseurs peuvent être utilisés pour réduire la taille ou changer la forme des déchets afin qu'ils puissent être plus facilement éliminés ou recyclés. Ils peuvent également réduire. La taille d'un mélange solide de matières premières (comme le minerai), de sorte que ses différents composants puissent être séparés. Le concassage est le processus d'application d'une force, amplifiée par avantage mécanique, à l'aide d'un matériau dont les molécules sont liées plus solidement et résistent mieux à la déformation que celles du matériau à concasser. Les appareils de concassage retiennent le matériau entre deux surfaces solides parallèles ou tangentes, et appliquent une force suffisante molécules se séparent (déformation). Les premiers concasseurs étaient des pierres, frappées contre une enclume de la pierre, le poids de la pierre aidant la force musculaire. Les meules et les mortiers sont des appareils de concassage de ce type.

I.1.2. Usage industriel

Dans l'industrie, Les concasseurs utilisent une surface métallique pour briser ou comprimer les matériaux. Les concasseurs des opérations minières sont généralement classés suivant la finesse avec laquelle ils fragmentent le matériau de départ : les concasseurs primaires et secondaires traitent les matériaux grossiers, les concasseurs tertiaires et quaternaires réduisant les particules de minerai à des échelles plus fines. Chaque concasseur est conçu pour une taille maximale des matières premières, et livre souvent sa production à un crible qui trie et oriente le produit pour un traitement ultérieur.

Généralement, les étapes de concassage sont suivies par les étapes de broyage si les matériaux doivent être encore réduits. Les concasseurs sont utilisés pour réduire suffisamment la taille des particules pour que le matériau puisse être transformé en particules plus fines dans un broyeur. Un circuit typique de mine est constitué d'un concasseur suivi d'un broyeur semi-autogène, suivi par un broyeur à boulets sont considérés comme moules plutôt que des concasseurs.

I.1.3. Types de concasseurs

Il existe des concasseurs de technologie différente, les plus fréquents étant :

- Le concasseur à mâchoires
- Le concasseur à cône*
- Le concasseur à percussion
- Le concasseur giratoire

I.1.3.1. Concasseur à mâchoire [1]

Le concasseur à mâchoire est une machine à broyer des roches (granite, calcaire, etc.) généralement à des fins industrielles, vu que la roche est la matière première par excellence de quasiment toutes les industries (métallurgie minière, etc.)

L'appellation à mâchoire est due au dispositif de broyage, qui reprend le principe de base d'une mâchoire, avec une paroi fixe et un autre mobile, la roche étant coincée entre les deux. La partie mobile est entraînée en rotation par une bielle (excentrique) qui assure la rotation de la mâchoire. Le ressort de rappel à sa base permet de ramener la mâchoire afin de laisser passer les matériaux broyés. Ce concasseur associe donc deux mouvements.

Un mouvement de compression (de gauche à droite) afin de concasser le granulat et un mouvement de friction (du haut vers le bas) afin de faire descendre les matériaux vers le convoyeur de réception des matériaux broyés. Les débits de telles machines sont conditionnés par leur taille d'ouverture et le réglage côté fermé à la base des mâchoires, là où sortent les matériaux.

Les mouvements répétitifs de la partie mobile, entraînés généralement par un moteur et une courroie, brisent la roche en petites pierres, La transformant en un produit fini commercialisable pour la fabrication du béton de construction, voire de route et autres applications.

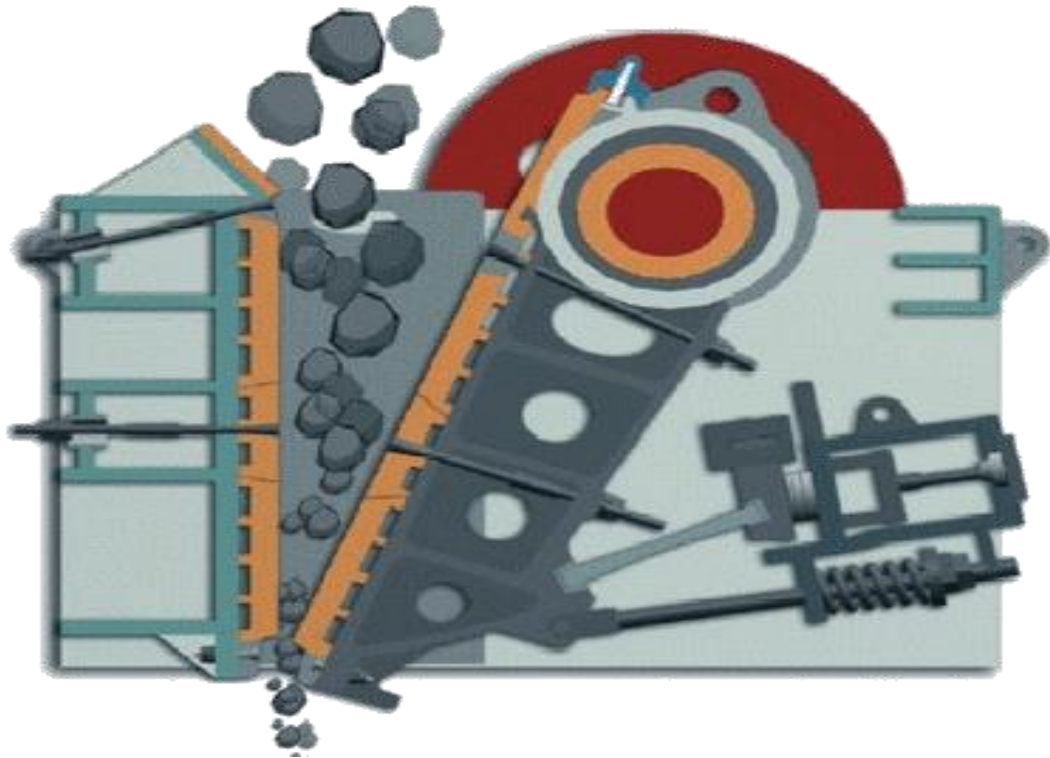


Figure I.1. Concasseur à mâchoire

I.1.3.2. Concasseur Giratoire [1]

Le principe du concasseur giratoire est semblable à celui du concasseur à mâchoire, mais il est composé d'une surface concave et d'une tête conique. Les deux surfaces sont généralement doublées avec des pièces en acier au manganèse. Le cône interne a un léger mouvement circulaire, mais ne tourne pas, le mouvement est généré par un excentrique. Comme avec le concasseur à mâchoire, le matériau chute entre les deux surfaces en étant progressivement écrasé jusqu'à ce qu'il soit assez petit pour tomber dans l'espace entre les deux surfaces.

Le concasseur giratoire est l'un des principaux types de concasseurs primaires dans les mines ou les usines de traitement du minerai. Les concasseurs giratoires sont désignés par leur taille, soit selon l'ouverture maximum et le diamètre inférieur de la mâchoire mobile, soit la taille de l'ouverture de réception. Les concasseurs giratoires peuvent être utilisés pour le concassage primaire ou secondaire. Le concassage est causé par la fermeture de l'écart entre la mâchoire mobile montée sur l'arbre central vertical et les doublures concaves (fixes) montées sur le

châssis principal. Cet écart varie grâce à un excentrique sur la partie inférieure de l'arbre central vertical en rotation. L'arbre vertical est libre de tourner autour de son axe.

Le broyeur est illustré d'un type court de broche suspendue, ce qui signifie que l'axe principal est suspendu au sommet et que l'excentrique est monté au-dessus de la couronne. La conception à arbre court a remplacé la conception à arbre long dans lequel l'excentrique est monté au-dessous de la couronne.

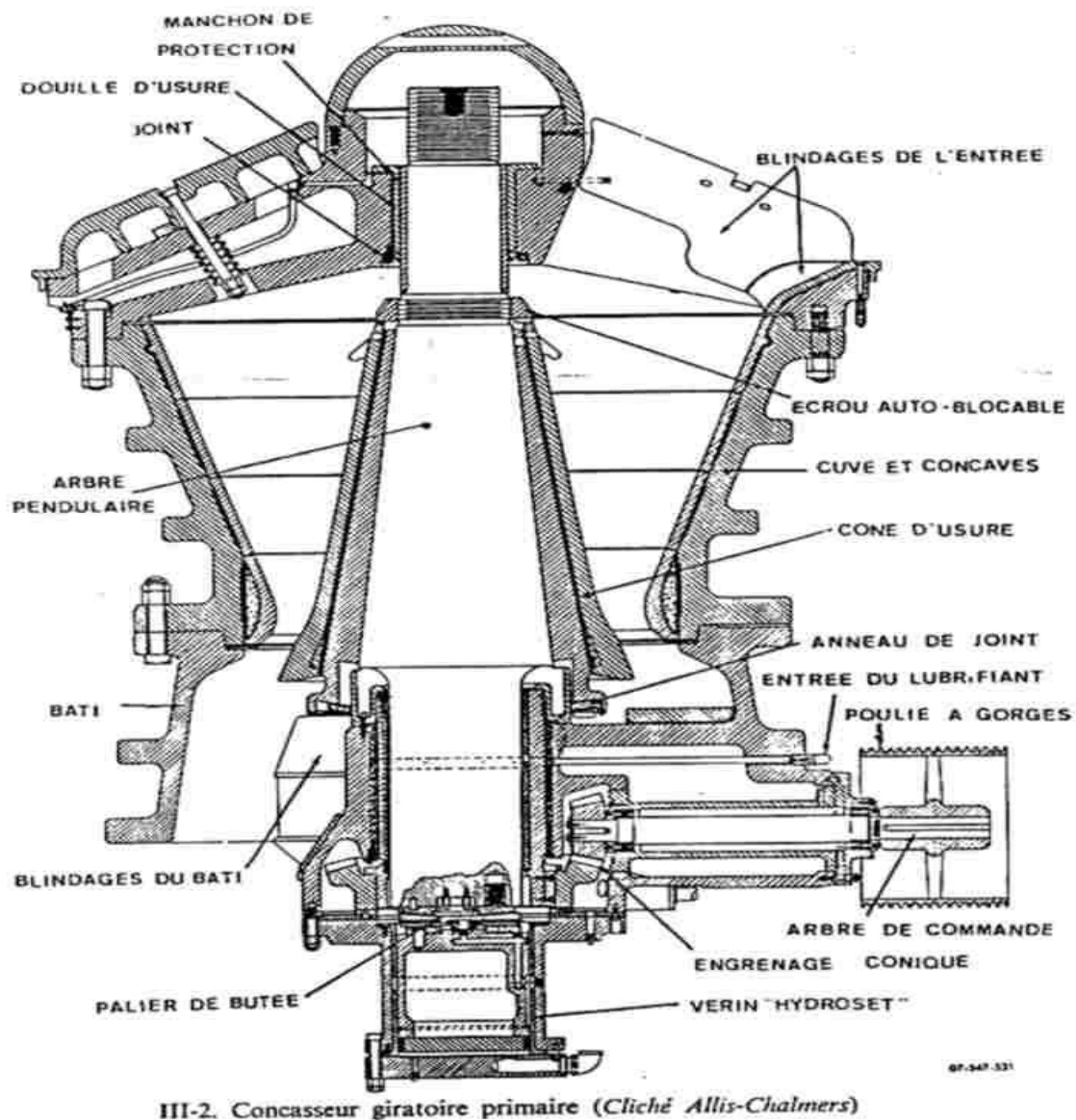


Figure I.2. Concasseur giratoire.

I.1.3.3. Broyeur à cône [1]

Un broyeur à cône a un fonctionnement similaire au concasseur giratoire, avec moins de pente dans la chambre de cassage et une plus grande zone parallèle entre les zones de concassage. Un broyeur à cône brise la roche en la serrant entre une tête excentrée tournante, qui est couverte par un blindage résistant à l'usure (mâchoire mobile), et le bol, couvert par un concave manganèse ou une mâchoire fixe. Comme la roche entre le sommet du broyeur à cône, elle se coince et se comprime entre la mâchoire mobile et la mâchoire fixe. De gros morceaux de minerai sont cassés une fois, puis tombent à une position inférieure (car ils sont maintenant plus petits), ou ils sont à nouveau cassés. Ce processus continue jusqu'à ce que les morceaux soient assez petits pour passer à travers l'ouverture étroite dans le bas de la chambre de cassage. Un broyeur à cône est adapté au broyage de divers minerais et roches, pour des duretés allant de mi-dure à dure. Il a l'avantage d'une construction fiable, d'une haute productivité, d'un réglage facile et de faibles coûts opérationnels.

Le système de libération à ressort d'un concasseur à cône agit comme une protection contre les surcharges qui permettent aux matériaux imbroyables de passer par la chambre de broyage sans endommager le broyeur.

STRUCTURE DU BROEUR A CONE MINYU TYPE SP

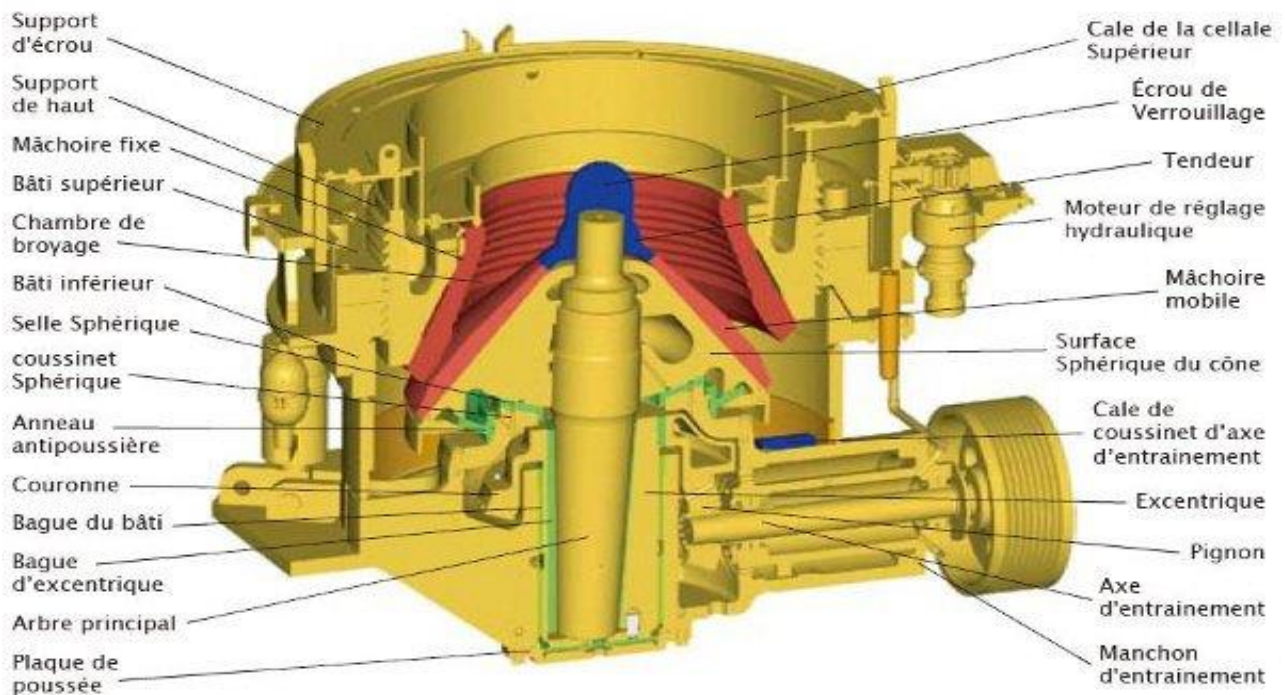


Figure I.3. Broyeur à cône

I.1.3.4. Broyeur à percussion [1]

a. Broyeur à percussion à axe horizontal

Concasseur à percussion est un équipement fabriqué pour le traitement des matériaux avec une taille plus de 100mm et moins de 500mm, une résistance à l'écrasement moins de 350Mpa. Il se caractérise par un ratio haut de concassage, une haute efficacité, les matériaux écrasés en cube, etc. Il peut être utilisé pour le concassage des matériaux de dureté moyenne (tel que le concassage du calcaire), il a une grande capacité de production et une taille de produits finals comme avantages.

Cette machine écrase les matériaux par la force d'impact. Quand elle fonctionne, poussé par le moteur, le rotor est en rotation à haute vitesse. Après les matériaux sont entrés, ils ont un impact avec le marteau et le rotor, puis ils sont en contrecoup sur la doublure pour un autre impact, enfin ils sont déchargés de l'ouverture de déchargement. Quand les matériaux entrent dans le champ du marteau, ils sont écrasés par l'impact à haute vitesse du marteau. En réglant l'écart entre la plaque d'impact et le rotor.



Figure I.4 Broyeur à percussion axe horizontal

b. Broyeur à percussion à axe vertical [1]

Le broyeur à axe vertical est utilisé pour fabriquer des sables de qualité. En effet, il permet de concasser encore plus finement les graviers en finissant de rompre les liaisons les plus faibles rémanentes du granulat. On obtient ainsi un sable dont la consistance et la forme sont optimaux pour les sables types bétons notamment. Cette machine combine l'énergie de rotation avec l'énergie de percussion pour concasser les matériaux. En entrée, les granulats arrivent par la tête du broyeur. Par gravité, ils arrivent par l'intermédiaire d'une goulotte verticale sur une plaque de distribution (en fer fortement chromé pour minimiser l'usure), légèrement conique pour éviter que les matériaux ne stagnent dessus. Le rotor vertical est constitué d'une chambre en rotation, blindée, possèdent en général quatre (04) ouvertures avec des pièces d'usure sur les côtés : les blocs de percussions. La plaque de distribution envoie par force centrifuge et gravitationnelle les matériaux vers les ouvertures. Une fois proches des ouvertures, les blocs de percussions frappent les matériaux et les projettent sur une couronne d'enclume, solidaire du bâti. Si les granulats ne sont pas cassés par la percussion des blocs, l'énergie supplémentaire emmagasinée lors de la frappe permet de les casser lors de la rencontre avec l'enclume.

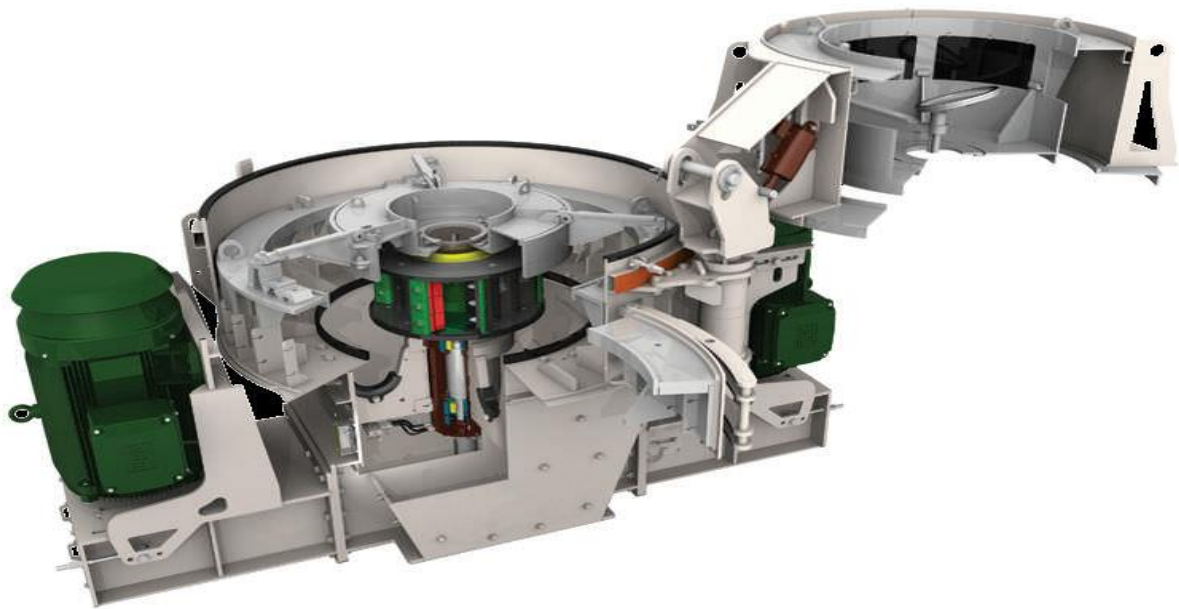


Figure I.5. Broyeur à percussion à axe verticale

I.1.4. Positionnement du concasseur à mâchoire dans une chaîne de concassage**I.1.4.1. Définition du concassage [2]**

Le concassage est l'opération qui permet la réduction granulométrique des matériaux, autrement dit la diminution de la taille des éléments qui constituent les matériaux en cours d'élaboration.

Il s'agit d'un procédé purement mécanique qui consiste, le plus souvent, à placer les matériaux entre deux plaques métalliques dont l'une est fixe et l'autre est mobile et se rapproche de la plaque fixe. En fonction de la vitesse de rapprochement nous parlerons d'écrasement.

I.1.4.2. Alimentateur Vibrant [2]

L'alimentateur vibrant est conçu pour fonctionner sous des conditions dures dans une arrière ou une mine. Il sert à réguler le coefficient d'alimentation du concasseur en séparant les matériaux selon la taille, dégageant les non-broyables, et passant les plus petits de façon à maximiser la capacité de concassage du broyeur.

Dans le processus de production, l'alimentateur vibrant peut alimenter l'équipement de concassage également, régulièrement et continuellement, et d'ailleurs, il peut aussi effectuer le criblage primaire des matériaux.

a. Principe de fonctionnement

L'alimentateur vibrant consiste en une alimentation à travers un vibreur.ressort, moteur, etc. La source de vibration de l'alimentateur de matériaux est faite de deux manches (actif et passif) et d'un engrenage. Le manche principal est actionné par le moteur grâce au convoyeur en V, le manche massif commence à tourner à travers la maille d'engrenage du manche actif. Ensuite le manche contre rotatif force l'alimentateur à vibrer. Grâce à ces vibrations, les matériaux vont glisser et s'éligner dans la cheminée remuant en arrière. Quand les matériaux passent dans le tamis, les plus petites particules vont tomber complétant le cycle.

I.1.4.3. Concasseur à mâchoire

Un concasseur est un équipement lourd destiné à briser la pierre en petits fragments appelés Agrégats.

Le concasseur à mâchoire est le plus ancien des concasseurs. Grâce à sa structure simple, son bâti solide, son fonctionnement stable et son entretien facile ainsi que son cout faible, il est donc toujours utilisé dans l'industrie métallurgique et chimique.

Le concasseur à mâchoire est une machine à broyer des roches (granite, calcaire, etc.) généralement à des fins industrielles, vu que la roche est la matière première par excellence de quasiment toutes les industries (métallurgie minière, etc.). Il sert à broyer des divers minerais et roches gros, moyens et fins avec une résistance à la compression de 147 à 245 MPA.

Ce concasseur considéré comme concasseur primaire conçues pour les gros travaux, il est principalement utilisés pour concasser les minerais les plus durs et les matériaux ferreux. Tout en étant extrêmement robuste, la plage des tailles va de 610 mm x 330 mm à 1524 mm x 1320 mm.

Utilisés comme élément principal, réduisant le flux de minerai à des tailles gérables pour l'étape suivante dans le processus. Il est à utiliser en fonction du type de minerai et de sa dureté.

I.2.Généralités sur les aciers [3-5]

I.2.1.Définition de l'acier

L'acier est un alliage de fer contenant moins de 2 % de carbone. Il peut être répertorié selon cette teneur en carbone qui fixe son niveau de dureté maximale à l'état trempé. Un acier de haute teneur en carbone sera employé pour sa grande dureté alors qu'un acier de teneur plus faible est moins dur et plus malléable. Il contient généralement de petites quantités d'autres éléments que le fer et le carbone, incorporés, volontairement ou non, au cours de son élaboration. On peut également y ajouter des quantités plus importantes d'éléments d'alliage ; il est considéré alors comme un acier allié.

I.2.2. Classification des aciers

Du fait du nombre élevé d'éléments ajoutés au fer et de la gamme étendue de leur teneur, les aciers présentent un très grand nombre de nuances différentes. On peut classer les divers types d'alliages à base de fer selon leur composition chimique ou selon leur domaine d'utilisation. L'adoption de cette dernière nous permet de recenser quatre familles d'aciers :

- Les aciers au carbone d'usage général,
- Les aciers de traitements thermiques, alliés ou non,
- Les aciers à outils
- Les aciers inoxydables

I.2.3. Les aciers ordinaires ou aciers au carbone

Les aciers ordinaires sont des aciers standards d'usage général qui sont parfois improprement appelés aciers au carbone. Ils sont utilisés tels quels, sans traitement ultérieur, constituent environ 80 % de la production des aciers (tableau I.1). Outre le carbone, ces aciers contiennent des éléments d'addition et des impuretés dont la présence découle de leur mode d'élaboration : manganèse (1.2 %), silicium (0.6 %), soufre (0.06 %), phosphore (0.06 %). Ces pourcentages présentent les teneurs limites de ces éléments dans ces aciers.

Tableau I.1 : Aciers ordinaires ou aciers au carbone non-alliés

Nuance	Pourcentage de carbone (C)	Résistance R_m (MPa) état recuit	Emplois
extra-doux	$C < 0,15$	330-420	tôles pour carrosserie, feuillards, quincaillerie, pièces de forge
Doux	$0,15 < C < 0,20$	370-460	charpente métallique, profilés, construction mécanique courante, boulons, fils ordinaires
demi-doux	$0,20 < C < 0,30$	480-550	pièces de machines pour applications mécaniques, pièces ou bâtis moulés, pièces forgées
demi-dur	$0,30 < C < 0,40$	550-650	petit outillage, éléments de machines agricoles, organes de transmission
Dur	$0,40 < C < 0,60$	650-750	pièces d'outillage, d'armement, glissières, rails et bandages, ressorts, coutellerie, pièces moulées et traitées
extra-dur	$0,60 < C$	>750	outils d'usinage et découpe, câbles, ressorts

Bien qu'on puisse les obtenir avec des propriétés mécaniques variées, les aciers ordinaires ne répondent pas à toutes les exigences d'utilisation. Les principales propriétés

Des aciers au carbone susceptibles d'être améliorées sont les suivantes :

- la résistance mécanique à l'état normalisé ou à l'état recuit,
- la trempabilité,
- la soudabilité
- la tenue à chaud,
- la résistance à l'usure et à la corrosion.

I.2.4. Les aciers de traitements thermiques

On définit les aciers de traitements thermiques par rapport à leur composition chimique, car elle permet de déterminer les traitements qu'on peut leur appliquer en fonction des propriétés désirées. Les aciers de traitements thermiques sont soit des aciers au carbone sans autres éléments d'additions que des éléments standard Mn et Si, soit des aciers alliés contenant en proportions variables d'un ou plusieurs éléments d'addition (Cr, Ni, V, etc.).

I.2.5. Les aciers à outils [6]

Les aciers à outils ont une importance technologique primordiale, aucune étape de la fabrication et quel que soit le procédé employé ne peut se passer d'outil. La production mondiale de ce genre d'acier ne représente qu'un faible pourcentage $\sim 0.1 \%$, mais compte

par exemple en Amérique plus de 75 nuances. Chacune de ces nuances est destinée à une fonction bien spécifique.

I.2.6.Les aciers inoxydables [6]

Aujourd'hui, nous vivons un extraordinaire développement des aciers inoxydables, cela est dû en grande partie à la disponibilité des éléments métalliques entrant dans leur composition, c'est à-dire le chrome, le nickel, le molybdène et le manganèse, ce dernier pouvant être utilisé comme substitut au nickel. Un métal est dit inoxydable s'il résiste bien à l'action de l'atmosphère à divers degrés d'humidité et de salinité, à des attaques chimiques (acides, bases, sels, tout autre agent de corrosion). Dans de nombreuses applications devenues de plus en plus sévères en termes de corrosion, on a dû substituer des aciers spéciaux et alliés à l'acier ordinaire. Les aciers réfractaires sont destinés à travailler à chaud (températures supérieures à 550°C), dans des milieux agressifs tels que les milieux oxydants de toute nature (présence d'oxygène, soufre...), réducteurs (hydrogène), les métaux et sels fondus etc. La température de fonctionnement élevée nécessite, de plus, une bonne tenue mécanique à chaud, en particulier une bonne résistance au fluage. La plupart de ces aciers réfractaires sont des aciers inoxydables dont les propriétés sont améliorées par des additions de molybdène, titane, niobium, etc. Les aciers inoxydables comprennent un ensemble de familles d'alliages métalliques qui contiennent tous du fer et du chrome : c'est essentiellement le chrome qui confère aux aciers une bonne résistance à la corrosion par formation en extrême surface d'une très fine couche d'oxyde de chrome non poreuse. Suivant leur teneur en chrome dont le seuil minimal est de 13% et les traitements métallurgiques qu'ils ont subis, ils présentent un large éventail de propriétés. Entre autres, on distingue:

I.2.6.1.Aciers martensitiques

Leur teneur en chrome ne dépasse pas 17% et leur teneur en carbone, qui est fonction de la teneur en chrome peut atteindre 1.1%.

I.2.6.2.Aciers ferritiques

Leur teneur en carbone est faible (inférieure à 0.08 %). Un acier qui contient plus de 12 % de chrome demeure ferritique à toutes les températures ; il ne peut plus prendre la trempe martensitique. Ils peuvent contenir entre 12 et 30 % de chrome. Ils sont aux chauffages sensibles au grossissement des grains, ce qui entraîne une dégradation de leur ductilité et de leur ténacité.

I.2.6.3. Aciers austénitiques

Malgré les progrès incontestables réalisés, en matière de ductilité et de ténacité, par les aciers inoxydables ferritiques, les aciers inoxydables austénitiques du type Fe-Cr- Ni représentent encore 80 % du marché mondial. Comme le nickel est un élément gammagène, il a tendance à stabiliser l'austénite. Selon leurs teneurs en chrome, en nickel et en carbone, certains aciers peuvent conserver une structure austénitique (C.F.C). L'addition de nickel élément gammagène, en quantité suffisante permet à l'acier de conserver sa structure austénitique à la température ambiante.

Dans de nombreux milieux, leur résistance à la corrosion est remarquable, ainsi d'ailleurs que les propriétés mécaniques et leur formabilité. De par leur structure (C.F.C), ils ne présentent aucune transition ductile-fragile ; on peut donc les utiliser à très basse température (transport et stockage de gaz liquéfiés, par exemple). Finalement, leur résistance à la corrosion et à l'oxydation permet leur emploi à haute température (jusqu'à 900 ou 1000°C, selon les nuances). A ces propriétés, il faut ajouter une excellente soudabilité opératoire et métallurgique, ce qui facilite la mise en œuvre. La nuance de base X5CrNi18-10 contient 18 % de chrome, 9,5 % de nickel et 0,05 % de carbone. Grâce à ses remarquables propriétés d'emploi, elle couvre environ 80 % des applications des nuances austénitiques. Les aciers inoxydables austénitiques ne peuvent subir aucun durcissement par traitement thermique. On peut toutefois les durcir par écrouissage. Comme les aciers ferritiques (C.C), ils sont sensibles au grossissement des grains au chauffage. Restant ductiles, la croissance des grains n'entraîne aucune fragilisation.

Outre ces trois familles inoxydables, il existe également des aciers qui contiennent, en proportion variable de l'austénite et de la ferrite ce sont des aciers inoxydables austénito ferritiques.

I.2.7. Acier au Manganèse (Hadfield) [7]

Est un matériau qui est bien connu pour sa haute dureté en cour de service et son grand taux d'écrouissage. C'est l'un des excellents matériaux résistants à l'usure qui a couramment été employé pendant les cent dernières années. Grace à ces propriétés, cet acier est sollicité pour une utilisation accrue dans des applications industrielles telles que les marteaux d'impact, les mâchoires de broyeur, les bandes de roulement de chenille, les rails et les aiguillages de chemin de fer.

I.2.7.1. Domaine d'utilisation des aciers au manganèse [8]**Tableau I.2.** Domaine d'utilisation des aciers au manganèse

NUANCES F.A.R	Caractéristiques technologiques	Dureté	Types de pièces conseillés
		En service HV.	
Mn 12	Acier pour grosses pièces d'épaisseur supérieure à 150 mm. soumises à chocs violents et pour pièces qui exigent une ténacité élevée.	500	Marteaux de broyeurs à ferrailles Grosses mâchoires
MnCr 12.2	Acier pour toutes pièces d'emploi normal	600	Mâchoires - Marteaux - Cônes et Mâchoires pour concasseurs giratoires - Rouleaux - Ecrans de chocs.
MnX50	Acier de nouvelle conception, résultat des laboratoires de recherche, développement et expérimentation FAR. Les meilleures qualités anti usure, écrouissage et résistance aux impacts et/ou déformations des manganèses communs, résumées et optimisées dans un matériel inique et universel avec grande performance dans les plus variées applications.	700	Marteaux - Plans de chocs - Mâchoires - Cônes giratoires - Manteaux - Ecrans de choc - etc.
MnMo 6.1	Acier qui obtient les plus hautes valeurs de dureté superficielle par écrouissage dans les emplois à faible énergie de chocs. Indiqué pour le broyage de matériau friable et de	700	Cônes et Mâchoires pour concasseurs giratoires secondaires et tertiaires. Mâchoires et marteaux pour emplois

	petite taille.		particuliers
MnCr 18.2	Acier qui a de très bonne caractéristique anti usure et de résistance aux déformations	600	Percuteurs primaires et secondaires. Mâchoires - Cônes.
MnCr 20.3	Acier qui a d'excellentes qualités anti-usure pour emplois spécifiques et une résistance maximale contre l'usure par rayonnage. Il associe des propriétés mécaniques élevées à une durée maximale.	600	Marteaux pour installations de recycling. Cônes et Mâchoires pour concasseurs giratoires. Pièces soumises à usure par abrasion et rayage.
MnNi 12.2	Acier austénitique as-cast pour pièces de petite épaisseur et peu soumises à chocs.	600	Plaques de blindage.

I.2.7.2. Désignation des aciers

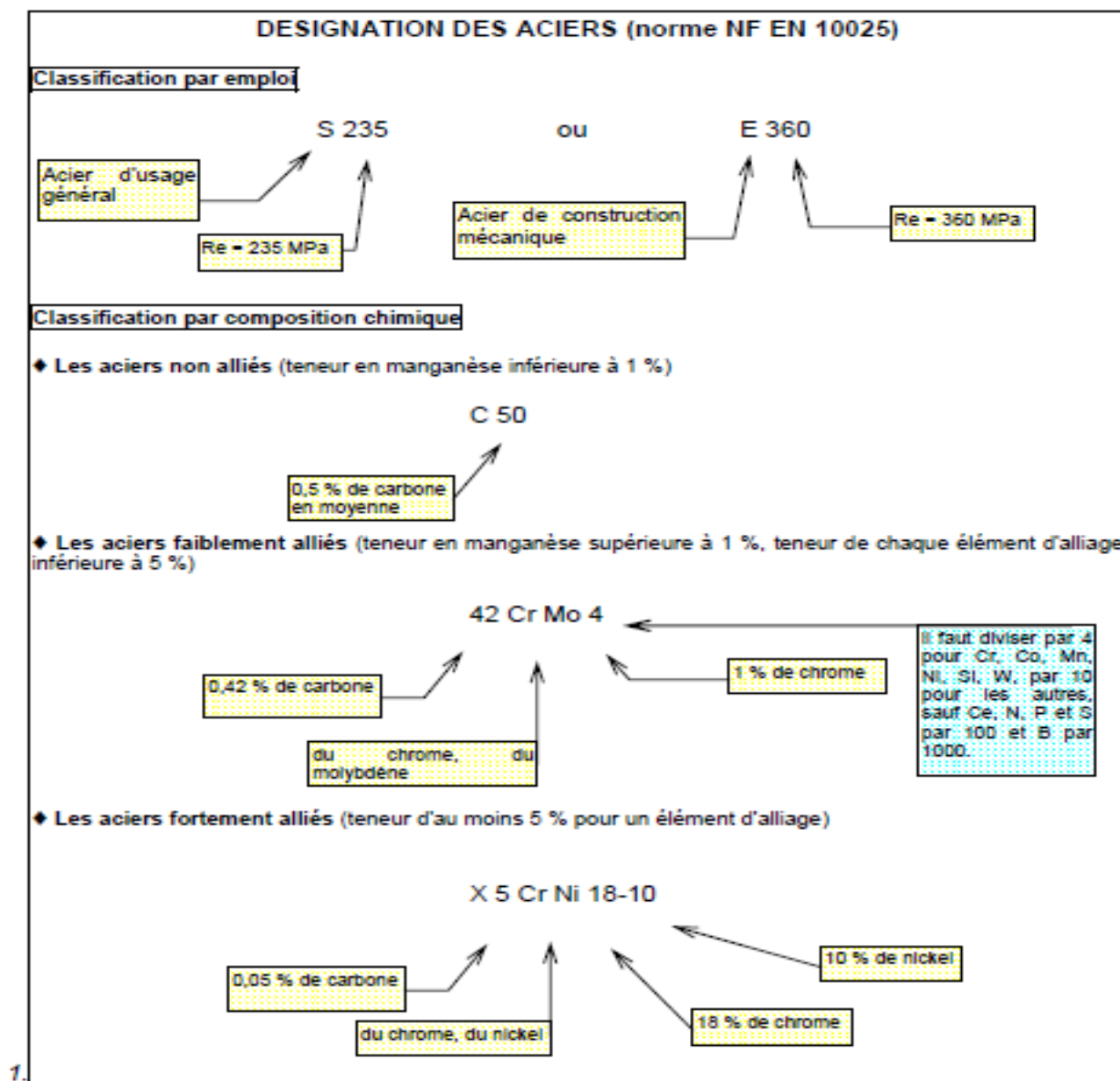


Figure I.6. Désignation des aciers (norme NF EN 10025)

Cette figure présente un exemple de quatre nuances d'aciers selon la désignation normalisée avec les principales valeurs maximales relatives à la composition chimiques à la coulée, et dans le cas de tôles d'épaisseur inférieure à 30mm, la valeur minimale de la limite d'élasticité R_e et les valeurs limites de la résistance à la traction R exprimées en MPa ainsi que la valeur minimale de l'allongement à rupture A (en %).

Tableau I.3. Composition chimique et caractéristiques mécaniques en traction de quatre nuances d'aciers de constructions d'usage général .

Nuance	C%	P%	S%	R _e min (MPa)	R (MPa)	A min (%)
E24	0.18	0.060	0.050	235	363-441	24
E26	0.20	0.060	0.050	255	412-490	21
E30	0.24	0.050	0.050	274	461-559	21
E36	0.24	0.050	0.050	353	510-608	20

I.2.8. Influence spécifique des éléments d'addition [9]

Les principaux éléments d'addition du fer sont : le carbone, le chrome, le nickel, le tungstène, le molybdène, le vanadium, le manganèse, l'aluminium, le silicium, le titane, le niobium, l'azote... ; ils ont une influence significative sur les caractéristiques. L'action des éléments d'addition dépend essentiellement des deux facteurs décrits ci-dessous :

Modification du domaine de stabilité de l'austénite. Certains éléments, comme le carbone, le nickel et le manganèse élargissent le domaine de stabilité de l'austénite et abaissent les températures de transformations. Avec des teneurs en nickel ou en manganèse suffisamment élevées, l'acier présente, même à la température ambiante, une structure austénitique (additions de plus de 20% de nickel ou de plus de 10 % de manganèse) Ces éléments sont dits gammagènes. D'autres éléments, par contre dits alphagènes rétrécissent le domaine de stabilité de l'austénite et élèvent les températures de transformations on retrouve là, entre autres, Cr, Mo, Ti, W, V, Nb et Si.

La tendance des éléments d'addition à se substituer en partie aux atomes de fer de la cémentite Fe₃C (cas du manganèse) ou à former des carbures spécifiques (MC..). Citons dans l'ordre croissant d'affinité pour le carbone : Cr, W, Mo, V, Ti, et Nb. Par contre Si et Ni ne forment pas de carbures et se retrouvent en solution dans la ferrite. La présence des carbures

autres que la cémentite est souvent souhaitable dans les aciers, car ils augmentent la résistance à l'usure et la tenue à chaud. Toutefois, à cause de la stabilité de ces carbures à haute température, il est souvent difficile de les mettre entièrement en solution dans l'austénite sans provoquer un grossissement des grains, qui est toujours préjudiciable aux propriétés des pièces trempées.

I.2.9. Diagramme Fe-carbone [10]

Le diagramme d'équilibre Fer-carbone est très utile pour comprendre les aciers, les fontes et les traitements thermiques. Il est limité à droite par la cémentite Fe_3C (6.67%C) et fait apparaître les deux grandes familles de métaux ferreux : les aciers (entre 0.008%C et 2%C) et les fontes (de 2%C à 6.67%C)

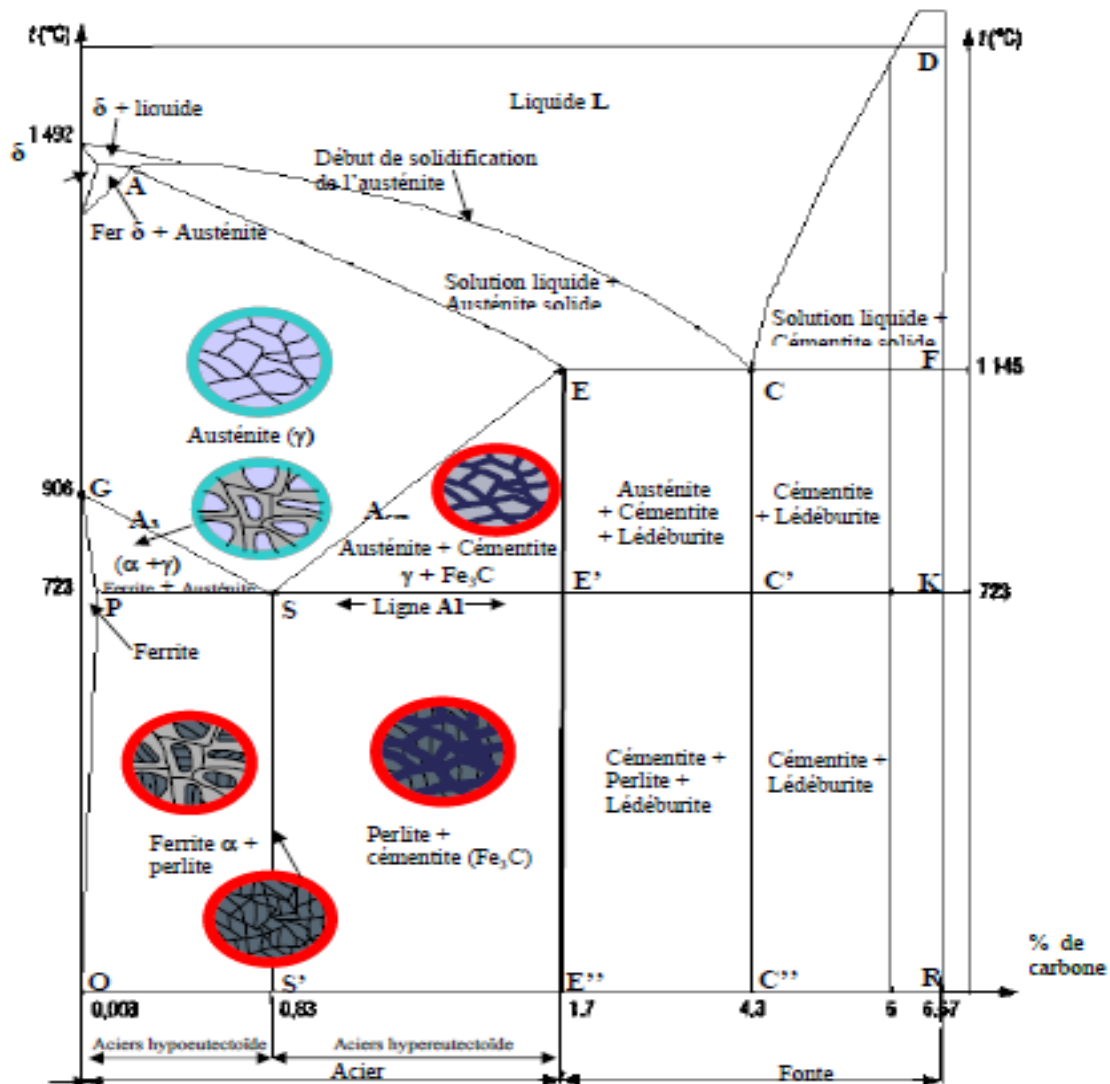


Figure I.7. Diagramme d'équilibre Fe-C

- **Acm** : indique la fin de la dissolution après dissociation, de la cémentite dans l'austénite lorsque celle-ci existe.
- **A0** : (210°C) précise la température de la transformation magnétique de la cémentite.
- **A1** : précise la fin de la transformation au refroidissement de l'austénite. L'austénite n'existe plus au-dessous de cette ligne.
- **A2** : (point de Curie $\approx 768^\circ\text{C}$) précise la température de la perte de magnétisme du Fer α . en générale ce point ne figure pas sur le diagramme Fer-C.
- **A3** : précise la fin de la transformation au chauffage de la ferrite en austénite .La ferrite n'existe plus au-dessus de cette ligne.
- **A4** : précise la fin de la transformation au chauffage de l'austénite en ferrite δ et/ou liquide. L'austénite n'existe plus au-dessus de cette ligne.

On peut trouver Ac3, Ac4... pour indiquer que le point est tracé en chauffage, ou Ar3, Ar4 lorsqu'il s'agit de refroidissement.

I.2.9.1. Les différentes phases du système Fer-Carbone [11]

- **La ferrite α** Solution solide d'insertion de carbone dans le Fer α , à structure Cubique centrée. Elle est relativement tendre ($\text{HB} \approx 80$), peu tenace ($R \approx 300 \text{ MPa}$), mais très ductile ($A \approx 35\%$).
- **La ferrite δ** Solution d'insertion de quelques atomes de carbone dans le fer δ . Sa structure est cubique centrée CC. Il se forme à la marge 1394-1538 °C et renferme 0.11% de carbone.
- **L'austénite γ** Solution solide d'insertion d'atome de carbone dans le Fer γ , à Structure cubique à face centrée, la quantité de carbone atteint $\approx 2\% \text{C}$ à 1145°C . Il est stable qu'à haute température. L'austénite est très ductile.
- **La cémentite** (Carbone de fer Fe_3C) La cémentite est un composé Chimiquement défini CCD. Sa décomposition égale à 6,67% en masse de carbone, en état métastable. La cémentite se présente sous forme de lamelles ou de globules dans la perlite ou d'aiguilles dans les fontes blanche. Elle est très dure et très fragile.

- **La perlite** Agrégat eutectoïde ayant une structure de lamelles alternées de ferrite et de cémentite. Ce constituant contient 0.8%C, La perlite est dure ($HB \approx 200$), résistante ($R_m \approx 850$ MPa) et assez ductile ($A\% \approx 10$).

I.2.10. Traitements thermiques [12]

La structure micrographique des aciers est liée aux procédés d'élaboration et doit répondre aux conditions dans lesquelles les procédés de mise en forme sont utilisés. Elle peut - être profondément modifiée par le traitement thermique. Ces modifications structurales, issues du traitement thermique, permettent de conférer au 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.

Pour ces raisons, le choix d'un traitement thermique suscite souvent plusieurs contradictions, les solutions sont souvent multiples et le choix du traitement thermique pour une gamme de fabrication est d'une importance capitale.

Certaines propriétés sont relativement simples à relier à la structure micrographique, mais à la complexité d'un grand nombre d'entre elles s'ajoutent des possibilités d'évolution en fonction de paramètres physiques comme la température ou le temps qui étant à la base même des traitements thermiques, jouent beaucoup sur l'évolution des structures micrographiques. C'est par l'évolution du comportement, à l'échelle micrographique ou cristalline, en fonction de la température, que l'on peut expliquer son rôle sur certaines propriétés, ce qui impose des conditions d'emploi particulières de certains alliages.

I.2.10.1. Principe des traitements thermiques

Les traitements thermiques consistent en un ensemble d'opérations de chauffage, de maintien à une température et de refroidissement appliqués à des alliages métalliques, à l'état solide. Si l'on considère l'ensemble des aciers de toute nature, on constate que les différents traitements thermiques qui leur sont éventuellement appliqués reposent sur des bases métallurgiques communes. Ces traitements sont utiles pour stabiliser les dimensions des moulages et pour homogénéiser les structures ; ils sont nécessaires pour accroître les propriétés d'utilisation des pièces soumises dans leur ensemble à de fortes sollicitations mécaniques ou à des emplois superficiels particuliers.

I.2.11. Trempe [13]

La trempe consiste à un chauffage de l'acier à une température de 30 à 50°C au dessus de la ligne GOSK supérieure à celle de AC3, pour les aciers hypoeutectoïdes et supérieure à AC1, pour les aciers hypereutectoïdes.

A cette température l'acier est maintenu jusqu'à l'achèvement du chauffage complet c'est à dire jusqu'à la transformation des phases, ensuite l'acier subit un refroidissement rapide avec une vitesse supérieure à la vitesse critique de la trempe (pour les aciers au carbone le plus souvent dans l'eau et pour les aciers alliés dans l'huile ou dans un bain de trempe d'autre nature).

Le but du refroidissement rapide est d'obtenir une structure martensitique, donc éviter une transformation perlitique. La transformation de l'austénite doit commencer et se termine dans le domaine de la martensite.

Donc la trempe permet de donner un maximum de dureté à l'acier $HV = 700 \text{ à } 800 \text{ Kp/mm}^2$ ou $HRC = 60 \text{ à } 65$, ce qui donne une structure convenable pour le traitement de revenu.

La trempe n'est pas un traitement thermique définitif, le plus souvent elle est suivie d'un revenu destiné à diminuer la fragilité et les contraintes internes afin de donner à l'acier les propriétés mécaniques appropriées.

I.2.12. Diagramme T.R .C (transformation-refroidissement-continue)

Le diagramme TRC résume les résultats d'un refroidissement continue tel qu'il a eu lieu d'une trempe dans les différents milieux de refroidissement tel que l'eau, l'huile, l'air comprimé, l'air tout court et d'autres. Ces diagrammes permettent de trouver :

- La microstructure qui s'établit à une vitesse de refroidissement donnée.
- Le temps après lequel la transformation commence et se termine.
- Quelle dureté en résulte pour le matériau.

Le diagramme TRC représente le lieu des points (T,t) qui correspondent à une structure donnée. Selon la vitesse de refroidissement, on peut suivre les transformations de l'austénite pendant la traversée des différents domaines.

Les chiffres sur les courbes donnent la quantité (% poids) d'austénite qui s'est décomposée dans le domaine traversé.

La dureté finale, après les transformations successives est portée à la fin des courbes de refroidissement. Ces courbes correspondent au refroidissement des petites éprouvettes dilatométriques qui ont été utilisées pour la détermination du diagramme.

Pour connaître le comportement d'un barreau de diamètre donné refroidi dans un milieu donné, il faudra utiliser la courbe de refroidissements correspondants (en superposant des courbes tracées sur un support transparent par exemple).

Les courbes foncées sur la figure délimitent différents domaines dans lesquels l'austénite transforme en :

- Ferrite dans la zone A+F
- Constituant de type perlitique dans la zone A+C+F
- Bainite dans la zone A+F+C
- Martensite dans la zone A+M

Les courbes de traits fin représentent l'allure du refroidissement à différentes vitesses sur chacune, des courbes indiquent la proportion d'austénite transformée.

Les lignes en pointillé indiquent les transformations à 50%. On a indiqué le début, M_s , de la transformation martensitique mais pas sa fin, M_f , qui se situe en dessous de 0°C .

On remarquera qu'à 180°C on a atteint 90% de la transformation martensitique.

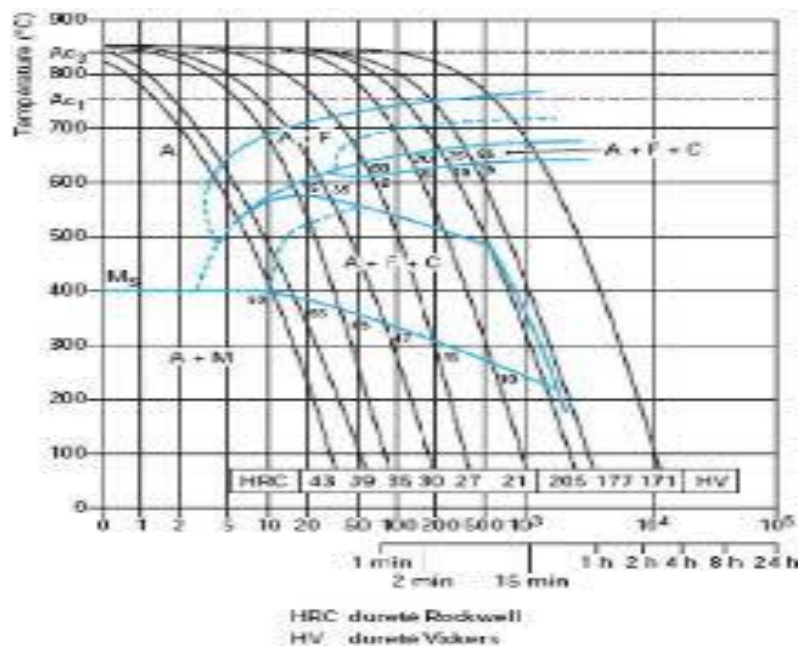


Figure I.8. Exemple de diagramme TRC (acier 35CD4).

I.2.13. Diagrammes T.T.T (temps-température-transformation)

Les diagrammes TTT indiquent les résultats d'une transformation isotherme après refroidissement ultra-rapide.

Physiquement, un tel traitement est réalisé en trempant un bout de métal dans un bain liquide à la température souhaité.

On peut utiliser les principes de la décomposition isotherme des métaux pour réaliser des traitements thermiques. Au lieu de tremper directement les pièces jusqu'au domaine martensitique, on effectue une trempe isotherme. Cette trempe isotherme consiste à amener rapidement la pièce à une température donnée en restant dans le domaine austénitique, puis à la maintenir à cette température un temps suffisant pour obtenir les transformations.

A tout moment on peut interrompre la décomposition par une trempe dans le domaine martensitique pour obtenir une structure mixte (tracé sur la figure). La figure montre de telles structures mixtes. L'échelle de dureté (à droite) correspond à un traitement isotherme complet. On voit bien qu'il faut éviter le nez de la transformation pour n'obtenir que de la martensite.

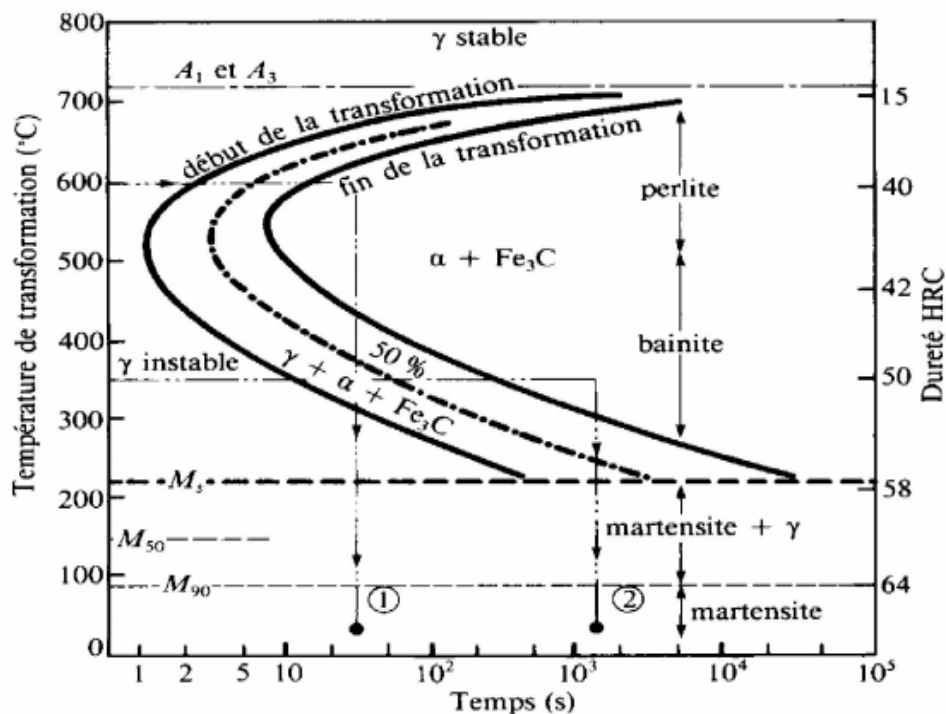


Figure I.9. Exemple de diagramme TTT pour un acier C55 : A=austénite, F=ferrite, C=cémentite, M=martensite.

I.2.14.Revenu

C'est une opération qui suit le traitement thermique (généralement la trempe). Les paramètres principaux du revenu sont la température de chauffage et la durée de maintien à cette température. La vitesse de refroidissement après revenu a une influence faible sur l'état des contraintes résiduelles. Néanmoins, plus le refroidissement est lent, plus les contraintes résiduelles sont faibles [26]. Le revenu a pour rôle essentiel de faire évoluer une structure hors équilibre, obtenue par trempe, vers un état proche de l'équilibre. Il s'effectue à température modérée inférieure à la température de trempe.

Revenu à basse température : Le revenu à basse température s'effectue avec un chauffage entre 200°C et 300°C.

Revenu à température intermédiaire : Le revenu à température intermédiaire se réalise entre 300 et 500°C.

Revenu à haute température : Le revenu à haute température se fait entre 500 et 700°C.

Le plus souvent, il ne permet pas d'atteindre l'état d'équilibre obtenu par recuit. La nature des phases obtenues et leur composition sont en général voisines de celles obtenues par recuit, mais la structure micrographique est considérablement plus fine.

La trempe et le revenu des aciers n'ont pas seulement pour but de régler la dureté mais visent plutôt à établir le meilleur compromis entre l'usinabilité, la résistance à l'usure et les caractéristiques mécaniques (résistance, résilience, plasticité).

I.2.15.Recuit

Le but visé par le recuit consiste à mettre le métal dans un état d'adoucissement ne présentant aucune trace laissée par les diverses manipulations subies antérieurement par le métal. Le recuit est un traitement thermique qui est composé d'opérations de chauffage, du séjour et un refroidissement ultérieur lent. Ce traitement comprend un chauffage au-dessus de l'intervalle de transformation. Le refroidissement qui suit le maintien à cette température doit être réalisé afin d'obtenir les constituants et la dureté désirés, selon la vitesse de refroidissement choisie.

- Refroidissement rapide, à l'air.
- Refroidissement lent, dans le four.

I.2.15.1. Trois types de recuits peuvent être envisagés

- Recuit complet à haute température, supérieure à 900°C.
- Recuit à température moyenne, supérieure à la température de transformation $\alpha \rightarrow \gamma$.
- Recuit à basse température, au-dessous de l'intervalle de transformation $\alpha \rightarrow \gamma$

Chapitre II

Matériaux et techniques expérimentales

Introduction

Les aciers en manganèse sont considérés comme matériaux durs utilisés souvent pour les composants qui travaillent dans la transformation des agrégats et matières premières dans l'industrie minière.

De tels composants, concassent les concasseurs, les plaques de blindages, les parois de broyeurs. L'utilisation de ces aciers, à hautes teneurs en manganèse, est un moyen efficace pour travailler dans des milieux agressifs où la résistance à l'usure et au choc est nécessaire. La dureté élevée de ces matériaux assure une bonne résistance à l'usure mais fragilise l'élément ainsi fabriqué. Il y a lieu de procéder à un traitement thermique permettant d'obtenir une matrice martensitique avec une faible teneur en austénite, en ajustant la température et le temps de maintien du dit traitement, suivi de traitement de revenu. Ce qui permet d'agir sur la microstructure de l'acier.

Dans un premier temps, on effectue un traitement thermique de trempe à une certaine température d'austénitisation avec temps de maintien, par la suite un traitement thermique de revenu.

Ces traitements consistent à chauffer le matériau à une température T et maintenu à une durée de 15 minutes. Par la suite, l'échantillon est retiré du four et refroidi dans deux milieux : l'eau normale et l'eau glacée. Il a d'abord été étudié quatre différentes températures d'austénitisation $T^{\circ}_{\text{aust}} = 950^{\circ}\text{C} ; 1000^{\circ}\text{C} ; 1050^{\circ}\text{C} ; 1100^{\circ}\text{C}$.

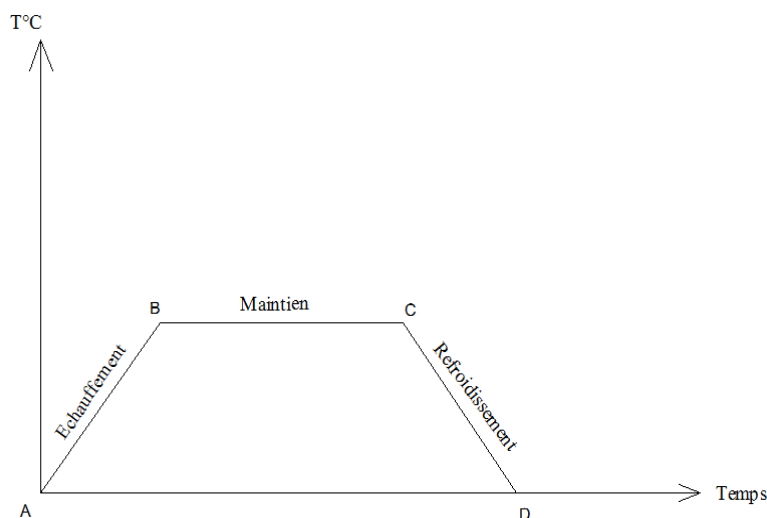


Figure II.1. Traitement thermique de trempe

Tous les traitements thermiques ont été réalisés dans un four électrique de type LN au sein du hall de technologie de l'université de bejaia. il comporte une armoire de commande e type ET2 (220 V/20 A/40 HZ). La chambre est chauffée à l'aide une résistance métallique et fournies une température d'emploi entre 1200 ° C et 1500 ° C.

II.1. Trempe et revenu

L'étape importante dans la recherche des traitements optimaux de l'acier fortement alliée au manganèse, est la détermination de la température d'austénitisation qui offrirait les meilleures propriétés mécaniques. Il est constaté que les carbures d'alliage formés au cours du refroidissement après la coulée des échantillons, font augmenter la dureté du matériau.

Une austénitisation suivie d'une trempe de l'acier est nécessaire pour obtenir une microstructure de dureté élevée, mais il est possible d'atteindre une dureté maximale à des températures élevées et c'est l'objectif recherché.

Dans ce cas, nous avons étudié quatre températures d'austénitisations : $T_{a1} = 950^{\circ}\text{C}$,

$T_{a2} = 1000^{\circ}\text{C}$, $T_{a3} = 1050^{\circ}\text{C}$ et $T_{a4} = 1100^{\circ}\text{C}$. Et nous avons commencé par 16 éprouvettes,

On a mis pour chaque température d'austénitisation 4 échantillons avec un temps de maintien de 15 min.

Pour chaque température on fait tremper les échantillons dans deux milieux différents :

- Deux dans l'eau glacée.
- Deux dans l'eau à température ambiante.

Ensuite on prend un échantillon de chaque milieu de refroidissement et on leur fait subir un traitement de revenu.

Cela a été appliqué pour chaque température.

II.2. Présentation des matériaux

Eléments	C	Si	Mn	Ph	S	Cr	Fe
%Massique	1.1-1.3	0.3-0.5	12-13	0.1 Max	0.4 Max	1.5 Max	Bal

Tableau II.1. Composition chimique de l'acier

II.3. Préparation des éprouvettes

Les échantillons ont été découpés à l'aide d'une scie mécanique sous lubrification au niveau du hall de technologie de l'université de BEJAIA. Puis ils ont été repris au fraisage pour réaliser les éprouvettes finales destinées aux trois types d'essais (Dureté, Résilience, et Usure). Les éprouvettes sont réalisées aux dimensions normalisées (figure II.2).

La figure II.2. Illustre le type d'éprouvette à la dimension normalisée pour l'essai de résilience.

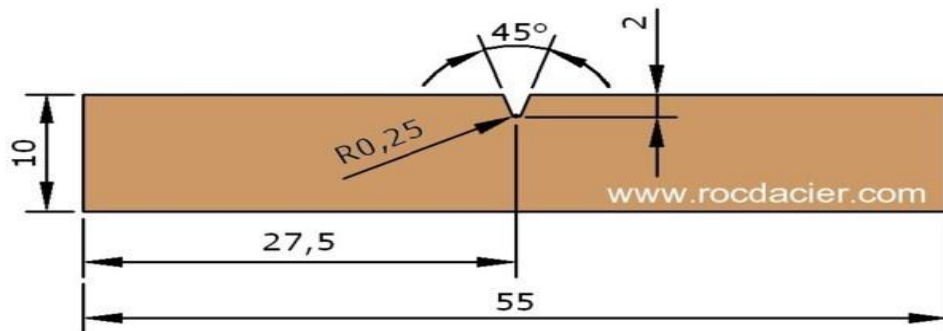


Figure II.2. Forme géométrique d'éprouvette à la dimension normalisée pour l'essai de résilience

II.4. Présentation des essais mécaniques utilisés dans notre étude

II.4.1 Essai de résilience

La machine d'essai utilisée de capacité 300J (figure II.3) est celle de l'Unité Grue de Béjaïa (UGB). L'énergie de rupture en joule, de l'éprouvette testée est lue directement sur le cadran de la machine. C'est un mouton pendule équipé d'un marteau oscillant dans un plan vertical autour d'un axe O (figure). La masse comporte un couteau destiné à rompre l'éprouvette. L'appareil est équipé d'un système qui permet de mesurer l'énergie absorbée par la rupture de l'éprouvette. Dans ce système, la masse est abandonnée à elle-même à partir d'une hauteur correspondant à une énergie de départ $W_0 = 300$ joules. L'éprouvette se trouve au point bas. La masse entraîne une aiguille qui se déplace devant un cercle gradué. La mesure de l'angle de remontée, avec et sans rupture de barreau, permet le calcul du travail absorbé par cette rupture. L'éprouvette est constituée d'un barreau de section 10 mm x 10 mm, de longueur 55 mm, entaillé en son milieu par une entaille en V.



Figure II.3. Mouton pendule Charpy de capacité 300J

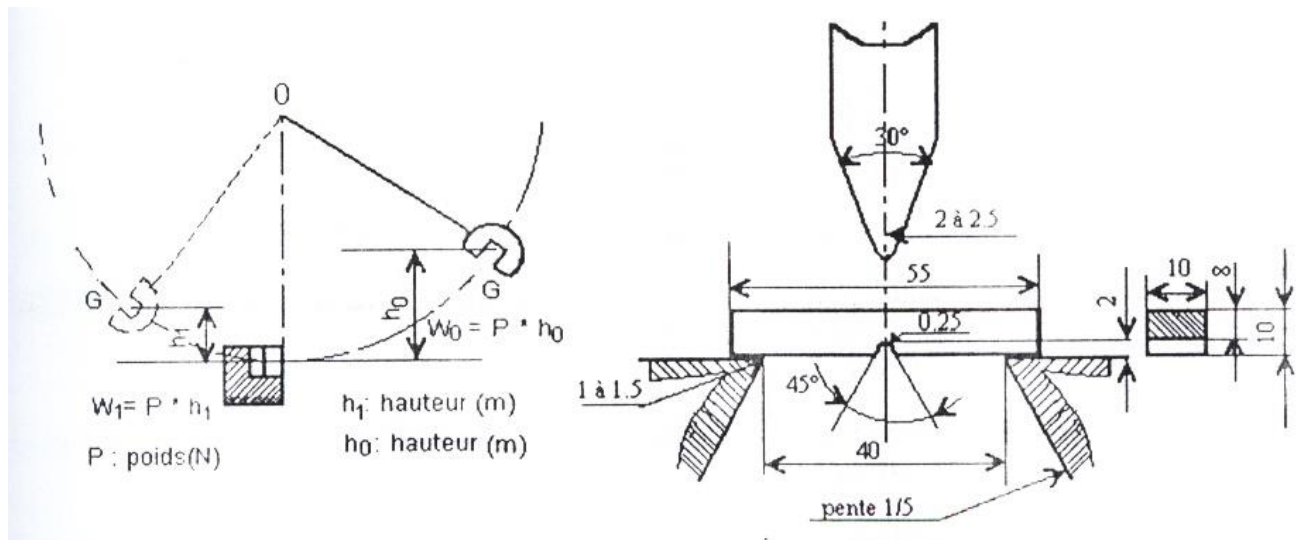


Figure II.4. Mouton pendule d'essai de résilience (flexion par choc) et schéma de principe

- Le couteau est écarté de la verticale à une hauteur correspondant à une énergie de départ

$$W_0 = m \cdot g \cdot h = 300 \text{ Joules.}$$

- On libère le pendule et dans sa chute, le couteau brise l'éprouvette.
- On mesure la hauteur à laquelle remonte le pendule pour calculer l'énergie non absorbée

$$W_1 = m \cdot g \cdot h'.$$

- On calcul la différence $W_0 - W_1 = m \cdot g \cdot (h - h') = W$

Avec m : masse du pendule ;

g : gravité ;

h : hauteur initiale du pendule ;

h' : hauteur après rupture de l'éprouvette.

La résilience s'exprime en joules ou en joules par centimètre carré (Cm²) si en rapporte à la section sous entaille de l'éprouvette, ce qui permet de définir la résilience (ou ténacité) du matériau par :

$$KCV = \frac{\text{Énergie absorbée par la rupture}}{\text{Surface sous entaille en cm}^2} = \frac{W_0 - W_1}{S} \quad [\text{Joule / Cm}^2]$$

II.4.2. Essai de dureté Vickers

Les essais de dureté ont été réalisés sur une machine de dureté universelle Diastor de l'UGB (figure II.5). Nous avons choisi l'essai Vickers, qui est effectué avec un pénétrateur en diamant de forme pyramide à base carrée. L'angle entre deux faces opposées de cette pyramide est de 136° . La valeur de la dureté Vickers HV est le rapport de la charge F qui est égale à 30 Kgf à la surface S de l'empreinte comme le montre la relation (1)

$$HV = F / [d^2 / 2 \sin (136^\circ / 2)] \dots \dots \dots (1)$$

$$HV = 1.8544 \times 0.102 F / d^2$$

Avec d: Diagonal de l'empreinte et F: Charge appliqué



Figure II.5. Machine de dureté universelle Brinell, Vickers et Rockwell de l'UGB

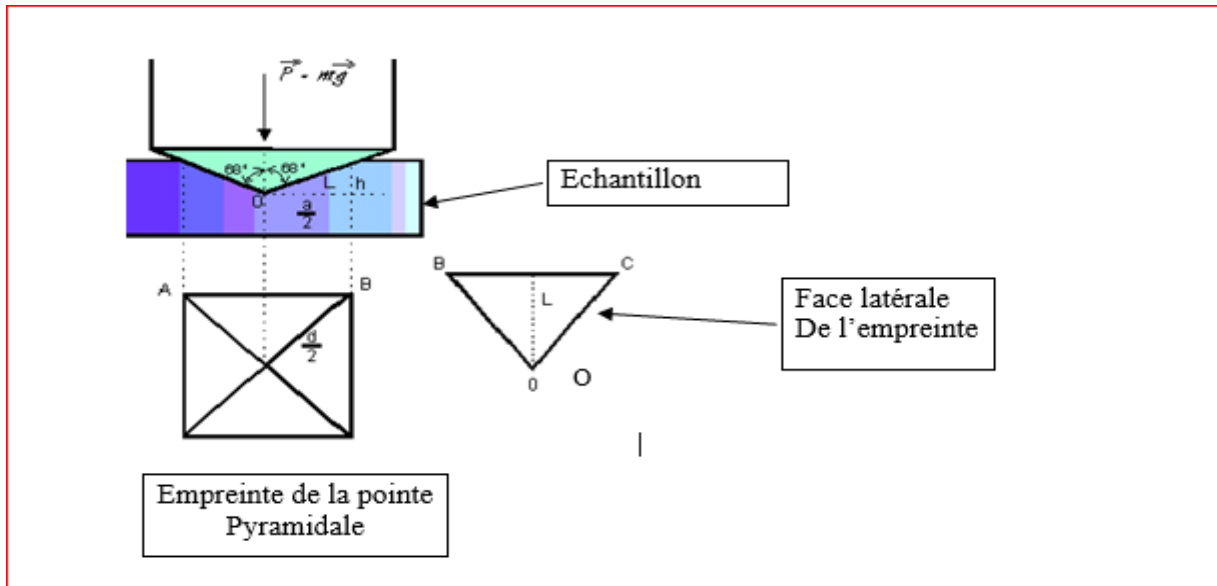


Figure II.6. Principe de l'essai de dureté Vickers

II.4.3. Essai d'usure

Le test d'usure réalisé dans notre étude est celui du type configuration pion fixe (stationnaire)-disque rotatif (figure) conférant un contact surfacique pion-disque.

C'est une méthode d'analyse qui consiste à faire fonctionner un mécanisme, pendant un temps connu puis extraire la pièce à étudier et la peser afin de déterminer sa perte de masse.

La précision de la mesure effectuée est de l'ordre du dixième de milligramme.

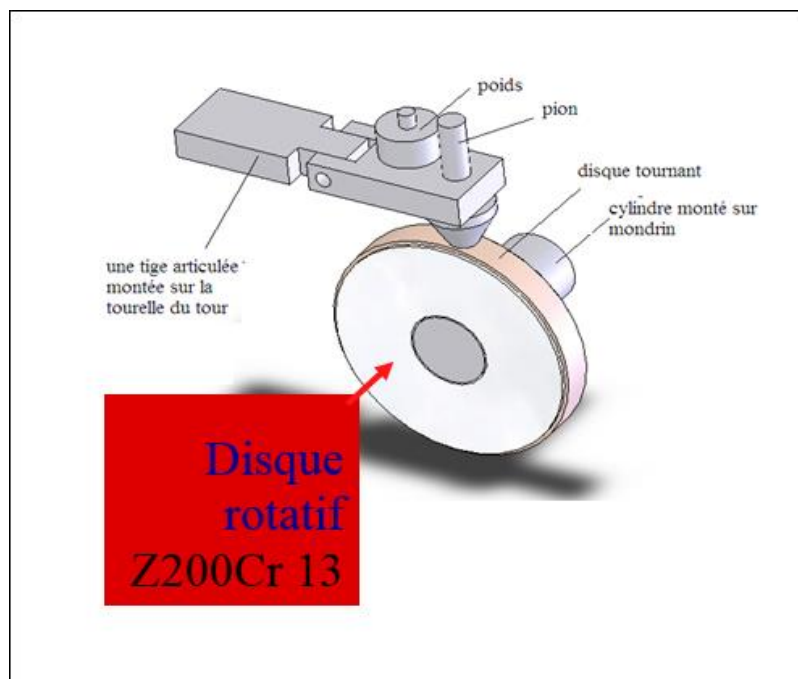


Figure II.7. Configuration pion sur disque permettant le test d'usure en contact surfacique.

Le comportement à l'usure sous la variation de la charge et du temps est évalué en termes de perte de masse relative en % selon la relation suivante :

$$(\Delta m/m_0) \times 100 = [(m_0 - m) / m_0] \times 100 \quad [\%]$$

Avec m_0 : masse initiale et m : masse finale en mg

Les mesures de m_0 et m sont assurées au moyen d'une balance analytique d'une précision de 0,1mg.

Introduction

Dans ce chapitre, nous proposons de chercher les meilleures propriétés d'un acier au manganèse à la fabrication des pièces soumises à la fois aux chocs et à l'usure, en étudiant les effets des traitements thermiques de trempe dans des milieux différents (eau et glace) sur la structure de cet acier. Nous présentons également l'évolution de la dureté après les traitements thermiques d'austénitisation effectués respectivement entre 950°C et 1100°C. Une caractérisation mécanique, basée sur l'évaluation de la tenue à l'usure en fonction de différentes charges pour des vitesses de glissements de 0.5m/s et 1m/s pendant des différents temps puis la résistance aux chocs, est réalisée sur les échantillons ayant subi les différents traitements thermiques.

III.1. L'acier utilisé

Les échantillons utilisés pour réaliser les tests sont en acier au manganèse de nuance X120Mn12. c'est un acier de structure austénitique qui permet d'avoir en service la formation à la surface d'une zone fortement durcie tout en gardant le cœur de la pièces malléable capable d'amortir les chocs auxquels seront soumises ces pièces.

L'étude a été effectuée sur des échantillons prélevés à partir d'un acier au manganèse utilisé dans la fabrication des abattoirs de concasseurs par L'ENG de Bouira. La composition chimique est donnée dans le tableau qui suit :

Tableau III.1. Composition chimique de l'acier utilisé

Eléments	C	Si	Mn	Ph	S	Cr	Fe
%Massique	1.1-1.3	0.3-0.5	12-13	0.1 Max	0.4 Max	1.5 Max	Bal

III.2 Dureté Vickers des échantillons

Les mesures ont été effectuées sur des surfaces polies des différents échantillons traités. L'appareillage utilisé est un duromètre universelle Diastor (ENMTP).cet ensemble permet, une charge de 30kgf a été appliquée pendant 20 secondes et les valeurs de dureté obtenues résultent de la moyenne des 3 essais et ils sont illustrées sur les figures :

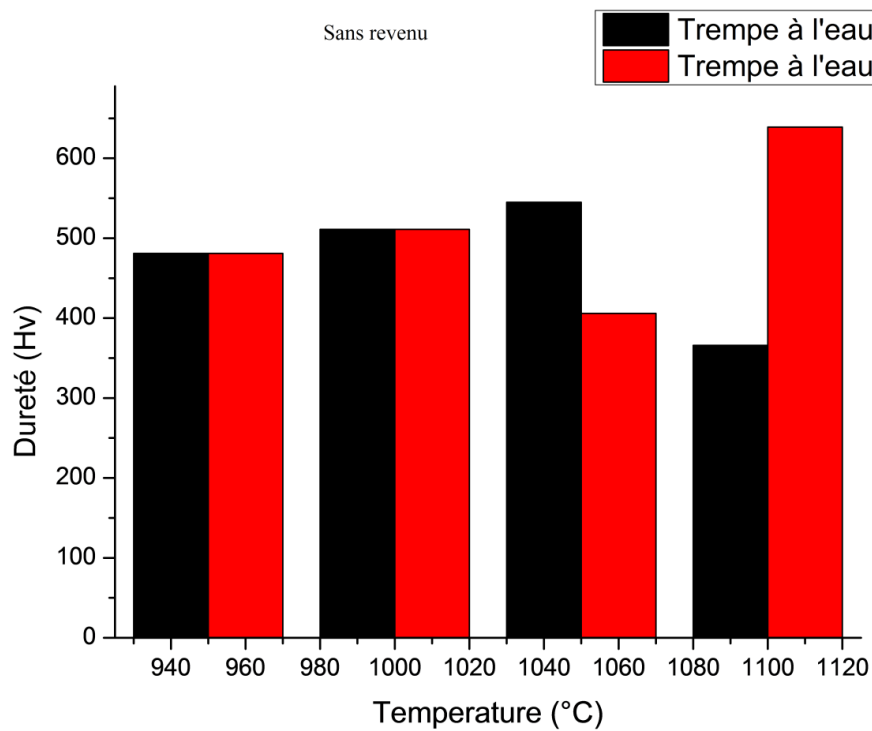


Figure III.1. Dureté Vickers des différents échantillons.

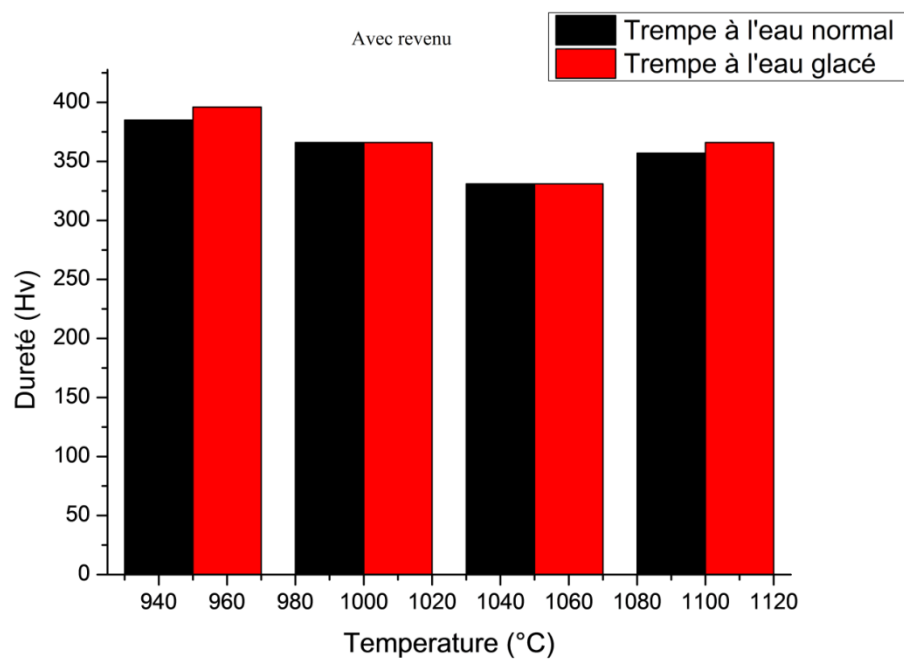


Figure III.2. Dureté Vickers des différents échantillons

Comparativement aux résultats obtenus par les études précédentes la dureté à l'état brut de coulée et sa résistance aux chocs sont : 220 HV et 62 J respectivement.

- A travers cet histogramme, on remarque l'évolution de la dureté des échantillons traités à des températures d'austénitisation de 950°C, 1000°C, 1050°C et 1100°C trempés dans l'eau normale et l'eau glacée, sans subir de revenu, sont assez proches.
- On remarque que pour les échantillons traités à 1050°C et à 1100°C un écart de dureté relativement important (48 HV et 273 HV respectivement).
- Pour les échantillons traités à 950°C, 1000°C, 1050°C et 1100°C avec un traitement de revenu on remarque que les valeurs de dureté sont très proches pour toutes les températures et pour les deux milieux de refroidissement.

Par ailleurs la meilleure dureté obtenue lors de ces traitements effectués est relevé sur l'échantillon traité à 950°C, avec une trempe à l'eau glacée.

III.3. Essai de résilience

L'appareillage utilisé dans cet essai est une machine spéciale dite « mouton pendule » de l'ENMTP de Bejaia. Cet ensemble permet la masse de pendule tombe d'une hauteur H et casse l'éprouvette. Le travail absorbé par la rupture de l'éprouvette est donné sur les figures

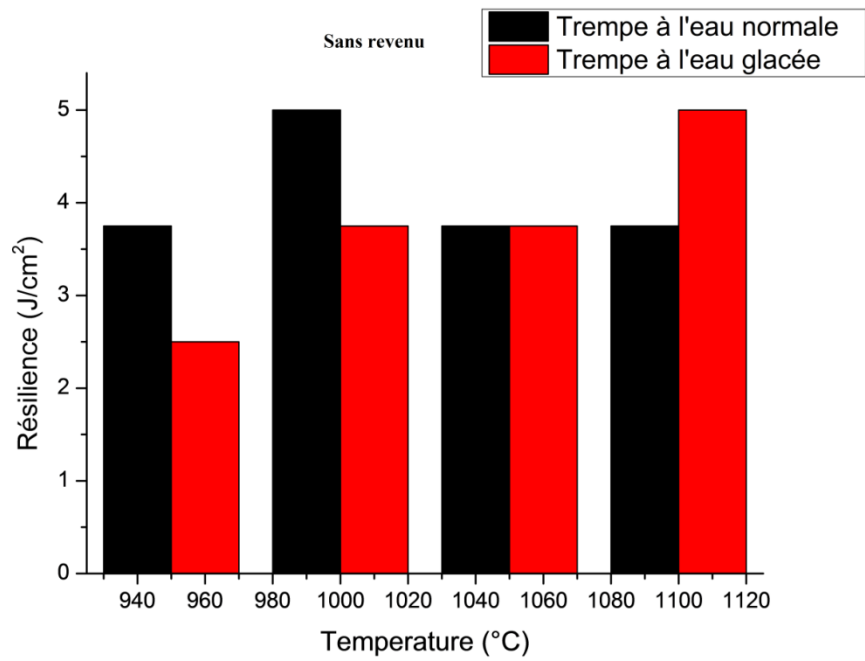


Figure III.3. Résilience pour les différents échantillons

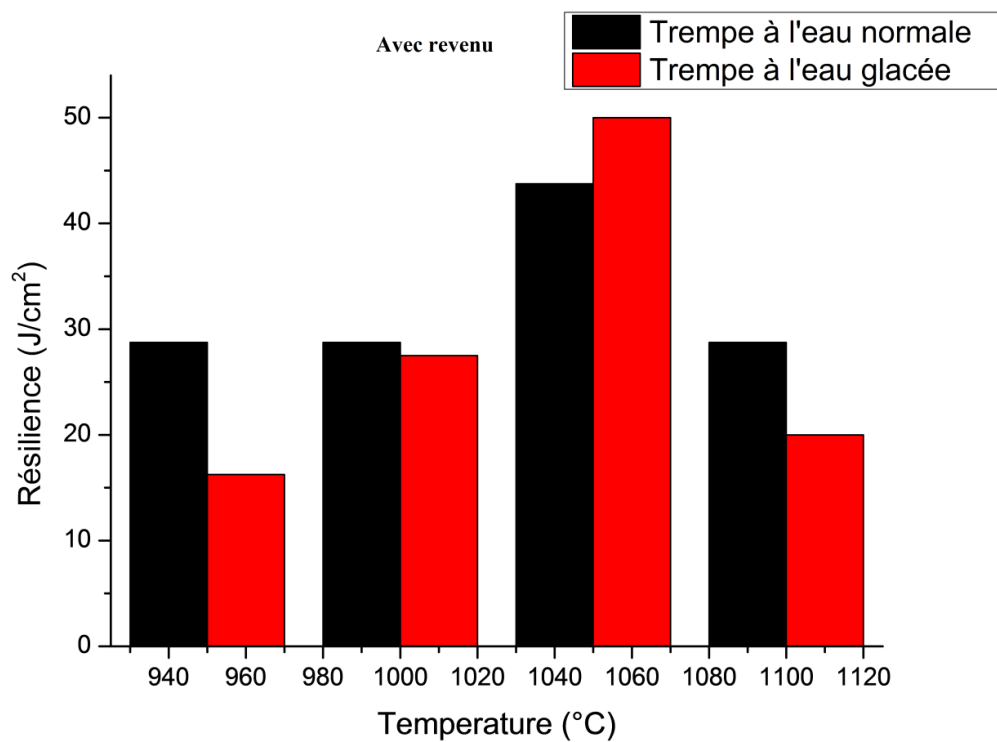


Figure III.4 : Résilience pour les différents échantillons.

- A travers l'histogramme (figure III.3), on remarque que l'évolution de la résilience des échantillons traités à des températures d'austénitisation de 950°C, 1000°C, 1050°C et 1100°C, trempés dans l'eau à température ambiante et dans l'eau glacée, sans subir de traitement de revenu, sont un peu plus proches, elle varie entre 2.5 J/cm² et 5 J/cm².
- Par contre pour les échantillons traités en mêmes températures, et ayant subis un traitement de revenu, on constate que :

Pour une température de 1050°C avec revenu. On a eu le plus grand travail absorbé par la rupture, et cela est dans les deux milieux de refroidissement (43.75 J/cm² à l'eau à température ambiante, 50 J/cm² à l'eau glacée).

Pour les autres températures 950°C, 1000°C et 1100°C, les valeurs de travail absorbé sont proches (elles varient entre 16.25 J/cm² et 28.75 J/cm²).

III.4. Les tests d'usure

III.4.1. perte de masse relative des différents échantillons ayant subi une trempe à l'eau de température ambiante et à l'eau glacé avec une vitesse de glissement de 0.5m/s

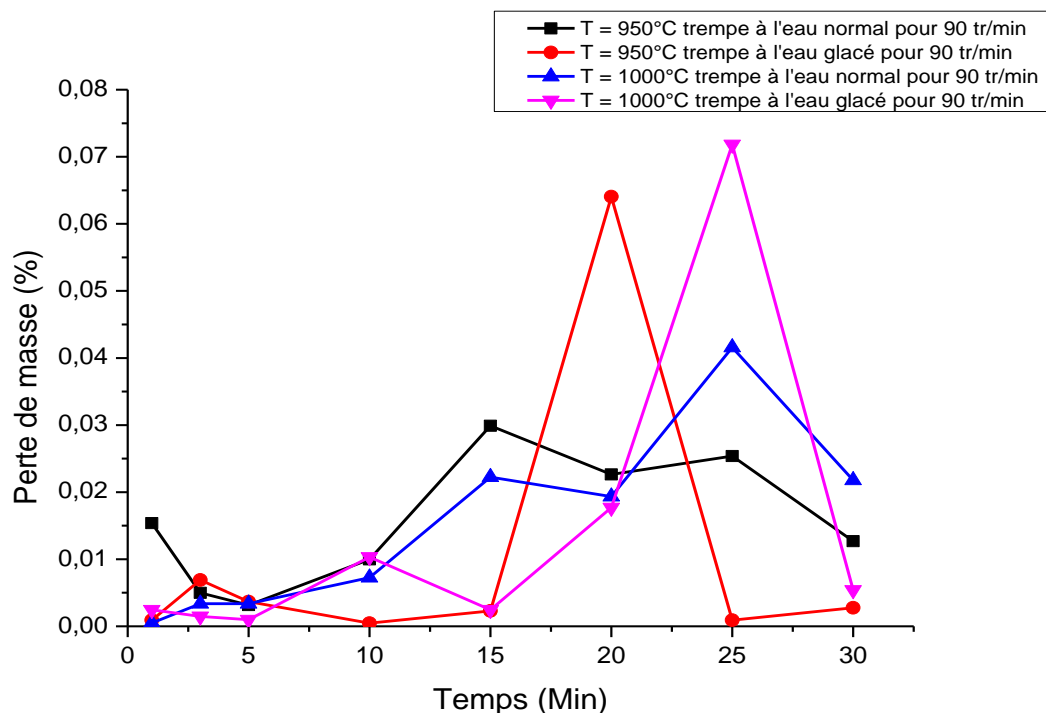


Figure III.5. Evaluation de la perte de masse relative en fonction du temps, pour deux températures d'austénitisation de 950°C et 1000°C avec une trempe à l'eau de température ambiante et à l'eau glacée.

La perte de masse des échantillons ayant subi un traitement d'austénitisation à 950°C et à 1000°C, sous une vitesse de glissement de 90tr/min présente les résultats suivants :

- Pour les échantillons traités à 950°C, trempés à l'eau de température ambiante, on constate que pour 1min et de 15min à 30 min la perte de masse est plus importante. Elle correspond respectivement à 0.015%, à 0.03%, à 0.022%, à 0.025%, à 0.013%. De 3min à 10min la résistance à l'usure est élevée ce qui correspond une perte de masse faible (0.005%, 0.003%, 0.010%,)
- Pour les échantillons trempés à l'eau glacée on remarque que : la perte de masse est très faible de 1min à 15min, elle varie entre 0.0009% et 0.0023%
De 15min à 20 min : une augmentation importante dans la perte de masse de 0.0023% à 0.064%
De 20min à 25min diminution importante dans la perte de masse de 0.064% à 0.0009%

De 25min à 30min on remarque que la perte de masse est très faible, elle varie entre

0.0009% et 0.0028%

- Pour les échantillons traités à 1000°C trempés à l'eau de température ambiante, on remarque :
Une augmentation de 0.0004% jusqu'à 0.041% dans la perte de masse pour 1min jusqu'à 25 min, et de 25min à 30min on a une diminution de 0.041% à 0.022%.
- Pour les échantillons traités à 1000°C, trempés à l'eau glacée on remarque :
Une perte de masse importante de 15min à 25min, elle correspond respectivement de 0.002% à 0.072%.

Une diminution importante dans la perte de masse de 25 min à 30min (de 0.072% à 0.0005%)

De 1min à 15min une augmentation faible dans la perte de masse.

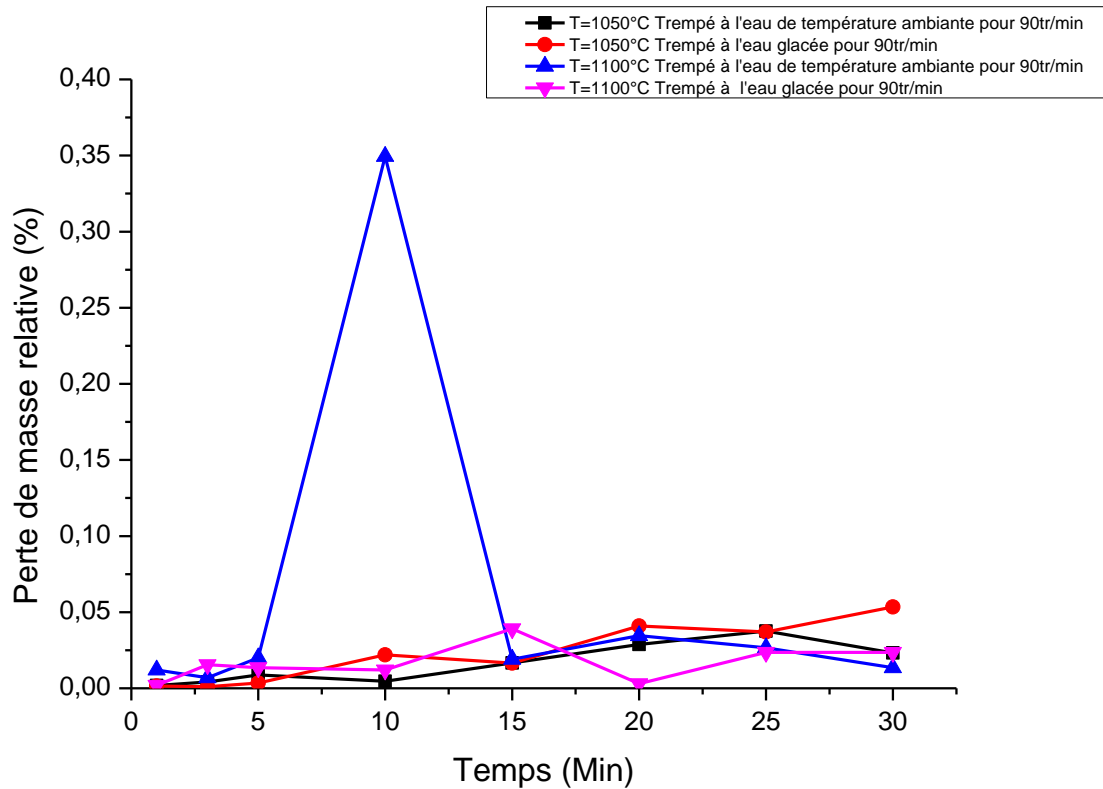


Figure III.6. Evaluation de la perte de masse relative en fonction du temps pour deux températures d'austénitisation de 1050°C et 1100°C avec une trempe à l'eau de température ambiante et à l'eau glacée

La perte de masse des échantillons ayant subi un traitement d'austénitisation à 1050°C et à 1100°C. Avec trempe à l'eau à température ambiante et à l'eau glacée, présente les résultats suivants :

- Pour les quatre cas on remarque un comportement identique face aux pertes de masse en variant le temps de 1min jusqu'à 30min sauf à 1100°C trempé à l'eau à température ambiante on remarque une augmentation importante dans la perte de masse arrivant jusqu'à 0,35% dans l'intervalle de 10 min à 15 min

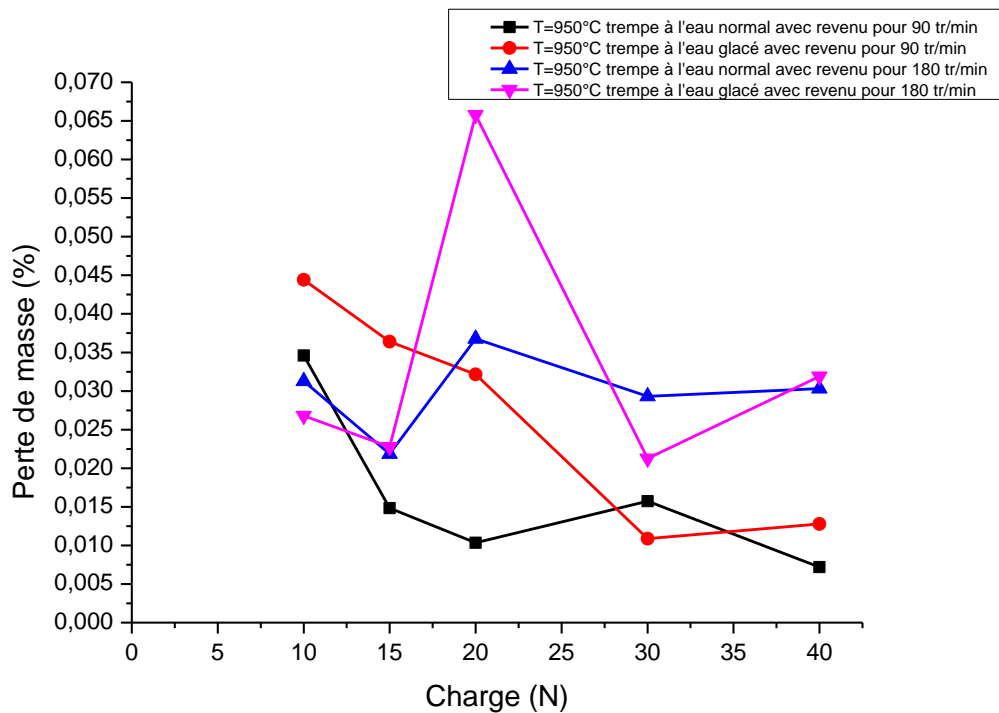


Figure III.7. Evaluation de la perte de masse relative en fonction de la charge appliquée, pour une température d'austénitisation de 950°C avec revenu sous deux vitesses 90 tr/min et 180 tr/min

La perte de masse des échantillons ayant subi un traitement à 950°C suivi d'un traitement de revenu à 600°C, sous deux vitesses différentes de 90 tr/min et 180 tr/min présentent les résultats suivants :

- Pour les échantillons trempés à l'eau de température ambiante sous une vitesse de 90 tr/min on remarque que la perte de masse sous une charge de 10N est plus importante elle correspond à 0.035%. or que pour les autres charges de 15N, 20N, 30N et 40N on constate que les échantillons résistent mieux à l'usure, la perte de masse ne dépasse pas 0.018%.
- Aussi pour les échantillons trempés à l'eau glacée sous une même vitesse de glissement (90tr/min), la perte de masse est plus importante sous les charges de 10N, 15N, et 20N, elles correspondent respectivement à 0.045%, 0.036%, et 0.032%, puis elle est faible sous les charges 30N et 40N, elle ne dépasse pas 0.012%
- Pour le échantillons trempés à l'eau de température ambiante sous une vitesse de 180tr/min, on remarque que la perte de masse est plus importante sous les charges de

10N, 20N, 30N, et 40N elles correspondent à 0.031%, à 0.029%, et 0.030% respectivement, sauf sous la charge de 15N la perte de masse est faible (0.022%).

- Pour les échantillons trempés à l'eau glacée, sous une vitesse rotation de 180 tr/min, on constate que la perte de masse est très élevée sous une charge de 20N elle correspond à 0.066%.

Mais elle est moins importante pour d'autres charges de 10N, 15N, 30N, et 40N, elles correspondent respectivement à 0.027%, à 0.023%, à 0.021%, 0.032%.

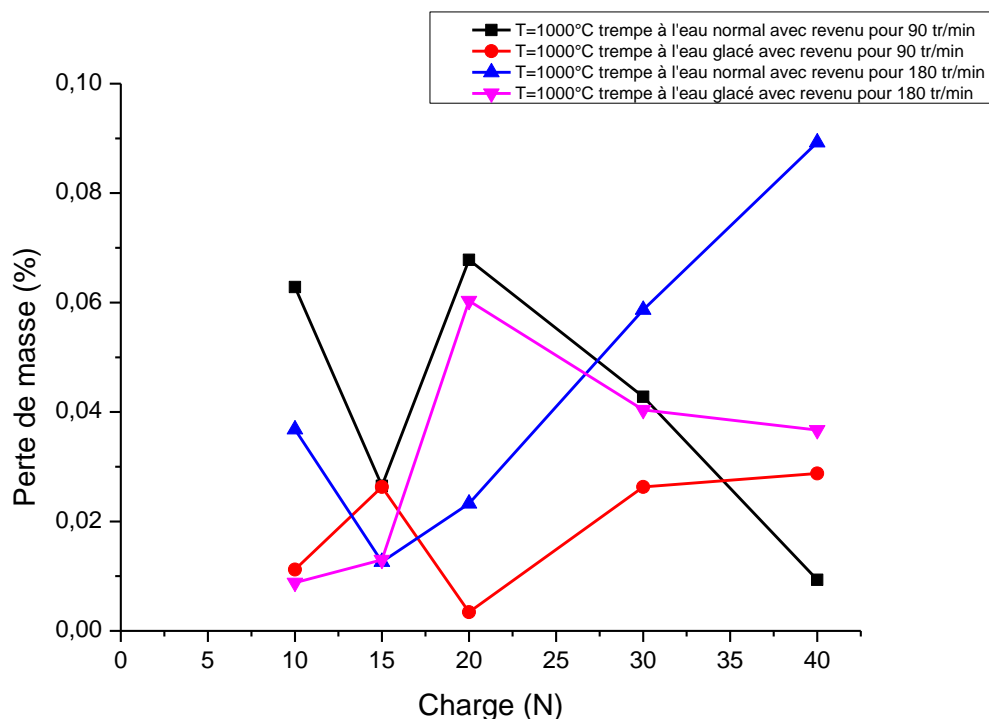


Figure III.8. Evaluation de la perte de masse relative en fonction des charges appliquées pour une température de 1050°C avec revenu, sous deux vitesses de rotation 90tr/min et 180tr/min

La perte de masse des échantillons ayant subi un traitement à une température de 1000° C suivi d'un traitement de revenu à 600° C sous deux vitesses différentes de 0.5 m/s et 1 m/s à présenter des résultats suivants :

- Pour les échantillons trempés à l'eau normale, sous une vitesse de rotation de 90 tr/min.

La perte de masse relative diminue de 0.063 % jusqu'à 0.026% dans la partie (10N à 15N).

Puis la partie de (15N à 20N) la perte augmente de 0.026% à 0.068% puis elle diminue de 0.068 à 0.009%, dans la partie (20N à 40N).

- Pour les échantillons trempés à l'eau glacée, sous une vitesse de rotation de 90 tr/min on remarque que :

Dans la partie de (10N à 15N) la perte de masse relative augmente de 0.011% à 0.026%, puis diminue jusqu'à 0.003% dans la partie de (15N à 20N).

Dans la partie de (20N à 40N) la perte de masse relative augmente de 0.003% à, 0.029%.

- Pour les échantillons trempés à l'eau normale sous une vitesse de rotation de 1m/s on remarque que :

La perte de masse sous une charge de 10N est importante, elle correspond à 0.037%, puis elle devient faible sous une charge de 15N.

Sous les charges 20, 30, et 40N la perte de masse relative devient plus importante, elles correspondent respectivement à 0.023% à 0.059% et à 0.089%.

- Pour les échantillons trempés à l'eau glacée, sous une vitesse de 1 m/s, on a eu les résultats suivants :

La perte de masse est moins importante sous les charges de 10N et 15N elles correspondent respectivement à 0.09% et à 0.013%.

Puis pour autres charges (20N, 30N, et 40N), les échantillons présentent une faible résistance à l'usure, la perte de masse relative correspond respectivement à 0.06%, 0.04% et 0.37%.

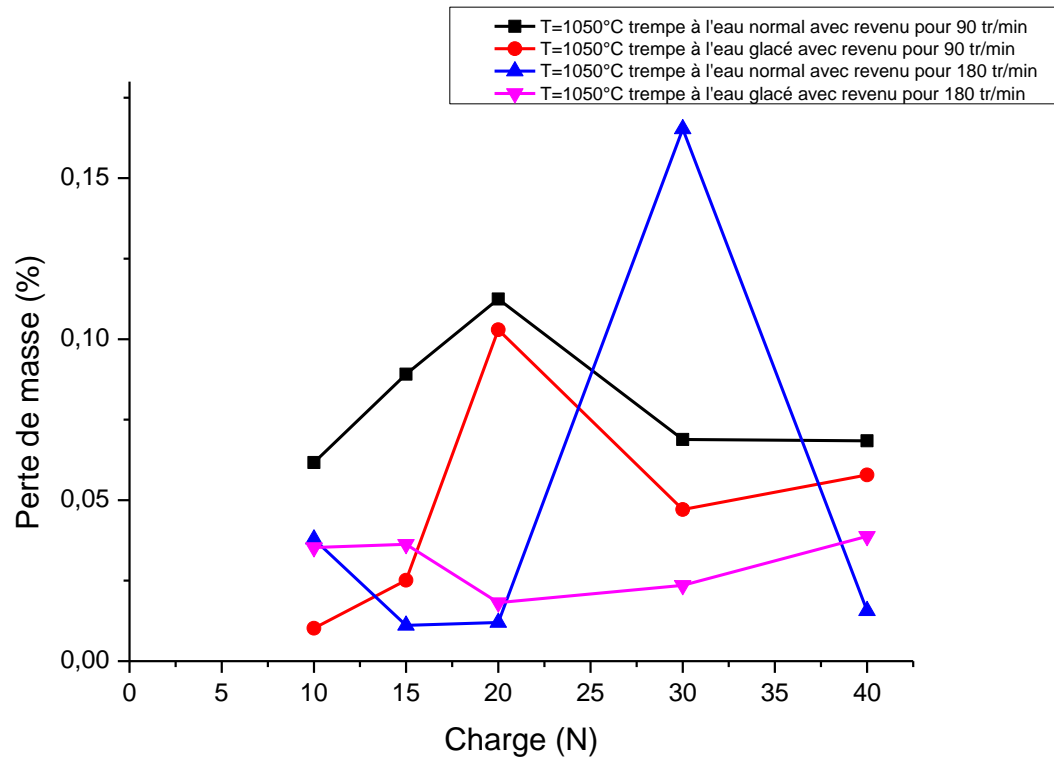


Figure III.9. Evaluation de la perte de masse relative en fonction des charges appliquées, sous deux vitesses de 90tr/min et 180tr/min.

La perte de masse des échantillons ayant subi un traitement à 1050°C, suivi d'un revenu à 600°C sous deux vitesses de rotation 90tr/min et 180tr/min présente les résultats suivants :

- Pour les échantillons trempés à l'eau normale, sous une vitesse de rotation de 90tr/min on remarque que :

Sous les charges 10N, 15N, et 20N la perte de masse augmente relativement, elles correspondent respectivement à 0.062%, à 0.089%, et à 0.11%.

Sous les charges 30N et 40N, la perte de masse est moins importante. Elle correspond relativement à 0.096%, et 0.068%.

- Pour les échantillons trempés à l'eau glacée, sous une vitesse de rotation de 90tr/min on constate que :

Sous les charges de 10N et 15N, la perte de masse est de 0.01% et 0.025% respectivement.

Sous les charges de 20N, 30N et 40N, la perte de masse relative est 0.010%, 0.047%, 0.058% respectivement.

- Pour les échantillons trempés à l'eau normale sous une vitesse de rotation de 180tr/min on remarque que :

Sous la charge de 30N, la perte de masse est élevée, elle correspond à 0.17%.

Sous les autres charges de 10N, 15N, 20N et 40N la résistance à l'usure est plus importante. La perte de masse ici correspond respectivement à 0.038%, 0.011%, 0.012% et 0.016%.

- Pour les échantillons trempés à l'eau glacée sous une vitesse de 180tr/min on remarque que la perte de masse est moins importante pour toutes les charges, elle ne dépasse pas 0.039%.

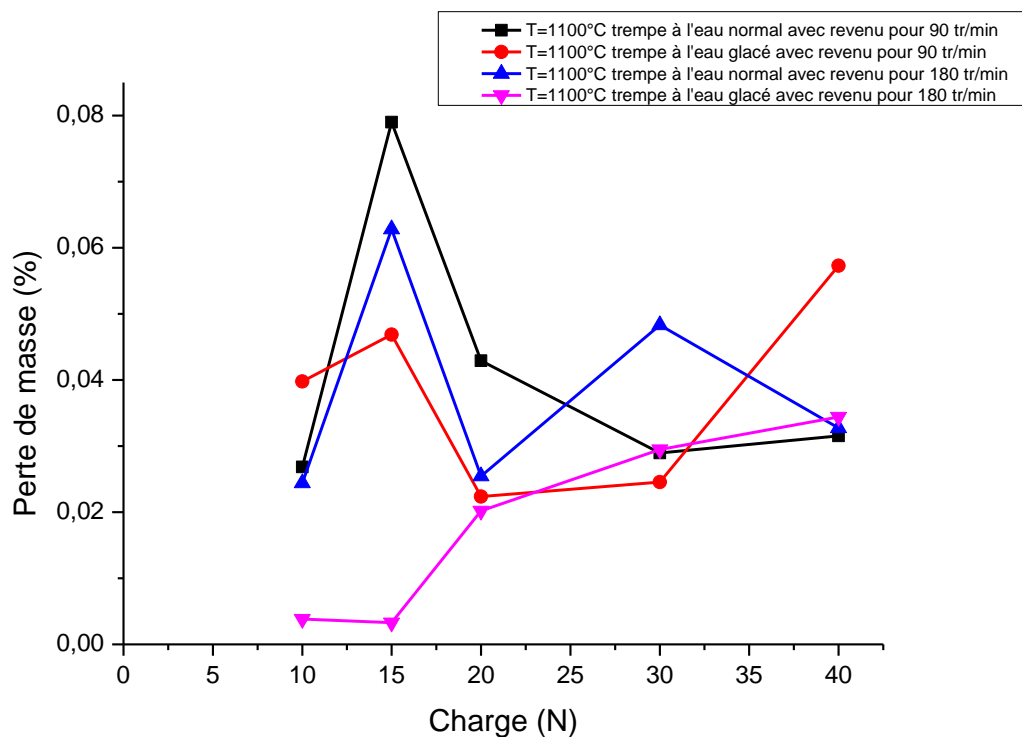


Figure III.10. Evaluation de la perte de masse relative en fonction de la charge appliquée pour une température de 1100°C, avec revenu, sous deux vitesses de rotation 90tr/min et 180tr/min

La perte de masse des échantillons ayant subi un traitement à 1100°C, suivi d'un revenu à 600°C, sous deux vitesses de rotations 90tr/min et 180tr/min, présente les résultats suivants :

- Pour les échantillons trempés à l'eau normale, sous une vitesse de rotation de 90tr/min on constate que :
La perte de masse est élevée (importante) sous une charge de 15N, elle correspond à 0.079%.
Or que pour les autres charges de 10N, 20N, 30N et 40N la perte de masse est moins importante. Elles correspondent respectivement à 0.027%, 0.043%, 0.029%, et à 0.0032%.
- Pour les échantillons trempés à l'eau glacée, sous une vitesse de rotation de 90tr/min on remarque :
La perte de masse est plus importante sous les charges de 10N, 15N, et 40N. Elles correspondent respectivement à 0.04%, 0.047%, et 0.0057%
Alors que sous les charges de 20N et 30N la perte de masse est moins importante, elles correspondent à 0.022% et 0.024% respectivement.
- Pour les échantillons trempé à l'eau de température ambiante, sous une vitesse de rotation de 180tr/min, on remarque que :
La perte de masse est importante sous les charges 15N 30N (0.0062% et 0.048% respectivement).
Or que sous les autres charges la perte est moins importantes (résistance à l'usure est un peu élevée), elles correspondent respectivement à 0.04%, à 0.025% et à 0.033%.
- Pour les échantillons trempés à l'eau glacée sous une vitesse de rotation de 180tr/min, on constate que :
La résistance à l'usure est plus importantes sous les charges 10N et 15N. la perte de masse est de 0.004% et 0.003% respectivement.
Puis elle augmente respectivement sous les autres charges de 20N, 30N et 40N, elles correspondent respectivement à 0.020%, 0.024% et 0.034%.

Conclusion générale et perspectives

Notre démarche a visé deux objectifs : Augmenter la résistance aux chocs par piégeage d'un taux important d'austénite en agissant sur la vitesse de refroidissement d'une part, augmenter la résistance à l'usure par transformation d'austénite en martensite d'autre part.

Pour ce travail, nous avons adopté une démarche expérimentale de traitement et d'essais mécaniques. A travers les résultats obtenus, on constate que :

- La température d'austénitisation influe sur les propriétés mécaniques de l'acier étudié (Dureté, résistance aux chocs et résistance à l'usure).
- La vitesse de refroidissement influe également sur les propriétés mécaniques de cet acier.
- Les traitements de revenus influent positivement sur la résistance aux chocs.
- La sollicitation de la surface de contact avec l'augmentation de la charge appliquée a mis en évidence la transformation de la phase austénitique en phase martensitique.
- Quand la vitesse de refroidissement diminue et la température d'austénitisation augmente les propriétés tribologiques diminuent ce qui est dû probablement au grossissement de grains à cette température, d'où l'importance du choix de la température.

En perspective il est souhaitable de :

- Reprendre les essais de résilience en augmentant le nombre d'échantillons afin de confirmer la température et le temps de maintien.
- Confirmer ces résultats par une étude structurale et microstructurale en utilisant la diffraction aux rayons X (DRX) et la microscopie électronique à balayage (MEB).
- Evaluer le coefficient de frottement pour chaque essai afin de connaître son influence.

Bibliographie

- [1] Anglais Crusher concasseur Portail de la mine Portail du bâtiment et des travaux publics
Catégories Matériel de construction Matériel minier.
- [2] LLunga Guillaume KATOBO, conception d'un système de graissage centralisé sur la
chaîne de production d'un concasseur pilote (cas du pilote crusher Mbeba à TFM), pages 27-
38. Université de Kolwezi Gradué, année 2010.
- [3] G. Beranger, G. Sanz. "livre de l'acier ", Ed. SOLIAC, 1996.
- [4] C. CHAUSSIN et Hilly « Métallurgie, alliages métalliques » Tome 1, édition DUNOD,
Montréal, 1976.
- [5] A. Roos, B. Milet. "Précis de métallurgie Appliquée", Edition Technique et Documentation
– Lavoisier (1982) .
- [6] J. Paul bailon, J. Marie dorlot. "Des matériaux", 3eme édition 2000-2001.
- [7] https://www.researchgate.net/publication/233038215_Microstructural_characteristics_of_Hadfield_steel_solidified_under_high_pressure
- [8] <https://www.google.dz/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://www.farspa.com/fr/print/faracciaiaustenticimanganese.pdf&ved=0ahukewjeqkgzudruahvbpjqkhcxzbhsqfg3mam&usg=afqjcnexcpixwrtf4y0t3sk06lrphxu0q>
- [9] <http://docplayer.fr/14095988-Republique-algerienne-demreocratique-et-populaire-ministere-d-l-enseignement-superieur-et-de-la-recherche-scientifique.html>
- [10]. <http://docplayer.fr/20955679-Chapitre-3-etude-du-diagramme-fer-carbone-contenu-transformations-allotropiques-du-fer-transformations-des-aciers-transformations-des-fontes.html>
- [11] <http://docplayer.fr/20955679-Chapitre-3-etude-du-diagramme-fer-carbone-contenu-transformations-allotropiques-du-fer-transformations-des-aciers-transformations-des-fontes.html>

[12].[http://doczz.fr/doc/2469304/traitements-thermiques-des-m%C3%A9taux-et-](http://doczz.fr/doc/2469304/traitements-thermiques-des-m%C3%A9taux-et-alliages)
alliages

[13][http://docplayer.fr/16097508-Said-bensaada-traitements-thermiques-classification-et-](http://docplayer.fr/16097508-Said-bensaada-traitements-thermiques-classification-et-designation-des-aciers-et-fontes.html)
designation-des-aciers-et-fontes.html

[14] : Aide-mémoire Métallurgie : Métaux • Alliages • Propriétés. Guy Marry / 2^e édition
DUNOD **TRC**

[15]: Steel heat treatment metallurgy and technologies/ George E. Totten, editor **TTT**

Liste des figures

Figure I.1. Concasseur à mâchoire.	5
Figure I.2. Concasseur giratoire.	6
Figure I.3. Broyeur à cône.	7
Figure I.4. Broyeur à percussion axe horizontal.	8
Figure I.5. Broyeur à percussion à axe verticale.	9
Figure I.6. Désignation des aciers (norme NF EN 10025).	18
Figure I.7. Diagramme d'équilibre Fe-C.	20
Figure I.8. Exemple de diagramme TRC (acier 35CD4).	24
Figure I.9. Exemple de diagramme TTT pour un acier C55.	25
Figure II.1. Traitement thermique de trempe.	28
Figure II.2. Forme géométrique d'éprouvette à la dimension normalisée pour l'essai de résilience.	30
Figure II.3. Mouton pendule Charpy de capacité 300J.	31
Figure II.4. Mouton pendule d'essai de résilience (flexion par choc) et schéma de principe.	32
Figure II.5. Machine de dureté universelle Brinell, Vickers et Rockwell de l'UGB.	33
Figure II.6. Principe de l'essai de dureté Vickers.	34
Figure II.7. Configuration pion sur disque permettant le test d'usure en contact surfacique.	34
Figure III.1. Dureté Vickers des différents échantillons.	37
Figure III.2. Dureté Vickers des différents échantillons.	37
Figure III.3. Résilience pour les différents échantillons.	39
Figure III.4. Résilience pour les différents échantillons.	39
Figure III.5. Evaluation de la perte de masse relative en fonction du temps, pour deux températures d'austénitisation de 950°C et 1000°C avec une trempe à l'eau à température ambiante et à l'eau glacée.	40

Figure III.6. Evaluation de la perte de masse relative en fonction du temps pour deux températures d'austénitisation de 1050°C et 1100°C avec une trempe à l'eau à une température ambiante et à l'eau glacée.	42
Figure III.7. Evaluation de la perte de masse relative en fonction de la charge appliquée, pour une température d'austénitisation de 950°C avec revenu .sous deux vitesse 90 tr/min et 180tr/min.	43
Figure III.8 . Evaluation de la perte de masse relative en fonction des charges appliquées pour une température de 1050°C avec revenu, sous deux vitesses de rotation 90tr/min et 180tr/min.	44
Figure III.9. Evaluation de la perte de masse relative en fonction des charges appliquées, pour 1050°C, sous deux vitesses de 90tr/min et 180tr/min.	46
Figure III.10. Evaluation de la perte de masse relative en fonction de la charge appliquée pour une température de 1100°C, avec revenu, sous deux vitesses de rotation 90tr/min et 180tr/min.	47

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Aciers ordinaires ou aciers au carbone non-alliés	13
Tableau I.2. Domaine d'utilisation des aciers au manganèse	16
Tableau I.3. Composition chimique et caractéristiques mécaniques en traction de quatre nuances d'aciers de constructions d'usage général.	19
Tableau II.1. Composition chimique de l'acier.	30

950°C	Trempe à l'eau normale	Avec revenu	385 HV	18,4 J/cm ²
		Sans revenu	481 HV	2,4 J/cm ²
	Trempe à l'eau glacée	Avec revenu	396 HV	10,4 J/cm ²
		Sans revenu	481 HV	1,6 J/cm ²
1000°C	Trempe à l'eau normale	Avec revenu	366 HV	18,4 J/cm ²
		Sans revenu	511 HV	3,2 J/cm ²
	Trempe à l'eau glacée	Avec revenu	366 HV	17,6 J/cm ²
		Sans revenu	511 HV	2,4 J/cm ²
1050°C	Trempe à l'eau normale	Avec revenu	331 HV	28 J/cm ²
		Sans revenu	454 HV	2,4 J/cm ²
	Trempe à l'eau glacée	Avec revenu	331 HV	32 J/cm ²
		Sans revenu	406 HV	2,4 J/cm ²
1100°C	Trempe à l'eau normale	Avec revenu	357 HV	18,4 J/cm ²
		Sans revenu	366 HV	2,4 J/cm ²
	Trempe à l'eau glacée	Avec revenu	366 HV	12,8 J/cm ²
		Sans revenu	639 HV	3,2 J/cm ²

La résilience et la dureté obtenue pour les différents échantillons à différentes températures

La charge (N)	Masse initiale M_0 (g)	Masse finale M_1 (g)	T ($^{\circ}$ C)	ΔM	$\Delta M/M_0$ (%)	Vitesse de rotation (tr/min)
10	21,7006					90
Temps						90
1	21,7006	21,7004	28	0,0002	0,00092163	90
5	21,7004	21,6989	29.9	0,0015	0,00691231	90
3	21,6989	21,6981	34	0,0008	0,00368682	90
10	21,6981	21,698	35	1E-04	0,00046087	90
15	21,698	21,6975	36.1	0,0005	0,00230436	90
20	21,6975	21,6836	35.7	0,0139	0,06406268	90
25	21,6836	21,6834	36	0,0002	0,00092236	90
30	21,6834	21,6828	36.3	0,0006	0,00276709	90

Evaluation de la perte de masse en fonction du temps, sous une charge de 10N, pour les échantillons traités à 950 $^{\circ}$ C, trempés à l'eau glacée, avec une vitesse de rotation de 90 tr/min.

La charge (N)	Masse initiale M_0 (g)	Masse finale M_1 (g)	T ($^{\circ}$ C)	ΔM	$\Delta M/M_0$ (%)	Vitesse de rotation (tr/min)
10	22,0878					
Temps						
1	22,0878	22,0844	27.9	0,0034	0,01539311	90
3	22,0844	22,0833	31.3	0,0011	0,00498089	90
5	22,0833	22,0826	33.1	0,0007	0,00316982	90
10	22,0826	22,0804	35.9	0,0022	0,00996259	90
15	22,0804	22,0738	39.1	0,0066	0,02989076	90
20	22,0738	22,0688	40.9	0,005	0,02265129	90
25	22,0688	22,0632	42.1	0,0056	0,02537519	90
30	22,0632	22,0604	42.9	0,0028	0,01269082	90

Evaluation de la perte de masse en fonction du temps, sous une charge de 10N, pour les échantillons traités à 950 $^{\circ}$ C, trempés à l'eau de température ambiante, avec une vitesse de rotation de 90 tr/min.

La charge (N)	Masse initiale M_0 (g)	Masse finale M_1 (g)	T (c°)	ΔM	$\Delta M/M_0$ (%)	Vitesse de rotation (tr/min)
10	20,6934					90
Temps						90
1	20,6934	20,6933	29	1E-04	0,00048325	90
5	20,6933	20,6926	30.5	0,0007	0,00338274	90
3	20,6926	20,6919	31.9	0,0007	0,00338285	90
10	20,6919	20,6904	35.9	0,0015	0,00724921	90
15	20,6904	20,6858	44.9	0,0046	0,02223253	90
20	20,6858	20,6818	48	0,004	0,01933694	90
25	20,6818	20,6732	48	0,0086	0,04158245	90
30	20,6732	20,6687	50.5	0,0045	0,02176731	90

Evaluation de la perte de masse en fonction du temps, sous une charge de 10N, pour les échantillons traités à 1000°C, trempés à l'eau de température ambiante, avec une vitesse de rotation de 90 tr/min.

La charge (N)	Masse initiale M_0 (g)	Masse finale M_1 (g)	T (c°)	ΔM	$\Delta M/M_0$ (%)	Vitesse de rotation (tr/min)
10	20,331					90
Temps						90
1	20,331	20,3305	29	0,0005	0,0024593	90
5	20,3305	20,3302	30	0,0003	0,00147562	90
3	20,3302	20,33	29.5	0,0002	0,00098376	90
10	20,33	20,3279	29.6	0,0021	0,01032956	90
15	20,3279	20,3274	35	0,0005	0,00245967	90
20	20,3274	20,3238	40.9	0,0036	0,01771009	90
25	20,3238	20,3092	41.5	0,0146	0,07183696	90
30	20,3092	20,3081	42	0,0011	0,00541626	90

Evaluation de la perte de masse en fonction du temps, sous une charge de 10N, pour les échantillons traités à 1000°C, trempés à l'eau glacée, avec une vitesse de rotation de 90 tr/min.

La charge (N)	Masse initiale M_0 (g)	Masse finale M_1 (g)	T (°C)	ΔM	$\Delta M/M_0$ (%)	Vitesse de rotation (tr/min)
10	21,5548					90
Temps						90
1	21,5548	21,5544	29	0,0004	0,00185574	90
5	21,5544	21,5535	30	0,0009	0,00417548	90
3	21,5535	21,5516	42	0,0019	0,00881527	90
10	21,5516	21,5506	40	0,001	0,00464003	90
15	21,5506	21,547	39.5	0,0036	0,01670487	90
20	21,547	21,5408	40.8	0,0062	0,02877431	90
25	21,5408	21,5327	50.1	0,0081	0,03760306	90
30	21,5327	21,5277	49	0,005	0,0232205	90

Evaluation de la perte de masse en fonction du temps, sous une charge de 10N, pour les échantillons traités à 1050°C, trempés à l'eau à température ambiante avec une vitesse de rotation de 90 tr/min.

La charge (N)	Masse initiale M_0 (g)	Masse finale M_1 (g)	T (°C)	ΔM	$\Delta M/M_0$ (%)	Vitesse de rotation (tr/min)
10	20,0255					90
Temps						90
1	20,0255	20,0252	29.1	0,0003	0,00149809	90
3	20,0252	20,025	30.2	0,0002	0,00099874	90
5	20,025	20,0243	31.4	0,0007	0,00349563	90
10	20,0243	20,0199	35.9	0,0044	0,0219733	90
15	20,0199	20,0166	37.4	0,0033	0,0164836	90
20	20,0166	20,0084	39.3	0,0082	0,040966	90
25	20,0084	20,001	41.4	0,0074	0,03698447	90
30	20,001	19,9903	43.7	0,0107	0,05349733	90

Evaluation de la perte de masse en fonction du temps, sous une charge de 10N, pour les échantillons traités à 1050°C, trempés à l'eau glacée, avec une vitesse de rotation de 90 tr/min.

La charge (N)	Masse initiale M_0 (g)	Masse finale M_1 (g)	T (c°)	ΔM	$\Delta M/M_0$ (%)	Vitesse de rotation (tr/min)
10	20,0367					90
Temps						90
1	20,0367	20,0343	32.3	0,0024	0,01197802	90
5	20,0343	20,0329	34	0,0014	0,00698802	90
3	20,0329	20,0289	35	0,004	0,01996715	90
10	20,0289	19,9589	36	0,07	0,34949498	90
15	19,9589	19,9551	36.5	0,0038	0,01903913	90
20	19,9551	19,9482	48.2	0,0069	0,03457763	90
25	19,9482	19,9429	50.1	0,0053	0,02656881	90
30	19,9429	19,9402	51.8	0,0027	0,01353865	90

Evaluation de la perte de masse en fonction du temps, sous une charge de 10N, pour les échantillons traités à 1100°C, trempés à l'eau à température ambiante, avec une vitesse de rotation de 90 tr/min.

La charge (N)	Masse initiale M_0 (g)	Masse finale M_1 (g)	T (c°)	ΔM	$\Delta M/M_0$ (%)	Vitesse de rotation (tr/min)
10	19,9503					90
Temps						90
1	19,9503	19,9499	29.08	0,0004	0,00200498	90
5	19,9499	19,9468	30.4	0,0031	0,01553893	90
3	19,9468	19,9441	31.7	0,0027	0,01353601	90
10	19,9441	19,9417	35.1	0,0024	0,01203363	90
15	19,9417	19,9339	39.4	0,0078	0,03911402	90
20	19,9339	19,9333	41.7	0,0006	0,00300995	90
25	19,9333	19,9286	42	0,0047	0,02357863	90
30	19,9286	19,9239	43,1	0,0047	0,0235842	90

Evaluation de la perte de masse en fonction du temps, sous une charge de 10N, pour les échantillons traités à 1100°C, trempés à l'eau glacée, avec une vitesse de rotation de 90 tr/min.

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	22,2502	22,2425	53.1	0,0077	0,03460643	90
15	22,2425	22,2392	54	0,0033	0,01483646	90
20	22,2392	22,2369	56.1	0,0023	0,0103421	90
30	22,2392	22,2357	56.8	0,0035	0,01573798	90
40	22,2357	22,2341	58.3	0,0016	0,00719564	90

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 950°C, trempés à l'eau à température ambiante, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 90 tr/min.

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	21,1612	21,1518	49	0,0094	0,04442092	90
15	21,1518	21,1441	51	0,0077	0,03640352	90
20	21,1441	21,1373	53.1	0,0068	0,03216027	90
30	21,1373	21,135	55.2	0,0023	0,01088124	90
40	21,135	21,1323	57.4	0,0027	0,01277502	90

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 950°C, trempés à l'eau glacée, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 90 tr/min.

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	20,3707	20,3579	37	0,0128	0,06283535	90
15	20,3579	20,3525	39	0,0054	0,02652533	90
20	20,3525	20,3387	39.5	0,0138	0,06780494	90
30	20,3387	20,33	40.1	0,0087	0,0427756	90
40	20,33	20,3281	42.3	0,0019	0,00934579	90

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 1000°C, trempés à l'eau à température ambiante, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 90 tr/min.

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	20,5321	20,5298	34.1	0,0023	0,01120197	90
15	20,5298	20,5244	35.8	0,0054	0,02630323	90
20	20,5244	20,5237	36.3	0,0007	0,00341057	90
30	20,5237	20,5183	37.4	0,0054	0,02631105	90
40	20,5183	20,5124	41.3	0,0059	0,02875482	90

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 1000°C, trempés à l'eau glacée, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 90 tr/min.

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	21,554	21,5407	43.2	0,0133	0,06170548	90
15	21,5407	21,5215	45.6	0,0192	0,08913359	90
20	21,5215	21,4973	49.7	0,0242	0,11244569	90
30	21,4973	21,4825	50	0,0148	0,06884586	90
40	21,4825	21,4678	51.6	0,0147	0,06842779	90

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 1050°C, trempés à l'eau à température ambiante, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 90 tr/min

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	21,4754	21,4732	36.1	0,0022	0,01024428	90
15	21,4732	21,4678	37.2	0,0054	0,02514763	90
20	21,4678	21,4457	39.4	0,0221	0,10294488	90
30	21,4457	21,4356	44.7	0,0101	0,04709569	90
40	21,4356	21,4232	51.8	0,0124	0,05784769	90

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 1050°C, trempés à l'eau glacée, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 90 tr/min.

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	19,6383	19,3631	39.1	0,2752	1,40134329	90
15	19,3631	19,3478	43	0,0153	0,07901627	90
20	19,3478	19,3395	45.1	0,0083	0,04289893	90
30	19,3395	19,3339	47.3	0,0056	0,02895628	90
40	19,3339	19,3278	51.2	0,0061	0,0315508	90

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 1100°C, trempés à l'eau à température ambiante, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 90 tr/min.

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	18,3563	18,349	29.3	0,0073	0,03976836	90
15	18,349	18,3404	31.1	0,0086	0,04686904	90
20	18,3404	18,3363	36.8	0,0041	0,02235502	90
30	18,3363	18,3318	42.1	0,0045	0,02454148	90
40	18,3318	18,3213	45.4	0,0105	0,05727752	90

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 1100°C, trempés à l'eau glacée, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 90 tr/min.

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	19,7738	19,7685	51	0,0053	0,02680314	180
15	19,7685	19,764	52.9	0,0045	0,02276349	180
20	19,764	19,751	54	0,013	0,06577616	180
30	19,751	19,7468	54.3	0,0042	0,02126475	180
40	19,7468	19,7405	58.20	0,0063	0,0319039	180

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 950°C, trempés à l'eau glacée, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 180 tr/min.

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	20,1394	20,1331	51	0,0063	0,03128196	180
15	20,1331	20,1287	53.5	0,0044	0,02185456	180
20	20,1287	20,1213	56.1	0,0074	0,03676343	180
30	20,1213	20,1154	58.3	0,0059	0,02932216	180
40	20,1154	20,1093	59.8	0,0061	0,03032502	180

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 950°C, trempés à l'eau à température ambiante, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 180 tr/min.

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	20,6392	20,6316	49	0,0076	0,03682313	180
15	20,6316	20,629	51.2	0,0026	0,01260203	180
20	20,629	20,6242	54.3	0,0048	0,02326821	180
30	20,6242	20,6121	56.2	0,0121	0,05866894	180
40	20,6121	20,5937	59.3	0,0184	0,08926795	180

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 1000°C, trempés à l'eau à température ambiante, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 180 tr/min.

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	21,5611	21,5592	48.7	0,0019	0,00881217	180
15	21,5592	21,5564	50.9	0,0028	0,01298749	180
20	21,5564	21,5434	52.8	0,013	0,06030692	180
30	21,5434	21,5347	55.1	0,0087	0,0403836	180
40	21,5347	21,5268	59.3	0,0079	0,03668498	180

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 1000°C, trempés à l'eau glacée, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 180 tr/min.

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	22,4543	22,4458	49.20	0,0085	0,03785466	180
15	22,4458	22,4433	51.3	0,0025	0,01113794	180
20	22,4433	22,4406	53.1	0,0027	0,01203032	180
30	22,4406	22,4035	55.8	0,0371	0,16532535	180
40	22,4035	22,4	57.7	0,0035	0,01562256	180

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 1050°C, trempés à l'eau à température ambiante, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 180 tr/min.

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	20,3965	20,3893	43.2	0,0072	0,03530017	180
15	20,3893	20,3819	46.3	0,0074	0,03629355	180
20	20,3819	20,3782	49.4	0,0037	0,01815336	180
30	20,3782	20,3734	51.2	0,0048	0,02355458	180
40	20,3734	20,3655	54.8	0,0079	0,03877605	180

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 1050°C, trempés à l'eau glacée, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 180 tr/min.

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	19,2691	19,2644	49.6	0,0047	0,02439138	180
15	19,264 4	19,2523	52.8	0,0121	0,06281016	180
20	19,2523	19,2474	53.9	0,0049	0,0254515	180
30	19,2474	19,2381	55.8	0,0093	0,04831821	180
40	19,2381	19,2318	58.7	0,0063	0,03274752	180

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 1100°C, trempés à l'eau à température ambiante, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 180 tr/min

Charge (N)	M ₀ (g)	M ₁ (g)	T(c°)	ΔM(g)	ΔM/M ₀ (%)	Vitesse de rotation tr/min
10	18,3223	18,3216	40.1	0,0007	0,00382048	180
15	18,3216	18,321	42.4	0,0006	0,00327482	180
20	18,321	18,3173	47,7	0,0037	0,0201954	180
30	18,3173	18,3119	49,3	0,0054	0,02948033	180
40	18,3119	18,3056	54,2	0,0063	0,03440386	180

Evaluation de la perte de masse en fonction de la charge appliquée, pour les échantillons traités à 1100°C, trempés à l'eau glacée, suivi d'un revenu, avec une vitesse de rotation de 180 tr/min

Résumé

Ce travail de recherche porte sur l'influence des traitements thermiques sur les propriétés Mécaniques d'un acier à 12% de manganèse. Cet acier, destiné à des sollicitations continues d'usure et de choc, est recommandé pour les industries lourdes dont les applications utilisent les mâchoires de broyeur, les marteaux d'impact, les aiguilles de chemins de fer et les bandes de roulements de chenilles.

Les traitements thermique est dans le sens d'assurer une meilleure pièce de travail présentant une meilleure résistance à l'usure et une grande dureté.

Des techniques de caractérisation : par mesure de dureté et de résilience ont été utilisées pour mettre en évidence l'effet des traitements thermiques sur les propriétés de travail des différents conditions de traitement d'acier obtenu.

Les résultats obtenus ont montré la nette influence des traitements thermiques sur la résistance au choc et la dureté. Il a été noté que différentes valeurs sont obtenues avant et après traitement thermique.

L'importance de faire des ces traitements, de plusieurs cycles a été saisie par une nette augmentation de l'aptitude à l'écrouissage donc la résistance à l'usure.

ملخص

الخواص على الحرارية المعالجة تأثير على البحث هذا يركز الصناعية للتطبيقات ويوصى والصدمات، التآكل من متواصلة لضغوط الصلب، هذا. المنغنيز 12٪ إلى الميكانيكي الصلب اتجاهات تعقب والشريط الحديدية السكك والإبر تأثير، المطرقة محطم، الفكين تستخدم التي الثقيلة. عالية وصلابة التآكل مقاومة تحسن وجود أفضل الشغل ضمان بمعنى هي الحرارية المعالجة خصائص على الحرارية المعالجة تأثير على الضوء لتسليط استخدمت ومرونة صلابة قياس طريق عن: توصيف تقنيات العمل الفولاذ تصنيع عليها الحصول تم التي الظروف مختلف مختلفة قيم على الحصول يتم أن ولوحظ. وصلابة تأثير مقاومة على الحرارية المعالجة على واضح تأثير النتائج أظهرت الحرارية المعالجة وبعد قبل التآكل مقاومة حتى تصلب للعمل بدنية لياقة في صافية زيادة من دورات عدة العلاجات هذه جعل أهمية على القبض وألقي

Abstract

This work focuses on the influence of heat treatments on the properties mechanics of à 12% manganese steel. This steel, designed for continuous wear and shock loads, is recommended for heavy industries whose applications use mill shredders, impact hammers, railway needles and track rollers.

The heat treatments are in the direction of ensuring a better work piece having a better resistance to wear and a high hardness.

Characterization techniques: by measuring hardness and resilience were used to demonstrate the effect of heat treatments on the working properties of the various steel treatment conditions obtained.

The results obtained showed the clear influence of the heat treatments on the impact strength and the hardness. It was noted that different values are obtained before and after heat treatment.

The importance of making these treatments of several cycles was captured by a marked increase in the work-harden ability and therefore the wear resistance.