

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université A-MIRA Bejaïa

Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

**Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme du master en Génie
Mécanique**

Spécialité : Construction Mécanique

Thème :

**Etude bibliographique sur les aciers au
manganèse destinés à la fabrication des
mâchoires pour concasseurs.**

Présenté par :

MAALEM Katia

SAIB Lynda

Président M^r : M. BRADAI

Examinatrice M^{me} : M. IKHLOUFI

Examineur M^r : R. YOUNES

Rapporteur M^r : A. SAD-EDDINE

2019/2020

Remerciements

Remerciements

La réalisation de ce travail n'a été possible que grâce à DIEU et à la contribution de plusieurs personnes que nous remercions infiniment.

Nous ne remercierons jamais assez notre promoteur Mr SAD-EDDINE Abdelhamid, pour son suivi, sa disponibilité et ses conseils constructifs.

Nous tenons à le remercier sincèrement de nous avoir accordé sa confiance et d'accepter d'être notre promoteur.

Nous remercions tous les membres du jury qui ont bien voulu évaluer ce travail que nous espérons à la hauteur de leurs attentes.

Nos remerciements vont également à toute personne qui a contribué à l'aboutissement de ce travail

Dédicaces

Dédicace

Je dédie ce modeste travail, à ceux qui m'ont éclairé le chemin de sagesse et m'ont offert tout ce qui est cher et comble le cœur dans la vie. A toi ma chère mère et à toi mon père.

A la mémoire de mon grand-père.

A mon frère Sifax, et ma sœur Leticia.

A ma tante Naima de m'avoir conseillé et aimé.

A ma collègue SAIB Lynda, et toute sa famille.

A mes chers amis Nadir et Oussama, et ma chère amie Thiziri pour leurs encouragements.

A mon promoteur Mr SAD-EDDINE qui m'a transmis son savoir, guidé et encouragé ce travail.

A tous ceux qui nous sont chers. Que vous trouvez dans ce modeste travail l'expression de notre reconnaissance, amitié et estime.

Katia

Dédicace

JE dédie ce modeste travail, à mes très chers parents pour tous leurs efforts et leur patience durant toutes ces années, pour nous avoir orientés et encouragés dans nos études.

A mes frères Azzedine, Fouad, Ghilas et mes sœurs Kamilia et Sarah.

A toute ma famille.

A ma collègue MAALEM Katia, et toute sa famille.

A mes chers amis Adel, Oussama, Nadir, Kenza, Soraya et Lynda.

A mon prometteur Mr SAD-EDDINE qui m'a transmis son savoir, guidé et encouragé pendant ce travail.

A tous ceux qui nous sont chers. Que vous trouvez dans ce modeste travail l'expression de notre reconnaissance, amitié et estime.

Lynda

Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
Sommaire.....	III
Listes des figures.....	IV
Listes des tableaux.....	V
Les abréviations.....	VI
Introduction générale	1
Chapitre I généralités sur les aciers au manganèse	
Introduction.....	2
I.1. Définitions des matériaux.....	2
I.2. Propriétés physiques.....	2
I.2.1. Propriétés physiques.....	2
I.2.2. Propriétés mécaniques.....	3
I.2.3. Propriétés technologiques.....	3
I.3. Classifications des aciers.....	3
I.3.1. Aciers non alliés d'usage général.....	3
I.3.2. Aciers spéciaux non alliés de type C.....	3
I.3.3. Aciers faiblement alliés.....	4
I.3.4. Aciers fortement alliés.....	4
I.4. Influence des éléments d'addition sur l'acier.....	4
I.4.1. Les éléments alphagènes.....	5
I.4.2. Les éléments gamagènes.....	6
I.5. Acier au manganèse (Hadfield).....	6
I.5.1. Composition chimique.....	6
I.6. Diagramme fer-carbone.....	8
I.6.1. La ferrite α	9
I.6.2. L'austénite γ	9
I.6.3. La cémentite Fe_3C	10
I.6.4. La perlite.....	10
I.7. Diagramme fer-manganèse.....	10

I.8. Transformation de phases dans les aciers.....	11
I.8.1. Transformation au cours de chauffage (austénitisation).....	12
I.8.2. Transformation au cours de refroidissement.....	12
I.8.2.1. Transformation par diffusion.....	12
I.8.2.2. Transformation par cisaillement ou transformation martensitiques.....	12
I.8.2.3. Transformation intermédiaire.....	13
I.9. Protocole expérimental.....	13
I.9.1. Traitement thermique.....	13
I.9.1.1. Historique des traitements thermiques.....	13
I.9.1.2. Procédés des traitements thermiques.....	13
I.9.1.2.1. L'austénitisation.....	13
I.9.1.2.2. La trempe.....	14
I.9.1.2.3. Le revenu.....	15
I.9.2. Le polissage.....	15
I.9.3. L'attaque chimique.....	15
I.9.4. Méthode de caractérisation.....	16
I.9.5. Essais mécaniques.....	16
I.9.5.1. Essai de dureté.....	16
I.9.5.2. Essai de résilience.....	17
I.10. Domaine d'utilisation des aciers au manganèse.....	18
I.11. Spécifications analytiques.....	19
Conclusion.....	19
Chapitre II généralités sur les concasseurs à mâchoires	
Introduction.....	20
II.1. Définition du concasseur.....	20
II.2. Qualité de la matière et caractéristiques physiques.....	20
II.3. Principe de concassage.....	21
II.4. Types de concasseurs et leurs principes de fonctionnement.....	21
II.4.1. Appareils opérant par écrasement (compression).....	22
II.4.1.1. Concasseurs à mâchoires.....	22

II.4.1.1.1. Principe de fonctionnement et description.....	22
II.4.1.1.2. Utilisations et caractéristiques des concasseurs à mâchoires.....	24
II.4.1.2. Concasseurs giratoires.....	24
II.4.1.2.1.Principe de fonctionnement et description.....	25
II.4.1.2.2.Concasseurs giratoires primaires.....	26
II.4.1.2.3.Les concasseurs giratoires secondaires.....	27
II.4.1.2.4.Les concasseurs giratoires tertiaires.....	27
II.4.1.3. Concasseurs rotors dentés.....	29
II.4.1.3.1.Introduction	29
II.4.1.3.2.Principe et description.....	30
II.4.2.Appareils opérant par choc.....	30
II.4.2.1.Concasseur à percussion.....	30
II.4.2.1.1.Généralités.....	30
II.4.2.1.2.Principe de fonctionnement.....	31
II.4.2.2.Concasseurs à percussion à axe horizontal.....	31
II.4.2.2.1.Concasseurs à percuteurs rigides.....	31
II.4.2.2.2.Concasseurs à percuteurs articulés.....	32
II.4.2.2.3.Concasseurs à percussion à axe vertical.....	32
II.5.Choix du concasseur.....	32
II.6.Dimensionnement du concasseur.....	34
Conclusion.....	35

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : domaine de composition optimale selon les équations (I.1) et (I.2) des aciers Hadfield.....	8
Figure I.2 : diagramme d'équilibre fer-carbone.....	8
Figure I.3 : diagramme d'équilibre des aciers à 13% de Mn.....	10
Figure I.4 : schématisation de l'essai de résilience.....	17
Figure II.1 : concasseur à mâchoires.....	23
Figure II.2 : concasseur à mâchoires à simple effet.....	23
Figure II.3 : concasseur à mâchoires à double effet.....	24
Figure II.4 : concasseur giratoire primaire à tête guidée et portée.....	26
Figure II.5 : concasseur giratoire secondaire.....	27
Figure II.6 : concasseurs à rotors dentés.....	29
Figure II.7 : concasseur MMD série 500.....	30
Figure II.8 : principe d'un concasseur à percuteurs rigides.....	31

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Composition chimique de l'acier Hadfield.....	7
Tableau I.2 : Propriétés physique de l'acier Hadfield.....	10
Tableau I.3 : Domaine d'utilisation des aciers au manganèse.....	18
Tableau I.4 : Spécifications analytiques des aciers au manganèse.....	19
Tableau II.1 : Caractéristiques des appareils de fragmentation grossière (concasseurs).....	33

Les abréviations

Les abréviations

Al : aluminium.

C : carbone.

cc : cubique centré.

cfc : cubique a face centrée.

Cu : cuivre.

Cr : chrome.

Kg/m³ : kilogramme par mètre cube.

Mf : température de fin de transformation.

Mg : magnésium.

Min : minute.

Mneq : manganèse équivalent.

Mo : molybdène.

Mpa : méga pascal.

Ms : température de début de transformation martensitique.

Ni : nickel.

N/mm² : newton par millimètre carré.

Ph : phosphore.

S : soufre.

°c : degré Celsius.

% : pourcentage

Introduction générale

Introduction générale

Un matériau désigne toute matière (solide, liquide...) utilisée pour réaliser un objet au sens large. Ce dernier est souvent une pièce d'un ensemble ou sous-ensemble. D'après l'importance de ce dernier, on essaie toujours d'améliorer ces propriétés (mécanique, chimique...) durant le temps.

Le choix d'un matériau se fait d'après son emploi, son environnement de fonction, et pour cela on applique les différents essais comme : traction, compression, torsion, flexion, choc, dureté, fatigue...

Dans notre étude, on a travaillé sur l'acier au manganèse (Hadfield) qui a 13% de manganèse qui est soumis à des sollicitations continues d'usure et de chocs. Cet acier est recommandé pour l'industrie lourds tel que : les mâchoires des concasseurs, marteau d'impact, les aiguilles de chemins de fer.

Le but de cette étude est de déterminer la température d'austénitisation de cet acier après le traitement thermique, l'essai de résilience et l'essai de dureté.

Ce travail comporte trois chapitres :

- Le premier chapitre est une recherche bibliographique sur les aciers en général et les aciers au manganèse en particulier.
- Le deuxième chapitre est une étude générale sur les concasseurs, en particulier les concasseurs a mâchoires.

Chapitre I

Introduction

Les aciers sont des matériaux métalliques les plus utilisés dans les différentes branches de l'industrie, composée de fer-carbone dont la teneur en carbone inférieure ou égale à 2%.

Dans ce chapitre, nous allons donner quelques définitions et caractérisations mécaniques des aciers au manganèse.

I.1. Définition de l'acier

L'acier est un alliage métallique composé principalement de fer et de carbone, dans les proportions comprises entre 0.02% et 2% en masse de carbone, il est contenu aussi une concentration appréciable d'autres éléments (Mn, Cr, S...). Il existe des milliers d'alliages de ce type dont la composition est différente de même que les traitements qu'ils ont subis [1] [12].

I.2. Propriétés des matériaux

I.2.1. Propriétés physiques

La couleur, la masse volumique, le point de fusion, conductibilité et le coefficient thermique de dilatation.

La densité de la majorité des métaux dépasse 7000 kg/m^3 , celle des métaux légers (Al, Mg) est inférieure à 3000 kg/m^3 .

Il est important de connaître le point de fusion des métaux pour pouvoir le traiter à chaud afin d'obtenir les éléments coulés.

La dilatation produite par l'échauffement est caractérisée par le coefficient de dilatation linéaire ou volumique, ces coefficients sont pris en compte lors de toute étude de construction métallique puisque des désordres peuvent survenir à la suite d'une variation de température.

I.2.2. Propriétés mécaniques

Parmi les résistances mécaniques on peut citer : la résistance, la dureté, la résilience et la fatigue.

La résistance mécanique est la capacité d'un métal de résister aux efforts extérieurs, suivant la nature de ces efforts on distingue : la résistance à la traction, à la compression et à la torsion qui sont caractérisées par les charges limites par lesquelles le métal se rompt.

La dureté d'un métal détermine son pouvoir de résister à l'enfoncement d'une bille en acier ou d'un cône.

La résilience est caractérisée par la quantité de travail nécessaire à la rupture d'une éprouvette subissant des chocs.

La fatigue est la propriété de soumettre un métal aux effets alternés, répétés et conjugués d'efforts externes (statique ou dynamique).

I.2.3. Propriétés technologiques

Sont caractérisées par la possibilité d'usinage des métaux, ce qui est conditionnée par leur plasticité [4].

I.3. Classification des aciers

On peut citer les suivants :

I.3.1. 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/mm^2 et d'indications complémentaires (S : soudable. M : moulable il s'agit d'un acier moulé la désignation est précédée de la lettre G.

Exemple

S335 : classe S : acier de construction, résistance élastique 335 MPa.

E320 : classe E : acier de construction mécanique, limite élastique 320 MPa.

I.3.2. Aciers spéciaux non alliés de type C

Destinés aux traitements thermiques (trempe et revenu...). Le traitement thermique donne à ces aciers des propriétés d'emploi très performantes, la majorité est disponible sous forme de laminés marchands aux dimensions normalisées.

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

Exemple de désignation : GC 35.

Classe C : aciers spéciaux pour traitement thermique.

G : acier moulé : 0,35%.

I.3.3. 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.3.4. 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 ($\% > 11\%$) [11].

I.4. Influence des éléments d'addition sur l'acier

Tous les aciers industriels contiennent, outre le carbone des autres éléments qui sont soit résiduels non éliminés au cours de l'élaboration du métal, soit des éléments résultants d'additions faites volontairement. Ces éléments agissent sur les points de transformation de l'acier et sur la vitesse à laquelle se transforme l'austénite au cours du refroidissement. Ils exercent un effet de stabilisation plus ou moins marqué des phases cubiques à face centrée et cubique centrée, ils agissent donc sur la structure des aciers et modifient leurs propriétés, ce qui élargit largement le champ d'application de ces matériaux.

L'influence des éléments d'alliage susceptibles d'être introduits dans les aciers, doit être étudiée en fonction de divers paramètres :

- Leur solubilité.
- Leur action sur les structures d'équilibre.
- Leur action sur les transformations hors équilibre.

Les éléments additionnels sont divisés en deux familles : les éléments alphagènes (silicium, aluminium, chrome, molybdène, tungstène, titane, niobium) et les éléments gamagènes (nickel, manganèse, azote, carbone, cuivre, cobalt).

I.4.1. Les éléments alphagènes

Aluminium : Les additions réduisent la région γ du diagramme d'équilibre, croissant la phase α et formant finalement une région α et γ continue. Excellent désoxydant, associé à l'oxygène réduit la croissance du grain en phase austénitique. Peut rendre l'acier inapte à la galvanisation à chaud.

Chrome : C'est l'élément d'addition qui confère à l'acier la propriété de résistance mécanique à chaud et à l'oxydation, il joue aussi un rôle déterminant dans la résistance à la corrosion lorsqu'il est présent à une teneur de plus de 12 à 13%, il augmente la trempabilité et la conservation des propriétés mécaniques aux températures supérieures à l'ambiante.

Molybdène : Il augmente la température de surchauffe, la résistance à haute température et la résistance au fluage, augmente la trempabilité.

Titane : Réduit la dureté de la martensite, capture le carbone en solution à haute température et de ce fait réduit le risque de corrosion intergranulaire des aciers inoxydables.

Niobium : Même avantage que le titane mais beaucoup moins volatil dans le domaine du soudage il le remplace donc dans les métaux d'apport.

Tungstène : Améliore la dureté à haute température des aciers trempés revenus.

Vanadium : Il est fort stabilisateur en ferrite avec la présence du nickel, il augmente la résistance mécanique.

Silicium : il augmente la résistance à la corrosion et améliore les propriétés d'emploi à haute température.

I.4.2. Les éléments gamagènes

Nickel : rend austénitique les aciers à forte teneur en chrome sert à produire des aciers de trempabilité élevée à basse température d'austénitisation et à ténacité élevée après traitement revenu, c'est l'élément d'alliage par excellence pour l'élaboration des aciers ductiles à basses températures.

Manganèse : forme des sulfures qui améliorent l'usinabilité, augmente modérément la trempabilité, rend aussi difficile la transformation de l'austénite.

Cobalt : utilisé dans des nombreux alliages magnétiques, provoque une résistance à l'adoucissement lors du revenu.

Carbone : est un élément fortement gamagènes, il contribue à stabiliser l'austénite lors de déformations à froid. Par contre il peut provoquer la formation de carbures de chrome.

Soufre : il améliore les propriétés d'emploi à haute température.

Cuivre : en petites proportions, améliore la résistance de l'acier à l'oxydation par l'aire [12] [10].

I.5. Acier au manganèse (Hadfield)

I.5.1. 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 le tableau.

Ils assurent la formation de la phase austénitique cubique à face centrées(cfc), gamma 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 croît 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%.

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.

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.1 :Composition chimique de l'acier Hadfield [12].

Ces aciers n'ont pas une dureté élevée, mais ils possèdent une aptitude remarquable à s'écrouir 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'écrouir, 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.

Tofaute et Linden 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 :

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

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 :

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

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 (I-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 [6].

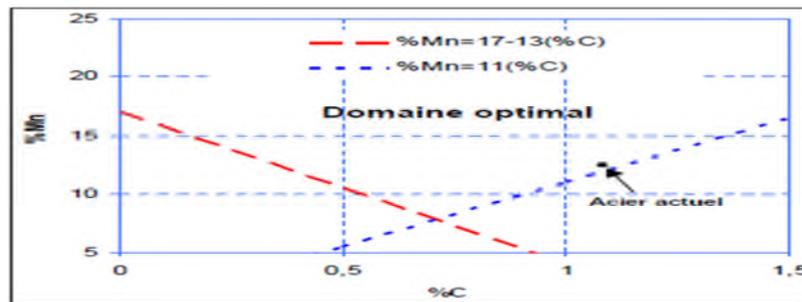


Figure I.1 : Domaine de composition optimale selon les équations (I.1) et (I.2) des aciers Hadfield [7].

I.6. Diagramme de phases 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.2** 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.

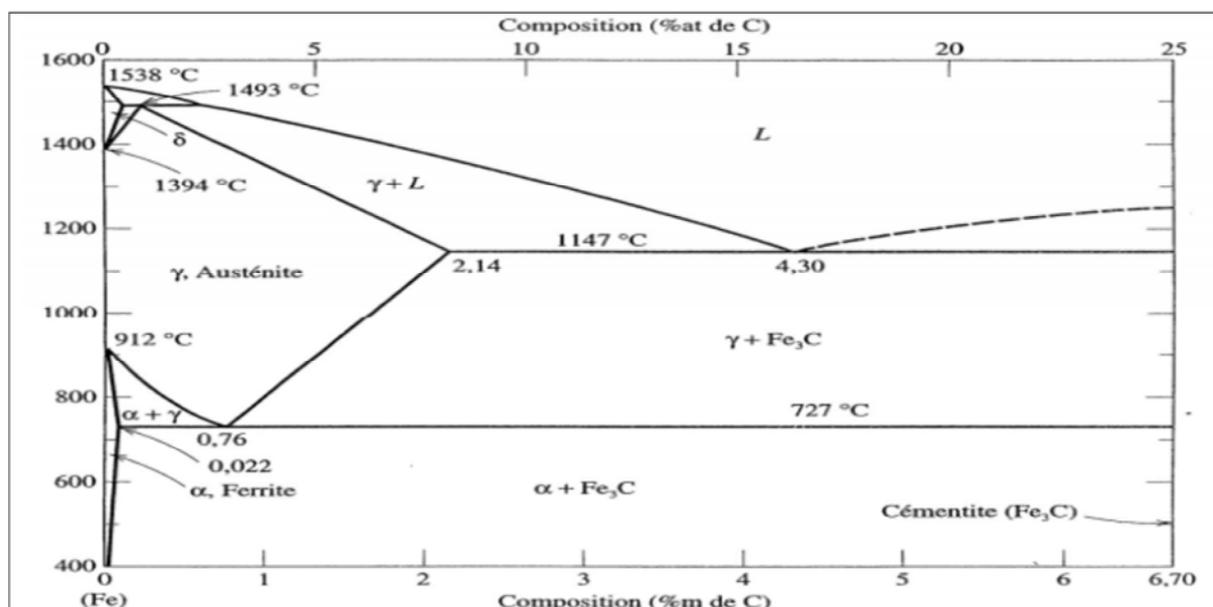


Figure I.2 : Diagramme d'équilibre fer-carbone [6].

I.6.1. 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.6.2. 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°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.6.3. La cémentite Fe_3C

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

I.6.4. 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 [1].

I.7. Diagramme Fer-manganèse

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.

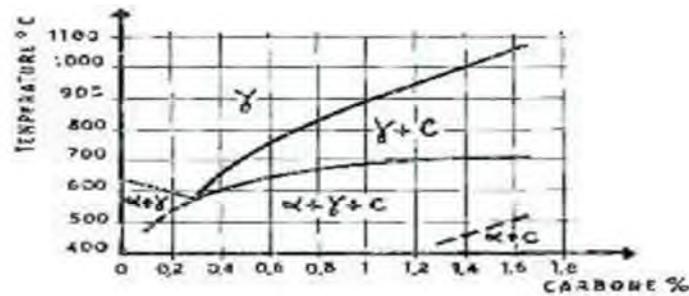


Figure I.3 : Diagramme d'équilibre des aciers à 13%Mn [12].

Ces aciers sont constitués en majeure partie d'austénite métastable. En effet, comme le montre la figure, 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 à face centrée) 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.

Après un traitement thermique d'hypertrempe (TTH), à la température ambiante, les aciers Hadfield présentent une structure austénitique cubique à faces contrées. Traitement thermique garantit l'obtention d'une structure austénitique propre sans précipité, le traitement thermique a pour effet de dissoudre et mettre en solution des éléments carburigènes et d'éviter la formation de carbures au joints de grains qui fragiliseraient la pièce [12] [7].

Les propriétés physiques de cet acier sont données par le tableau suivant :

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.2 : Propriétés physique de l'acier Hadfield [7].

I.8. Transformations de phases dans les aciers

Dans le diagramme fer-carbone, on a trois phases :

- En dessous de 912°C : la forme cristalline du fer est dite (fer α), sa structure cristalline est cubique centrée (cc).
- Entre 912° 1394°C , la structure cristalline du fer pur est cubique à face centrée (cfc), cette forme est dite (fer γ).
- Entre 1394°C à 1938°C , elle est dite (fer γ).

I.8.1. Transformation au cours de chauffage (austénitisation)

L'austénitisation est de mettre en solution le carbone et les autres éléments d'alliage précipités sous forme de carbure, et pour cela il faut se placer dans les conditions où le carbone est soluble dans le fer, donc de provoquer par chauffage, la transformation du fer α en fer γ . Cette transformation peut être obtenue si la température est supérieure à A_{c3} , pour faire cette transformation, on a quelques conditions :

- La vitesse de montée en température, la nature et la teneur des éléments alliés, qui influent sur la cinétique de transformation et les points de début et de fin de transformation.
- La température et la durée du maintien, au-delà de A_{c3} pour quantité d'austénite nouvellement formée, qui définissent la taille de grain austénitique.

I.8.2. Transformations au cours de refroidissement

En refroidissement, il y a trois types de transformations :

I.8.2.1. Transformation par diffusion

L'austénite se décompose pendant la période de croissance en agrégats ferrite-carbures après un temps d'incubation. Cette décomposition est gouvernée par le changement de réseau cristallin du fer γ (cfc) vers le fer α (cc).

L'augmentation de la taille de grain austénitique conduit à une augmentation du fait que celle-ci se développe essentiellement au joints des grains et que ceux-ci se voient diminués dans ce cas les grains étant moins nombreux.

I.8.2.2. Transformation par cisaillement ou transformation martensitique

La phase mère peut être conservée par un refroidissement très rapide dans un état d'équilibre métastable à basse température. La décomposition et la force motrice augmente avec l'abaissement de la température jusqu'à permettre un autre mode de transformation.

Au-dessous de la température de début de transformation martensitique (M_s) ou la force motrice devient suffisante pour faire apparaître un germe stable, l'interface se propage par un cisaillement de plan et de direction déterminés d'atomes, ce qui crée un nouveau réseau. La distance parcourue par un atome quelconque par rapport à ses voisins est inférieure à l'espacement des atomes dans les réseaux la composition de la phase mère et la phase produite sont les mêmes.

Lorsque l'austénite formée contient davantage de carbone et d'éléments d'alliages dissous, elle est plus trempante. Il est de même, lorsque la transformation martensitique est précédée d'une transformation par diffusion. La température de fin de transformation martensitiques (M_f) est difficilement décelable. Si ma température finale est maintenue entre M_s et M_f , la transformation est incomplète et de l'austénite subsiste (austénite résiduelle).

I.8.2.3. Transformation intermédiaires

En abaissant les températures de transformation d'un même alliage, on passe continument des transformations par diffusion limitée, à la transformation martensitique ou la mobilité atomique est négligeable et la force motrice considérable [2].

I.9. Protocole expérimental :

I.9.1. Traitement thermique

I.9.1.1. 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].

I.9.1.2. Procédés des traitements thermiques

I.9.1.2.1. L'austénitisation

Pour avoir l'austénitisation, il faut d'abord chauffer l'acier puis le garder dans son domaine austénitique à une température (30 à 50°C) environ 30 minutes. Durant cette période, la structure de l'acier se fait en transformant les éléments microstructuraux ferritique α (cc) en austénite γ (cfc) et en isolant la cémentite et les carbures dans l'austénite.

I.9.1.2.2. 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.

Il existe trois 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) 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 empêcheraient d'obtenir des résultats constants.

➤ **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).

➤ **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.

I.9.1.2.3. 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 [1].

I.9.2. Le polissage :

C'est la transformation d'une surface rugueuse a une surface polie compatible avec l'environnement buccal en répondant à des impératifs esthétiques et biologiques, sans modifier la forme obtenue lors de la phase de finition. Les étapes de finition et de polissage répondent à des objectifs différents.

Elles nécessitent donc l'utilisation d'instruments différents : pour la phase de finition, les instruments doivent être caractérisés par un pouvoir abrasif élevé, pour la phase de polissage, le pouvoir abrasif des instruments doit être le plus faible possible [13].

I.9.3. L'attaque chimique :

Dans le but d'observer la microstructure des phases de l'acier au manganèse pour voir les phases séparées. On maintient la surface de l'échantillon en contact avec le réactif jusqu'à l'apparition d'une couleur plus sombre [12].

I.9.4. Méthodes de caractérisation :

I.9.4.1. Microscope optique :

Permet l'observation micrographique sur les surfaces des échantillons subissant un polissage mécanique puis attaquées au réactif, le but de cette méthode est la mise en évidence de la microstructure du matériau, les différentes phases et la forme des grains [12].

I.9.4.2. Diffraction des rayons X :

C'est très important d'utiliser la diffraction des rayons X pour pouvoir indiquer les positions relatives des atomes dans un solide. La diffraction des rayons X est faite pour identifier le nature chimique et la structure des composés cristallisés, cette technique s'applique qu'à quelque produit (roches, cristaux, minéraux, pigments, argiles...) présentant les caractéristiques de l'état cristallin, cette technique s'organise en plans réticulaires plus ou moins denses qui sont désignés par leurs indices de Miller (h,k,l) dans un système de repère de l'espace.

Pour observer une intensité diffractée dans la direction θ , il faut que les interférences entre les rayons successifs soient constructives c'est-à-dire que le déphasage entre les rayons successifs doit être multiple de 2θ [8].

Alors on a la loi de Bragg comme suite :

$$2d_{(hkl)}\sin\theta=n\lambda \text{ (avec } n \text{ entier naturel non nul)} \quad (\text{II.1})$$

I.9.5. Essais mécaniques :

I.9.5.1. Essai de dureté :

La dureté quantifie la résistance d'un matériau à la pénétration sous une certaine charge F elle est fonction de [3]:

- Déformations élastiques et plastiques.
- Forces de frottements sur la surface du matériau.
- Géométrie de pénétration.
- Force appliquée.

On trouve différent essai de dureté :

- Essai de dureté Brinell.
- Essai de dureté Rockwell.
- Essai de dureté de Vickers.

I.9.5.2. 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 entaillé (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/cm^2 , 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 $w_o=300\text{J}$) 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 l'énergie absorbée [4].

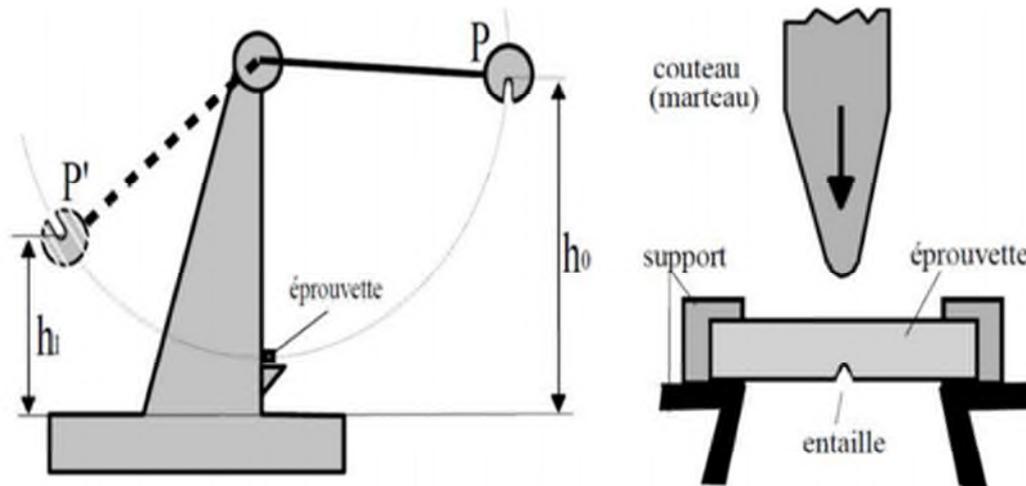


Figure II.6 : schématisation de l'essai de résilience [3].

La résilience est définie comme suite :

$$K_{cv} = \frac{W}{S} = \frac{W_0 - W_1}{S} \quad (\text{II.2})$$

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

I.10. 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 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 impact 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 petite taille.	700	Cônes et Mâchoires pour concasseurs giratoires secondaires et tertiaires. Mâchoires et marteaux pour emplois particuliers.
MnCr 18.2	Acier qui a de très bonnes caractéristiques 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.

Tableau I.3 : Domaine d'utilisation des aciers au manganèse [5].

I.11. Spécifications analytiques

Dans le tableau suivant on trouve les valeurs des éléments d'addition des différents aciers au manganèse :

NUANCES F.A.R.		C %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %
Mn 12	min:	1.10	11.50	0.80		
	max:	1.35	14.50			
MnCr 12.2	min:	1.10	11.50	1.00		
	max:	1.35	14.50	2.00		
MnX50	min:	1.40	11.50	1.00		
	max:	1.60	14.50	2.00		
MnMo 6.1	min:	1.10	6.00	0.60		0.80
	max:	1.30	8.00	1.20		1.20
MnCr 18.2	min:	1.20	18.00	1.00		
	max:	1.35	18.00	2.00		
MnCr 20.3	min:	1.35	18.00	2.50		
	max:	1.50	21.00	3.50		
MnNi 12.2	min:	0.95	11.50	1.00	1.40	
	max:	1.25	14.00		2.40	

Tableau I.4 : Spécifications analytiques des aciers au manganèse [5].

Conclusion

Dans ce chapitre on a pu connaître les aciers en général (propriétés, les éléments d'addition, diagramme fer-c), l'acier au manganèse Hadfield en particulier (sa composition, son traitement thermique).

Chapitre II

Introduction

La fragmentation d'un solide s'opère sous l'action d'un champ de contrainte tridimensionnel non homogène généré par des forces en contact. Le concassage est une opération particulière dans l'ensemble des opérations de fragmentation qui est une réduction de tout-venant extrait de la mine ou de la carrière jusqu'à une dimension de l'ordre du centimètre.

Ces concasseurs n'ont bien sûr pas les mêmes objectifs, ce qui signifie qu'il est important de choisir le bon concasseur pour telle tâche spécifique. La question est donc de savoir, quel sont les critères de choix ?

II.1. Définition du concasseur

Un concasseur est un équipement lourd destiné à briser la pierre en petits fragments appelés agrégats. Dans cette machine, les morceaux subissent une action d'écrasement soit répétée comme le cas dans les concasseurs à mâchoires ou giratoires, soit continue comme dans les concasseurs à cylindres.

II.2. Qualité de la matière et caractéristiques physiques

Pour pouvoir choisir le processus de concassage le plus approprié à une matière, il faut connaître la nature et les caractéristiques de cette matière comme les exigences auxquelles le produit concassé doit répondre.

Il est plus facile d'obtenir des informations fiables sur le type de matière, la composition chimique, l'homogénéité, la taille maximale, la distribution granulométrique, la teneur maximale en eau et la densité ainsi que des informations sur la distribution granulométrique de particules du produit concassé.

Par contre, il est plus difficile d'obtenir des informations fiables sur la consommation d'énergie, les caractéristiques d'usure, la résistance compressive et d'adhésivité des matières à concasser.

Certains fournisseurs de concasseurs ont des possibilités pour étudier ces caractéristiques en laboratoire. Chaque un d'eux a sa propre méthode et sait d'expérience comment les résultats obtenus sont liés au concassage effectué par les différents types de concasseurs.

Les caractéristiques d'adhésivités sont les plus difficiles à évaluer puisqu'elles sont liées à plusieurs caractéristiques physiques et il n'est pas facile d'empêcher les problèmes d'adhésivité lors du concassage ou d'y remédier. Ces caractéristiques sont principalement reniées à la structure de la matière et à la teneur en eau. Il est rare que les matières pierreuses absorbent suffisamment d'eau pour créer des problèmes d'adhésivité alors que les matières à grains fins et non-consolidées comme la craie, la marne et l'argile sont susceptibles d'absorber beaucoup d'eau [14].

II.3. Principes de concassage

On peut destiner 4 principe de fragmentation de la matière :

- Percussion qui est représenté par un marteau.
- Frottement qui est représenté par une lime.
- Cisaillement qui est représenté par un ciseaux.
- Compression qui est représenté par un étau.

Les concasseurs fonctionnent selon un ou plusieurs de ces principes. La grosseur maximum de la matière à concasser peut-être influencée par la procédure d'abattage par explosifs dans la carrière.

La compression est à la fois le principe qui consomme le moins d'énergie et le moins exposé à l'usure. Le choix semble donc être facile mais lorsqu'il tient compte des facteurs comme d'adhésivité, la taille des morceaux, la distribution granulométrique du produit, la complexité et le prix [14].

II.4. Type de concasseur et leurs principes de fonctionnement

Dans les machines opérant par compression, les morceaux subissent une action d'écrasement soit répétée, comme c'est le cas dans les concasseurs à mâchoires ou giratoires, soit continue comme dans les concasseurs à cylindres.

Dans les machines opérant par impact, les morceaux sont frappés violemment par un organe tournant à grande vitesse et projetés contre les enclumes, de façon à induire des fractures suivant les plans de clivage naturels de la roche.

Dans les machines opérant par attrition, c'est essentiellement l'abrasion qui est mise en jeu, ces machines sont surtout utilisées pour la production de sable.

Par convention, on classe les machines de concassage en fonction de l'action prépondérante qu'elles utilisent pour la fragmentation [15].

Les concasseurs opérant par compression :

- Concasseurs à mâchoires.
- Concasseurs giratoires.
- Concasseurs à cylindres.
- Concasseurs à rotors dentés.

Les concasseurs opérant par impact (choc) :

- Concasseurs à percussion à axe horizontal
- Concasseurs à percussion à axe vertical
- Concasseurs à cylindre de frappe

Les concasseurs opérant essentiellement par attrition :

- Broyeurs autogènes et semi-autogènes
- Trommels concasseurs en particulier

II.4.1. Appareils opérant par écrasement (compression)

II.4.1.1. Concasseurs à mâchoires

II.4.1.1.1. Principe de fonctionnement et description :

Dans ces appareils, le matériau est écrasé entre deux mâchoires verticales, l'une mobile et l'autre fixe. Le passage du matériau à travers l'appareil se fait par gravité.

Mais pour résoudre certains problèmes particuliers, il existe également un autre système appelé concasseur horizontal.

Les types les plus répandus de concasseurs à mâchoires verticales sont le concasseur à double effet (ou plutôt à double volet).

Mais actuellement dans l'industrie minière, seuls, sont utilisés les concasseurs à simple effet qui sont moins lourds (et donc moins chers) que les concasseurs à double effet [15].



FigureII.1 : Concasseur à mâchoires [15].

➤ **Le concasseur à simple effet (simple volet) :**

Dans un concasseur à simple effet la mâchoire mobile est liée à sa partie supérieure à un arbre excentrique cependant que sa partie inférieure repose sur un volet articulé, qui lui confère un mouvement alternatif d'amplitude limitée, mais qui provoque une friction de la mâchoire contre les matériaux. On dit que la mâchoire mobile glisse de bas en haut, pendant la phase d'ouverture, puis de haut en bas, pendant la phase de fermeture, d'une quantité voisine du double le l'excentricité de l'arbre [15].



FigureII.2 : Concasseur à mâchoire à simple effet [15].

➤ **Le concasseur à double effet (double volet) :**

La mâchoire mobile est portée par un balancier qui pivote autour d'un axe situé à sa partie supérieure. À la partie inférieure de ce balancier, une bielle est animée à sa partie supérieure d'un mouvement circulaire uniforme par un arbre excentrique à quatre paliers. Un système à deux volets entre les parties inférieures du balancier et de la bielle, d'une part, et bielle et bâti, d'autre part, permet de transformer le mouvement de la bielle en un mouvement (circulaire) alternatif périodique du bas du balancier [15].

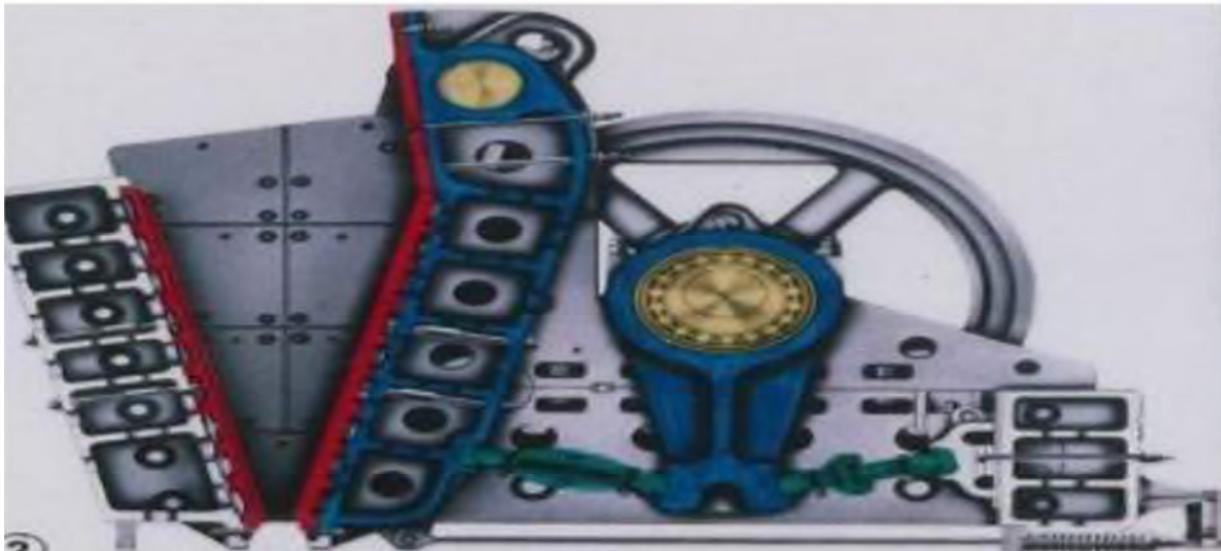


Figure II.3 : Concasseur à mâchoire à double effet [15].

II.4.1.1.2. Utilisations et caractéristiques des concasseurs à mâchoires :

Les appareils à mâchoires sont essentiellement utilisés en concasseurs primaires dans les carrières de roches massives et dures ou dans les mines, soit en installations fixes, soit en installations mobiles et semi mobiles. Dans tous les cas, ils doivent être alimentés au moyen d'une trémie, d'un distributeur et éventuellement d'un crible pour court-circuiter les produits dont la dimension est inférieure au réglage [15].

II.4.1.2. Concasseurs giratoires :

Il existe deux familles distinctes de concasseurs giratoires :

Les appareils à tête montée sur arbre guidé et porté et les appareils dits (à tête en porte à faux).

II.4.1.2.1. Principe de fonctionnement et description :

Les concasseurs giratoires représentent les appareils les plus répandus dans diverses étapes de préparation des minerais des matériaux.

➤ **Les appareils à tête montée sur arbre guidé :**

Ces appareils sont utilisés dans toutes les applications primaires mais existent aussi en applications secondaires. Souvent préféré des appareils dits (à tête en porte à faux).

Les appareils dits (à tête en porte à faux)

Ils sont utilisés à partir du stage de concassage secondaire et dans les applications tertiaires.

On étudiera chacune de ces machines en fonction de leurs applications :

Ils sont tous à arbre guidé et porté. L'arbre est guidé en tête, dans un étrier, au niveau de l'intersection des axes de l'arbre et du bâti de la machine, et porté en pied par un vérin permettant le réglage et la compensation de l'usure. L'entraînement se fait en pied par l'excentrique monté le plus souvent sur bague bronze, et parfois sur roulement.

Le mouvement y est transmis directement par l'intermédiaire d'un couple d'engrenages coniques formant à la fois réduction et renvoi d'angle (ou anciennement par poulie à axe vertical).

La chambre de broyage, largement ouverte, a pour bissectrice une génératrice quasi-verticale.

L'évacuation des matériaux concassés s'effectue en sortie inférieure par décharge annulaire (ou par deux couloirs si entraînement direct par poulie à axe vertical). Pour les anciens appareils à tête suspendue, le réglage était réalisé par écran en partie supérieur de l'arbre-l'arbre est supporté par un vérin qui permet un réglage quasi instantané. Les facteurs déterminant pour la production et le rendement des concasseurs sont, bien évidemment, le choix de la dimension, suivi de :

- La vitesse de rotation
- L'angle de prise des matériaux entre les pièces bruyantes qui ne doit pas dépasser 280 sous peine de voir les blocs sauter dans cuve broyage.

On caractérise habituellement les concasseurs giratoires primaires par la dimension radiale des ouvertures d'admission, exprimée en pouces. Suivie du diamètre de la mâchoire mobile à sa partie inférieure, exprimée également en pouces.

En effet, ce sont les deux chiffres caractérisant le mieux les possibilités de l'appareil, puisque le premier conditionne la dimension des blocs à l'alimentation et le second conditionne le débit dont l'appareil est capable pour un réglage donné [15].

- Le débit des concasseurs est, bien évidemment fonction de la dimension, et ensuite de la vitesse de rotation et de l'excentricité de l'arbre concasseurs giratoires primaires.
- Concasseurs giratoires secondaires
- Concasseurs giratoires tertiaires
- Concasseurs giratoires pour production de sable

II.4.1.2.2. Concasseurs giratoires primaires :

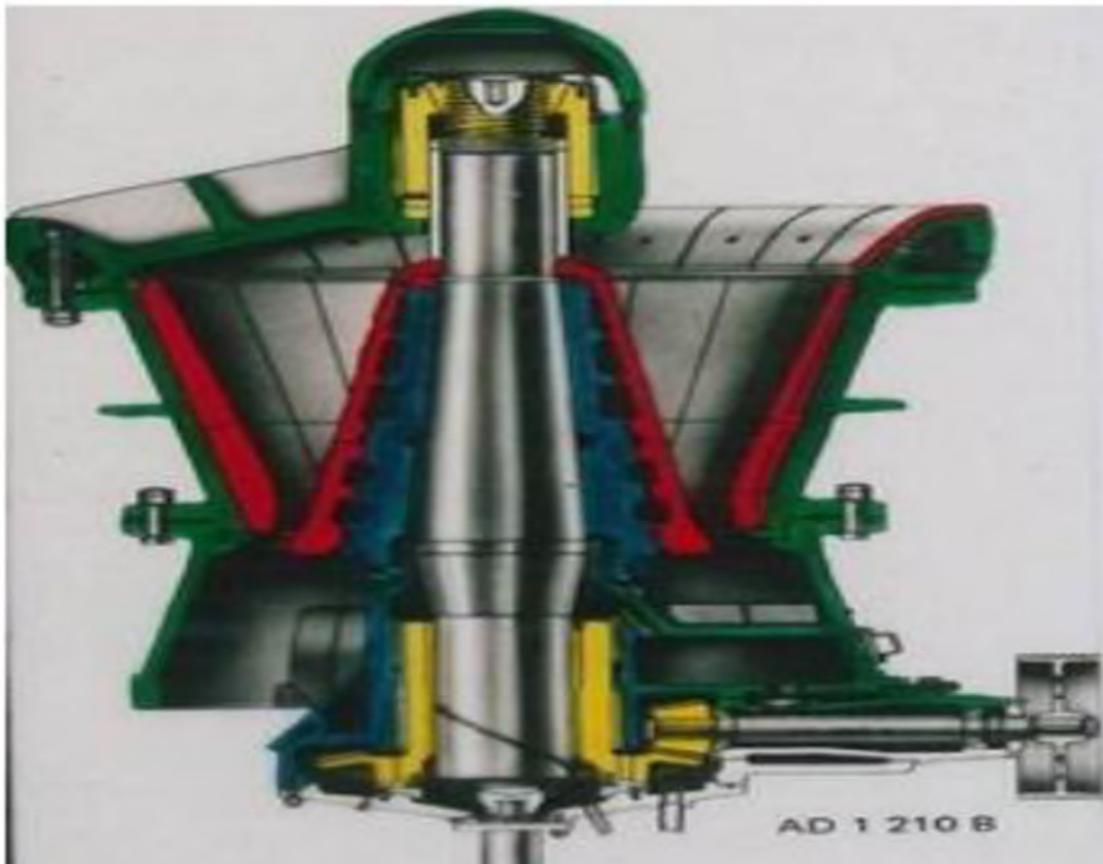


Figure II.4 : Concasseur giratoire primaire à tête guidée et portée [15].

II.4.1.2.3. Les concasseurs giratoires secondaires :

Ce sont des appareils destinés à reprendre les matériaux pré-concassés à l'étage primaire afin de les ramener à une dimension admissible pour les matériaux fins, sauf les ballasts.

Le concassage secondaire assure un grand rapport de réduction 4 à 5 les contraintes suivent les mêmes critères comme le concasseur primaire tel que :

- Admission et dégagement des produits à concasseur très libre
- Angle de pincement dans la chambre de broyage déterminé à la limite de la préhension des matériaux à traiter.

Les concasseurs giratoires secondaires, ce sont des appareils (à tête sur arbre en porte à faux) ce dernier système, présente plusieurs avantages [15]:

- Maintien d'un circuit fermé
- Retour rapide au réglage établi de la mâchoire
- Raideur des ressorts oléopneumatiques plus faible que les traditionnels ressorts mécaniques.

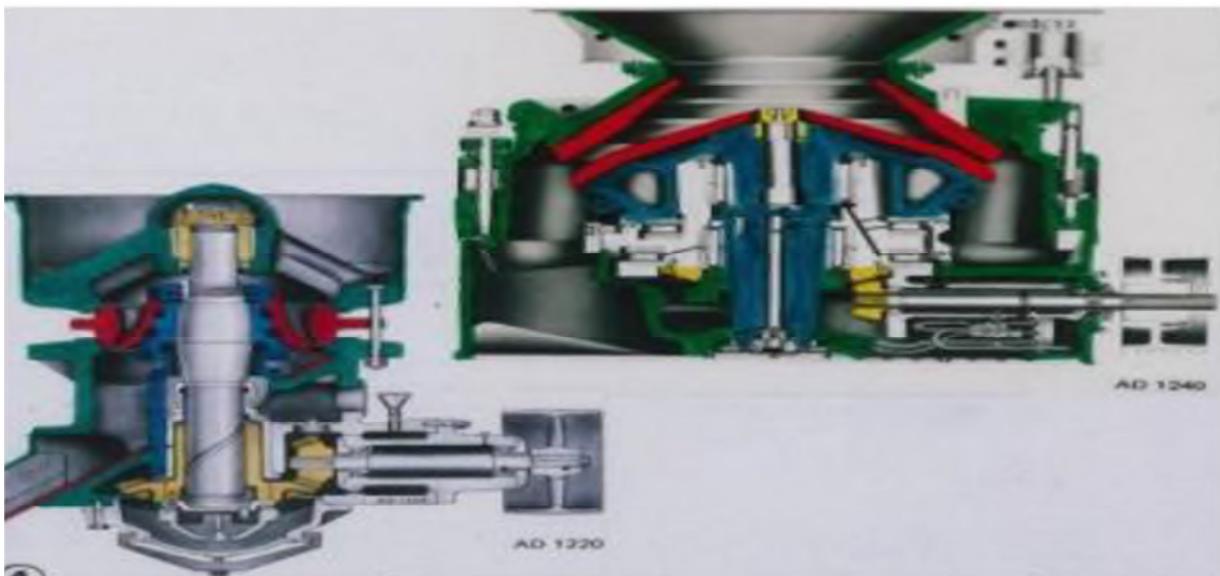


Figure II.5 : Concasseur giratoire secondaire [15].

II.4.1.2.4. Les concasseurs giratoires tertiaires :

Ils ne diffèrent des concasseurs secondaires que par la géométrie de la chambre de concassage.

Il s'agit donc de machine déterminante dans la chaîne de production de granula routier ou de béton, qui nécessite par ailleurs une qualité intrinsèque de grande dureté et une grande résistance à l'abrasion.

Les efforts des différents constructeurs, au cours des dernières décennies, ont porté sur la mise en évidence et la bonne application des conditions idéales d'exploitation, afin d'améliorer :

- Le coefficient de réduction.
- Le coefficient d'aplatissement.
- Le coût des pièces d'usure ramené à la tonne des produits finis.
- Le rapport puissance absorbée /tonnage produit.

Toutes ces conditions sont déterminées par :

- La forme de la chambre de concassage
- La vitesse d'excitation de la tête
- L'inclinaison de la tête par rapport au bol

On recherchera dans les concasseurs giratoires tertiaires, des chambres très faiblement décroissantes en volume, pour assurer une bonne capacité des produits en cours de concassage.

Une qualité régulière des produits est assurée par un réglage automatique continu de l'ouverture de la chambre de concassage. Ainsi tous les appareils tertiaires bénéficient du même développement d'assistance hydraulique décret pour les concasseurs secondaires [15].

Le plus souvent, ces asservissements, hydrauliques sont pilotés par automate programmable asservi à :

- La puissance absorbée.
- Le niveau des matériaux dans la cuve de réception.
- Le débit de produit.

II.4.1.3. Concasseurs rotors dentés

II.4.1.3.1. Introduction

Les concasseurs à rotors dentés sont à double (ou triple) rotor munis de divers organes coupants, sont utilisés pour des matériaux tendres ou collants.



FigureII.6 : Concasseurs à rotors dentés [15].

Depuis une vingtaine d'années ce concept du double rotor a été repensé et développé par la société britannique MMD (mining machinery development). Il en résulté le développement d'un type un peu particulier de concasseur (pour le concassage grossier et moyen principalement) compact, de profil bas, facilement intégrables dans les installations mobiles, capables de très gros débits et convenant, en particulier, à des matériaux humides et collants [15].



FigureII.7 : Concasseur MMD série 500 [15].

II.4.1.3.2. Principe et description

Le principe de base repose sur le fait que la résistance à la compression d'une roche est de 8 à 10 fois plus importante que sa résistance à la tension.

Le système MMD exploite de fractures naturelles pour fragmenter les matériaux à une taille prédéterminée [15].

II.4.2. Appareils opérant par choc

II.4.2.1. Concasseur à percussion

II.4.2.1.1. Généralités

Le principe général de la plupart des appareils opérant par choc est simple, un rotor tournant à grande vitesse et portant un certain nombre de pièces de choc (percuteurs) fixes ou articulées lance le matériau sur des plaques dites de choc ou enclumes ou sur une couche de même matériau.

Dans les concasseurs à percussion, il faut que la vitesse d'impact soit au moins égale à 20m/s pour provoquer la rupture du matériau. Pratiquement, la vitesse tangentielle des percuteurs est souvent nettement plus élevée. Ces machines fonctionnent donc sur le principe de la rupture des matériaux au choc, de manière quasi instantanée, par opposition à la rupture par écrasement [15].

II.4.2.1.2. Principe de fonctionnement

Le fonctionnement de ces concasseurs se caractérise par rapport aux concasseurs opérant par écrasement.

- La courbe granulométrique des produits obtenus est beaucoup plus riche en éléments fins
- Les produits sont sensiblement plus cubiques, le coefficient de réduction est élevé, surtout si l'on traite des matériaux fragiles.
- La consommation d'énergie est faible eu égard au rapport de réduction et au débit obtenu.

II.4.2.2. Concasseurs à percussion à axe horizontal

Cette famille est elle-même divisée en deux groupes :

Les appareils à percuteurs rigides et ceux qui ont des percuteurs articulés.

II.4.2.2.1. Concasseurs à percuteurs rigides

Ils sont constitués d'un rotor cylindrique à vitesse variable muni de percuteurs et d'un bâti avec des plaques de choc. Constituant un, deux ou trois écrans réglables en position en fonction du nombre d'étages de concassage recherché et du coefficient de réduction. Tous les paramètres de ces appareils sont réglables à distance, permettant ainsi leur intégration dans un ensemble automatisé. Ils ne possèdent pas de grille de sortie.

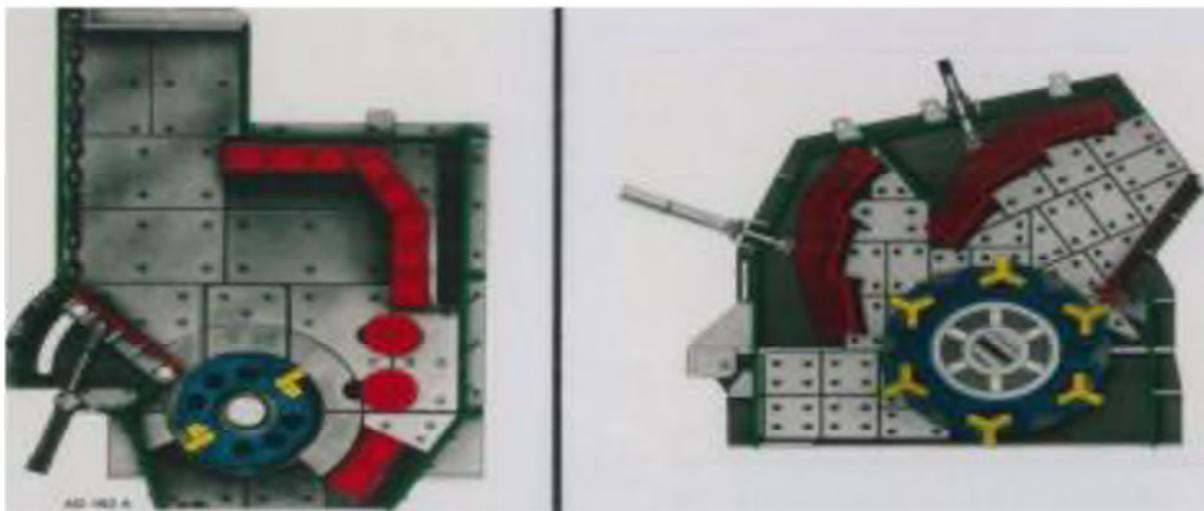


Figure II.8 : Principe d'un concasseur à percuteurs rigides [15].

II.4.2.2. Concasseurs à percuteurs articulés

Le principe est le même que le concasseur à percuteurs rigides, sauf que la chambre de broyage est ouverte à la partie inférieure, l'avantage est l'absence de bourrage.

L'inconvénient étant le manque de contrôle granulométrique des matériaux sortant.

Lorsqu'il est nécessaire d'effectuer un contrôle granulométrique des matériaux.

Par exemple dans le cas de la production de produit fins, le fabricant met une grille galbée à la partie inférieure, le risque de bourrage apparaît et est atténué par le remplacement des percuteurs rigides par des percuteurs articulés [15].

II.4.2.3. Concasseurs à percussion à axe vertical

Il existe trois types de concasseurs à percussion à axe vertical

- ❖ Concasseur à impact unique.
- ❖ Machines à double impact indirect.
- ❖ La machine synchro concasseur.

II.5. Choix du concasseur

Nous avons déjà mentionné auparavant des critères de sélection d'un concasseur compte-tenu de la nature et des caractéristiques de la matière à concasser.

L'autre facteur important est celui du taux de réduction des concasseurs : c.-à-d. le taux existant entre la plus grande dimension linéaire de la matière avant concassage et la plus grande dimension linéaire après concassage. Le taux de réduction relativement bas des différents types de concasseurs constitue souvent un problème.

C'est le cas particulièrement pour les concasseurs à mâchoire et à cône et pour les concasseurs à cylindre. Les concasseurs à marteaux et à barres d'impact ont généralement un fort taux de réduction. Ce qui signifie qu'avec les concasseurs à marteaux ou à barre d'impact, le concassage peut être effectué en une seule étape alors qu'avec les autres types de concasseurs, il faudra deux, trois ou plusieurs étapes [14].

Dans le tableau suivant on trouve les caractéristiques des concasseurs :

appareil	Dimension maximale admise (mm)	Rapport de réduction normaux	Capacités maximale (t /h)	Energie consommée par tonne traitée
Concasseurs à mâchoires	2500	1/4 à 1/6	4000	0.4 à 2
Concasseurs giratoires primaires	1600	1/4 à 1/5	7000	0.25 à 0.75
Concasseurs giratoires secondaires	750	1/5 à 1/8	3000	0.5 à 1
concasseurs à cônes tête courte	175	1/4 à 1/7	1500	1.5 à 2
concasseurs à cylindres cannelés	0.05 à 0.6 (diamètre)	1.3 à 1.4	2000	0.3 à 0.75
Concasseurs à percussion (percuteurs rigides)	2000	1/8 à 1/15	1200	0.2 à 0.6
Concasseurs à marteaux articulés	0.1 à 0.8 (diamètre)	1/10 à 1/30	1200	0.2 à 0.6
Trommels concasseurs	0.1 à 0.5 (diamètre)	25	400	0.1 à 0.3

Tableau II.1 : caractéristiques des appareils de fragmentation grossière (concasseurs) [9].

II.6. Dimensionnement du concasseur

La taille du concasseur est déterminée par la taille maximale de l'alimentation, la capacité de production et la finesse du produit. La capacité de production dépend du degré de finesse désiré.

Les limites du concasseur sont généralement bien expliquées dans le catalogue du fournisseur.

Le choix du type de concasseurs et leurs dimensionnements nécessite un savoir particulier et de l'expérience, c'est pourquoi il est déconseillé de choisir le type et la taille du concasseur par catalogue. Il vaut mieux informer directement l'éventuel fournisseur des besoins de production et lui demander un devis ainsi qu'une garantie afin qu'il s'engage à remplir les exigences de production spécifiques.

La dimension du moteur doit également être décidée et garantie par le fournisseur du concasseur.

En ce qui concerne l'usure, il est conseillé de demander au fournisseur la garantie d'une certaine durée de vie pour les pièces soumises à l'usure comme les marteaux, les barreaux de grille de sortie etc... [14].

Conclusion

Le choix d'un concasseur dépend essentiellement de la tâche spécifique, et de la matière à concasser. Chaque type de concasseurs a son principe de fonctionnement.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail nous a permis d'apporter beaucoup de compréhension sur le matériau utilisé dans la fabrication des concasseurs à mâchoires.

L'acier au manganèse est un matériau utilisé pour les pièces subissent au chocs et à l'usure

Notre étude nous a permis d'observer et de suivre l'influence d'un traitement thermique sur le comportement de cet acier. A travers le traitement thermique, l'analyse par diffraction X, l'essai de dureté et de résilience, nous concluons que :

- La température d'austénitisation influe sur les propriétés mécaniques de cet acier.
- Le milieu de refroidissement influe aussi sur les propriétés mécaniques.
- Le matériau utilisé pour la fabrication des mâchoires pour concasseurs est l'acier au manganèse.
- On constate l'existence des concasseurs qui travaillent à la compression, au chocs, à l'attrition.

Perspectives et recommandations

Cette étude nous a permis de connaître les aciers au manganèse et leur domaine d'utilisation et le protocole expérimental qu'il faut suivre. Les différents types de concasseur, leurs fonctionnements.

Du fait les perspectives peuvent être comme suite :

- Réaliser le protocole expérimental pour les différents types d'acier au manganèse.
- Faire le traitement thermique avec tous les milieux de refroidissement.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] AOUI Belkacem. Comportement à la fatigue d'un acier au carbone après traitement thermique, mémoire de Master. 2017. Université Mohamed BOUDHIAF M'SILA.
- [2] BOUDHIAF Achraf. Relation microstructure-comportement microscopique dans les aciers : effet de la taille de grain austénitique sur la plasticité de transformation, thèse Doctorat. 2011. Institut national des sciences appliquées de Rouen.
- [3] BOUDILMI Abd El Hakim. Contribution à l'étude de la fatigue des matériaux, mémoire de master. 2016. Université de M'sila.
- [4] FNIDES Mohamed. Magistère, contribution à l'étude expérimentale et à la simulation numérique de la loi de frottement entre deux matériaux par des essais de torsion. 2012.université 8 mai1945 Guelma.
- [5] Fonderie AcciaierieRoiale. Aciers austénitique au manganèse, document technique d'une entreprise. 33010Reana Del Rojale (Ud) Italia. Email :info@farspa.com.
- [6] HADDOUCHE Kawther. La caractérisation d'un acier inoxydable duplex, mémoire de master.2019. Université 8 mai 1945 Guelma.
- [7] HARZALLAH Ridha. Etude de comportement mécanique et tribologique des aciers austénitiques au manganèse : application aux cœurs de voies ferroviaires, thèse de Doctorat. 2010. Ecole nationale supérieure des mines de paris.
- [8] MARZOUG Mariam. Synthèse et caractérisation par diffraction des rayons X d'un nouveau compose hybride à base de l'avion sulfat et d'un dérive pyrazinique, mémoire de master. 2011. Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouagi.
- [9] RABIAI Yassine. Etude et vérification de choix de concasseur dans une cimenterie, mémoire de master.2016. Université Abderahmane Mira Bejaia.
- [10] RAHIMI Naoufel. Etude de l'influence du traitement thermique sur le comportement à l'usure d'un acier, mémoire de Master. 2018. Université BADJI Mokhtar Annaba.
- [11] SILEM Hamza. Etude de l'effet de la charge normale appliquée sur le comportement tribologique des couple métallique, mémoire de Master. 2016. Université Mohamed BOUDHIAF M'SILA.

[12] ZIOUAL Sara. Influence des traitements thermiques sur les propriétés mécanique d'un acier au manganèse, mémoire de Master. 2019. Université Abderrahmane MIRA BEJAIA.

[13] NDINKABANDI. Procédures de finition et de polissage des matériaux composites utilisés en technique directe : revue systématique de la littérature. Thèse de Doctorat.2017.université de Bordeaux.

[14] LAIFA Fakhreddine. Etude technico-économique des marteaux du concasseur EV250*300-2-85 de l'usine LAFARGE CIMENT de M'sila.2017. Université de M'sila.

[15] BENSADI Ahmed. Etude de l'usure du concasseur à marteaux intermédiaires EV250*300-2-85. Mémoire de master.2018. Université de M'sila.

Résumé

Le choix d'un matériau se fait sur un compromis entre ses propriétés, et les contraintes qu'il doit satisfaire.

Ce travail mené sur l'étude des propriétés de l'acier en général, l'acier au manganèse en particulier destinés à la fabrication des mâchoires pour concasseur. Et encore le protocole expérimental de cette acier pour pouvoir améliorer ces propriétés mécaniques.

Et d'autre par une étude sur les propriétés, le principe de fonctionnement et le processus du concassage des différents types de concasseurs.

Abstract

The choice of materials is done on a compromise between his properties, and the constraints that it must satisfy.

This work carried out on the study of the properties of steel in general, the manganese steel in particular destined to manufacturing crushers jaws. And experimental protocol of this steel to be able to improve its properties.

And another by a study of the properties, the principle of functioning and the crushing process of different types of crushers.

ملخص

اختيار المواد يكون بدمج الخصائص والقيود التي يجب ارضائها.
هذا العمل هو عبارة عن دراسة خصائص الفولاذ بصفه عامة والفولاذ بالمنغنيز بصفه خاصة. مهيبى لصنع فكوك المحطمت والبروتوكول التجريبي لهذا الفولاذ لتحسين الخصائص الميكانيكية.
ومن جهة اخرى دراسة عامة على الخصائص، مبدأ التشغيل ومعالجة التحطيم لمختلف المحطمت.