

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة بجاية
Tasdawit n'Bgayet
Université de Béjaïa

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Génie des matériaux

Par :

BOURAMA Lamine

AIT ATMANE Lyes

Thème

Caractérisation structural et microstructural d'un acier 12% Mn utilisée dans l'industrie minière

Soutenu le 04/06/2024 devant le jury composé de:

Pr. M.A.BRADAI

Président

Pr. A.SADEDINE

Rapporteur

Dr. R.YOUNES

Examineur

Mr. S.KHIMA

Invité

Année Universitaire 2023-2024

Dédicaces

On dédie ce travail à nos très chers parents qui étaient toujours présents pour nous aider, conseillées et surtout nous encouragées.

A nos frères et sœurs de nous avoirs sans cesse soutenues et encouragées.

Sans oublier nos amies de la promo génie des matériaux pour leurs encouragements et pour leurs aides.

Remerciements

Nous tenons à remercier Dieu qui nous a donné la santé, la volonté et la force d'accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement notre promoteur Pr SAD-EDDINE.

Nos vifs remerciements vont à Mr S.KHIMA pour son aide, et ses orientations tout au long de ce travail.

Nous remercions Pr R.YOUNES d'avoir accepté de juger ce travail.

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

On remercie aussi l'équipe du hall de technologie de L'université de Bejaia.

Nous tenons à remercier également tous les enseignants qui ont contribué notre cycle de Formation que tous ceux qui ont contribué à notre formation qu'ils trouvent ici l'expression de notre sincère gratitude.

Enfin, un merci tout particulier à tous ceux qui m'ont apporté leurs soutien.

Sommaire

Sommaire

Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : Généralités sur les aciers au manganèse.	
Introduction	3
Historique	3
I.1 Définition des aciers	4
I.1.1 Désignations des aciers.....	4
I.1.1.1 Aciers non alliés d'usage général (70% des aciers).....	4
I.1.1.2 Aciers spéciaux non alliés de type C.....	4
I.1.1.3 Aciers faiblement alliés.....	4
I.1.1.4 Aciers fortement alliés	5
I.2 Propriétés des matériaux.....	5
I.2.1 Propriétés physiques.....	5
I.2.2 Diagramme fer-carbone.....	5
I.2.2.1 La ferrite α	6
I.2.2.2 L'austénite γ	7
I.2.2.3 La cémentite Fe_3C	7
I.2.2.4 La perlite.....	7
I.3 Traitement thermique.....	7
I.3.1 Historique des traitements thermiques.....	7
I.3.2 Définition des traitements thermiques.....	8
I.3.3. Des processus courants de traitement thermique.....	8

Sommaire

I.3.3.1 La trempe.....	9
I.3.3.2 Recuit.....	10
I.3.3.3 Le revenu.....	11
I.4 Acier au manganèse.....	11
I.4.1 Définition.....	11
I.4.2 Microstructure de l'acier au manganèse.....	11
I.4.2.1 Composition chimique.....	13
I.4.3 Domaine d'utilisation des aciers au manganèse.....	14
I.4.4 Diagramme fer-carbone-Mn.....	16
I.4.5 Effet des éléments de base des aciers au manganèse.....	17
I.4.5.1 Manganèse.....	17
I.4.5.2 Carbone.....	17
I.4.6 Impact du traitement thermique sur la structure de l'acier au manganèse.....	17
I.4.7 Formation de phases telles que l'austénite, la ferrite et la martensite dans l'acier au manganèse.....	18
I.4.7.1 La ferrite α	18
I.4.7.2 L'austénite γ	18
I.4.7.3 La martensite.....	19
I.4.8 Mise en avant des propriétés uniques de l'acier au manganèse.....	19
I.4.9 Résistance, ténacité et résistance à l'usure d'un acier au manganèse.....	20
I.4.9.1 Résistance.....	20
I.4.9.2 Ténacité.....	20
I.4.9.3 Résistance à l'usure.....	20

Sommaire

I.5 Généralité sur la dégradation par corrosion.....	20
I.5.1 Définition.....	20
I.5.2 Catégories de dégradation par corrosion.....	21
I.5.2.1 Corrosion chimique (sèche).....	22
I.5.2.2 Corrosion électrochimique (humide).....	22
I.5.3 Evolutions des types de corrosion dans les aciers au manganèse.....	22
I.5.3.1 Corrosion uniforme ou généralisée.....	22
I.5.3.2 Corrosion localisée.....	23
I.5.3.3 Corrosion par pique.....	24
I.5.3.4 Corrosion inter granulaire (inter cristalline).....	24

CHAPITRE II : Matériaux et techniques expérimentales.

Introduction.....	25
II.1 Matériaux utilise.....	25
II.1.1 Présentation des matériaux.....	25
II.2 Elaboration des échantillons.....	25
II.2.1 Préparation des échantillons.....	25
II.3 Traitement thermique.....	26
II.4 Le polissage.....	28
II.5 Méthode de caractérisation.....	28
II.5.1 Microscope optique.....	28
II.5.2 Analysé par fluorescence des rayons x.....	29
II.5.3 Analysé par diffraction des rayons x.....	30
II.5.4 Microdureté.....	31

Sommaire

II.5.5 Corrosion.....	32
II.6 Essais mécaniques utilisé dans notre étude.....	33
II.6.1 Essai de résilience.....	33
Conclusion.....	34

CHAPITRE III : Résultats et discussions.

Introduction.....	36
III.1 Caractérisation par diffraction des rayons X d'acier fortement allié au manganèse.....	36
III.1.1 Analyse structurale par diffraction x.....	36
III.1.2 Quantification des phases par diffraction x.....	37
III.2 Caractérisation Microstructural d'acier fortement allié au manganèse obtenu par micro optique.....	38
III.3 Influence de la microstructure de l'acier fortement allié au manganèse sur le comportement mécanique.....	41
III.3.1 Microdureté Vickers.....	41
III.3.2 Essai de résilience.....	42
III.4 Influence de microstructure de l'acier fortement allié au manganèse sur la résistance à la corrosion.....	43
III.4.1 Résistance à la corrosion	43
Conclusion générale.....	46

Listes des figures

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les aciers.

Figure I.1 : Diagramme d'équilibre fer-carbone.....	6
Figure I.2 : Cycle d'un traitement thermique.....	8
Figure I.3 : Cycle thermique de trempe.....	9
Figure I.4 : Microstructure des aciers au manganèse considérés.....	12
Figure I.5 : Domaine de composition.....	14
Figure I.6 : Diagramme HRC TT.....	16
Figure I.7 : La microstructure de la ferrite.....	18
Figure I.8 : La microstructure de l'austénite γ	19
Figure I.9 : La microstructure de la martensite.....	19
Figure I.10 : La nature des paramètres la corrosion.....	21
Figure I.11 : Corrosion généralisée.....	23
Figure I.12 : Corrosion localisé.....	23
Figure I.13 : Corrosion par pique.....	24
Figure. I.14 : Corrosion inter granulaire.....	24

Chapitre II : Matériaux et techniques expérimentales.

Figure II.1 : Illustration de la plaque parallélépipédique en acier au manganèse.....	26
Figure II.2 : Four a moufle utilise au niveau du hall technologie.....	27
Figure II.3 : Cycle de traitement thermique.....	27
Figure II.4 : La polisseuse (Metaserv 2000).....	28

Liste des figures

Figure II.5 : Microscope optique (Zwick ZHV 1O).....	29
Figure II.6 : Spectromètre pour l'analyse par la fluorescence des rayons X.....	30
Figure II.7 : Dispositif Diffraction X : X'PERT PRO MRD de chez PANalytical.....	31
Figure II.8 : Micro duromètre de type Zwick Roell ZHv10.....	31
Figure II.9 : Dispositif expérimental de la corrosion.....	33
Figure II.10 : Schématisation de l'essai de résilience.....	34
Figure II.11 : Mouton pendule Charpy de capacité 750J.....	35

Chapitre III : Résultats et discussions.

Figure III.1 : Spectres de diffraction X des différents échantillons de l'acier au manganèse.....	36
Figure III.2 : Quantification des phases par diffraction x.....	38
Figure III.3 : Microstructures des différents échantillons traités.....	39
Figure III.4 : Microdureté différents échantillons.....	41
Figure III.5 : La résilience des différents échantillons.....	42
Figure III.6 : Histogramme comparatif des Résultats de perte de masse.....	44

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Propriétés physique de l'acier Hadfield.....	5
Tableau I.2 : Compositions chimiques dans l'acier au manganèse.....	13
Tableau I.3 : Domaine d'utilisation des aciers au manganèse.....	14
Tableau II.1 : Composition chimique de l'acier Hadfield.....	25
Tableau III.1 : Résultats après immersion pendant (5, 10,15 et 20 jours) dans une solution de salin (35 g /l) à la température ambiante.....	44

Introduction générale

Introduction générale

Le secteur de la fonderie moderne se concentre sur la fabrication de pièces métalliques hautement performantes, répondant aux diverses exigences des applications industrielles, notamment en termes de résistance aux sollicitations mécaniques, thermiques et chimiques. Parmi les nombreux alliages métalliques, les aciers sont largement préférés pour leur polyvalence.

L'acier au manganèse, caractérisé par sa teneur élevée en manganèse (12%), est particulièrement apprécié dans l'industrie en raison de sa résistance exceptionnelle à l'usure et de sa capacité à se durcir lors d'impacts, un phénomène connu sous le nom de durcissement par écrouissage. Il est spécialement conçu pour les environnements confrontés à des chocs et à l'abrasion, comme dans les secteurs ferroviaire, minier et de la construction.

La composition chimique enrichie en manganèse renforce la résistance à la corrosion et à l'usure de cet acier, tandis que sa stabilité structurelle, essentielle pour sa performance, dépend de divers facteurs tels que sa composition précise et les traitements thermiques appliqués. Les contraintes mécaniques, comme la compression, la traction, la torsion et les chocs répétés, ainsi que les variations de température, peuvent influencer ses propriétés mécaniques et sa structure.

En outre, des éléments alliés tels que le silicium, le nickel, le chrome et parfois le carbone peuvent être ajoutés pour améliorer la ténacité de l'acier au manganèse. Cependant, sa grande dureté présente des défis en termes de soudabilité et d'usinabilité. Les avancées en métallurgie visent à surmonter ces obstacles tout en préservant ses propriétés mécaniques essentielles, grâce à l'utilisation de techniques de fabrication avancées et à l'intégration stratégique d'autres éléments alliés.

Ainsi ce mémoire de fin d'études est une contribution à l'étude de l'influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques (structural et microstructural) de l'acier Hadfield.

Introduction générale

Ce travail de recherche est donc structuré comme suit : Le premier chapitre traite des bases théoriques sur les aciers au manganèse, couvrant le diagramme fer-carbone, les traitements thermiques et la corrosion. Le deuxième chapitre décrit l'acier étudié et les tests réalisés. Le troisième chapitre présente les résultats obtenus, leur analyse, et conclut par une synthèse générale de l'étude.

Chapitre I :

Généralités sur les aciers

Introduction

Dans le procédé de la fonderie d'aujourd'hui, c'est devenu primordial de produire des pièces ayant de bonnes propriétés d'emploi tel que la résistance aux différents types de sollicitations mécaniques, thermique et chimique. Parmi tous les alliages métalliques, les aciers constituent une classe exceptionnelle par la diversité des nuances et de leurs applications dans les domaines industriels les plus divers comme les industries mécaniques, agricole, automobiles, pétrolières, aéronautique etc. L'acier austénitique au manganèse est un acier dédié aux applications à taux de dégradation (usure) importants alimentées par des matériaux durs [25,26]. La stabilité structurale des aciers au manganèse est tributaire de leur composition chimique ainsi que des sollicitations mécaniques ou thermiques auxquelles ils sont soumis [27]. L'addition d'éléments d'alliage procure à l'acier des caractéristiques supplémentaires. Il existe plusieurs aciers alliés, parmi lesquels l'acier au manganèse communément appelé acier Hadfield, utilisé dans diverses industries. Cet acier est employé dans des équipements manipulant et traitant les matériaux tels que des broyeurs de roche.

Historique

L'acier au manganèse inventé par Sir Robert Hadfield en 1882 contient environ 1,2% C et 12% Mn, il a une structure cubique à face centrée. Ce type d'acier combine une ductilité et une dureté élevée avec une bonne résistance à l'usure. Le carbone encourage le durcissement de l'alliage par précipitation et le manganèse améliore les propriétés mécaniques à des températures élevées.

L'acier austénitique au manganèse est encore largement utilisé, avec de légères modifications dans la composition. Des travaux récents ont proposé qu'une augmentation des proportions du Manganèse entre 5 et 10% et du carbone entre 0.1 à 0.2% conduise à une amélioration des propriétés mécaniques.

Les aciers au manganèse sont très utilisés dans les fonderies. Néanmoins, ils ne peuvent pas être utilisés à l'état brut de coulée à cause de la présence d'excès des carbures du manganèse et du chrome qui les fragilisent; en effet, la précipitation des carbures aux joints de grains favorise la propagation de microfissures [3].

I.1 Définition de l'acier :

Selon le dictionnaire ROBERT, un acier est un « alliage de fer et de carbone (moins de 1,5 %) auquel on donne, par traitement mécanique ou thermique, des propriétés variées (malléabilité, résistance...) ».

Selon la norme NF EN 10020 (qui en juin 1989 a remplacé la norme NF A 02-025), « acier un matériau dont le fer est l'élément prédominant, sa teneur en carbone est généralement inférieur à 2 % et il contient d'autres éléments ; un nombre limité d'aciers au chrome peut avoir une teneur en carbone supérieure à 2 %, mais cette valeur de 2 % est la teneur limite courante qui sépare l'acier de la fonte ».

À la lecture de ces deux définitions, on constate que la limite supérieure de la teneur en carbone des alliages Fe-C susceptibles de s'appeler des aciers (par différence avec les fontes) est délicate à préciser. C'est la raison pour laquelle il peut être préférable d'adopter un point de vue plus métallurgique en prenant en compte la différence intervenant lors de la solidification de ces alliages. La solidification d'une fonte s'achève par une réaction eutectique qui inclut la précipitation décarbure de fer et/ou de graphite [22].

I.1.1 Désignation des aciers :

I.1.1.1 Aciers non alliés d'usage général (70% des aciers) :

Ils forment presque 70% des aciers dans l'industrie, qu'ils sont caractérisés par une faible teneur en carbone désignés par une lettre (S, E) représentant la classe (S : acier d'usage général de base), (E : utilisé dans la construction mécanique), suivie de la limite élastique à la traction en MPa ou N/mm² et d'indications complémentaires (S : soudable. M : modulable il s'agit d'un acier moulé la désignation est précédée de la lettre G [21] .

I.1.1.2 Aciers spéciaux non alliés de type C :

Les aciers spéciaux sont des matériaux Destinés aux traitements thermiques (trempe et revenu...). Le traitement thermique donne accès aciers des propriétés d'emploi très performantes, la majorité est disponible sous forme délaminés marchands aux dimensions normalisées.

Désignation : lettre C suivie du pourcentage de carbone multiplié par 100 plus des indications complémentaires.

I.1.1.3 Aciers faiblement alliés :

Pour ces aciers, aucun élément d'addition dépasse 5%, ils sont choisis chaque fois qu'une haute résistance est exigée, ils sont utilisés en état de livraison ou avec traitement.

Désignation : pourcentage de carbone multiplié par 100, suivi des symboles chimiques des principaux éléments d'additions classés en ordre décroissant. Les pourcentages de ces éléments multipliés par 4, 10, 100.

I.1.1.4 Aciers fortement alliés :

Ils sont destinés à des usages particuliers, pour ces aciers au moins un élément d'addition dépasse la teneur de 5%.

Désignation : lettre X, symbolisant la famille suivie des mêmes indications que pour les aciers faiblement alliés, la seule différence avec les aciers fortement alliés est pas de coefficient multiplicateur pour le pourcentage des éléments d'addition. Ces aciers sont réservés à des usages particuliers, par exemple dans un milieu humide, on utilisera un acier inoxydable qui est un acier fortement allié avec du chrome ($\% > 11\%$).

I.2. Propriétés des matériaux :

I.2.1. Propriétés physiques :

Point de fusion ($^{\circ}\text{C}$)	1350
Masse volumique à 20°C ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	7900
Conductivité thermique à 20°C ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	0,02
Résistivité électrique à 20°C ($\Omega \cdot \text{m}$)	70
Chaleur spécifique à 20°C ($\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1}$)	0,14
Retrait après solidification (mm /m)	25

Tableau I.1 : Propriétés physique de l'acier Hadfield [21].

I.2.2 Diagramme fer-carbone :

Le diagramme fer-carbone est le plus important de tous les systèmes d'alliages binaires. Les matériaux structuraux essentiels dans toutes sociétés technologiquement avancées sont les aciers et les fontes qui se composent d'un alliage fer-carbone. La présente section est axée sur l'étude du diagramme d'équilibre microstructures possibles.

Le diagramme dans la **figure I.1** présente les températures importantes pour l'acier et la fonte. Il est très important pour les opérations de production, soudage, formage et traitement thermique de ces matériaux. Il est nécessaire d'en comprendre parfaitement chaque phase et chaque domaine avant de l'utiliser [2] .

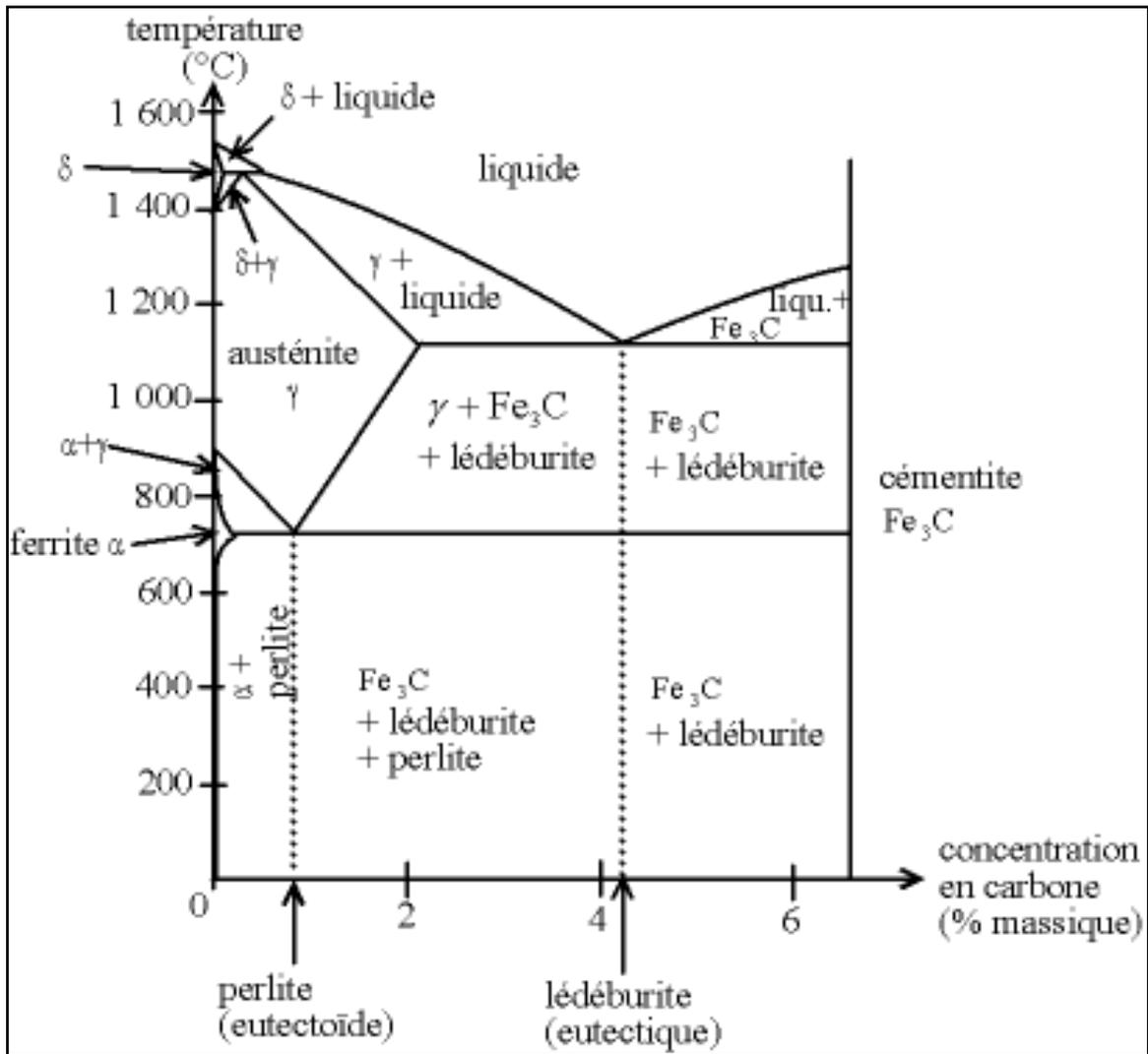


Figure I.1 : Diagramme d'équilibre fer-carbone.

I.2.2.1 La ferrite α :

La quantité de carbone est trop petite dans ce dernier. La solution solide de carbone dans le fer alpha est appelée la ferrite. A 727°C, cette phase contient au maximum 0.022% de carbone.

La teneur en carbone dans la ferrite tend vers zéro à 912°C. La quantité de carbone diminue quand la ferrite est refroidie à la température ambiante. La structure ferritique est cubique centrée et à la fois ductile et tenace. Toutes les fontes et les aciers contiennent de la ferrite, cette phase comporte la même quantité de carbone, quelle que soit la teneur en carbone de l'acier ou de la fonte. La formation de cette ferrite commence dès qu'un acier ou une fonte est refroidie en dessous de 727°C.

I.2.2.2 L'austénite γ :

L'austénite est une solution solide de carbone dans le fer γ . Cette phase est stable entre 727°C et 1538°C . À $T=1147^{\circ}\text{C}$ le fer peut dissoudre jusqu'à 2.14% de carbone. L'austénite est cubique à faces centrées. Elle ne se forme pas à température ambiante, mais elle se localise à haute température, c'est un domaine important pour effectuer les traitements thermiques des aciers.

I.2.2.3 La cémentite Fe_3C :

La cémentite pure (carbure de fer) a la formule moléculaire Fe_3C . La concentration forte en carbone (jusqu'à 6,70%) augmente la dureté et la fragilité.

I.2.2.4 La perlite :

La combinaison de ferrite et de cémentite donne la perlite. Ces deux phases se trouvent en couches alternées dans la microstructure, la perlite pure se forme à 727°C et contient 0.76% de carbone.

I.3 Traitement thermique :**I.3.1 Historique des traitements thermiques :**

Depuis le temps, l'utilisation des traitements thermiques a pour but d'améliorer la résistance et la dureté des alliages. Les anciens obtenaient l'acier par la combinaison des minerais de fer (matière première) avec du charbon du bois qu'ils chauffent dans des profonds creux creusés dans le sol, par la suite ils obtenaient des alliages d'aciers très durs et fragile. Mais le problème ils ne savaient pas la cause de cette fragilité. Les forgerons dans quelques régions du monde ont pu obtenir des aciers durs mais pas fragile (riche en d'autres éléments comme le manganèse), et ils ne savaient pas les cause de ces améliorations. Après le développement de la physique et l'invention des instruments de mesures, la compréhension des phénomènes de durcissement des alliages métalliques et de l'acier en particulier, la connaissance de leurs compositions chimiques, les spécialistes en mécanique et en métallurgie ont réussi de contrôler les différentes propriétés dont en contrôlant la structure.

Des grands développements sur les propriétés des alliages modernes ont été obtenus par la mise au point des traitements thermiques du durcissement par précipitation. Les traitements thermiques se sont ensuite développés pour les aciers inoxydables et les alliages réfractaires, les alliages de magnésium, les alliages de cuivre. Après une vingtaine d'années seulement ils sont développés pour les aciers à haute résistance du type maraging et les superalliages à base Nickel et cobalt [1].

1.3.2 Définition des traitements thermiques :

Les traitements thermiques est un processus contrôlé qui implique l'exposition d'un matériau à des changements de température (échauffement et refroidissement), pour altérer ses propriétés physiques et mécaniques. Cela peut comprendre des étapes telles que le chauffage, le maintien à des températures prédéterminées, et le refroidissement, visant à influencer la structure microscopique du matériau [19].

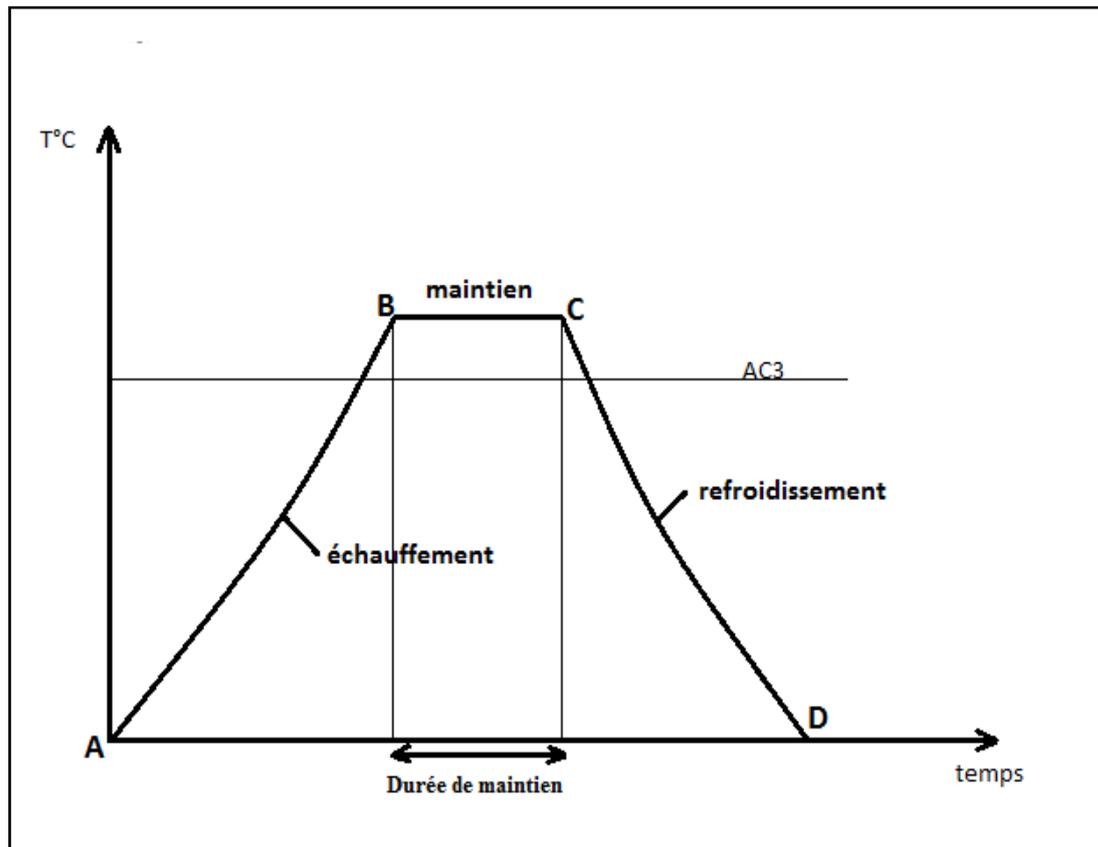


Figure I.2 : Cycle d'un traitement thermique.

1.3.3. Des processus courants de traitement thermique :

Les traitements thermiques agissent sur la matrice en modifiant la nature de ses constituants et parfois même en transformant profondément la structure. De même, les aciers alliés à structure austénitique nécessitent le plus souvent un traitement thermique spécifique pour obtenir une matrice déterminée : (stabiliser les dimensions des moulages et pour homogénéiser les structures).

Les divers résultats pratiques que l'on peut viser par traitements thermiques de la matrice des aciers sont les suivant :

- La réduction des contraintes internes,
- L'accroissement de l'usinabilité.
- L'obtention d'une bonne ténacité.
- L'augmentation des caractéristiques mécaniques.
- L'augmentation de la résistance à l'usure [19].

I.3.3.1 La trempe :

La trempe est un refroidissement rapide d'un acier austénite pour lui donner la plus grande dureté possible par formation de la martensite ou de la perlite fine. La température de trempe ou température d'austénitisation se situe dans le domaine austénitique du diagramme fer-carbone et elle dépend de la teneur en carbone de l'acier [20].

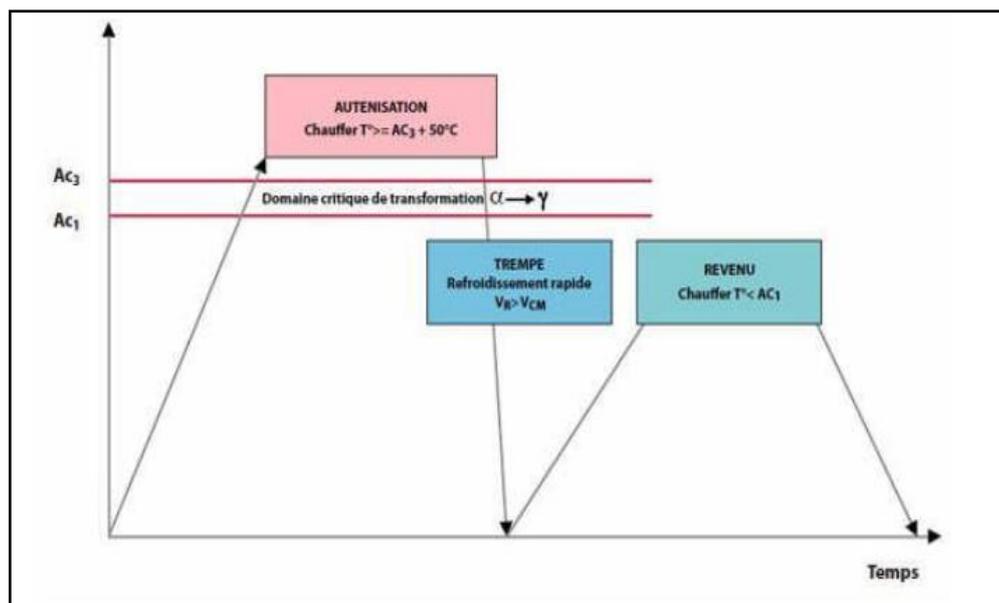


Figure 1.3 : Cycle thermique de trempe.

Voici les types de trempe :

• La trempe à l'eau :

Dans la pratique de tous les jours, l'utilisation de la trempe à l'eau est la plus adéquate car c'est le milieu de refroidissement le moins cher, la vitesse de refroidissement de ce dernier n'est pas constante, l'avantage de l'eau est de faire éclater la calamine au début du refroidissement et donc de nettoyer la surface et d'améliorer l'échange thermique, l'eau peut former facilement des billes de vapeur prisonnières qui ralentissent localement le refroidissement du métal et donnent naissance à des points doux et se dépend de la géométrie

de la pièce. Le pouvoir de refroidissement diminue très sensiblement (la période de caléfaction est prolongée : un phénomène d'isolation thermique d'un liquide par rapport à une surface chauffante) lorsque la température de l'eau s'élève.

L'exécution d'une bonne trempe à l'eau exige le contrôle permanent :

- La température de l'eau.
- L'agitation de la pièce.
- La circulation de l'eau et de son renouvellement éventuel.

Il est nécessaire d'éviter toute contamination de l'eau par des produit étranger (sels) qui changerait sa sévérité de trempe et empêcherait d'obtenir des résultats constants [20].

●La trempe à l'huile

La vitesse de refroidissement n'est pas constante lors d'une trempe à l'huile, elle est maximale lorsque la température de surface de la pièce est encore assez élevée et généralement comprise entre 400 et 600 °C suivant les propriétés de l'huile considérées. La viscosité de l'huile diminue quand sa température augmente.

L'huile de trempe peut différer par :

- L'huile de base (minérale ou synthétique).
- Les additifs qu'elles contiennent, additifs qui ont pour l'objet soit de modifier le pouvoir refroidissant, soit d'améliorer certaines propriétés (résistance à l'oxydation) [20].

●La trempe à l'air

C'est le cas le plus simple à mettre en œuvre, les risques de déformations sont plus grands et plus rapide, le milieu de trempe est choisi surtout en fonction de la trempabilité de l'acier. Pour les aciers au carbone, la trempe se fait dans l'eau de 20 à 40 °C. En ajoutant environ 10% de chlorure de sodium à l'eau pour obtenir une trempe plus efficace [20].

● Hypertrempe

C'est le traitement thermique typique appliqué à ces différentes nuances. Pour éviter le grossissement des grains, le séjour à la température de trempe doit être réduit au strict nécessaire pour chauffer la pièce à cœur et assurer la dissolution de la cémentite [21].

I.3.3.2 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 [10].

- Refroidissement rapide, à l'air.
- Refroidissement lent, dans le four.
- Trois types de recuit 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 $\alpha \rightarrow \gamma$

I.3.3.3 Le revenu :

D'après la trempe l'acier devient dur mais trop fragile pour être utilisé directement. Pour cela l'utilisation du revenu est nécessaire qui consiste à chauffer une pièce qui vient d'être trempée à une température inférieure au point de transformation, à la refroidir généralement à l'air, des fois à l'eau. Le but de ce revenu est d'éliminer les contraintes résiduelles qui sont provoquées par la trempe et d'augmenter la ténacité [10].

I.4 Acier au manganèse :

I.4.1 Définition :

Est un matériau qui est bien connu pour sa haute dureté en cours de service et son grand taux d'érouissage. C'est l'un des excellents matériaux résistants à l'usure qui a couramment été employé pendant les cent dernières années. Grâce 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 [24].

I.4.2 Microstructure de l'acier au manganèse :

A l'état brut de coulée, la structure microscopique de l'acier Hadfield se compose d'une matrice austénitique et de carbures. Ces carbures sont formés au dernier stade de solidification. Ils se trouvent généralement aux joints des grains austénitiques [4].

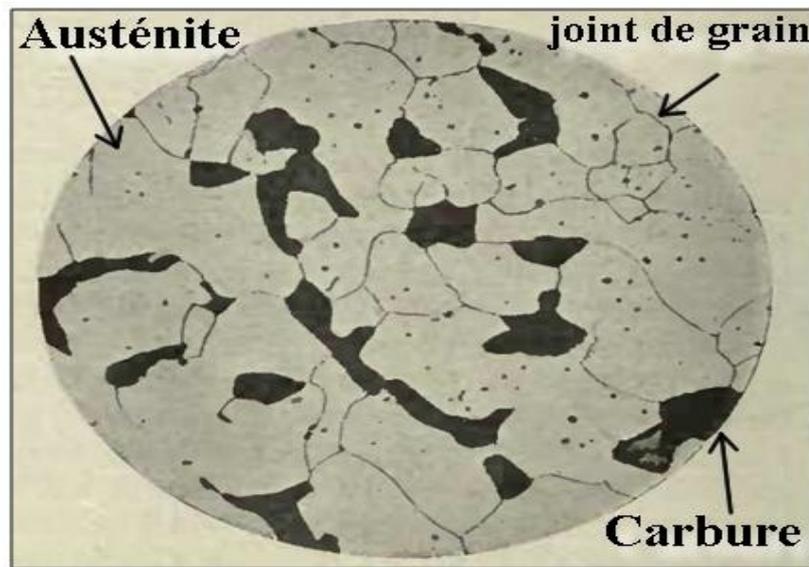


Figure I.4 : Microstructure des aciers au manganèse considérés.

I.4.2.1 Composition chimique :

Le manganèse et le carbone sont les principaux éléments d'alliage d'un acier austénitique au manganèse, dont la composition chimique est donnée par Tableau I.2 .

Ils assurent la formation de la phase austénitique cubique à face centrées, par hypertrempe , depuis la phase austénitique haute température combiné avec le manganèse, le carbone influence beaucoup les caractéristiques de l'austénite, c'est-à-dire sa résistance et sa limite élastique. La stabilité de l'austénite croit avec la teneur en carbone, mais la ductilité globale de l'alliage diminue quand cette dernière dépasse 1,2%, par suite de formation de précipités que l'on ne peut totalement remettre en solution. La teneur en manganèse n'a pas un grand effet sur la limite élastique, en revanche il augmente la résistance et la ductilité. Pour avoir une bonne ténacité et une bonne ductilité de l'austénite, il faut que la teneur en manganèse soit supérieure à 10% [22].

Les autres éléments d'alliage peuvent être rajoutés pour les raisons suivantes :

- Obtenir un durcissement de la solution solide gamma par précipitation.
- Améliorer la résistance à l'usure.
- Augmenter la stabilité de l'austénite, retarder la décomposition de ce dernier durant la déformation plastique ou un abaissement de température .Le tableau suivant représente les compositions chimique dans l'acier au manganèse.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu
0.95-1.3	0.65	11.5-14	0.05	0.03	0.5	0.75	1.75	0.045	0.3

Tableau I.2 : Compositions chimiques dans l'acier au manganèse.

Ces aciers n'ont pas une dureté élevée, mais ils possèdent une aptitude remarquable à s'écraser sous l'effet de faibles déformations plastiques. Ils ont de ce fait, une très bonne tenue au frottement, convenablement traitée, ils sont très peu fragiles. Leur haute aptitude à s'écraser, les empêche d'être usinable et ils peuvent être mis en forme que par moulage et rectification. Après coulée, ils sont constitués d'austénite et de carbure, qui se précipite aux joints de grains en altérant la résistance et la ductilité.

Les aciers austénitiques au manganèse conviennent pour des pièces de frottement (rails de chemins de fer, godets d'excavateur, mâchoires de concasseur...). L'acier le plus connu de cette catégorie est l'acier Hadfield de désignation normalisée X120Mn12 [21].

Les deux chercheurs Tofaute et al [23], ont montré que l'acier Hadfield peut avoir une structure austénitique à la température ambiante lorsque l'indice Mneq, fonction des teneurs en Mn et C, vérifie :

$$\mathbf{Mneq=(\%Mn) +13(\%C) \geq 17 \quad (1-1)}$$

Les propriétés mécaniques sont directement liées à la composition chimique. Pour ce type d'acier, le rapport Mn/C doit être supérieur à 11, sinon les carbures se forment dans les joints de grains et à l'intérieur de ceux-ci.

Le métal est alors plus résistant avant écrouissage mais aussi plus fragile. Cette condition s'écrit :

$$\mathbf{Mn \geq 11(\%C) \quad (1-2)}$$

Les relations (1-1) et (1-2) définissent un domaine optimal de composition chimique des aciers Hadfield. On note que l'acier actuel de boulet de broyage se situe de la frontière définie par la relation (1-1), ce qui explique la nécessité du traitement thermique d'hypertrempe quelle que soit la vitesse de refroidissement de l'alliage au moment de son élaboration, des carbures forment dès que la teneur en carbone atteint 1%, rendant le traitement thermique d'hypertrempe nécessaire [2].

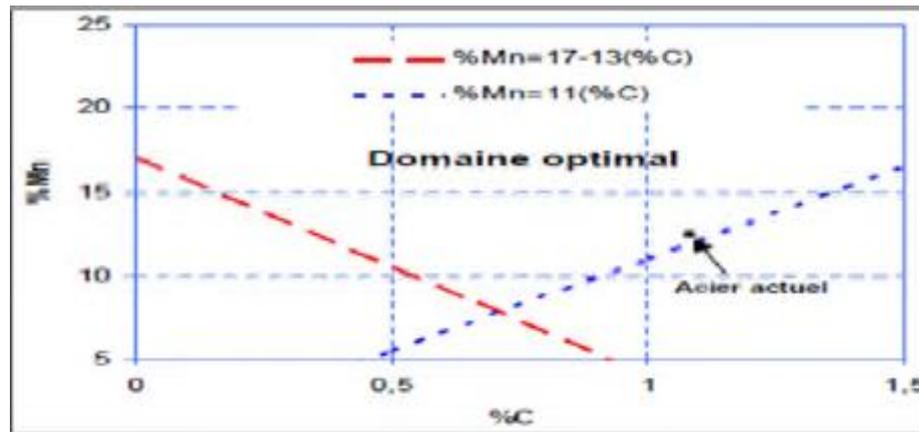


Figure I.5 : Domaine de composition optimale selon les équations (I.1) et (I.2) des aciers au manganèse [21].

I.4.3 Domaine d'utilisation des aciers au manganèse :

On trouve dans ce tableau des différents aciers au manganèse avec leurs différents domaines d'utilisation :

NUANCES F.A.R	Caractéristiques technologiques	Dureté	Types de pièces Conseillées
		En service HV.	
Mn 12	Acier pour grosse pièces d'épaisseur supérieur à 150mm, soumise à chocs violents et pour pièces qui exige 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 - Écrans de chocs.
MnX50	Aciers de nouvelle conception, résultat des laboratoires de recherche, développement et expérimentation FAR, les meilleures anti usure, écrouissage et résistance aux impacts et/ou déformation	700	Marteaux - plans de chocs - mâchoires – cône giratoire manteaux - écrans de chocs - etc.

	des manganèses communs, résumer et optimisé dans matériel inique et universel avec grande performance dans les plus variées applications.		
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 petite taille.	700	Cônes et mâchoires pour concasseurs giratoire secondaires et tertiaires, mâchoires et marteaux pour emplois.
MnCr 18.2	Acier qui a de très bonne caractéristique anti usure et de résistance aux déformations.	600	Percuteurs primaires et secondaire, mâchoires, cônes.
MnCr 20.3	Acier qui a d'excellentes qualités anti-usure pour emploi 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 petites épaisseurs et peu soumises à chocs.	600	Plaques de blindage

Tableau I.3 : Domaine d'utilisation des aciers au manganèse [12].

I.4.4 Diagramme fer-carbone-Mn :

La structure à haute température de l'alliage Fe-Mn dépend essentiellement de la proportion relative de manganèse, élément γ -gène qui étend le domaine austénitique γ , les éléments présents dans l'alliage ont un caractère α -gène ou γ -gène. Parmi les éléments γ -gènes, outre le manganèse, on trouve le nickel, le carbone, le cuivre et l'azote. Parmi les éléments α -gènes, outre le chrome, on trouve le silicium et le molybdène, le niobium, le titane et le tungstène sont des éléments réputés carburigènes. Ces aciers sont constitués en majeure partie d'austénite métastable. En effet, comme le montre la figure (Figure I.3), on ne peut retrouver à la température ambiante 100% d'austénite qu'après un refroidissement rapide. Dans le cas d'un refroidissement insuffisamment rapide, on voit que la structure sera constituée de cémentite-ferrite-austénite ou cémentite-ferrite la teneur en carbone de l'alliage, suivant son degré de stabilité, fixé par sa composition chimique, l'austénite peut se transformer partiellement en martensite α lorsque le matériau est soumis à un écrouissage suffisant ou à un abaissement de la température. La formation de la martensite α (structure cubique face centre) ne se fait pas en général directement à partir de l'austénite, mais par l'intermédiaire de la formation préalable de martensite ϵ à structure hexagonale qui compacte contrairement à la martensite α n'est pas ferromagnétique [3].

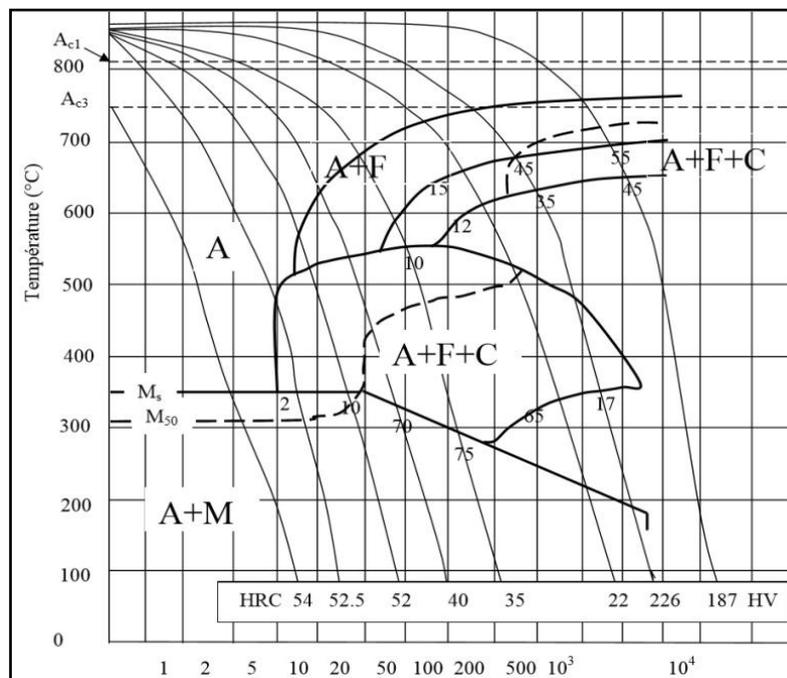


Figure I.6 : Diagramme HRC TT.

I.4.5 Effet des éléments de base des aciers au manganèse :

I.4.5.1 Manganèse :

Le manganèse est un élément carburigène. Dans les acier Hadfield, il favorise la formation des carbures de Mn_3C et de (Fe,Mn_3C) . L'augmentation de sa teneur de 10 à 14% dans ce type d'acier provoque une augmentation de la quantité de ces carbures à l'état brut de coulée [4]. Ceci conduit à une amélioration de la dureté et de résistance à l'abrasion si ces carbures sont distribués uniformément dans la matrice austénitique.

Le manganèse est également un élément gamma gène, l'augmentation de sa teneur dans les alliages Fe-Mn provoque un rétrécissement du domaine martensitique.

Son addition en grande quantité peut conduire à la formation d'une structure complètement austénitique. L'effet de la teneur en manganèse sur la microstructure et les propriétés mécaniques de l'acier Hadfield est montré par la figure 2 [5].

I.4.5.2 Carbone :

Le carbone influe considérablement sur le changement des propriétés mécaniques de l'acier Hadfield. Il a été constaté que l'augmentation de sa teneur de 1 à 1.4% dans cet acier favorise la formation des carbures de type M_3C conduisant à une amélioration de la limite d'élasticité, de la résistance à l'usure et de la résistance à la traction mais provoquant une diminution de la dureté [6].

I.4.6 Impact du traitement thermique sur la structure de l'acier au manganèse :

Il est bien connu que l'acier Hadfield ayant une structure composée d'austénite et des carbures aux joints de grains, ce qui rend cet acier un matériau fragile pour (à l'état brut de coulée). Afin de résoudre ce problème, Sabzi et al [10] ont montré que si on trempe l'acier Hadfield dans un bain d'eau salée, sachant que la température d'austénitisation est entre 900°C et 1150°C , on peut éviter la formation de réseau de carbure fragilisant l'acier. Lorsque la quantité de sel dans la solution de trempe augmente, l'intensité de refroidissement de cette solution augmente, ce qui empêche la formation d'une grande quantité de carbures.

Dans une partie de leurs études, un certain nombre de chercheurs comme Smith et al ont étudié l'effet de la température du recuit [10] , et ont montré qu'avec l'augmentation de la température et du temps de ce processus, la quantité d'inclusions (des composées tels que des oxydes et des sulfures qui se forment à l'état fondu et se solidifient en lingots et en plaques) dans la microstructure de ces aciers diminue. Dans le but d'assurer de meilleures propriétés

mécaniques pour l'acier austénitique au manganèse Hadfield, les températures proposées par Sabzi et al, sont comprises entre 900°C et 1150°C [10].

Dans le cadre d'étudier l'effet des paramètres du traitement thermique sur les propriétés mécaniques, les précipitations, la durée de vie en fatigue et le mode de fracture de l'acier Hadfield dans le domaine austénitique, Kang et al ont proposé un traitement thermique de mise en solution à une température de 1100°C pendant 2h suivi d'une trempe à l'eau pure et dans un bain de sel à 3% NaCl a été appliqué [11].

Les résultats ont montré que la microstructure de l'échantillon trempé dans le bain de sel contient plus de précipités de Mn_3C . Cet échantillon présente également une dureté faible comparé à celle de l'échantillon trempé à l'eau. Alors que sa durée de vie en fatigue est la plus longue. Dans ce cas, le mode de fracture est plus ductile.

I.4.7 Formation de phases telles que l'austénite, la ferrite et la martensite dans l'acier au manganèse :

I.4.7.1 La ferrite α :

La quantité de carbone est trop petite dans ce dernier. La solution solide de carbone dans le fer alpha est appelée la ferrite. A 727 °C, cette phase contient au maximum 0.022 % de carbone. La teneur en carbone dans la ferrite tend vers zéro à 912°C. La quantité de carbone diminue quand la ferrite est refroidie à la température ambiante. La structure ferritique est cubique centrée et à la fois ductile et tenace.

Toutes les fontes et les aciers contiennent de la ferrite, cette phase comporte la même quantité de carbone, quelle que soit la teneur en carbone de l'acier ou de la fonte. La formation de cette ferrite commence dès qu'un acier ou une fonte est refroidie en dessous de 727°C [1].

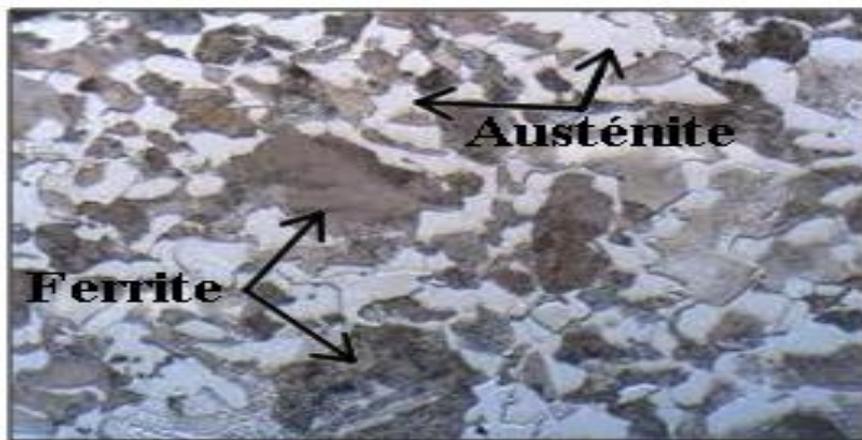


Figure I.7 : La microstructure de la ferrite.

I.4.7.2 L'austénite γ :

L'austénite est une solution solide de carbone dans le fer γ . Cette phase est stable entre $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $1538\text{ }^{\circ}\text{C}$. À $T=1147\text{ }^{\circ}\text{C}$ le fer peut dissoudre jusqu'à 2.14% de carbone. L'austénite est cubique à faces centrées. Elle ne se forme pas à température ambiante, mais elle se localise à haute température, c'est un domaine important pour effectuer les traitements thermiques des aciers [1].

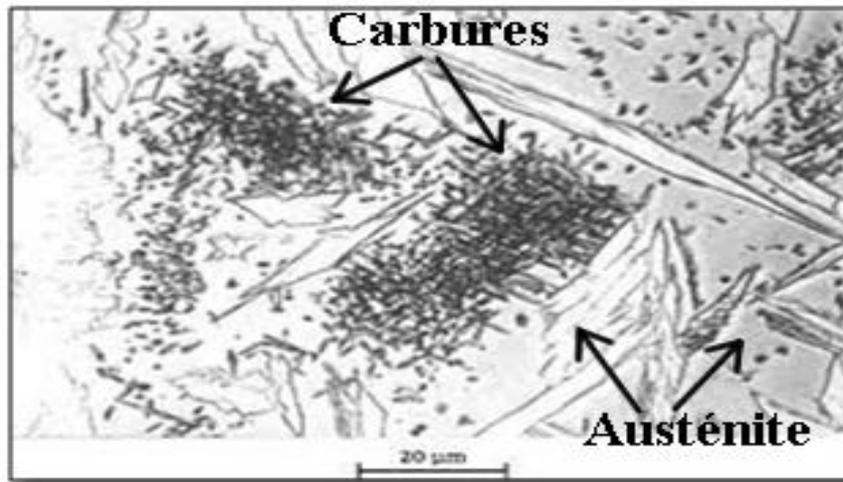


Figure I.8 : La microstructure de l'austénite γ .

I.4.7.3 La martensite :

La martensite est une solution sursaturée en carbone dans le réseau du fer α . Cette saturation en carbone provoque une distorsion du réseau de la maille de la martensite α dépendent de sa teneur en carbone. La teneur en carbone augmente la dureté de la martensite.

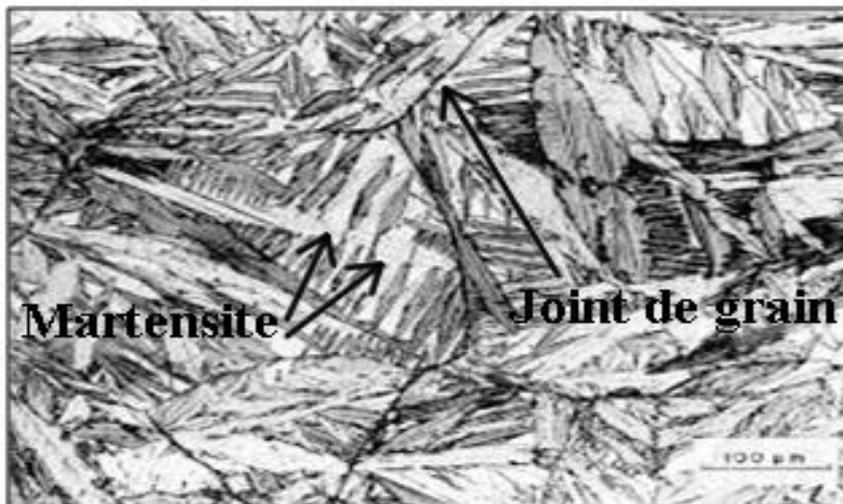


Figure I.9 : La microstructure de la martensite.

I.4.8 Mise en avant des propriétés uniques de l'acier au manganèse :

L'acier au manganèse se distingue des autres types d'acier par un ensemble de propriétés uniques qui le rendent particulièrement adapté à des applications spécifiques comme les blindages balistiques ,les mâchoires de concasseurs ,les rails de chemins de fer et les dents d'engins de chantier.

Voici quelques-unes de ses caractéristiques les plus remarquables :

- Résistance à l'usure exceptionnelle.
- Résilience et ténacité élevées.
- Non magnétique.
- Bonne soudabilité.
- Recyclabilité.
- Résistance à la corrosion [13].

I.4.9 Résistance, ténacité et résistance à l'usure d'un acier au manganèse :

L'acier au manganèse se distingue des autres types d'acier par sa combinaison unique de résistance, ténacité et résistance à l'usure.

I.4.9.1 Résistance :

L'acier au manganèse est généralement plus résistant que les autres types d'aciers, avec une résistance à la traction pouvant atteindre 1200MPa. Cette résistance élevée le rend idéal pour les applications où la force et la durabilité sont essentielles, comme les ponts, les bâtiments et les machines industrielles [14].

I.4.9.2 Ténacité :

La ténacité est la capacité d'un matériau à absorber de l'énergie avant de se rompre .L'acier au manganèse est plus tenace que la plupart des autres aciers, ce que signifie qu'il peut supporter des chocs importants et des déformations importantes sans se fissurer. Cette propriété particulièrement importante pour les applications où la sécurité et la fiabilité sont primordiales, comme les équipements de construction et les engins de chantier [15].

I.4.9.3 Résistance à l'usure :

L'acier au manganèse l'un des aciers les plus résistants à l'usure. Cette propriété est due à la présence de manganèse, qui forme une couche dure et résistante à la surface de l'acier .Cette résistance à l'usure est particulièrement utile pour les applications où l'acier est soumis à des frottements intenses, comme les excavatrices les concasseurs et les broyeurs [16].

I.5 Généralité sur la dégradation par corrosion :

Comme tous les matériaux de construction, l'acier a tendance à se dégrader superficiellement une fois soumis à des milieux corrosifs comme le sol, l'air et donc le milieu

marin. La corrosion est celle de la détérioration des matériaux par interaction chimique avec leur prise, entraînant des modifications au sein des propriétés du métal généralement au milieu d'une dégradation pratique de ce dernier (altération de ses propriétés mécaniques, électriques, etc.). Les mécanismes concernés sont nombreux et aboutissent à des types de corrosion totalement différents [7 ,8].

I.5.1 Définition :

La corrosion désigne l'ensemble des phénomènes par lesquels un métal ou un alliage métallique tend à s'oxyder sous l'influence de réactifs gazeux ou en solution.

La corrosion coûte cher et pose de redoutables problèmes : elle induit de graves dommages, cause de nombreux accidents et n'est pas sans conséquences écologiques notables [9].

I.5.2 Catégories de dégradation par corrosion :

Les causes de la corrosion sont multiples et complexes et elles résultent d'interactions chimiques et /ou physiques entre le matériau et son environnement.

Les différents paramètres qui favorisent la corrosion d'un matériau sont :

- Composition chimique et microstructure du métal,
- Composition chimique de l'environnement,
- Paramètres physiques (température, irradiation, etc.)
- Sollicitations mécaniques (contraintes, chocs, frottement, etc.).

Donc on peut dire que les phénomènes de corrosion dépendent du matériau et du milieu environnant [17].

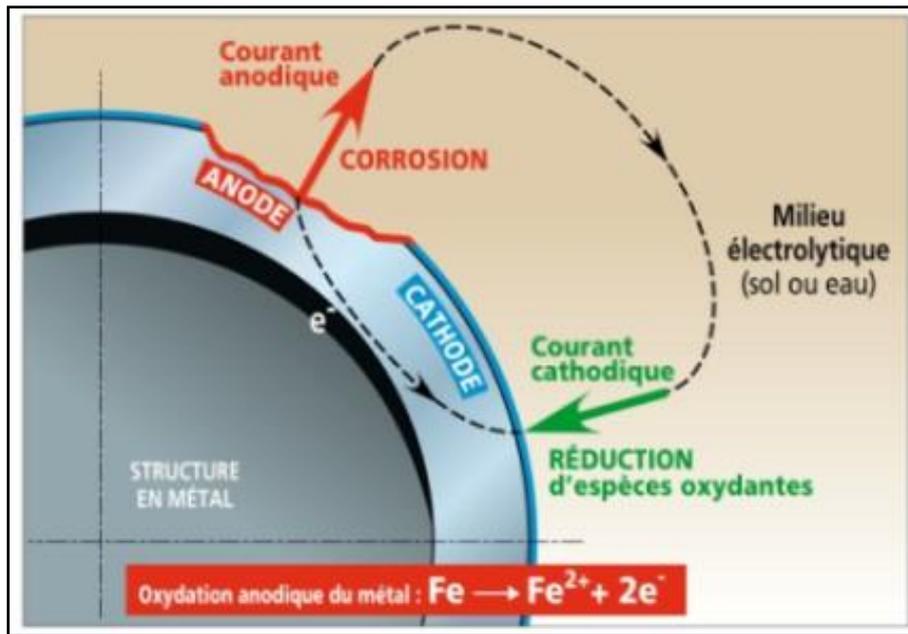
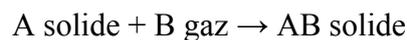


Figure I.10 : La nature des paramètres la corrosion.

I.5.2.1 Corrosion chimique (sèche) :

La corrosion chimique est l'attaque directe du métal par son environnement. Ce type de Corrosion se développe dans une solution non électrolyte ou sur action des gazeux (d'O₂, H₂ Et CO₂). Lorsque le réactif est gazeux ou cette corrosion se produit à haute température, elle Est alors appelée : Corrosion sèche ou corrosion à haute température [17].

La réaction qui se produit est de la forme :



I.5.2.2 Corrosion électrochimique (humide) :

Si le réactif est liquide, il est en général, accompagné d'une corrosion électrochimique produite essentiellement par l'oxydation d'un métal sous forme d'ions ou d'oxydes et réduite l'agent corrosif existant dans la solution électrolyte. Par ailleurs, elle se produit par des transferts électroniques entre un métal et une solution électrolytique à son contact (circulation d'un courant électrique) [17].

Pour une corrosion électrochimique on a :



I.5.3 Evolutions des types de corrosion dans les aciers au manganèse :

Les aciers au manganèse sont des aciers alliés qui contiennent une teneur en manganèse comprise entre 1,6 et 2,0%. Ils sont utilisés pour leurs propriétés mécanique supérieures,

notamment leur résistance à l'usure, leur résistance à la traction et leur résistance à la corrosion.

I.5.3.1 Corrosion uniforme ou généralisée :

La corrosion généralisée est la forme la plus répandue et peut être détectée longtemps avant qu'un ennui vienne interrompre la vie de la structure métallique.

La vitesse d'écoulement, le PH et la température du milieu ont une influence importante sur le taux de corrosion uniforme [17].



Figure I.11 : Corrosion généralisée.

I.5.3.2 Corrosion localisée :

La corrosion localisée est la forme la plus insidieuse. Elle survient sur une partie du métal qui représente un lieu spécifiquement anodique, clairement distingué, dont la surface est très faible devant le reste de la structure métallique qui constitue la zone cathodique (Figure .I.7). En effet, pour une perte de poids minime, ce type de corrosion peut être catastrophique.

La corrosion uniforme peut être réduite ou évitée arpon choix convenable du matériau, la modification du milieu ou la protection cathodique [17]. La corrosion localisée est définie comme étant une attaque qui se déroule en un milieu spécifiquement anodique d'une surface d'un matériau. Dans ce cas de réaction, on distingue clairement les zones anodiques et cathodiques.

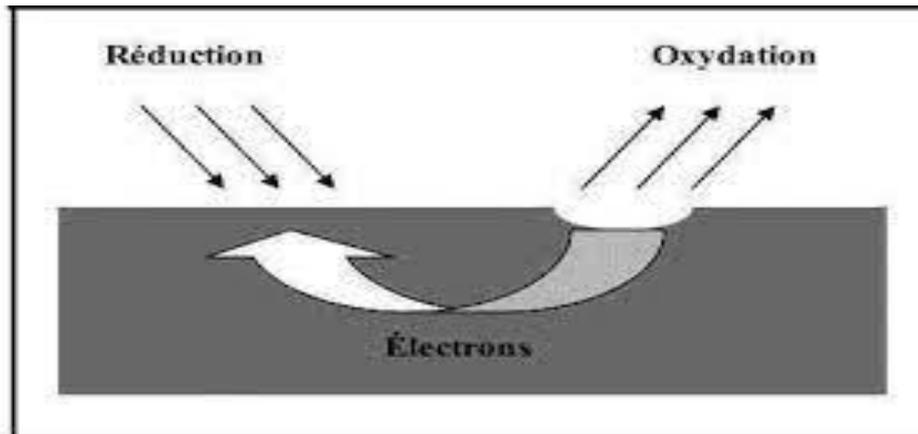


Figure I.12 : Corrosion localisé.

I.5.3.3 Corrosion par piquuration :

C'est une forme de corrosion localisée produite par certains anions, notamment les halogènes et plus particulièrement les chlorures, sur les métaux protégés par un film d'oxyde mince. Elle induit typiquement des cavités de quelques dizaines de micromètres de diamètre [17].

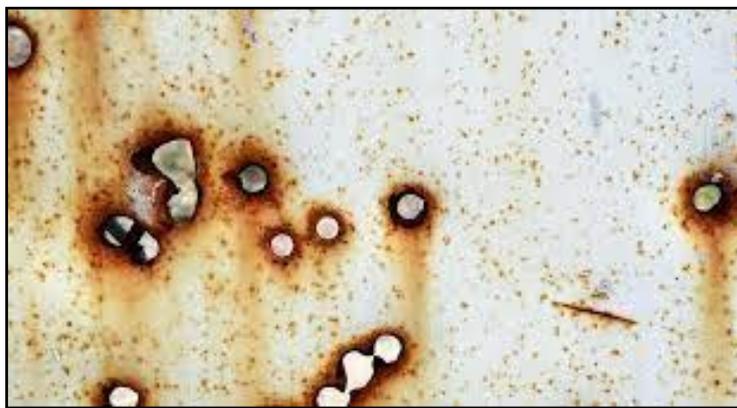


Figure I.13 : Corrosion par piquuration.

I.5.3.4 Corrosion inter granulaire (inter cristalline) :

C'est une forme de corrosion localisée s'attaquant aux joints de grains, rendant la structure mécaniquement fragile. C'est une attaque sélective aux joints de grains, souvent, il s'agit de phases qui ont précipitées lors d'un traitement thermique.

C'est un type de corrosion particulièrement dangereux car, bien que la quantité de métal attaque soit faible, les caractéristiques mécaniques du métal sont altérées car les fissures ainsi

produites affaiblissent le métal. Par exemple ; l'acier inoxydable austénitique sensibilisées à chaud par précipitation du carbure de chrome aux joints des grains [18].

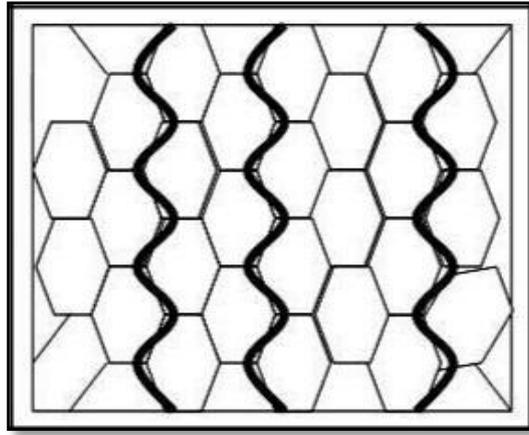


Figure. I.14 : Corrosion inter granulaire.

Chapitre II :
Matériaux et techniques
expérimentales

Introduction

Dans ce chapitre, nous avons examiné l'acier au manganèse fourni par la fonderie de Tiaret à l'état brut, destiné à la fabrication des concasseurs. Pour améliorer les propriétés mécaniques de ces concasseurs, notamment la résistance à l'usure et la résistance aux chocs, nous avons préconisé des traitements thermiques.

Dans ce travail, nous avons effectués des traitements thermique d'austénitisation sur nos échantillons de forme parallélépipédique à de température de 1050 °c, suivi d'un revenu à 600°C, et nous avons utilisé deux types de refroidissement :à l'eau et l'eau glacée. Nous avons ensuite procédé à une caractérisation microstructural et structural en utilisant le microscope optique (MO) et la diffraction X (DRX).En autre, une caractérisation mécanique basée sur les essais de dureté et les essais de résilience a été réalisée .Il convient de noter que tous les essais ont été effectués sur les échantillons à l'état brut et sur ceux ayant subi différents traitements thermiques.

II.1matériaux utilise :

II.1.1.présentation du matériau :

Dans ce travaille, le matériau utilisé est un acier allié au manganèse de nuance **X120Mn12**. Sa composition chimique est indiquée dans le tableau II.1 suivant :

Éléments	C	Si	Mn	Ph	S	Cr	Fe
%Massiques	1,1-1,3	0,3-0,5	12-13	0,6 max	0,4 max	1,5 max	Bal

Tableau II.1: Composition chimique de l'acier Hadfield.

II.2 Elaboration des échantillons :

II.2.1 Préparation des échantillons :

Une plaque brute de forme parallélépipédique nous été fournie par la fonderie de Tiaret. Nous avons ensuite procédé à plusieurs étapes pour élaborer des éprouvettes normalisées de résilience et des échantillons comprennent :

- Phase de fraisage (surfaçage) : nous avons usiné la plaque brute en utilisant la fraiseuse universelle FH 1.6 du hall de technologie. L'outil utilisé était une fraise de diamètre 120 mm avec 6 dents en carbure. Les conditions de coupe utilisées étaient

une vitesse de coupe (V_c) de 40 m/min, une vitesse d'avance de 50 mm /min et une profondeur de passe de 0,5 mm.

- Découpage des échantillons : nous avons découpé la plaque usinée pour obtenir des échantillons témoins et des éprouvettes de résilience selon les dimensions requises.

Cette méthodologie nous a permis de préparer des échantillons normalisés et reproductibles pour nos essais et analyses ultérieurs.

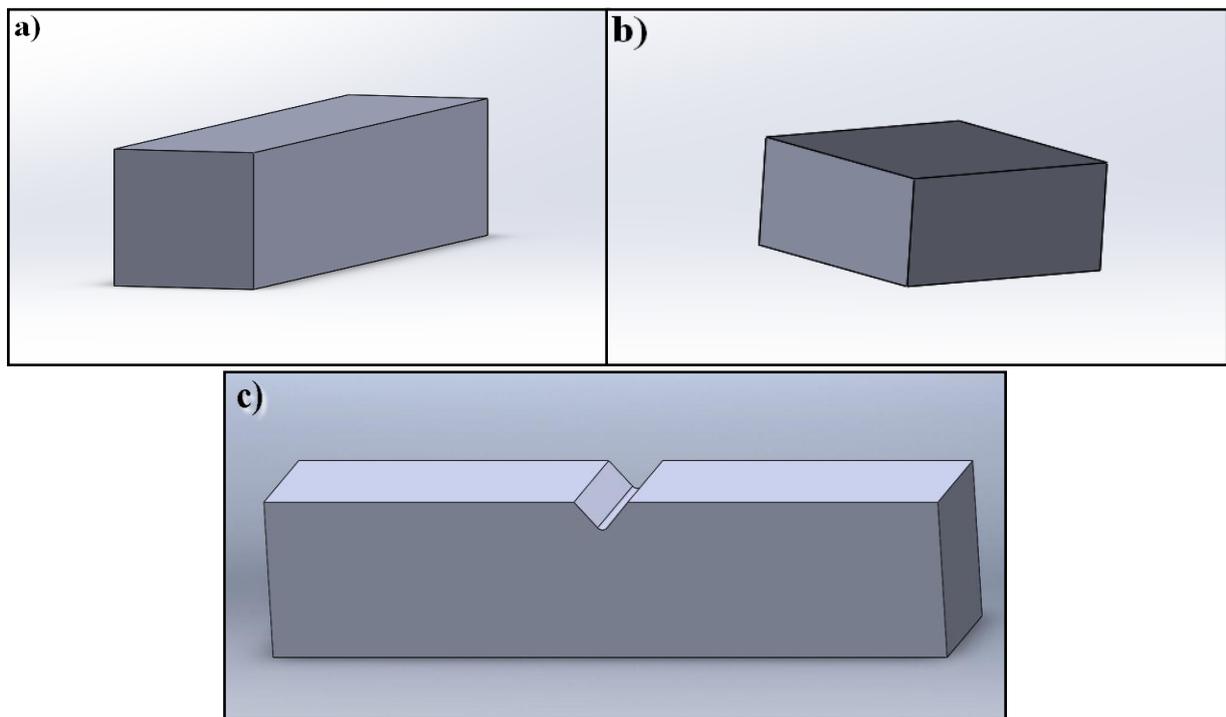


Figure II.1: Illustration de la plaque parallélépipédique en acier au manganèse. a) surfacage de la plaque, b) échantillon pour traitement thermique, c) éprouvette de résilience.

II.3 Traitement thermique :

Le traitement thermique d'une pièce métallique implique généralement des processus tels que le chauffage, le maintien à une température spécifique pendant un certain temps, suivi d'un refroidissement contrôlé. Ces étapes sont conçues pour modifier la structure cristalline du métal, ce qui peut améliorer ses propriétés mécaniques. Dans le cadre de ce travail, les traitements thermiques ont été réalisés au sein du hall de technologie du département de génie mécanique en utilisant un four électrique. Ce four électrique offre un contrôle précis de la température, ce qui est crucial pour assurer la reproductibilité des résultats et l'obtention des propriétés désirées dans la pièce métallique traitée.



Figure II.2 : Four a moufle utilise au niveau du hall technologie.

Le traitement thermique des pièces est appliqué en suivant le cycle présenté sur la figure ci-dessus :

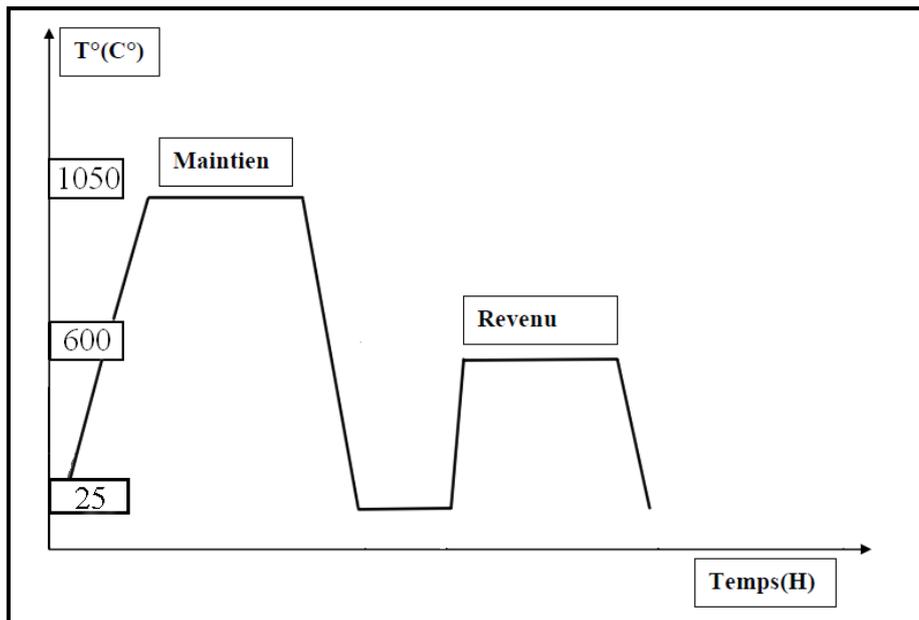


Figure II.3 : Cycle de traitement thermique.

II.4 Polissage :

Dans notre cas, le polissage mécanique vise à uniformiser les surfaces. Il consiste à abraser la surface avec une polisseuse à l'aide de papiers abrasif de grade progressif (400, 600,800, 1000, 1500,2000), pour obtenir une surface réfléchissante adaptée aux observations métallographiques, comme indiqué dans la figure ci-dessous :



Figure II.4 : La polisseuse (Metaserv 2000).

Pour étudier la microstructure des phases de l'acier au manganèse, il est nécessaire de procéder à une attaque chimique afin de mettre en évidence les principales phases séparées par des joints de grains. Le réactif employé est le Nital, constitué de 5% d'acide nitrique (HNO_3) et de 95% d'éthanol (alcool éthylique $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). On maintient la surface de l'échantillon en contact avec ce réactif jusqu'à ce qu'une coloration plus sombre apparaisse.

II.5 Méthode de caractérisation :

II.5.1 Microscope optique :

La métallographie est une méthode essentielle pour analyser la microstructure des métaux .En utilisant un microscope optique ,cette technique permet d'examiner divers aspects tels que la nature de la structure ,la distribution des phases ,la taille et la forme des grains, ainsi que la présence éventuelle d'inclusion ou de traitement thermique .De plus, elle permet d'observer les effets de déformation ou de traitement de surface ,comme les lignes de glissement .En somme ,sans recourir à la métallographie ,une simple observation visuelle d'un matériau métallique ne fournira que des informations limitées ,principalement sur son état de surface.



Figure II.5 : Microscope optique (Zwick ZHV 10).

II.5.2 Analysé par fluorescence des rayons x :

La spectrométrie de fluorescence x est une technique d'analyse élémentaire globale permettant d'identifier et de déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent un échantillon.

L'échantillon à analyser est placé sous un faisceau de rayon x .sous l'effet de ces derniers, les atomes constituant l'échantillon passent de leur état fondamental à une état excite. L'état excite est instable, les atomes tendent alors à revenir à l'état fondamental en libérant de l'énergie, sous forme des photons x notamment. Chaque atome, ayant une configuration électronique propre, va émettre des photons d'énergie et de longueur d'onde propre. C'est le phénomène de fluorescence x qui est une émission secondaire de rayons x, caractéristiques des atomes qui constituent l'échantillon. L'analyse de ce rayonnement x secondaire permet à la fois de connaître la nature de ces éléments chimiques présents dans un échantillon ainsi que leur concentration massique.



Figure II.6 : Spectromètre pour l'analyse par la fluorescence des rayons X.

II.5.3 Analysé par diffraction des rayons X :

Afin d'identifier la nature des phases présentes dans les échantillons, une analyse par diffraction des rayons X est effectuée.

Les diagrammes de diffraction RX ont été enregistrés à l'aide d'un diffractomètre de type (X'PERT PRO MRD de chez PANalytical), de PTAPC de Béjaia, équipé d'un tube RX à anode en cuivre (Figure II.7).

• Principe de fonctionnement :

Les rayons X sont des ondes électromagnétiques avec une longueur d'onde comprise entre $0,1\text{Å}$ et 10Å . L'échantillon à analyser est positionné dans un porte-échantillon, lequel est fixé au goniomètre par aimantation. Ce dernier reçoit un faisceau de rayons incidents émanant du tube, qui est ensuite diffusé sur le détecteur des rayons X, tournant autour de l'échantillon. Il y a deux types de rotations : une rotation de l'échantillon à un angle θ et de 2θ pour le détecteur, avec une source de rayons X fixe (comme illustré dans la figure II.7), ou bien une rotation de θ pour le détecteur et la source de rayons X, tandis que l'échantillon reste fixe. Le diffractomètre est contrôlé par ordinateur, où les paramètres d'analyse sont entrés dans le logiciel Xpert HighScore Plus.



Figure II.7 : Dispositif Diffraction X : X'PERT PRO MRD de chez PANalytical.

II.5.4 Microdureté :

Le test de micro dureté est effectué à l'aide d'un Micro duromètre de type Zwick Roell ZHv10 (voir figure II.8). Son objectif est de mesurer la micro dureté des phases microstructurales (matrice et carbures) afin d'estimer la dureté des phases formées dans l'acier suite aux diverses additions et traitements thermiques appliqués.

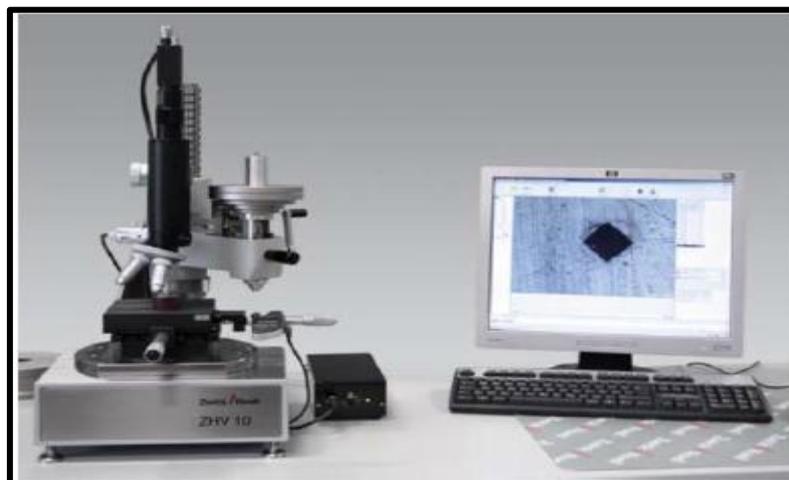


Figure II.8 : Microduromètre de type Zwick Roell ZHv10.

II.5.5 Corrosion :

Les études de corrosion ont pour but de façon générale, de déterminer quantitativement la dégradation d'un matériau au cours du temps. La méthode la plus simple, et la moins coûteuse est celle de la perte de masse.

Le dispositif expérimental est représenté par la figure (II.9) qui nécessite le matériel de laboratoire suivant :

- Échantillons en acier au manganèse.
- Balance de précision de sensibilité (10^{-3} g).
- Solution.
- Bêchers.

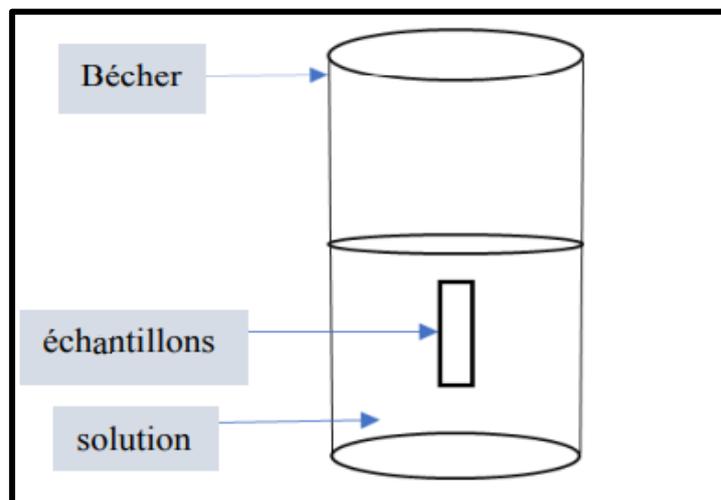


Figure II.9 : Dispositif expérimental de la corrosion.

L'utilité de l'activité de la masse perdue consiste dans l'analyse de la vitesse de corrosion qui est définie comme une perte de poids par unité d'espace et de temps et est exprimée en (g / cm².an). Le taux de corrosion est calculé à partir de la formule suivante : $\tau = 365 \Delta m St$ avec $\Delta m = m_i - m_f$ III.1

m_i : masse de l'échantillon avant l'essai en (g).

mf : masse de l'échantillon après l'essai en (g). S : surface de l'échantillon en (cm²). t : temps d'immersion en (jour).

II.6 Essai mécanique utilisé dans notre étude :

II.6.1 Essai de résilience :

L'essai de résilience permet de caractériser la fragilisation d'un matériau, ou bien un rapport d'énergie cinétique absorbée nécessaire pour provoquer la rupture d'une éprouvette entaillée (le but de l'entaille est de fragiliser le matériau), qui se nomme éprouvette de Charpy à l'aide d'un mouton Charpy. Ce rapport s'exprime en J/cm², caractérisé la résistance au choc. Pour faire cet essai on pose d'abord l'éprouvette sur un support qui se trouve au point le plus bas sur la trajectoire du marteau. Puis on écarte le bras jusqu'à ce que le marteau atteigne sa position initiale P (qui correspond à une énergie de départ $w_0=300J$) et on le lâche, il brise cette éprouvette. Après la rupture, le marteau remonte en position finale P' comme montré à la figure ci-dessus. La machine est munie d'un index permettant de connaître la valeur de S l'énergie absorbée.

La machine à essai de Charpy est définie comme suite :

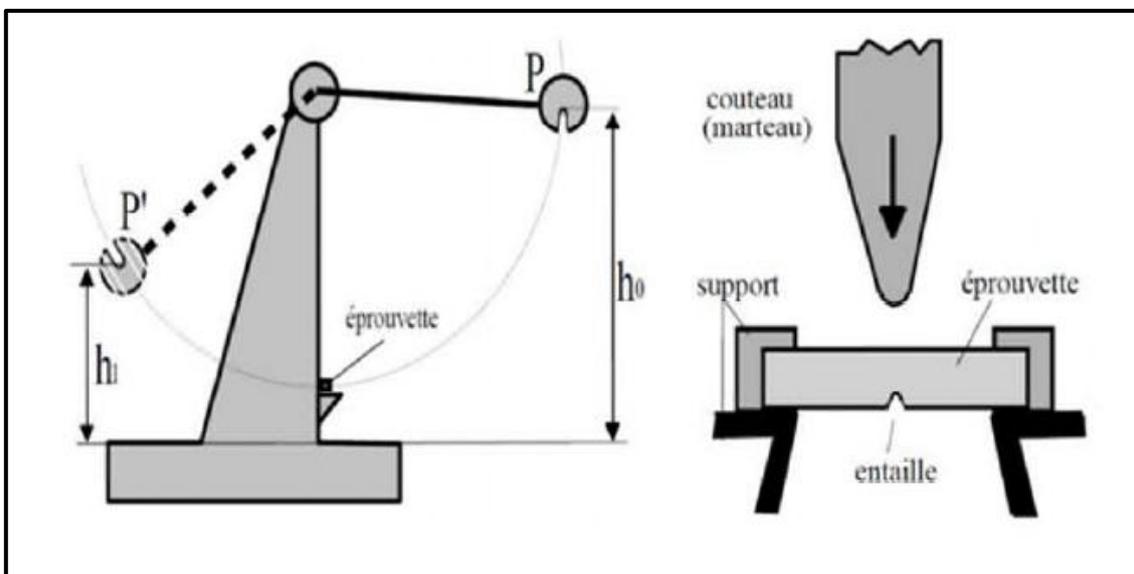


Figure II.10 : Schématisation de l'essai de résilience.

$$K_{cv} = \frac{w}{s} = \frac{w_0 - W_1}{s}$$

Où : $W_0 = mgh_0$ et $W_1 = mgh_1$

W = énergie absorbée par la rupture.

W_0 = énergie de départ.

W_1 = énergie non absorbée.

m = masse du pendule.

g = gravité.

h_0 = hauteur initiale du pendule.

h_1 = hauteur après rupture de l'éprouvette.

s = surface à l'endroit de l'entaille en cm^2



Figure II.11 : Mouton pendule Charpy de capacité 750J.

Conclusion

L'ensemble des techniques de métallographie, telles que le traitement thermique, le polissage, l'utilisation du microscope optique, la fluorescence et la diffraction des rayons X, ainsi que la micro dureté, la rugosité et les essais de résilience, constitue un arsenal puissant

pour l'analyse des matériaux métalliques. Ces méthodes nous permettent de comprendre en profondeur la structure, la composition et les propriétés des métaux, allant de leur résistance à la corrosion à leur comportement sous contrainte. En intégrant ces techniques dans nos processus de fabrication et de contrôle qualité, nous sommes en mesure d'optimiser les performances des matériaux métalliques, de garantir leur fiabilité et leur durabilité, et d'innover dans de nombreux domaines industriels, contribuant ainsi à des avancées significatives dans la technologie et l'ingénierie.

Chapitre III :

Résultats et discussions

Introduction

Ce chapitre présente des résultats visant à examiner l'influence des traitements thermiques sur la microstructure, les propriétés mécaniques et les performances tribologiques des aciers fortement alliés au manganèse. Les résultats expérimentaux présentés dans ce chapitre ont été obtenus à l'aide de plusieurs techniques. La microscopie optique permet d'observer en détail la microstructure des aciers, révélant la distribution des phases et la taille des grains. La diffraction des rayons X (DRX) fournit des données précises sur les phases cristallines présentes et leur évolution après traitement thermique. La mesure de la microdureté permet d'évaluer la dureté locale des matériaux afin de comprendre les variations de résistance mécanique. Les tests d'usure pour déterminer la résistance à l'abrasion des aciers.

III.1 Caractérisation par diffraction des rayons X d'acier fortement allié au manganèse :

III.1.1 analyse structurale par diffraction x :

Dans la figure III.1, les spectres de diffraction des rayons X (DRX) illustrent l'impact des divers traitements thermiques sur la structure cristalline des matériaux étudiés. Chaque spectre, identifié de (a) à (e), correspond à une condition de traitement spécifique et fournit des informations sur les phases présentes telles que l'austénite, la martensite et des carbures

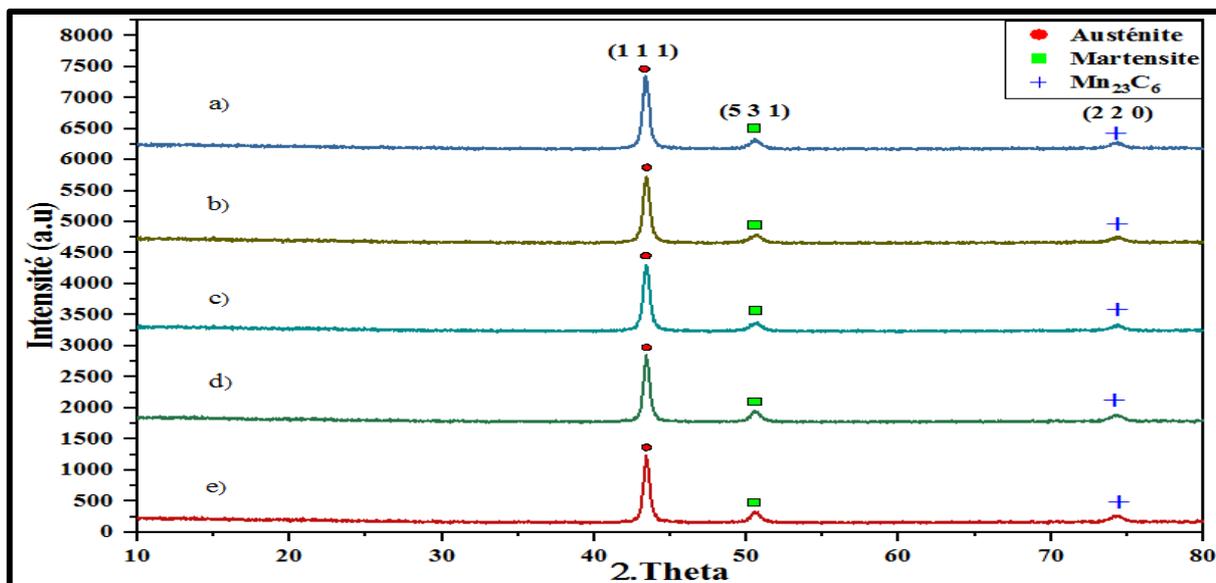


Figure III.1 : Spectres de diffraction X des différents échantillons de l'acier au manganèse. a) témoin b) 1050°C trempé à l'eau c) 1050°C trempé à l'eau glacée d) 1050°C trempé à l'eau revenu à 600°C e) 1050°C trempé à l'eau glacée revenu à 600°C.

Selon l'analyse spectrale présentée dans la figure III.1 plusieurs pics correspondant respectivement aux phases d'austénite, de martensite et de $Mn_{23}C_6$, diffractés selon les plans cristallins (111), (531) et (220). Ces observations suggèrent que les traitements thermiques appliqués ont principalement un effet sur la quantité et la distribution de ces phases, sans altérer leur structure cristalline fondamentale. La position des pics demeure constante à travers les différents spectres, indiquant une stabilité structurale des phases malgré les variations induites par les traitements.

L'analyse du spectre (a) (témoin) révèle que l'austénite est la phase dominante dans l'échantillon, accompagnée de proportions mineures de martensite et de $Mn_{23}C_6$. Les spectres (b) et (c) témoignent de l'effet du refroidissement rapide post-traitement thermique sur la composition des phases. On observe une augmentation de la phase martensitique et de précipités au niveau des joints de grains. Cette augmentation de la martensite résulte de la transformation de l'austénite. En revanche, les spectres (d) et (e) renvoient au revenu effectué après trempe qui se traduit par une diminution du taux de martensite et une augmentation de l'austénite. Cette évolution est attribuée à la relaxation des contraintes internes engendrées par la formation de martensite.

III.1.2 Quantification des phases par diffraction x :

La figure (III.2) présente la quantification des phases par diffraction des rayons X, une méthode utilisée pour évaluer la proportion relative des différentes phases cristallines présentes dans ces échantillons de l'acier au manganèse.

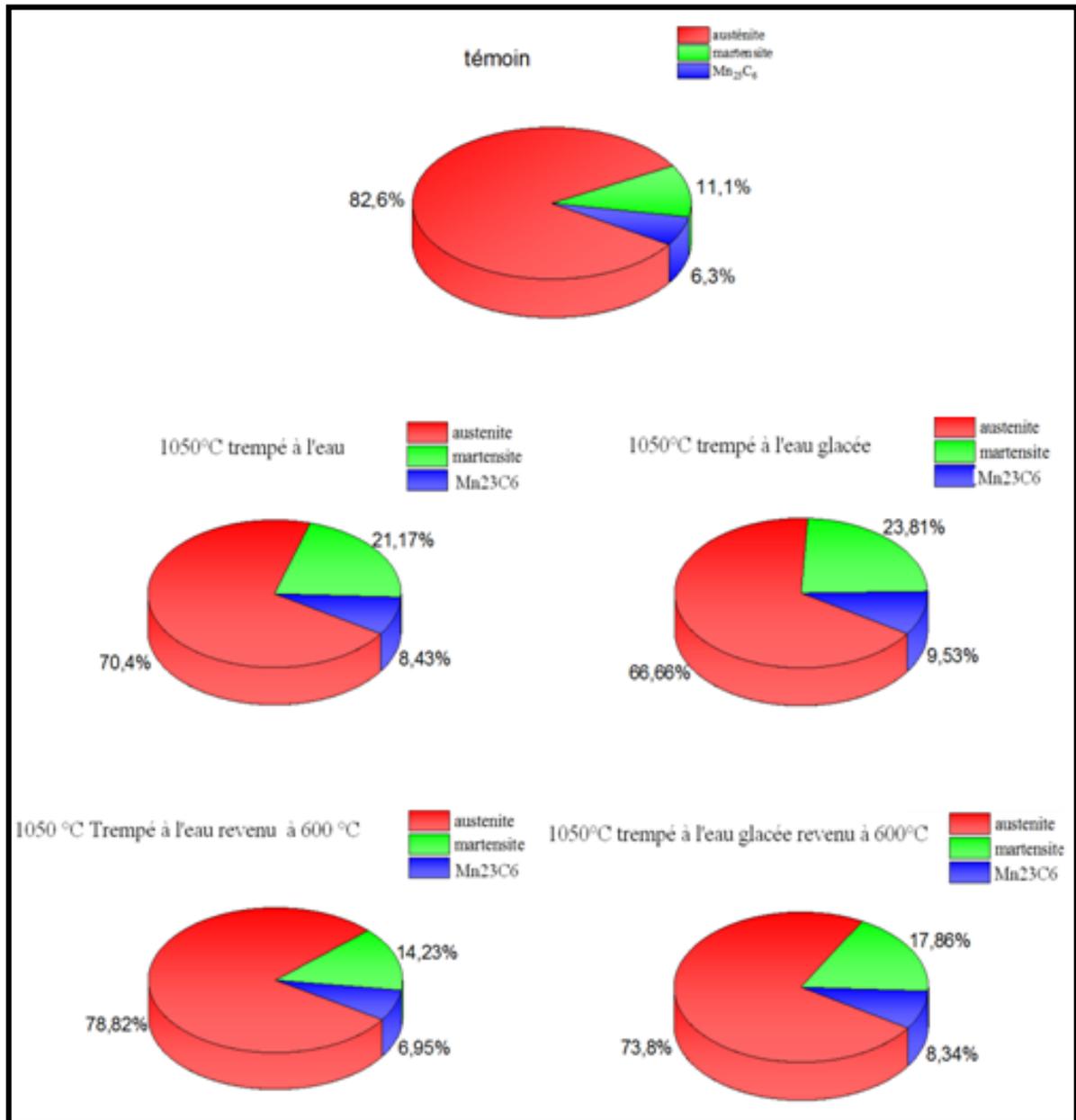


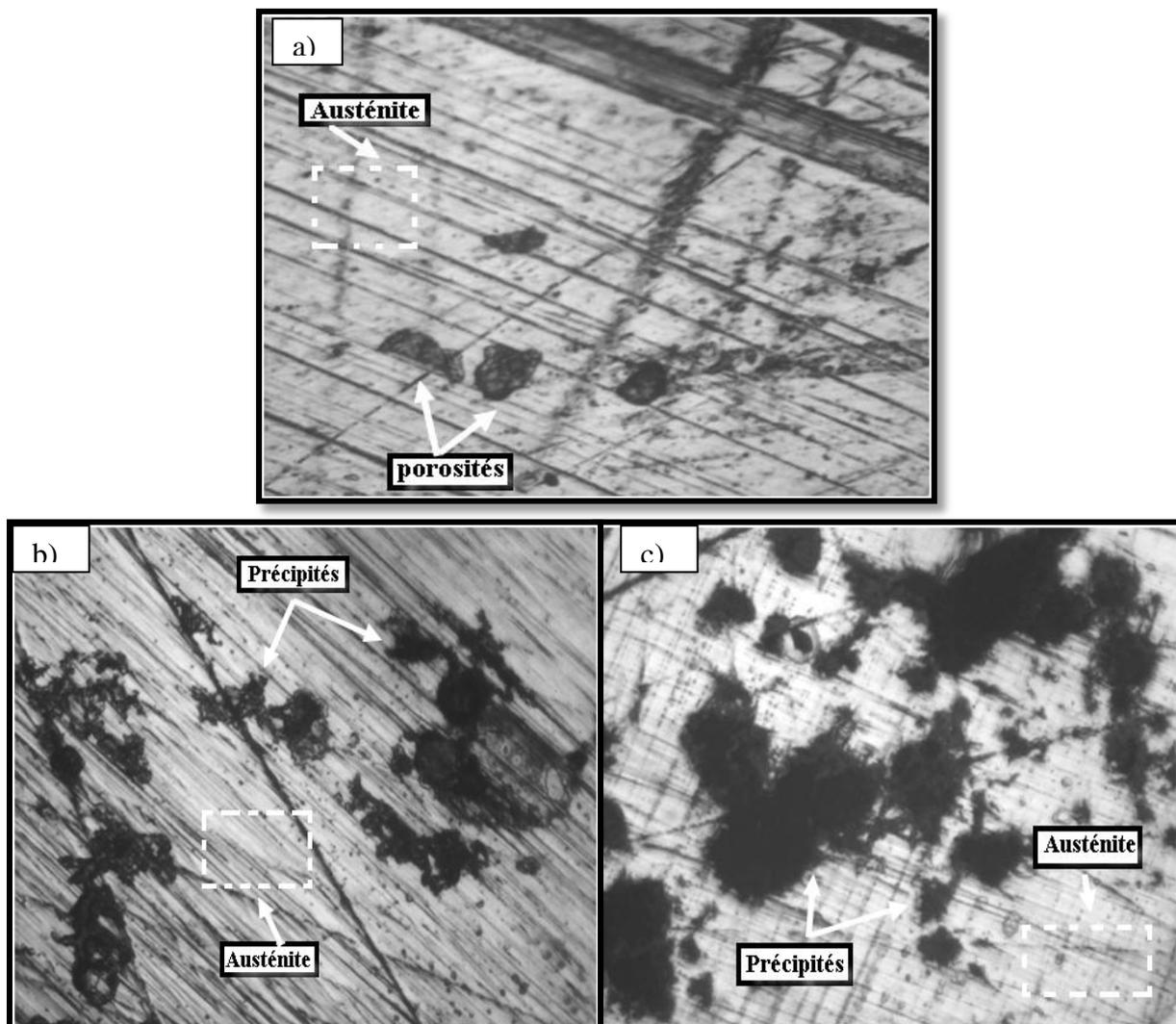
Figure III.2 : Quantification des phases par diffraction x.

Les résultats de quantification des échantillons d'acier fortement allié au manganèse révèlent des variations selon les traitements thermiques appliqués. Dans l'échantillon de référence (témoin) présenté dans la figure III.2, l'austénite prédomine avec une proportion de 82,6%, tandis que la martensite représente 11,1% et les précipités sont à hauteur de 6,3%. Pour l'échantillon austénitisé à 1050°C puis trempé à l'eau glacée, la martensite augmente à 23,81%, avec une présence de carbure de type $Mn_{23}C_6$ à 9,53%. En utilisant de l'eau ordinaire pour la trempe à la même température, l'austénite augmente à 70,4%, tandis que la martensite diminue à 21,17% et les carbures type $Mn_{23}C_6$ légèrement à 8,43%. Après un revenu à 600°C post-trempe à l'eau glacée, la proportion de martensite diminue à 17,86%, tandis que les

précipités de $Mn_{23}C_6$ restent présents mais réduits à 8,34%. De manière similaire, une trempe à l'eau ordinaire à $1050^{\circ}C$ suivie d'un revenu à $600^{\circ}C$ entraîne une réduction de la martensite à 14,23%, une augmentation de l'austénite à 78,82%, et une diminution des précipités de $Mn_{23}C_6$ à 6,95%.

III.2 Caractérisation Microstructural d'acier fortement allié au manganèse obtenu par microscope optique :

La figure III.3 présente des images obtenues par microscope optique montrant la surface de nos échantillons dans leur état brut ainsi qu'après différentes étapes de traitement.



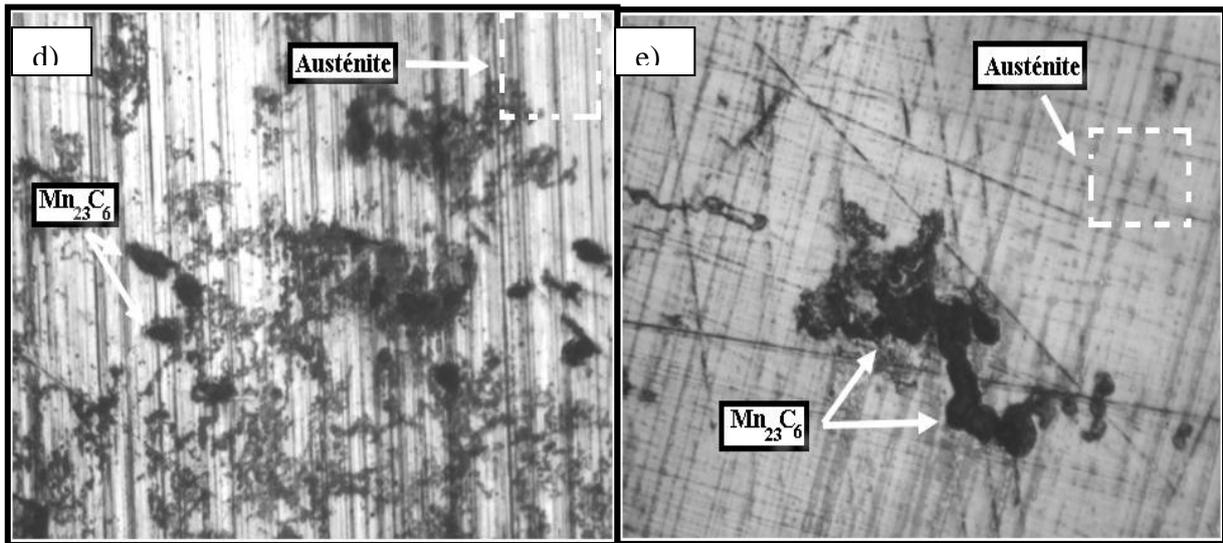


Figure III.3 : Microstructures des différents échantillons traités. a) témoin b) refroidis à l'eau c) refroidis à l'eau glacée d) refroidis à l'eau revenu à 600°C e) refroidis à l'eau glacée revenu à 600°C.

L'acier à l'état brut, illustré à la figure III.a, présente une microstructure riche en austénite, une phase ductile et modérément résistante. La trempe à l'eau, représentée à la figure III.b, entraîne une transformation partielle de l'austénite en martensite, une phase dure et résistante mais moins ductile. On observe également des zones d'austénite résiduelle et des précipités de carbures de manganèse ($Mn_{23}C_6$). Un refroidissement plus rapide par trempe à l'eau glacée (1050°C), comme montré à la figure III.c, favorise une transformation plus complète en martensite, réduisant l'austénite résiduelle et augmentant la formation de carbures. Cela accroît la dureté, mais peut aussi fragiliser le matériau. Le revenu à 600°C, appliqué après la trempe à l'eau, visible à la figure III.d, permet aux carbures de se dissoudre partiellement ou de se redistribuer, ce qui atténue les contraintes internes et stabilise l'austénite. Ce processus adoucit la structure martensitique tout en conservant une dureté élevée, améliorant ainsi la ductilité et la ténacité grâce à une répartition plus homogène de l'austénite et des précipités. En combinant la trempe à l'eau glacée et le revenu à 600°C, comme présenté à la figure III.e, on obtient un matériau associant les effets d'une trempe sévère et d'un revenu modéré. L'austénite partiellement restaurée par le revenu empêche la fragilisation de la martensite pure. Les précipités, similaires à ceux observés après la trempe à l'eau et le revenu, sont probablement plus fins et mieux distribués, ce qui favorise un meilleur compromis entre résistance mécanique et ductilité.

III.3 Influence de la microstructure de l'acier fortement allié au manganèse sur le comportement mécanique :

L'étude porte sur l'influence de la microstructure de l'acier fortement allié au manganèse sur son comportement mécanique. En explorant ces transformations par plusieurs traitements thermiques, l'objectif est de comprendre comment ces modifications affectent la résistance, la dureté, la ductilité et la ténacité de l'acier.

III.3.1 Microdureté Vickers :

La figure III.4 illustre les valeurs de microduretés Vickers. Cette méthode permet de détailler la résistance locale des matériaux en fonction des traitements thermiques et des transformations microstructurales subies.

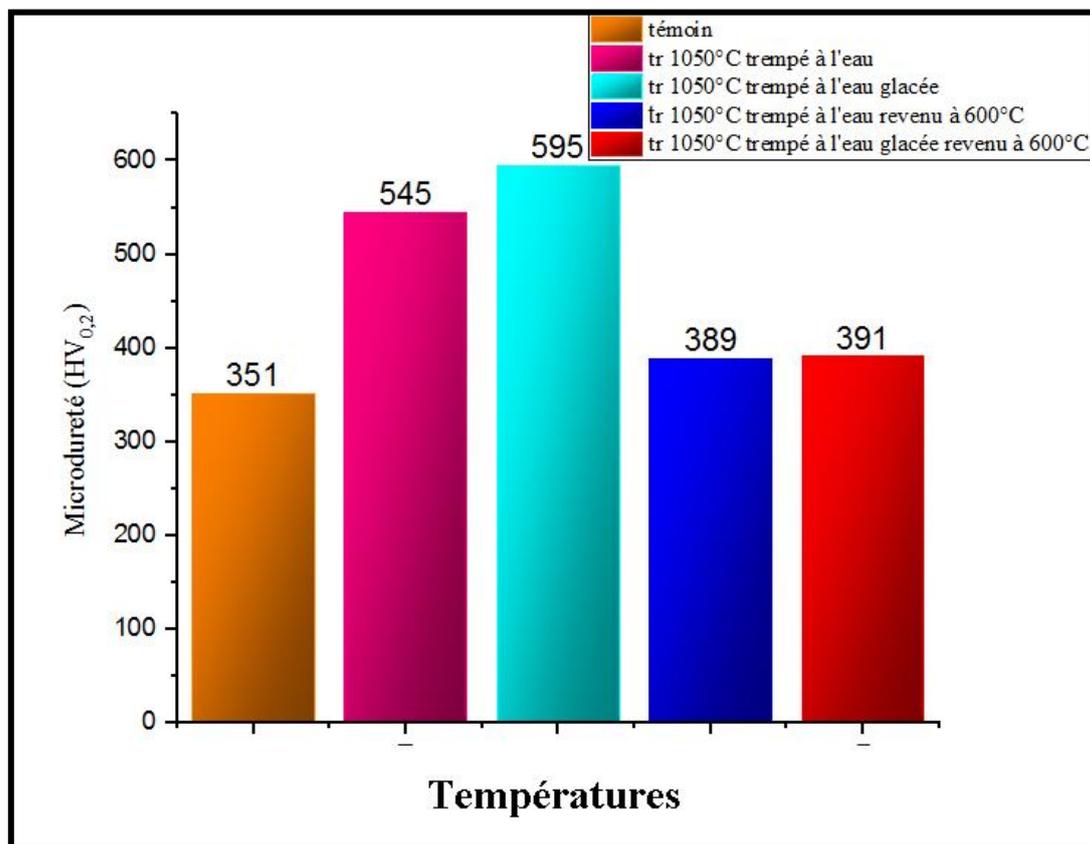


Figure III.4 : Microdureté différents échantillons.

Le matériau témoin présente une dureté de base de 351 HV, servant de référence pour évaluer l'effet des traitements thermiques sur la dureté d'autres échantillons. Le traitement à 1050°C suivi d'une trempe à l'eau augmente la dureté à 545 HV, probablement en favorisant la formation de martensite, une phase très dure formée par le refroidissement rapide de certains aciers. Le traitement à 1050°C suivi d'un refroidissement à l'eau glacée augmente la

dureté du matériau à 595 HV, ce qui peut favoriser la formation de structures cristallines plus denses ou la précipitation de phases durcissantes. Le revenu à 600°C après la trempe à l'eau glacée réduit la dureté à 391 HV par rapport au traitement à l'eau. Ce revenu peut relâcher certaines des contraintes internes induites par la trempe et transforme une partie de la martensite en ferrite plus ductile et en carbures, diminuant ainsi la dureté. Le traitement à 600°C suivi d'un refroidissement à l'eau offre une dureté comparable à celle obtenue par le revenu à 600°C après une trempe à l'eau glacée indiquant que ce traitement produit également des structures internes similaires.

III.3.2 Essai de résilience :

Pour analyser l'impact des traitements thermiques, nous avons mesuré la résilience des échantillons témoins et de ceux traités à 1050°C, suivis de trempes à l'eau et à l'eau glacée, et d'un revenu à 600°C. La figure ci-dessous illustre ces résultats.

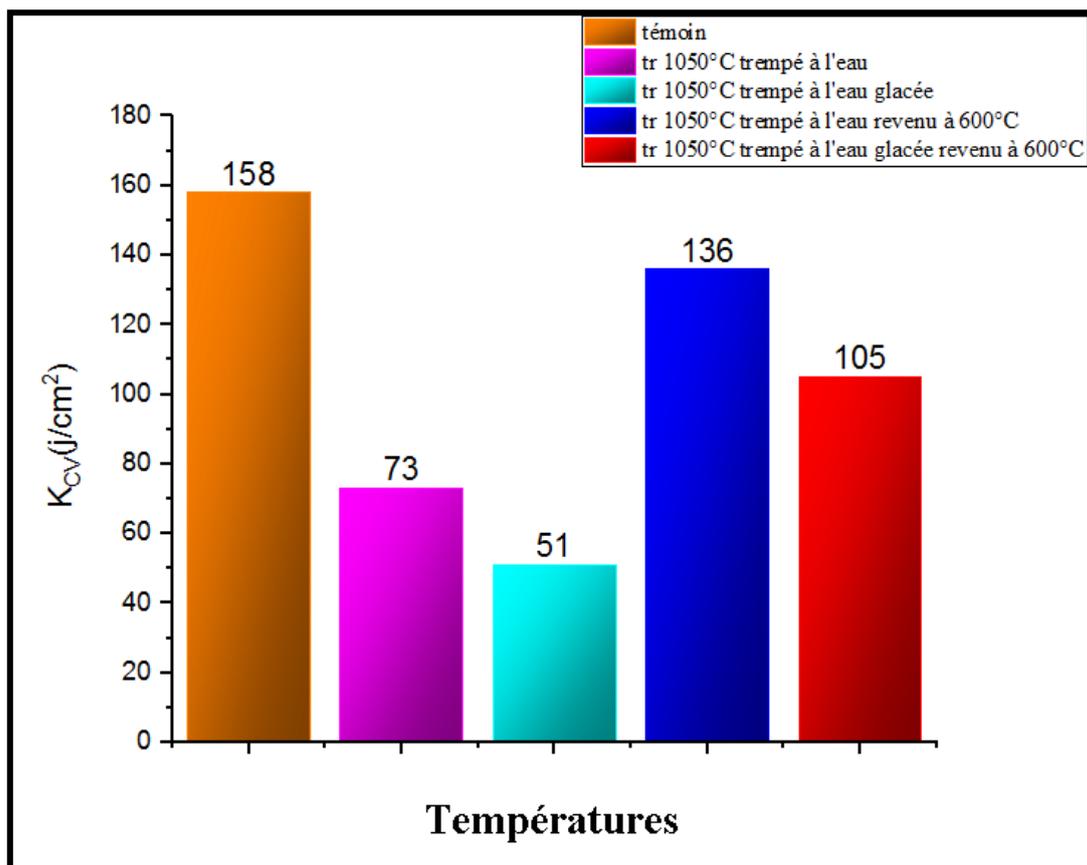


Figure III.5 : La résilience des différents échantillons.

Le matériau témoin, non traité, présente la valeur de résilience la plus élevée parmi tous les échantillons. Dans son état original, le matériau est très résilient. En revanche, le refroidissement rapide à l'eau après un traitement à 1050°C réduit la résilience, probablement en favorisant la formation de phases plus fragiles ou de contraintes internes. Le traitement à 1050°C suivi d'un refroidissement à l'eau glacée diminue encore davantage la résilience par rapport au témoin, en induisant des transformations dans la structure cristalline qui réduisent la capacité du matériau à absorber l'énergie. Cependant, le revenu à 600°C après trempe à l'eau glacée montre une amélioration de la résilience par rapport aux échantillons traités à 1050°C sans revenu, le revenu à 600°C pouvant relâcher les contraintes internes ou transformer les phases fragiles en phases plus ductiles. Un traitement à 1050°C suivi d'un refroidissement à l'eau puis d'un revenu à 600°C offre une résilience supérieure à celle des échantillons trempés, mais reste inférieure à celle du témoin, suggérant des transformations moins essentielles dans la structure du matériau.

III.4 Influence de la microstructure de l'acier fortement allié au manganèse sur le comportement à la corrosion :

III.4.1 Résistance à la corrosion :

La méthode de perte de masse est l'une des techniques les plus couramment utilisées pour évaluer la corrosion. Elle implique de mesurer la diminution de poids d'un matériau exposé à un environnement corrosif sur une période donnée. Et voici les résultats obtenus à partir de notre essai résumé dans le tableau III.1 suivant :

période	échantillons	Masse initiale de l'échantillon m_i (g)	Masse finale de l'échantillon m_f (g)	Δm (g)
Après 5 jours	Témoin	14.44	14.43	0,01
	Eau	14.00	13.99	0,01
	Glacé	12.23	12.22	0,01
	Revenu eau	13.60	13.60	0,001
	Revenu glacé	12.34	12.32	0,02
Après 10 jours	Témoin	14.44	14.43	0,01
	Eau	14.00	13.99	0,01
	Glacé	12.23	12.21	0,02

	Revenu eau	13.60	13.60	0,001
	Revenu glace	12.34	12.32	0,02
Après 15 jours	Témoin	14.44	14.43	0,01
	Eau	14.00	13.98	0,02
	Glace	12.23	12.21	0,02
	Revenu eau	13.60	13.58	0,02
	Revenu glace	12.34	12.32	0,02
Après 20 jours	Témoin	14.44	14.46	0,02
	Eau	14.00	14.01	0,01
	Glace	12.23	12.22	0,1
	Revenu eau	13.60	13.62	0,02
	Revenu glace	12.34	12.34	0,001

Tableau III.1: Résultats après immersion pendant (5, 10,15 et 20 jours) dans une solution de salin (35 g /l) à la température ambiante.

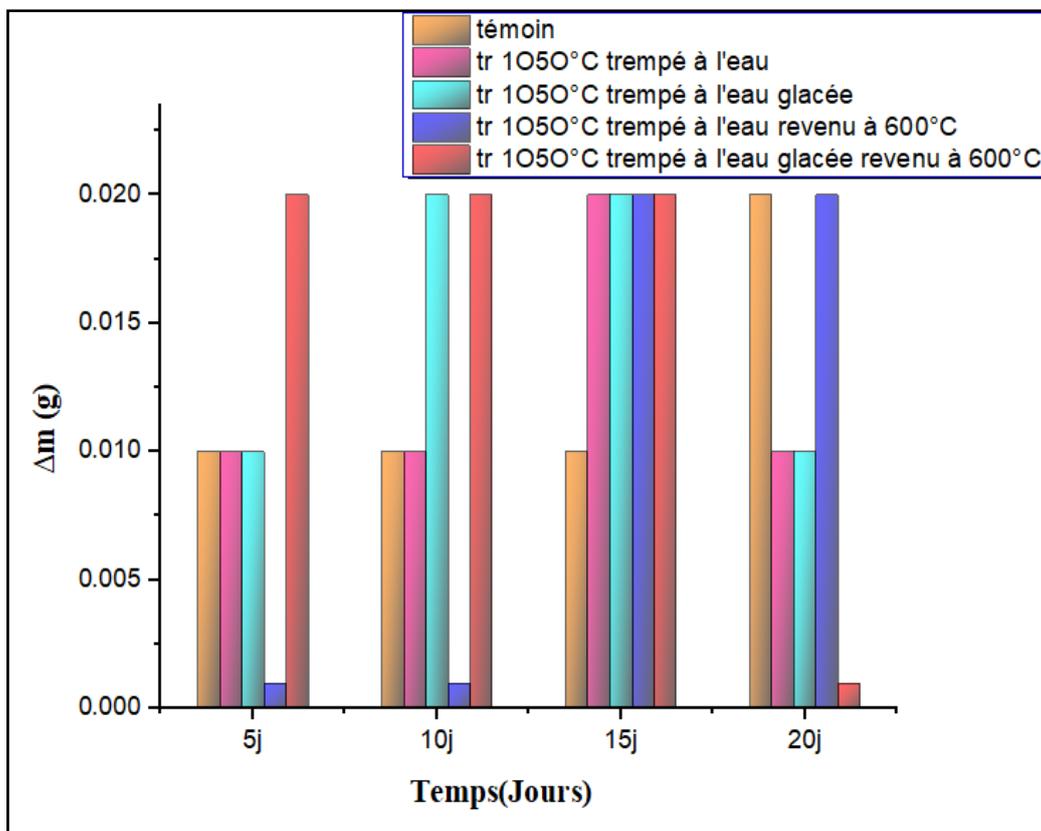


Figure III.6 : Histogramme comparatif des Résultats de perte de masse (après immersion).

Après l'immersion, on voit sur les surfaces de chaque échantillon une couche de corrosion (corrosion uniforme). La perte de masse pour l'échantillon témoin reste stable à environ 0,01 g, après 15 jours probablement due à des facteurs environnementaux constants à la trempé à l'eau. Les échantillons montrent une perte de masse significativement légèrement élevée que celle de témoin, atteignant environ 0,02 g dès le 5ème jour et se maintenant à ce niveau aux intervalles de 10, 15 et 20 jours. Cette constance à un niveau élevé indique que l'exposition à l'eau augmente significativement la perte de masse, probablement par dissolution ou lessivage de matériaux solubles à la trempé à l'eau glacée est comparable à celle observée sous l'effet de l'eau, avec des valeurs atteignant environ 0,02 g dès le 5ème jour et se maintenant aux intervalles ultérieurs. Cette similitude suggère que l'eau glacée influence la perte de masse de manière analogue à l'eau liquide lors du revenu à 600°C une perte de masse légère et stable à tous les intervalles de temps, autour de 0,001 g. Cela suggère que le retour à la condition initiale après exposition à l'eau réduit considérablement la perte de masse, peut-être par réabsorption de l'humidité ou restructuration des matériaux stabilisante et lors du trempé à l'eau glacée revenu à 600°C La dynamique de perte de masse est différente sous cette condition. La perte de masse commence faible (0,001 g) à 5 jours, augmente légèrement à 10 jours, et montre une forte augmentation à 20 jours, atteignant environ 0,02 g. Cette augmentation significative à long terme indique que le retour à la condition initiale après exposition à la glace a un effet différé, entraînant une augmentation progressive de la perte de masse, possiblement en raison de changements structuraux ou chimiques.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a approfondi notre compréhension du matériau utilisé dans l'industrie minière pour la fabrication des mâchoires de concasseurs de roche. Ce matériau, un acier au manganèse, est largement employé pour les pièces soumises à des chocs importants. Notre étude a mis en évidence l'influence d'un traitement thermique sur le comportement microstructural, structural et mécanique de cet acier.

Afin d'établir un lien entre la résistance aux chocs de notre acier et sa structure, nous avons réalisé des analyses DRX (diffraction des rayons X) et des mesures de microdureté Vickers pour chaque type de traitement. À travers les résultats obtenus, nous avons conclu les points suivants :

- Le traitement thermique est un paramètre crucial affectant la microstructure et les propriétés de cet acier. Il permet de réduire la quantité de carbures dans la microstructure. Nous avons constaté que le milieu de trempe (eau ou eau glacée) a un impact considérable sur l'acier Hadfield.
- La vitesse de refroidissement influence également sur les propriétés mécaniques de cet acier en provoquant des modifications sur les plans microstructural.
- La microstructure des aciers au manganèse traités thermiquement est composée de martensite, d'austénite et de précipités de carbure.
- Avec une température d'austénitisation de 1050°C, une trempe à l'eau suivie d'un revenu à 600°C, nous avons obtenu un matériau aux caractéristiques optimales : une résistance au choc de 136 (J), une dureté de 389 (HV_{0,2}) et une structure essentiellement composée de phases d'austénite et de carbures (Mn₂₃C₆).
- Les différents traitements influent de manière significative sur la perte de masse de l'acier, avec des effets variés selon les conditions de traitement, ce qui souligne l'importance de comprendre les interactions entre les conditions environnementales et les propriétés des matériaux.

Conclusion générale

Perspective :

Cette étude a évalué l'influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques de l'acier au manganèse, mais le phénomène reste partiellement élucidé. Les perspectives de recherche pourraient inclure les axes suivants :

- Caractérisation électrochimiques, incluant les courbes de polarisation et les mesures d'impédance.
- Rajouter d'autres analyses microstructurales avec la microscopie électronique à balayage (MEB).
- Réaliser des testes de tribologies (essaie de l'usure).

Références bibliographiques

Références bibliographique

- [1]. POUPEAU, Philippe. Traitements thermiques des métaux et alliages. Techniques de l'Ingénieur, traité Matériaux métalliques M, 1981, vol. 1, p. 105-1.
- [2]. HADDOUCHE Kawther. La caractérisation d'un acier inoxydable duplex, mémoire de master. 2019. Université 8 mai 1945 Guelma.
- [3]. ZIOUAL Sara. Influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques d'un acier au manganèse, mémoire de Master. 2019. Université Abderrahmane MIRA BEJAIA.
- [4]. EL-MAHALLAWI, I., ABDEL-KARIM, R., et NAGUIB, A. Evaluation of effect of chromium on wear performance of high manganese steel. *Materials Science and Technology*, 2001, vol. 17, no 11, p. 1385-1390.
- [5]. SASAKI, Terufumi, WATANABE, Kenji, NOHARA, Kiyohiko, et al. Physical and mechanical properties of high manganese non-magnetic steel and its application to various products for commercial use. *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, 1982, vol.22, no 12, p. 1010-1020.
- [6]. TEĆZA, G. et ZAPAŁA, R. Changes in impact strength and abrasive wear resistance of cast high manganese steel due to the formation of primary titanium carbides. *Archives of foundry engineering*, 2018, vol. 18.
- [7]. FERREIRA, M. G. S., DA CUNHA BELO, M., HAKIKI, N. E., et al. Semiconducting properties of oxide and passive films formed on AISI 304 stainless steel and Alloy 600. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2002, vol. 13, p. 433-440.
- [8]. OBLONSKY, L. J., RYAN, M. P., et ISAACS, H. S. In Situ Determination of the Composition of Surface Films Formed on Fe-Cr Alloys. *Journal of the Electrochemical Society*, 1998, vol. 145, no 6, p. 1922.
- [9]. S. Mahmoudi, Mémoire de magistère, Université de Constantine, Etude comparative entre deux métaux passifs en milieu neutre, alcalin et acide : un acier inoxydable 304L et un alliage de titane T16A14V, 2008.
- [10]. CHERIFI, Naima et BESSAH, Chafia. *Influence des traitements thermiques sur les*

Références bibliographique

propriétés mécaniques d'un acier à outils pour travail à chaud (X38CrMoV5-1). 2016. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.

[11]. LEE, Young-Kook et CHOI, Chongsool. Driving force for $\gamma \rightarrow \varepsilon$ martensitic transformation and stacking fault energy of γ in Fe-Mn binary system. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 2000, vol. 31, p. 355-360.

[12]. Fonderie Acciaierie Roiale. Aciers austénitiques au manganèse, document technique d'une entreprise. 33010Reana Del Roiale (Ud) Italia. Email :info@farspa.com.

[13]. *Traité des matériaux métalliques –tome 1: structure et propriétés des alliages* –Jean Philibert, Alain Vignes, Pierre Guyot .

[14]. INEGBENEBOR, A. O., JONES, R. D., et RALPH, Brian. Mechanical properties and strain-induced phase transformations of some high-strength manganese steels. *Journal of materials science*, 1989, vol. 24, p. 3529-3535.

[15]. SCHMIDOVA, Eva, HLAVATY, Ivo, et HANUS, Petr. The weldability of the steel with high manganese. *Tehnički vjesnik*, 2016, vol. 23, no 3, p. 749-752.

[16]. ASM INTERNATIONAL. HANDBOOK COMMITTEE. *Properties and selection: irons, steels, and high-performance alloys*. ASM International, 1990.

[17]. VOULGARIS, A., IRAKLEOUS, C., MOURATIDIS, C., et al. The reconstruction of the Antikythera Mechanism Instruction Manual after a diligent study and analysis of the Backcover inscription (part-1). arXiv preprint arXiv:2207.12009, 2022.

[18]. MOTA, Igor Gabriel Coinete. *Caracterização microestrutural, eletroquímica e tribológica de revestimentos HVOF Fe₆₈Cr₈Mo₄Nb₄B₁₆*. 2023.

[19]. WILLIAM F.. SMITH et HASHEMI, Javad. *Foundations of materials science and engineering*. Mcgraw-Hill Publishing, 2006.

[20]. MAALEM, K et SAIB, L (2020). *Etude bibliographique sur les aciers au manganèse destinés à la fabrication des mâchoires pour concasseurs*. Mémoire de magister, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, Algérie.

[21]. HARZALLAH, R. (2010). *Étude du comportement mécanique et tribologique des*

Références bibliographique

aciers austénitiques au manganèse : application aux coeurs de voies ferroviaires. Thèse de doctorat, l'École Nationale Supérieure des Mines, Paris.

[22]. MURRY, Guy. Généralité sur L'aluminium et ses alliages. Aide-mémoire Métallurgie. Dunod, Paris, 2004, vol. 2010, p. 202-213.

[23]. BOUDIAF, A. (2011). Relation microstructure - comportement macroscopique dans les aciers : effet de la taille de grain austénitique sur la plasticité de transformation. Thèse de doctorat, INSA de Rouen, France.

[24]. ZHANG, Yuzi, LI, Yanguo, HAN, Bo, et al. Microstructural characteristics of Hadfield steel solidified under high pressure. High Pressure Research, 2011, vol. 31, no 4, p. 634-639.

[25]. J.BARRALIS, GERARD MAEDER, Précis de Métallurgie, « Elaboration, Structure-Propriétés, Normalisation », AFNOR, NATHAN. 2005, Pages 80–140.

[26]. Michel Dupeux « SCIENCE DES MATÉRIAUX » Nouveau tirage corrigé 2005 © Dunod, Paris, 2004, ISBN 2 10 005458 9, Pages 200–213.

[27]. M. HANSEN. « Constitution of the Binary Alloys », Mc Graw-Hill (New York 1958), p. 207-280.

Résumé

Le choix d'un matériau pour une application spécifique nécessite de garantir sa durabilité dans les conditions d'utilisation prévues. Cette étude porte sur l'influence des traitements thermiques sur les propriétés mécaniques de l'acier Hadfield, en examinant également l'état microstructural de base, le rendement et la durée de vie des pièces fabriquées, soumises à des sollicitations continues d'usure et de chocs. Cet acier est recommandé pour les industries lourdes, telles que les concasseurs, qui opèrent dans des environnements hostiles.

Pour améliorer la durabilité et la résistance à l'usure, des traitements thermiques d'austénitisation ont été appliqués à nos échantillons. Une caractérisation microstructurale et structurale a été réalisée en utilisant la microscopie optique (MO) et la diffraction des rayons X (DRX). De plus, une caractérisation mécanique, comprenant des essais de microdureté et de résilience, a été effectuée.

Les résultats obtenus montrent que les traitements thermiques influencent la résistance aux chocs, la dureté et surtout la structure des phases. Des valeurs et des phases différentes ont été observées avant et après traitement thermique.

Mots clé : traitement thermique, refroidissement, propriétés mécaniques, Acier au manganèse.

Abstract

Choosing a material for a specific application requires ensuring its durability under the intended conditions of use. This study focuses on the influence of heat treatments on the mechanical properties of Hadfield steel, also examining the basic microstructural state, performance and service life of manufactured parts, subjected to continuous wear and tear stresses. shocks. This steel is recommended for heavy industries, such as crushers, which operate in hostile environments.

To improve durability and wear resistance, austenitizing heat treatments were applied to our samples. Microstructural and structural characterization was carried out using optical microscopy (OM) and X-ray diffraction (XRD). Additionally, mechanical characterization, including microhardness and resilience tests, was carried out.

The results obtained show that heat treatments influence impact resistance, hardness and especially the structure of the phases. Different values and phases were observed before and after heat treatment.

Keywords: heat treatment, cooling, mechanical properties , Manganese steel.

ملخص

يتطلب اختيار مادة لتطبيق معين ضمان متانتها في ظل ظروف الاستخدام المقصودة. تركز هذه الدراسة على تأثير المعالجات الحرارية على الخواص الميكانيكية لفولاذ هادفيلد، كما تدرس أيضًا الحالة الهيكلية الدقيقة الأساسية والأداء وعمر الخدمة للأجزاء المصنعة، المعرضة لصدمات التآكل المستمرة. يوصى بهذا الفولاذ للصناعات الثقيلة، مثل الكسارات، التي تعمل في بيئات معادية لتحسين المتانة ومقاومة التآكل، تم تطبيق المعالجات الحرارية الأوستينية على عيناتنا. تم إجراء التوصيف المجهرى والهيكلى باستخدام المجهر الضوئي (MO) وحيود الأشعة السينية (DRX). بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء التوصيف الميكانيكي، بما في ذلك اختبارات الصلابة الدقيقة والمرونة.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن المعالجات الحرارية تؤثر على مقاومة الصدمات والصلابة وخاصة بنية المراحل. وقد لوحظت قيم ومراحل مختلفة قبل وبعد المعالجة الحرارية.

الكلمات المفتاحية : المعالجة الحرارية، التبريد، الخواص الميكانيكية، فولاذ ممزوج بالمنغنيز.