

People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Mohamed Boudiaf University, M'sila
Faculty of Technology

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد بوضياف المسيلة
كلية تكنولوجيا



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER 2

En Génie Mécanique

Option : Techniques de productions industrielles

Présenté par :

BOURAS Abdelkarim

Encadré par : Dr. FARSI Chouki

Thème

Contribution à l'amélioration du schéma de concassage de la matière première pour la fabrication du ciment.(Exemple: Ciment de LAFARGE de M'sila)

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
AISSI Adel	MCA	President.
MECHTA Ahlem	Doctorante	Examination
FARSI Chouki	MCA	Encadreur

Année Universitaire: 2021 / 2022

N° d'ordre: GM/ /2022

Remerciement

Je remercie Dieu le tout Puissant qui m'a donné la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Je tiens à remercier en premier lieu tous les enseignants du département de génie mécaniques, puis mon encadreur Mr. FARSI C. d'avoir accepté de poursuivre ce travail, et pour la confiance qu'il m'adonné et ses précieux conseils.

Mes remerciements vont également aux membres de jury d'avoir accepté de juger mon travail.

Mon grand merci a mon guide a la cimenterie
LAFARGE de M'sila

Mr: Rabeh Abdelmadjid

Je conclurai, en remerciant vivement toute ma famille qui m'a toujours Supporté moralement et financièrement pendant toutes mes longues années d'étude.

Sommaire:

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Généralité sur le concassage	2
1.1. Introduction.....	3
1.2. Définition de concassage	3
1.3. Type de circuits de concassage : [1]	4
1.4. Type de concasseur	5
1.4.1. Concasseur à mâchoires	5
1.4.2. Concasseur giratoire.....	6
1.4.3. Concasseurs à marteaux	6
1.4.4. Concasseur à cône :[2]	7
1.4.5. Concasseur à rouleaux :[3].....	8
1.4.6. Concasseurs à percussion :[4].....	9
1.5. Capacité du concasseur	10
1.6. Etape de concassage :[2]	10
1.6.1. Concassages primaires	10
1.6.2. Concassage secondaires/tertiaires	10
1.7. Conclusion	11
Chapitre 2 : Maintenance des machines de concassage	12
2.1. Introduction:.....	13
2.2. Définition:	13
2.3. Objectifs de la maintenance	13
2.4. Missions de la maintenance	14
2.5. Types de maintenance	15
2.5.1. Maintenance corrective	15
2.5.2. Maintenance preventive	15
2.6. Techniques utilisées dans la maintenance.....	16
2.6.1. Analyse d'huile [6].....	16
2.6.2. Thermographie infrarouge [6].....	16
2.6.3. Analyse Vibratoire [6]	17
2.7. Analyse vibratoire	17
2.7.1. Vibration	17
2.7.2. Mesure de niveau global [7].....	18

2.7.3.	Analyse spectrale [7].....	18
2.7.4.	Capteur de vibration [6]	18
2.7.4.1.	Accéléromètre [7]	19
2.7.4.2.	Vélocimètre [7]	19
2.7.4.3.	Capteur de déplacement [7]	20
2.7.5.	Point de mesure Les mesures	21
2.8.	Différentes défaillances des machines tournantes	21
2.8.1.	Balourd [9]	22
2.8.2.	Désalignement [9].....	22
2.8.3.	Défauts d'engrenage : [6].....	23
2.8.4.	Défauts de roulements:	24
2.8.4.1.	Protection des roulements [9]	25
2.8.5.	Défauts de courroie	26
2.9.	Conclusion:	27
Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment.....		28
3.1	Introduction.....	29
3.2	Concassage des matières	29
3.3	Qualité de la matière et caractéristiques physiques	30
3.4	Principes de concassage	33
3.5	Types d'installation de concasseur	34
3.5.1	Concasseur à marteaux FLS, type EV	37
3.5.2	Concasseur à marteaux articulés à double rotor avec grille de sortie	39
3.5.3	Concasseur à marteaux articulés sans grille de sortie	40
3.5.4	Concasseur à barres d'impact	41
3.6	Choix du concasseur	42
3.7	Dimensionnement du concasseur.....	44
3.8	Trémies d'alimentation.....	45
3.9	Alimentation des concasseurs	46
3.9.1	Alimentation	46
3.9.2	Alimentateurs	48
3.10	Pour une alimentation optimale	51
3.11	Concasseur et structure support	52
3.11.1	Concasseur	52
3.11.2	Structures	53
3.12	Choix du fournisseur:.....	54

3.13	Pièces d'usure du concasseur:	54
3.14	Conclusion	56
	Conclusion générale	57
	Références	59

Liste des figures:

Figure 1. 1: Circuits de concassage	4
Figure 1. 2: Concasseur à mâchoires.....	5
Figure 1. 3: Concasseur giratoire	6
Figure 1. 4: Concasseur à marteaux	7
Figure 1. 5: Concasseur à cône.....	8
Figure 1. 6: Concasseur à rouleaux.....	9
Figure 1. 7: Concasseurs à percussion.....	9
Figure 2. 1: Schéma de typologie de maintenance.....	13
Figure 2. 2: Exemple de la thermographie infrarouge.....	17
Figure 2. 3: Schéma d'un accéléromètre	19
Figure 2. 4: Schéma de principe d'un vélocimètre.....	20
Figure 2. 5: Schéma d'un capteur de déplacement.....	20
Figure 2. 6: Position de point de mesure.....	21
Figure 2. 7: Défauts désalignement.....	22
Figure 2. 8: Schéma d'un engrenage	23
Figure 2. 9: Schéma d'un roulement à bille	24
Figure 3. 1: (a) Diagramme RRSB ; (b) Comparaison d'énergie consommée du concassage et broyage entre Broyeur à Boulet et broyeur à rouleaux.....	31
Figure 3. 2: Principe de fragmentation de la matière	34
Figure 3. 3: Concassage à un étage en une passe avec concasseur à marteaux rotatifs et grille de sortie ou avec concasseur à barre d'impact. [10].	35
Figure 3. 4: Ancien modèle de concassage à deux étages en une seule passe avec concasseur à mâchoires et concasseur à marteaux rotatifs et à double rotors avec grille de sortie. [10]......	36
Figure 3. 5: Concassage à un étage en une seule passe d'argile collante dans des concasseurs à rouleaux. [10].....	36
Figure 3. 6: Concasseur à marteaux à un cylindre d'avancement ;(b) Concasseur à marteaux à deux cylindres d'avancement (c) Concasseur à marteaux éclaté [12].....	39
Figure 3. 7: Concasseur à marteaux rotatifs à double rotor avec grille de sortie	40

Introduction générale :

La fragmentation, le concassage et le broyage des corps solides ont fait, depuis longtemps, l'objet d'innombrables recherches théoriques. Les travaux les plus récents concourent à une remise en cause des concepts du mécanisme de la rupture. L'amélioration des moyens d'appréciation a permis de mettre en évidence la variété des processus mis en jeu dans la rupture. Une fragmentation supposée réalisée de telle sorte qu'aucun des fragments obtenus ne dépasse une dimension préalablement définie. La fragmentation, le concassage et le broyage jouent un rôle primordial dans les applications industrielles (cimenterie, briqueterie...etc.) dans l'agroalimentaire, recyclage de déchets, comme dans d'autres domaines, c'est pour cela, il existe plusieurs types de concasseurs et broyeurs Notre étude s'articule autour de trois chapitres : Le premier chapitre est des généralités sur le broyage et les différents types des concasseurs. Pour le deuxième chapitre, nous traitons les types de maintenance appliqués au niveau des entreprises industrielles et la connaissance des causes des pannes probables qui touchent les concasseurs durant le service et les remèdes qui conviennent. Dans troisième chapitre concerne Concassage dans l'industrie du ciment. Et en fin, ce mémoire se termine par une conclusion générale.

*Chapitre 1 : Généralité sur le
concassage*

Chapitre 1 : Généralité sur le concassage

1.1. Introduction :

Le concassage joue un rôle important dans les granulats et l'exploitation minière industries en réduisant la taille des particules de solides granulaires, tels que roches et minerais. Avant que la taille de produit souhaitée ne soit atteinte, l'alimentation le matériau subit 2 à 4 étapes de broyage qui forment un circuit. Chaque circuit de broyage consiste en une combinaison unique d'unités opérations de concassage, de criblage, de convoyage, d'alimentation et de stockage. Contrairement à la modélisation en régime permanent qui se concentre principalement sur concassage et criblage, chaque opération unitaire du circuit contribue à la présentation dynamique. La modélisation dynamique des circuits de broyage pour la conception de systèmes de contrôle analytique n'a pas reçu beaucoup d'attention dans la littérature scientifique. Traditionnellement, l'intérêt a été limité à la gamme étroite d'applications minières pour contrôler la charge du concasseur en manipulant l'alimentation taux. Contrôle de la taille et de la forme du produit du concasseur à l'aide de variables manipulées (c'est-à-dire le réglage du côté fermé (closed side setting CSS) ou l'excentrique vitesse (eccentric Speed ES)), n'a pas été abordé à partir de la modélisation dynamique perspective. Cependant, le contrôle du broyage offre des possibilités majeures pour efficacité et rentabilité.

1.2. Définition de concassage :

Le concassage est la première étape de fragmentation. C'est l'opération qui permet la réduction granulométrique des matériaux, autrement dit la diminution de la taille des éléments qui constituent les matériaux en cours d'élaboration. Il s'agit d'un procédé purement mécanique qui consiste, le plus souvent, à placer les matériaux entre deux plaques métalliques dont l'une est fixe et l'autre est mobile et se rapproche de la plaque fixe. En fonction de la vitesse de rapprochement, on parlera d'écrasement ou de percussion. Cette tâche s'effectue en deux ou trois stades (concassage primaire, secondaire et tertiaire), essentiellement en voie sèche. Les concasseurs industriels réduisent la matière depuis de très gros morceaux ou blocs jusqu'à environ 10 mm. Ils fonctionnent selon des principes différents selon les caractéristiques de la matière (résistance mécanique, abrasivité, humidité) : par compression/écrasement (concasseur à mâchoires, giratoire, à cône ou à cylindres) ou par choc/percussion (concasseur à impact ou à marteaux). Le concassage primaire est la première étape mécanique dans le procédé de fragmentation. Cette opération permet de réduire la taille des particules du tout-venant de la mine jusqu'à ce qu'elles aient une taille acceptable pour

Chapitre 1 : Généralité sur le concassage

pouvoir subir le traitement en aval. Il se place donc dans le « flowsheet » à la sortie de la mine. Afin d'obtenir la granulométrie nécessaire à leur valorisation ou à leur utilisation ultérieure, le concassage primaire est dans la majorité des cas suivi d'un concassage secondaire, voire au concassage tertiaire ou encore même quaternaire. La fragmentation dans un concasseur peut être réalisée de différentes manières :

- Par compression contre une surface rigide ;
- Par auto-concassage (attrition) lors de la phase de compression ;
- Par projection contre une surface rigide ;
- Par projection matière sur matière (autogène). Ou selon le type de concasseur en combinant plusieurs de ces techniques. L'opération de concassage est réalisée à sec.

1.3. Type de circuits de concassage : [1]

Le concassage des solides peut avoir lieu en circuit ouvert ou en circuit fermé :

- En circuit ouvert, les produits ne passent qu'une seule fois dans le concasseur.
- En circuit fermé, la granulométrie des produits est contrôlée dès la sortie, et les produits dont la granulométrie est trop grosse sont aussitôt renvoyés pour être reconcassés.

En pratique, le concassage en circuit fermé est la technique la plus fréquemment rencontrée. Les particules passent au travers d'un crible et comme précisé ci-dessus, celles qui sont insuffisamment réduites sont renvoyées pour être reconcassées (**Figure 1. 1**).

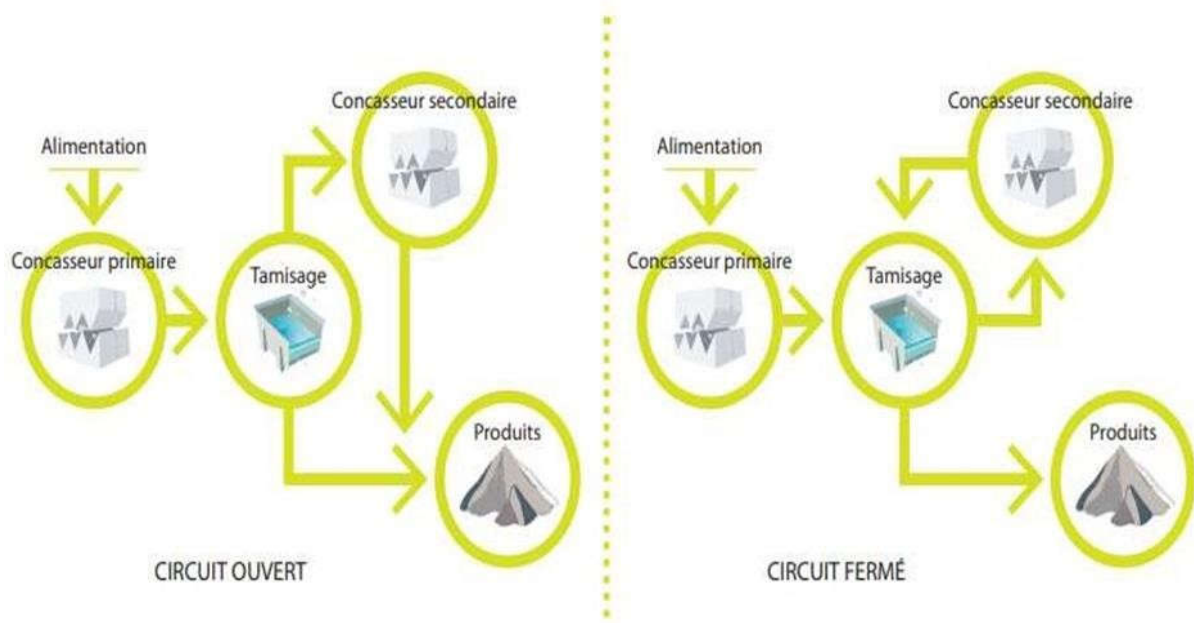


Figure 1. 1: Circuits de concassage.

Chapitre 1 : Généralité sur le concassage

1.4. Type de concasseur :

Une station de concassage peut être statique (fixe), transportable ou mobile :

- Le premier exige des fondations en béton armé.
- Le second a l'avantage d'être équipé ou non de roues, mais il doit être déchargé par la grue du camion, car il est souvent monté en patin et d'autres sont en chenille et en pneumatique.

Les concasseurs sont largement utilisés comme étape primaire pour produire le produit particulaire plus fin qu'environ 50 à 100 mm. Ils sont classés en concasseurs à mâchoires, giratoires et à cône basés sur la compression, broyeurs à couteaux basés sur le cisaillement et concasseurs à marteaux basés sur impacter.

1.4.1. Concasseur à mâchoires :

Se compose essentiellement de deux plaques de broyage, inclinées l'une vers l'autre formant une ouverture horizontale par leur bordure inférieure. Le matériau est broyé entre une plaque fixe et une plaque mobile par pression alternative jusqu'à ce que le produit broyé devienne suffisamment petit pour passer à travers l'espace entre les plaques de broyage. Les concasseurs à mâchoires trouvent une large application pour les matériaux fragiles matériaux. Par exemple, ils sont utilisés pour la réduction du gâteau de cuivre poreux. Un concasseur à mâchoires Fritsch avec une taille d'alimentation maximale 95 mm, finesse finale (dépend du réglage de l'écart) 0,3 à 15 mm et débit continu maximal de 250 kg/h indiqué dans (**Figure 1.2**).



Figure 1. 2: Concasseur à mâchoires.

1.4.2. Concasseur giratoire :

Comprend un cône solide fixé sur un arbre tournant et placé dans un corps creux, qui a une forme conique ou côtés inclinés verticaux. Le matériau est broyé lorsque les surfaces de broyage se rapprochent et les produits broyés tombent par l'ouverture de décharge. (**Figure 1.3**) présent un concasseur giratoire.

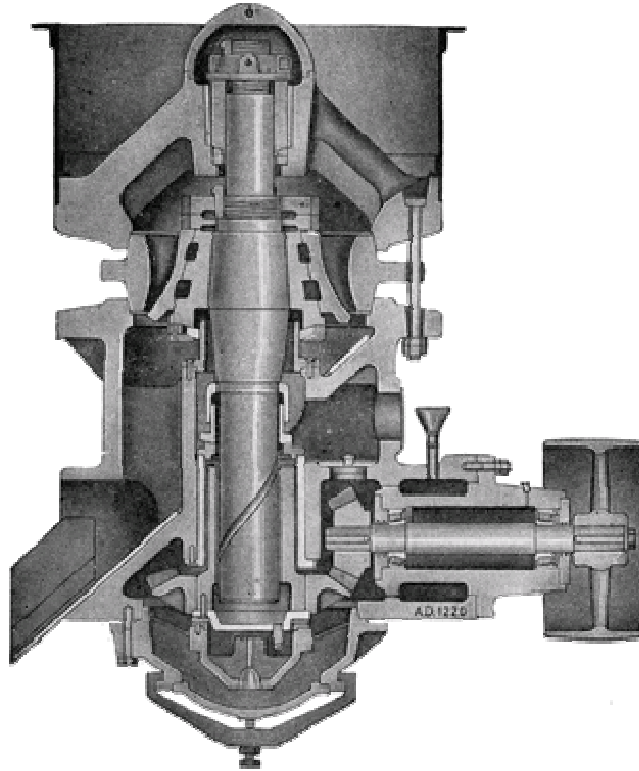


Figure 1. 3: Concasseur giratoire.

1.4.3. Concasseurs à marteaux :

Sont utilisés soit comme concasseur primaire en une étape, soit comme concasseur secondaire pour les produits d'un concasseur primaire. Ils sont largement utilisés pour le concassage de ferraille de métal dur pour différents processus de recyclage de métal dur. Marteaux pivotants sont des pendules, montés sur des axes horizontaux situés symétriquement le long du périmètre d'un rotor. Le concassage a lieu par l'impact des pièces de matériau avec les marteaux mobiles à grande vitesse et par le contact avec les plaques de concassage. Un cylindrique grille ou écran est placé sous le rotor. Les matériaux sont réduits à une taille suffisamment petite pour passer à travers les ouvertures de la grille ou écran. La taille du produit peut être réglée en modifiant l'espacement des barreaux de la grille ou l'ouverture du filtrer.

Chapitre 1 : Généralité sur le concassage

La caractéristique des concasseurs à marteaux est l'apparition d'une pression d'air élevée dans l'unité de décharge du concasseur et dépression dans la zone autour de l'arbre à proximité de la surface intérieure des parois latérales du corps. Ainsi, les concasseurs à marteaux agissent également comme des ventilateurs à haute pression et à tirage forcé. Cela peut entraîner une pollution de l'environnement et des pertes de produit en poudre fine fractions. Une conception pour un concasseur à marteaux (**Figure 1. 4**) permet essentiellement une diminution de la pression élevée de l'air dans le concasseur unité de décharge. La zone A sous l'écran communique à travers les nervures creuses et les ouvertures dans les parois latérales du corps avec la zone B autour de l'arbre près de la surface intérieure des parois latérales du corps. En conséquence, la circulation des suspensions la matière dans le gaz entre les zones A et B est établie et la haute pression d'air dans l'unité de décharge du concasseur est réduit.

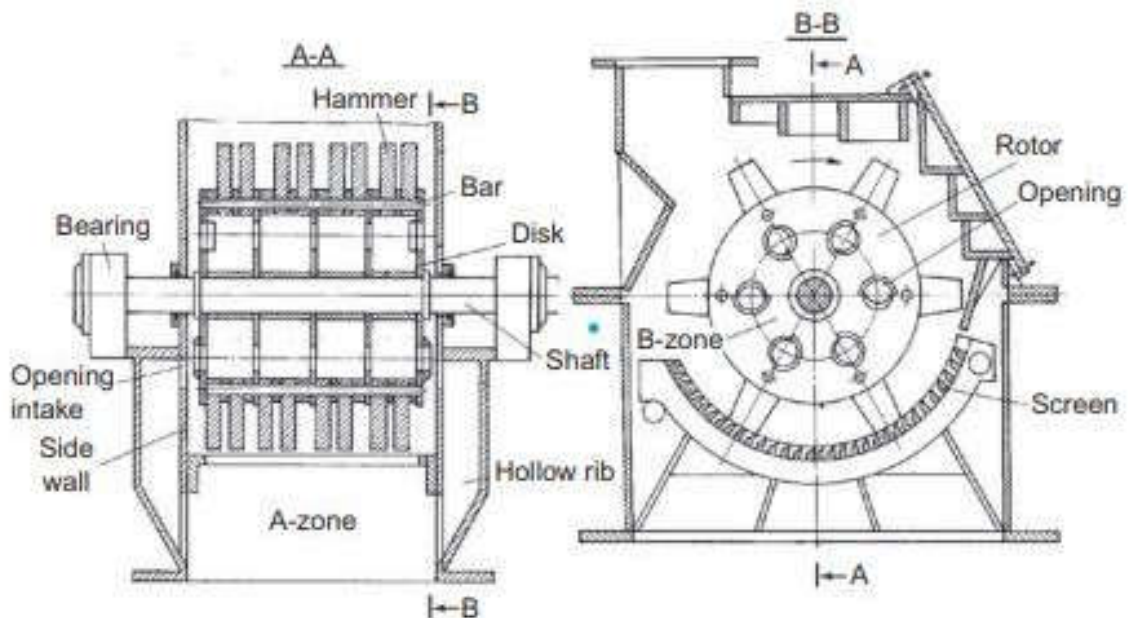


Figure 1. 4: Concasseur à marteaux.

1.4.4. Concasseur à cône :[2]

Est un concasseur giratoire modifié, et en conséquence, bon nombre des mêmes termes, y compris gape, set, et jeter, appliquer. La différence essentielle est que le la broche plus courte du concasseur à cône n'est pas suspendue, comme dans le giratoire, mais est soutenu dans une courbe, universelle appui sous la tête giratoire ou le cône (**Figure 1. 5**).



Figure 1. 5: Concasseur à cône.

1.4.5. Concasseur à rouleaux :[3]

Ou concasseur à double rouleau, est fréquemment utilisé aujourd'hui. Lorsque le concasseur à rouleaux fonctionne, le matériau est envoyé de la bouche d'alimentation à deux rouleaux de broyage cylindriques qui tournent les uns par rapport aux autres. Avec le frottement, les rouleaux de broyage déplacent et écrasent les matériaux en les pressant et cisaillement. Différentes granularités de décharge peuvent être obtenues en ajustant l'écart entre les rouleaux de broyage. Le diagramme schématisé est illustré à la (**Figure 1. 6**), et le processus de broyage est le suivant :

- A. Le matériau tombe du bunker aux rouleaux de broyage et est grossièrement écrasé sous la contrainte de compression et de cisaillement des rouleaux broyeurs ;
- B. Au cours du processus de concassage supplémentaire, le matériau est déplacé au milieu des rouleaux de broyage sous le frottement des rouleaux, et sa surface de confinement diminue ;
- C. Après un broyage complet, les matériaux tombent librement dans la cavité et sa zone de confinement augmente.

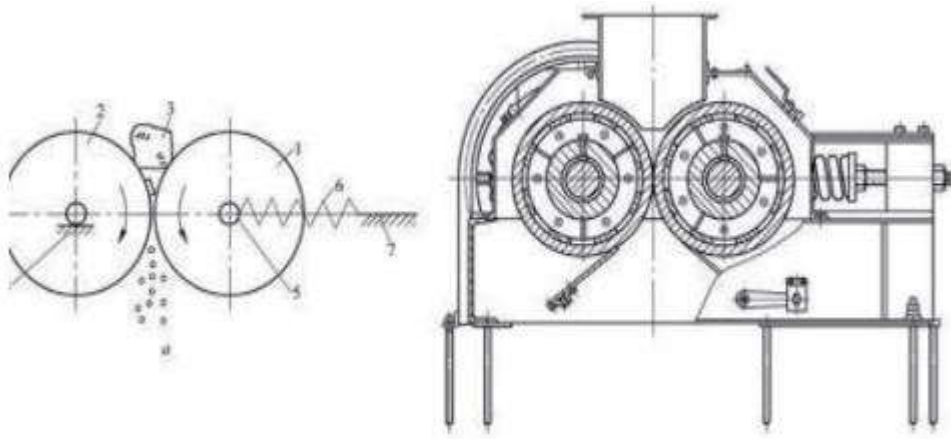


Figure 1. 6: Concasseur à rouleaux.

1.4.6. Concasseurs à percussion :[4]

Sont le plus couramment utilisés dans l'industrie des carrières de pierre pour la fabrication pierres à grain fin utilisées dans les matériaux routiers et de construction. Le concasseur à percussion comme illustré à la (**Figure 1. 7**) alimentent le matériau dans la chambre de broyage où un disque rotatif contenant marteau fonctionne. L'action rotative du marteau applique un coup violent sur l'alimentation et casser les pierres à une taille uniforme. L'écran de décharge de type maille est présent au bas de la machine qui sépare les pierres fines des pierres surdimensionnées l'un est. Les pierres non qualifiées sont balayées pour un broyage supplémentaire jusqu'à ce qu'elles soient fines suffisamment pour répondre aux spécifications requises et sortir de la porte de décharge. Cet les concasseurs sont normalement utilisés pour le concassage secondaire ou tertiaire.

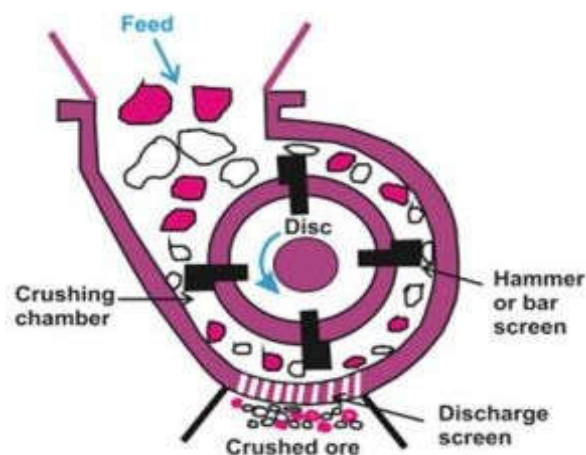


Figure 1. 7: Concasseurs à percussion.

Chapitre 1 : Généralité sur le concassage

1.5. Capacité du concasseur :

En raison de l'action complexe de la mâchoire et de la giratoire broyeurs, les formules exprimant leurs capacités n'ont jamais été entièrement satisfaisante. La capacité de broyage dépend de nombreux facteurs, tels que l'angle de pincement (c'est-à-dire l'angle entre les organes de broyage), la course, la vitesse et le matériau de revêtement, ainsi que le matériau d'alimentation et son initial la taille des particules. Les problèmes de capacité ne surviennent généralement pas dans les sections supérieure et médiane de la cavité de broyage, à condition que l'angle de pincement ne soit pas trop grand. C'est normalement le zone de relief, la section la plus étroite de la cohue chambre, qui détermine la capacité de broyage[2].

1.6. Etape de concassage :[2]

Dans le concassage, il existe les étapes suivantes :

1.6.1. Concassages primaires :

Les concasseurs dans cette étape sont des machines lourdes, utilisées pour réduire Minerai ROM jusqu'à une taille adaptée au transport et à l'alimentation des concasseurs secondaires ou des broyeurs AG/SAG. Les unités sont toujours exploitées en circuit ouvert, avec ou sans cribles de scalpage renforcés (grizzlies). Il existe deux types principaux de concasseurs primaires dans les opérations métallifères : mâchoires et concasseurs giratoires, bien que les concasseurs à percussion aient limité utiliser comme primaires et seront examinées séparément. Scalper est généralement associé aux circuits de concasseur à mâchoires et peut être inclus pour maximiser le débit.

1.6.2. Concassage secondaires/tertiaires :

Les concasseurs dans l'étape secondaires sont plus légers que les machines primaires robustes et robustes. L'essentiel du secondaire/tertiaire le concassage des minerais métallifères est réalisé par cône broyeurs. Puisqu'ils prennent le minerai broyé primaire comme alimentation, la taille maximale des aliments sera normalement inférieure à 15 cm de diamètre et, parce que la plupart des constituants nocifs dans le minerai, comme le métal clochard, le bois, les argiles et les boues ont déjà été retirés, il est beaucoup plus facile à manipuler. De même, les modalités de transport et d'alimentation servant les concasseurs n'ont pas besoin d'être aussi robustes que dans le stade primaire. Des concasseurs secondaires/tertiaires fonctionnent également avec des aliments secs, et leur but est de réduire le minerai à un taille adaptée au meulage

Chapitre 1 : Généralité sur le concassage

1.7. Conclusion :

Le concassage est la première étape mécanique du processus de comminution dans laquelle un objectif principal est la libération des minéraux précieux de la gangue. Écrasement est généralement une opération à sec effectuée en deux ou trois étapes (c.-à-d. concassage primaire, secondaire et tertiaire).

*Chapitre 2 : Maintenance des
machines de concassage*

Chapitre 2 : Maintenance des machines de concassage

2.1. Introduction:

Le terme « maintenance », forgé sur les racines latines ‘manus’ et ‘tenere’, est apparu dans la langue française au XIIIe siècle. L’étymologiste « Wace » a trouvé la forme ‘mainteneor’ (celui qui soutient), utilisée en 1169 : c’est une forme archaïque de « maintenir ». Les utilisations anglo-saxonnes du terme sont donc postérieures. À l’époque moderne, le mot est réapparu dans le vocabulaire militaire : « Maintien dans des unités de combat, de l’effectif et du matériel à un niveau constant ». Définition intéressante, puisque l’industrie l’a repris à son compte en l’adaptant aux unités de production affectées à un « combat économique » [5].

2.2. Définition:

La maintenance désigne l’ensemble des techniques permettant de maintenir dans état optimale les équipements dans une installation industrielle. La maintenance de machines tournantes nécessite une présentation globale des différentes composantes de la machine et la compréhension du comportement dynamique de ces organes ainsi que la recherche des causes de pannes et l’identification des problèmes de fonctionnement. la maintenance se subdivise en deux catégories essentielles et ces deux catégories se divisent en certaines catégories qui sont :

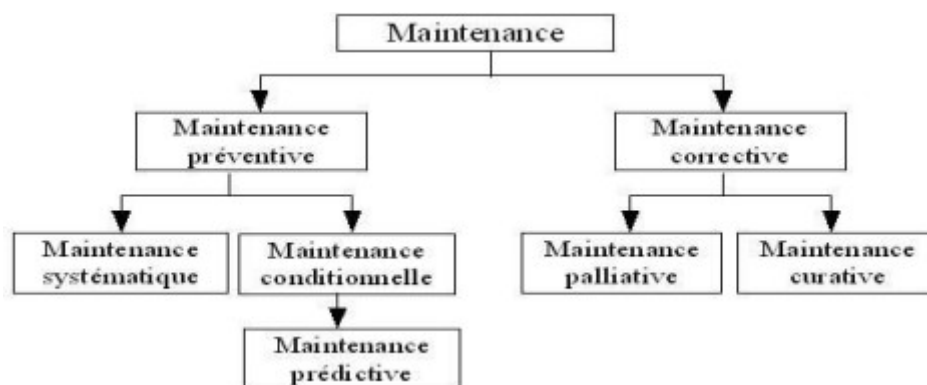


Figure 2. 1: Schéma de typologie de maintenance

2.3. Objectifs de la maintenance:

- **Maîtriser les équipements**
 - Connaître les technologies utilisées
 - Connaître les modes de défaillance de chaque équipement
 - Connaître les moyens et outils nécessaires pour leur entretien
- **Assurer une disponibilité maximale des moyens de production**
 - Réduire le nombre des pannes
 - Réduire les temps d’intervention

- **Optimiser les coûts**
 - Réduire les coûts des stocks
 - Optimiser les ressources humaines et matérielles
 - Réduire les coûts de gestion
- **Contribuer à la qualité et la sécurité dans l'entreprise**
 - Faire des interventions « propres » n'affectant pas la qualité des produits
 - Faire des interventions « sûres » respectant la sécurité de tous
- **Être un acteur influant pour la pérennité de l'entreprise**
 - Coopérer avec les autres services opérationnels de l'entreprise
 - S'intégrer à un processus d'amélioration continue
- **Préserver l'environnement**
 - Lutter contre les pollutions et les nuisances
 - Appliquer une politique pour l'économie d'énergie
- **Travailler dans des conditions de travail motivantes**
 - Gestion des carrières
 - Programmes de formations

2.4. Missions de la maintenance:

Les principales missions de la maintenance sont :

- **Assurer la maintenance des équipements de production**
 - Maintenance corrective : dépannage et réparation
 - Maintenance préventive, conditionnelle ou systématique
 - Opérations de surveillance diverses : visite, contrôle, inspections
 - Révisions partielles ou générales
 - Approvisionnement en pièces de rechange et consommables
- **Améliorer l'équipement de production**
 - Augmentation des capacités ou de la qualité de production
 - Amélioration de la maintenabilité ou de la fiabilité d'un équipement
 - Amélioration des méthodes d'entretien ou de surveillance
- **Prendre en charge les travaux neufs ou les travaux de démontage**
 - Construction, installation, démarrage et mise au point des nouveaux équipements

Chapitre 2 : Maintenance des machines de concassage

- Débranchement, démontage et mise en rebuts des équipements à leur fin de vie

2.5. Types de maintenance:

La maintenance des équipements constitue une contrainte réglementaire pour les entreprises possédant des matériels sur lesquels travaillent des salariés. (Article R. 4322-1 et suivants du code du travail du Décret n° 2008-244 du 7 mars 2008). L'entreprise a le choix pour la mise en œuvre de cette maintenance (interne ou externe, planifiée ou non). Ce choix est à la fois technique, organisationnel et économique. Il doit répondre aux besoins des utilisateurs des équipements (de production en général). Le diagramme suivant montre les différents types de maintenance accessibles à une entreprise. Des types différents peuvent être appliqués à des équipements différents.

2.5.1. Maintenance corrective:

Il s'agit de la maintenance effectuée après la détection d'une panne, elle a pour objectif de remettre la machine en marche pour accomplir son fonctionnement et ne pas arrêter la production. La maintenance corrective se divise en deux catégories :

- **Maintenance palliative** : C'est une action provisoire qui sert à dépanner la machine.
- **Maintenance curative** : C'est une action permanente qui sert à réparer la machine.

2.5.2. Maintenance préventive:

C'est une maintenance prévisionnelle qui consiste à prédire la date à laquelle une intervention doit s'effectuer. Cette intervention peut être un remplacement d'un élément usé ou une lubrification d'un organe mobile. Cette maintenance se divise en deux parties:

- **Maintenance systématique** : C'est une maintenance effectuée à des intervalles de temps régulier de façon systématique. 5 « Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien. » (Extrait norme NF EN 13306 X 60- 319)
- **Maintenance conditionnelle** : « Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. » (Extrait norme NF EN 13306 X 60-319). Cette maintenance sert à détecter le défaut avant d'engendrer un arrêt de la machine, son principe consiste à surveiller régulièrement l'état de la machine et de noter son évolution, cette surveillance peut être exécutée par plusieurs méthodes. La maintenance

Chapitre 2 : Maintenance des machines de concassage

conditionnelle à pour buts : Surveiller la machine, Anticiper la panne et réduire le cout de la maintenance.

2.6. Techniques utilisées dans la maintenance :

IL existe plusieurs techniques d'analyse tel que :

2.6.1. Analyse d'huile [6] :

Le lubrifiant (huile) est comparable au sang humain, il reflète le comportement et l'état du système dans lequel il circule. Le suivie de cette caractéristique physico-chimique permet d'apprécier l'état de dégradation de l'huile et de connaître son aptitude à remplir totalement ses fonctions initiales de lubrification. L'évolution de cette dégradation peut être un indicateur de condition d'exploitation de l'équipement. Elle va permettre d'optimiser les fréquences de vidanges dans le cas de quantité importante, le suivie de la contamination permet :

- De situer l'organe défectueux, d'apprécier l'évolution et le type d'usure dans le cas d'une pollution par des particules internes.
- D'apprécier la nature et l'origine des agents extérieurs.

On prend comme référence les caractéristiques de l'huile neuve et on compare le résultat obtenu à chaque analyse, si l'on constate une évolution brutale des caractéristiques ou si l'on atteint des valeurs très éloignées des valeurs initiales, il faut soit intervenir au niveau du matériel ou remplacer l'huile.

2.6.2. Thermographie infrarouge [6] :

Le contrôle par thermographie a pour objet de détecter et de localiser les variations de température en surface. Une caméra infrarouge associée à un logiciel de traitement d'image, permet d'obtenir une image en 2 dimensions, appelée thermo-gramme, de la zone contrôlée. La thermographie est bien adaptée à la détection des points chauds (surchauffe, température anormale) sur les machines tournantes et les armoires électriques. Il est également envisageable de surveiller un processus comme le soudage, le remplissage d'un moule.



Figure 2. 2: Exemple de la thermographie infrarouge

2.6.3. Analyse Vibratoire [6]

Le principe de l'analyse des vibrations est basé sur l'idée que les structures de machines, excitées par des efforts dynamiques, donnent des signaux vibratoires dont la fréquence est identique à celle des efforts qui les ont provoqués ; et la mesure globale prise en un point est la somme des réponses vibratoires de la structure aux différents efforts excitateurs. On peut donc, grâce à des capteurs placés en des points particuliers, enregistrer les vibrations transmises par les structures de la machine et, grâce à leur analyse, identifier l'origine des efforts auxquels elle est soumise.

2.7. Analyse vibratoire:

C'est une technique largement utilisée pour la détection des défauts, il existe trois méthodes pour traiter le signal vibratoire :

- Méthode temporelle
- Méthode fréquentielle
- Méthode temps-fréquence

L'analyse vibratoire permet de tester et de comprendre l'état de la machine.

2.7.1. Vibration :

La norme ISO 2041 « Vibrations et chocs - Vocabulaire (Août 1990) » définit la notion de vibration : Variation avec le temps de l'intensité d'une grandeur caractéristique du mouvement ou de la position d'un système mécanique, lorsque l'intensité est alternativement plus grande et plus petite qu'une certaine valeur moyenne ou de référence. En fait, un corps est dit en vibration lorsqu'il est animé d'un mouvement oscillatoire autour d'une position d'équilibre ou de référence. Les textes de normalisation AFNOR relatifs aux vibrations sont : NF E 90-001, NF E 90 002.

2.7.2. Mesure de niveau global [7]

Tout phénomène vibratoire se manifeste par l'un des paramètres suivants :

- Déplacement : phénomène de basse fréquence dont la gamme d'analyse V_a est de 0 à 200 Hz (balourd, fouettement...).
- Vitesse : phénomène de moyenne fréquence dont la gamme d'analyse V_a est de 0 à 1000 Hz (balourd, alignement, chocs, aubages...).
- Accélération : phénomène de haute fréquence dont la gamme d'analyse V_a est de 0 à 10 000 Hz (roulement, engrènement, turbulence...). La mesure de niveaux globaux de ces trois paramètres permet d'apprécier l'état de la machine :
 - L'évolution significative d'une dégradation.
 - La comparaison à des seuils.

2.7.3. Analyse spectrale [7] :

Le diagnostic vibratoire est basé sur l'identification de la fréquence de la vibration générée par un phénomène mécanique. La méthode mathématique permet de représenter, en effectuant la transformée de Fourier le signal complexe de la vibration par un spectre fréquentiel. Selon la nature du signal vibratoire, on obtient un spectre de raies discrètes ou un spectre continu. Le spectre se représente sous forme d'un graphique montrant l'amplitude à chaque fréquence.

2.7.4. Capteur de vibration [6] :

Le capteur de vibrations est le premier maillon de la chaîne de mesure. Le plus largement utilisé est l'accéléromètre ou capteur piézoélectrique. Le rôle des capteurs est de transformer l'énergie mécanique dispensée par la machine en un signal électrique proportionnel mesurable de manière reproductible. Les signaux enregistrés par les capteurs sont souvent le résultat d'un mélange de nombreuses sources vibratoires qui peuvent perturber l'interprétation des niveaux d'analyse introduit dans la section précédente. Et ceci est d'autant plus vrai si le capteur n'est pas placé au plus près du défaut potentiel dû à un manque d'accessibilité. La surveillance d'un composant particulier peut être perturbée par la présence d'autres sources vibratoires. De même, le diagnostic peut s'avérer difficile si des composants identiques sont intégrés à l'équipement étudié.

2.7.4.1. Accéléromètre [7] :

Il est constitué principalement d'un matériau piézoélectrique (habituellement une céramique ferroélectrique artificiellement polarisé). Lorsque ce matériau subit une contrainte mécanique, en extension, compression ou cisaillement, il engendre une charge électrique proportionnelle à la force appliquée. Le capteur piézo-électrique ou l'accéléromètre sont les plus utilisés en raison de leur large gamme de fréquence d'utilisation.

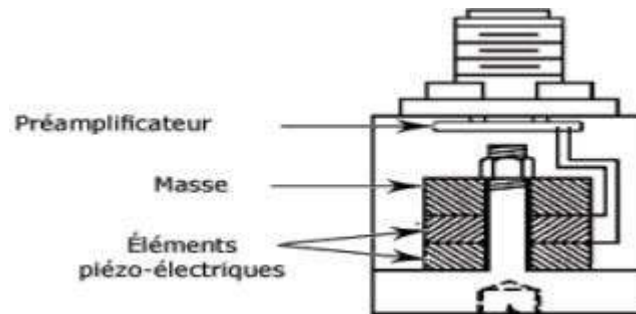


Figure 2. 3: Schéma d'un accéléromètre.

2.7.4.2. Vélocimètre [7]

Le vélocimètre est un transducteur très courant pour la surveillance de la vibration d'une machine tournante. Il est très utilisé à cause de sa simplicité d'installation et son coût faible. D'après la référence [8],

Les avantages du vélocimètre sont :

- Il est facile à installer.
- Il délivre un signal important.
- Il ne demande pas de l'alimentation extérieure.

Les inconvénients sont :

- Son dimensionnement est relativement large et son poids lourd.
- Il est très sensible aux fréquences d'entrée.
- La fréquence de réponse est très étroite.
- Il est très sensible aux champs magnétiques.

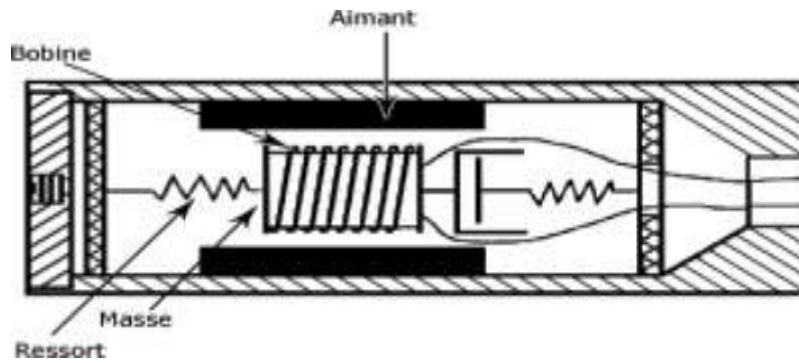


Figure 2. 4: Schéma de principe d'un vélocimètre

2.7.4.3. Capteur de déplacement [7] :

Le capteur de déplacement est utilisé pour toutes les applications où la surveillance des jeux entre les arbres et les paliers s'avère essentielle. C'est pourquoi l'on retrouve des capteurs de déplacement installés sur la plupart des turbines hydroélectriques et des turbomachines.

Avantage :

- Mesure en continu (il existe un signal pour une fréquence nulle).
- Mesure réelle du déplacement de l'axe dans son logement.

Inconvénients :

- Sensible aux hautes fréquences.
- Qualité de mesure dépendant de la qualité de surface.
- Phase relative de vibrations de l'arbre et du palier influençant la mesure.
- Implantation difficile.

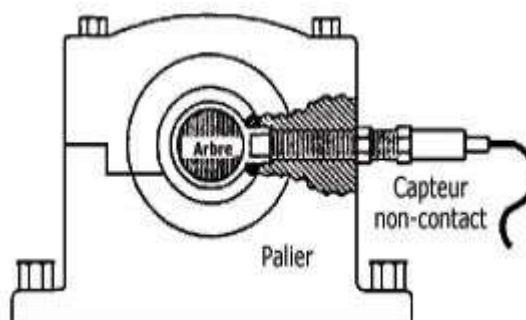


Figure 2. 5: Schéma d'un capteur de déplacement.

2.7.5. Point de mesure Les mesures :

Sont effectuées sur chaque point dans les trois directions orthogonales classiques.

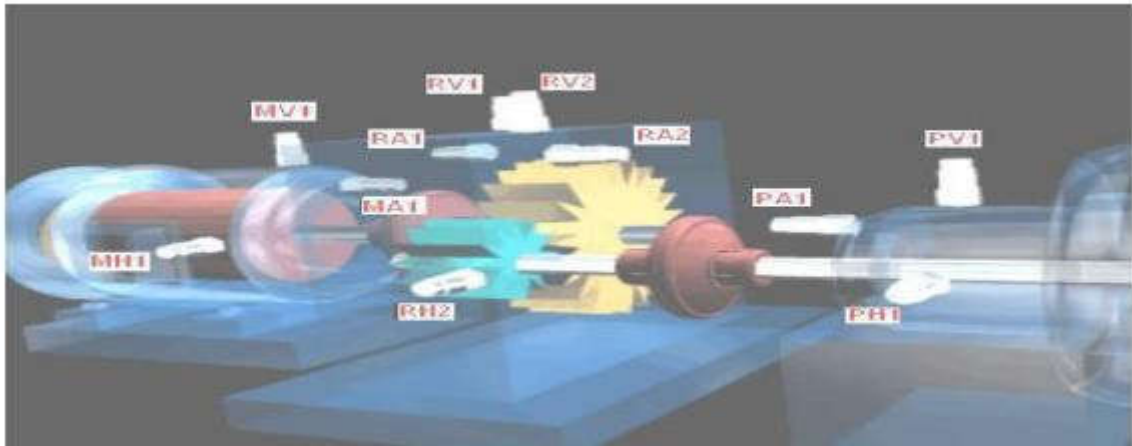


Figure 2. 6: Position de point de mesure.

La position de point de mesure est montrée dans la figure (Figure 2.6) et le Tableau 2.1 présente la notation dans cette figure.

Tableau 2. 1: Notation de la Figure 2. 6.

M1	Après le moteur
R1	Avant le réducteur
R2	Après le réducteur
P1	Avant le palier
H	Horizontale
V	Verticale
A	Axiale

2.8. Différentes défaillances des machines tournantes :

Un défaut est une anomalie de comportement au sein du système. Ce concept est important dans les opérations de surveillance pour la conduite et la maintenance des processus industriels, Tout écarts entre la caractéristique observée et la caractéristique de référence est considéré comme étant défaut, Il est donc clair qu'une défaillance conduit à un défaut.

2.8.1. Balourd [9] :

Le balourd est la cause de vibrations la plus commun et la plus fréquemment rencontrée. Le balourd est un déséquilibre massique autour de l'axe de rotation qui provient généralement du défaut d'usinage, d'assemblage et de l'échauffement dissymétrique du rotor lors du fonctionnement, De cet état imparfait de la concentricité, en rotation, il en résulte des forces centrifuges F qui déforment le rotor et engendrent des déséquilibres. Par l'expression suivante en détermine la force centrifuge.

$$F = m.r.\omega^2$$

Ou m représente la masse qui balourd, r le rayon du rotor et ω la vitesse de rotation de l'arbre.

2.8.2. Désalignement [9] :

Le défaut d'alignement est l'une des principales causes de réduction de la durée de vie des équipements, il concerne soit deux arbres liés par un accouplement, soit deux paliers soutenant le même axe. L'arbre moteur et l'arbre récepteur d'une machine ne sont pas parfaitement alignés. L'objectif du lignage de deux machines est de faire en sorte que les axes des deux lignes d'arbres soient parallèles et confondus voir la figure (**Figure 2. 7**). Deux types de défauts de lignage sont donc rencontrés :

- **Désalignement angulaire** : il se produit quand l'axe de rotation de deux machines à un angle différent. Le désalignement angulaire se caractérise par une vibration axiale élevée.
- **Désalignement axial** : il se produit quand les axes de rotation des deux machines ont le même angle d'orientation. Mais ils sont séparés verticalement, chacun de l'autre. Le désalignement axial (parallèle) se caractérise par une vibration radiale élevée.

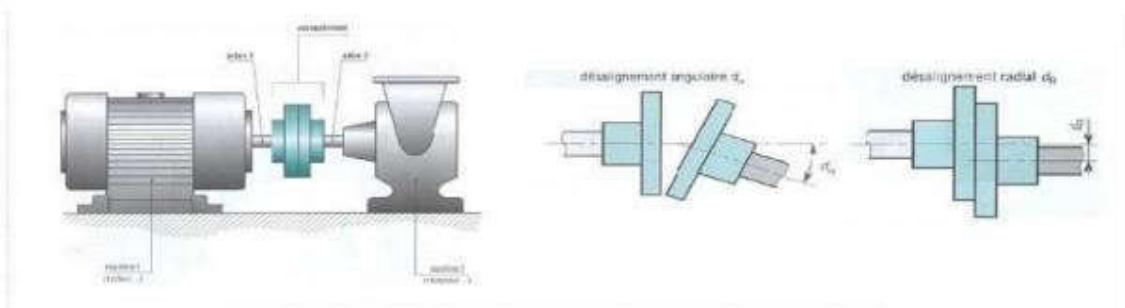


Figure 2. 7: Défauts désalignement.

2.8.3. Défauts d'engrenage : [6]

Dans le phénomène d'engrènement, il se produit un choc chaque fois qu'une dent menante est en contact avec une dent menée. Ceci génère une vibration dont la fréquence est égale à la vitesse de rotation du pignon multipliée par son nombre de dents. S'il y a déformation du profil de la denture, la fluctuation de la charge sur la ou les dents donne naissance à des fluctuations de vitesse et aboutit aussi à une 11 modulation de fréquence (ou de phase). L'analyse spectrale de ce phénomène montre des bandes latérales situées de part et d'autre de la fréquence d'engrènement [6].



Figure 2. 8: Schéma d'un engrenage.

Plusieurs types de défauts peuvent affecter les dentures d'engrenage. On peut citer les défauts répartis sur toutes les dents :

- a) **L'usure** : L'usure est un phénomène local caractérisé par un enlèvement de matière dû au glissement de deux surfaces l'une contre l'autre. Le développement de l'usure est lié à la charge et à la vitesse de glissement en chaque point des surfaces de contact, ainsi qu'à la présence plus ou moins grande d'éléments abrasifs dans le lubrifiant. L'usure normale, progresse lentement, elle est inversement proportionnelle à la dureté superficielle de la denture. L'usure anormale se produit lorsque le lubrifiant est souillé de particules abrasives ou lorsque le lubrifiant est corrosif. Elle conduit à un mauvais fonctionnement de l'engrenage.
- b) **Le pitting** : Il s'agit de trous peu profonds, qui affectent toutes les dents. Le pitting est une avarie qui se produit surtout sur des engrenages en acier de construction relativement peu dur. Il est moins à craindre si la viscosité du lubrifiant est élevée. L'apparition des piqûres est associée aussi à un rapport épaisseur de film lubrifiant sur rugosité composite insuffisant pour éviter des contacts entre aspérités. Et, les défauts localisés sur des dentures particulières :

- c) **La fissuration** : généralement par fatigue, elle progresse à chaque mise en charge, à partir d'un point initial situé presque toujours au pied de la dent. Elle apparaît surtout sur des aciers fins, durcis par traitement thermique, qui sont très sensibles aux concentrations de contraintes. L'apparition de ces fissures est la conséquence d'une contrainte au pied de la dent qui dépasse la limite de fatigue du matériau, et est en général située du côté de la dent sollicitée en traction.
- d) **L'écaillage** : Il se manifeste aussi sous forme de trous, mais ceux-ci sont beaucoup moins nombreux, plus profonds et plus étendus que ceux des piqûres. L'écaillage se trouve dans les engrenages cémentés, qui sont les plus répandus à l'heure actuelle car ils permettent de passer des couples importants avec des dimensions faibles.

2.8.4. Défauts de roulements:

Le roulement, organe de base pouvant assurer à lui seul plusieurs fonctions parmi lesquelles la liaison mobile en rotation avec un minimum de frottement entre deux éléments, tout en supportant des charges radiales ou axiales plus ou moins importantes, il peut être aussi utilisé pour assurer un positionnement précis de l'arbre, et corriger des défauts d'alignement.

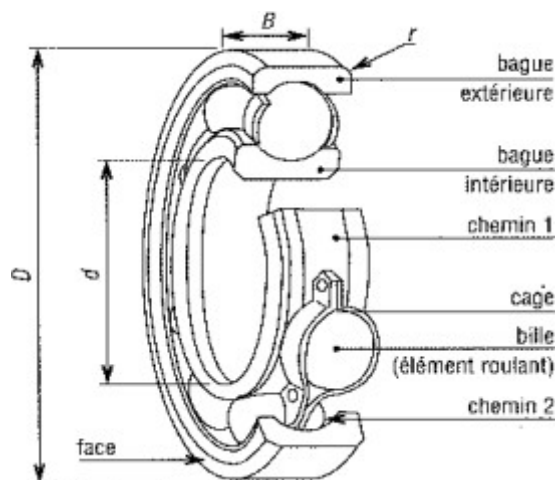


Figure 2. 9: Schéma d'un roulement à bille.

On peut noter deux types d'avaries caractéristiques de la détérioration des roulements : Les avaries dites naturelles dues à la fatigue des roulements et les avaries dues à un mauvais montage ou une mauvaise utilisation du roulement. On qualifie les principaux défauts :

- a) **Le grippage**, dû à l'absence de lubrification, à une vitesse excessive ou un mauvais choix du type de roulement. Ceci se manifeste par un transfert de matière arrachée sur les surfaces et redéposée par microsoudures.

Chapitre 2 : Maintenance des machines de concassage

- b) Les empreintes par déformation, dues à des traces de coups, des fissures ou des cassures.
- c) L'incrustation de particules étrangères, due à un manque de propreté au montage ou de l'entrée accidentelle d'impuretés.
- d) La corrosion, due à un mauvais choix du lubrifiant, surtout quand les roulements viennent d'être nettoyés et sont contaminés par la transpiration des mains.
- e) La corrosion de contact, due au mauvais choix d'ajustements entre les bagues et les logements ou les arbres.
- f) Les criques, fissures étroites ou autres amorces de cassures dues aux contraintes exagérées au montage ou au démontage.
- g) L'usure par abrasion, due à une mauvaise lubrification. L'usure par abrasion donne aux roulements un aspect gris, givré.
- h) Le cas le plus rencontré est un défaut d'écaillage dû à la fatigue des roulements. L'écaillage de fatigue, est un phénomène normal qui conduit à une défaillance et ce, quelque soit les conditions d'utilisation et de fonctionnement. Ce défaut survient sous l'effet de la fatigue due aux contraintes de cisaillement alternées qui sévissent en sous-couche. L'écaillage localisé et prématuré résulte d'anomalies caractérisées telles qu'un mauvais montage, une surcharge, un défaut d'alignement, une mauvaise forme de logement. Ces défauts donnent naissance à des vibrations qui les caractérisent. C'est pourquoi l'analyse vibratoire s'avère intéressante et s'est montrée très puissante d'une part pour surveiller l'état de fonctionnement et d'autre part pour diagnostiquer le défaut et suivre son évolution.

2.8.4.1. Protection des roulements [9] :

La présence des particules étrangères dans les roulements est le plus important des facteurs de réduction de sa durée de vie ces particules lorsqu'elles se trouvent laminées entre les corps roulants et les chemins, créent des contraintes très localisées et très élevées qui peuvent amorcer un écaillage du roulement. Ces contraintes sont d'autant plus fortes que le niveau de charge du roulement élevé. La réduction de la durée de vie est très variable mais toujours très importante. Elle dépend de la nature, de la dimension et de la densité des particules. De même la pénétration de l'humidité dans un roulement peut créer, d'une part, une diminution de l'efficacité du lubrifiant et d'autre part, une oxydation superficielle interne. Ces facteurs sont à l'origine de contraintes de surface supplémentaires au niveau des contacts roulants, donc apportant un risque de défaillance qui s'ajoute aux risques normaux de fatigue. On voit là la grande

Chapitre 2 : Maintenance des machines de concassage

importance d'éviter la pollution des roulements, tant lors du montage qu'aux cours de leur fonctionnement. Ainsi la protection du roulement porte-t-elle sur toutes les phases de sa mise en œuvre depuis la propreté de l'atelier de montage, la propreté des composantes adjacentes, l'étanchéité des mécanismes à la poussière et à l'humidité jusqu'à la filtration de l'huile ou renouvellement périodique du lubrifiant.

2.8.5. Défaits de courroie :

Les courroies sont des éléments flexibles qui permettent de transmettre la puissance lorsque l'arbre moteur est l'arbre entraîné sont éloignés l'un de l'autre.

Les défauts de courroie sont beaucoup on cite parmi les défauts (voir **Tableau 2. 2**) :

Tableau 2. 2: Défaits de courroie.

Défaut	Définition	Causes	Photo du défauts
Arrachement des particules	De la matière s'arrache de la courroie et s'accumule da les nervures.	<ul style="list-style-type: none"> • Tension excessive • Poulies usées • Température de fonctionnement trop élevée 	
Rupture rrégulière	Déchirures transversales de la courroie	<ul style="list-style-type: none"> • Surtension de la courroie • Composant extérieur bloqué • Pollution solide ou liquide 	
Fissure de la courroie	Présence de petites fissures visibles	<ul style="list-style-type: none"> • Température trop basse ou trop forte • Vieillessement de la courroie • Contact d'un élément étranger ou désalignement 	
Rupture nette	Déchirures nettes de la courroie.	<ul style="list-style-type: none"> • Corps étranger coincé entre la courroie et la ou les poulie(s) • Tension excessive • Utilisation d'outil inadapté (tournevis) 	

2.9. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu général sur la maintenance industrielle et ces différents types et les techniques de surveillance pour les machines tournantes basées sur les techniques les plus utilisés dans le domaine du traitement des spectres. la thermographie et l'analyse des huiles et l'analyse des signaux vibratoire. Cette dernière a montré de nombreux avantages dans le cadre de la maintenance préventive conditionnelle des machines tournantes et sera largement appliquée dans notre travail.

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

3.1 Introduction :

Lorsqu'on parle du concassage dans l'industrie du ciment, on pense généralement à la nécessaire réduction de la taille des matières venant de la carrière pour qu'elles soient adaptées au traitement qu'elles subiront dans la chaîne suivante de production (les broyeurs).

Le concassage des matières premières du ciment est le plus souvent un procédé simple qui ne pose pas de :

- Problème d'usure particulier.
- Et qui n'exige pas de granulométrie spéciale autre que la taille maximale.

On peut parfois être confronté à des conditions difficiles telles que l'usure et l'adhésivité de la matière. Certaines cimenteries n'ont qu'un seul concasseur pour concasser la matière première : il s'agit souvent d'un concasseur à marteaux avec grille de sortie ou d'un concasseur à barres d'impact. Cependant, la plupart des nouvelles cimenteries sont équipées de 2 ou 3 départements de concassage pour les différentes matières premières, ce qui facilite la coordination au niveau de la livraison de la matière et permet de choisir le meilleur procédé de concassage.

Un procédé typique de concassage des matières premières primaires est illustré sur le diagramme RRSB (Rosin-Ramler Sperling Diagramme) de la (**Figure 3.1, a & b**) et, on donne un exemple type de l'énergie consommée pendant le concassage comparée à l'énergie consommée lors du procédé de broyage des matières premières. Le **Tableau 3.1** illustre la consommation d'énergie type lors des différents processus de production du ciment. Pour certains, il sera sans doute surprenant de constater que la consommation d'énergie soit si basse pour le concassage. Ce n'est pas la consommation d'énergie qui importe lorsqu'il s'agit de choisir le processus de concassage et l'équipement. Le plus important, ce sont les facteurs tels que : la fiabilité dans la production, l'économie d'usure, l'entretien et les investissements de départ [10].

3.2 Concassage des matières :

Le **Tableau 3.2** donne les matières premières du ciment les plus couramment employées.

La plupart de ces matières sont concassées d'une manière ou d'une autre avant d'entrer dans la chaîne de production. Le nom de ces matières ne donne pas tout ce qu'il est nécessaire de savoir sur ces matières pour être en mesure de décider quel processus de concassage est le meilleur lors du traitement préalable [10].

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

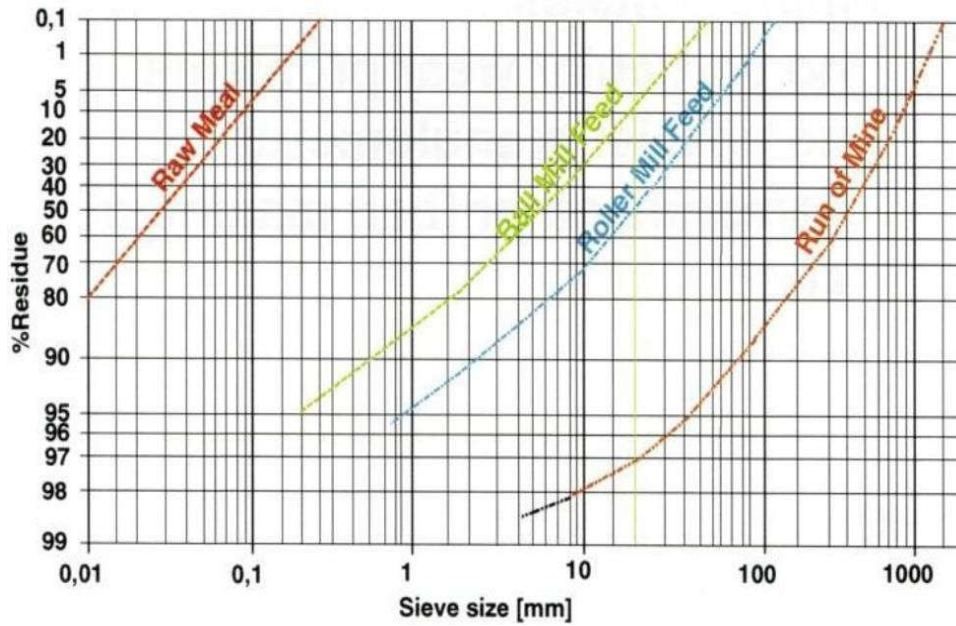
3.3 Qualité de la matière et caractéristiques physiques :

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. Le nom de la matière n'est pas une information suffisante pour connaître la matière. Normalement, on peut facilement 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.

Tableau 3. 1: Energie consommée lors des différents processus de production du ciment.

Procédé de production	Combustibles <u>kcal/kg de ciment</u>	électricité <u>kWh/t ciment</u>
Carrière	-	0
Concasseurs	-	2.5
Pré homogénéisation et transport	-	1.5
Broyeur à cru	0 – 100	27
Silo à farine crue	-	1.5
Alimentateur de four	-	1.5
Four et refroidisseur	720	23
Broyeur à charbon	-	2.5
Broyeur à ciment	-	30
Usine d'emballage	-	1
Autres	-	4.5
TOTAL	720	95

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment



Raw Meal : Farine crue.

Ball Mill Feed : Alimentation du broyeur à boulets.

Roller Mill Feed : Alimentation du broyeur à rouleaux.

Run of Mine : Passage de l'alimentation de mine pour le concasseur primaire

% Residue : % de résidus sur le tamis de contrôle.

Sieve size [mm] : Ouverture du tamis de contrôle mm

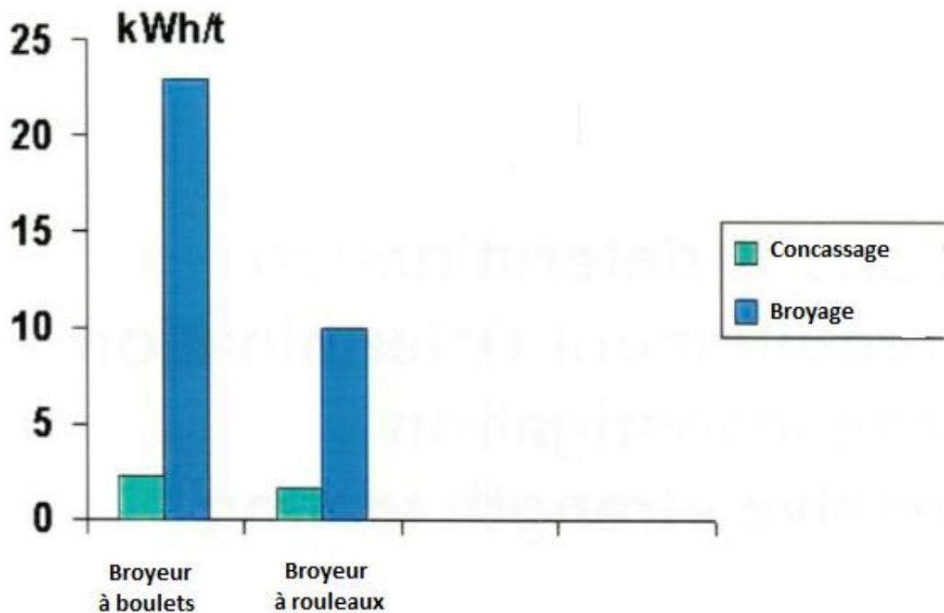


Figure 3. 1: (a) Diagramme RRSB ; (b) Comparaison d'énergie consommée du concassage et broyage entre Broyeur à Boulet et broyeur à rouleaux.

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

Tableau 3. 2: Matières premières du ciment.

GROUPE:	NOMS:
SABLE	Sables, gravillons, quartzites
SABLE/ARGILE	Silt, siltstone, gneiss, rhyolite, dacite, granit, granodiorite.
ARGILE	Argile, schist, phyllite, micaschiste trachyte, andesite, syenite, diorite
ARGILE/CARBONATE	Marne, marne vitrifiable, phyllite de calcite, micaschiste de calcite, amphibolite basalte, gabbro.
CARBONATE	Craie, Calcaire, Marbre
FER	Limonite, oligiste, magnetite
SULFATE	Gypse
CHARBON	Tourbe, Lignite, Charbon, Anthracite
CLINKER, CENDRES, LAITIER	Clinker de ciment, Pouzzolane, Tuf, Laitier de haut-fourneau

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

Certains fournisseurs de concasseurs comme FLS ont des possibilités pour étudier ces caractéristiques en laboratoire. Il n'existe pas de standards communément acceptés pour mesurer la consommation d'énergie, l'usure et les caractéristiques d'adhésivité.

Chaque fournisseur 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'adhésivité 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. Les caractéristiques d'adhésivité sont principalement reliées à la structure de la matière et à la teneur en eau. Il est rare que les matières pierreuses absorbent suffisamment

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

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.

Une teneur en eau inférieure à 10-12 % cause rarement des problèmes d'adhésivité dans les types de concasseurs utilisés dans l'industrie du ciment. Lors de l'exploitation en carrière, de la mise en stock, du transport et autres traitements des matières collantes, il est très important de ne pas décomposer la structure de la matière inutilement et d'empêcher les prises d'eau superflues.

Par exemple, on aura des difficultés à traiter une matière déjà délicate si elle est fragmentée. Les recherches faites sur les caractéristiques des matières sont basées sur des échantillons types de matières. Pour obtenir des résultats qui peuvent être utilisés, il importe que les échantillons soient représentatifs des matières qui seront employées lors du processus de concassage envisagé. Une analyse des caractéristiques de matière appropriée au concassage nécessite un échantillon d'environ 20 kg sous forme de particules de 200µm environ. L'examen de la teneur en eau naturelle doit être exécuté sur la carrière en collaboration avec un géologue expérimenté ou un ingénieur des mines. La grosseur maximum de la matière alimentée au concasseur est très souvent un facteur décisif pour choisir la taille de la machine. La grosseur maximum de la matière est un élément déterminant pour une économie optimale de l'installation.

D'autre part, il pourrait être avantageux d'effectuer un deuxième abattage ou de casser les gros blocs ou encore de réduire d'une façon ou d'une autre la taille maximum de la matière qui sera amenée au concasseur [13].

3.4 Principes de concassage :

La figure (**Figure 3. 2**) montre les 4 principes de fragmentation de la matière :

- PERCUSSION : est illustrée par un **Marteau**.
- FROTTEMENT : est illustrée par la **Lime**.
- CISAILLEMENT : est illustrée par un **Ciseaux**.
- COMPRESSION : est illustrée par un **étai**.

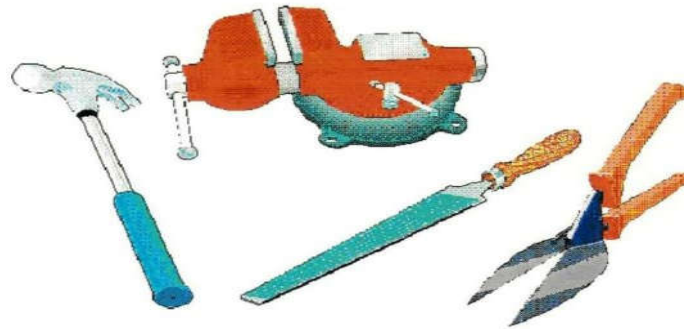


Figure 3. 2: Principe de fragmentation de la matière.

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. Voici comment ces principes sont reliés à l'économie d'usure et à la consommation d'énergie :

❖ **Usure:**

- Compression minimale.
- Percussion.
- Cisaillement.
- Frottement maximale.

❖

Consommation d'énergie:

- Compression minimale.
- Percussion.
- Cisaillement.
- Frottement maximale.

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'on tient compte des facteurs comme l'adhésivité, la taille des morceaux, la distribution granulométrique du produit, la complexité et le prix, l'image change [10].

3.5 Types d'installation de concasseur :

Le concasseur est le principal équipement dans l'atelier de concassage. La configuration du département de concassage peut être plus ou moins complexe en fonction du type et de la conception du concasseur, des conditions de la matière à traiter et des exigences du produit. Parmi les éventuels équipements du département de concassage, on peut citer :

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

- La trémie d'alimentation.
- Le marteau de concassage (pour séparer les blocs importants dans la trémie).
- Le bras excavateur (pour supprimer la matière collante de la trémie).
- Le bras preneur (pour enlever les blocs importants de la trémie).
- Les alimentateurs.
- Les pré-tamiseurs.
- Les concasseurs.
- Les cribles de vibration.
- Les silos intermédiaires.
- Les bandes transporteuses.
- Les installations de dépoussiérage.
- Les équipements de nettoyage.
- Les équipements pour l'entretien.
- Les équipements pour le contrôle et la surveillance.

FLS a fait de son mieux pour concevoir les concasseurs les plus simples possibles afin de répondre aux besoins les plus courants dans la production du ciment. Ainsi, on utilise le plus souvent le concasseur à marteaux avec grille de sortie, le concasseur à barres d'impact et le concasseur à rouleaux, mais on utilise également d'autres types de concasseurs lorsque cela est nécessaire.

Les différents types d'installation à concassage sont illustrés sur les figures (**Figure 3. 3 à Figure 3. 5**)

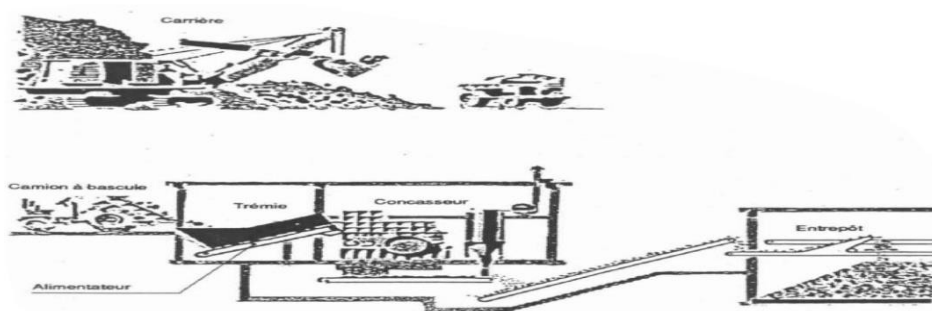


Figure 3. 3: Concassage à un étage en une passe avec concasseur à marteaux rotatifs et grille de sortie ou avec concasseur à barre d'impact. [10].

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

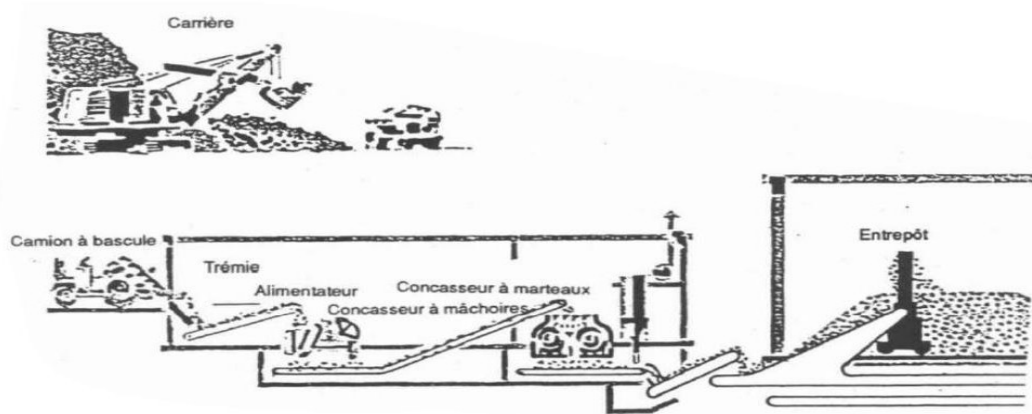


Figure 3. 4: Ancien modèle de concassage à deux étages en une seule passe avec concasseur à mâchoires et concasseur à marteaux rotatifs et à double rotors avec grille de sortie. [10].

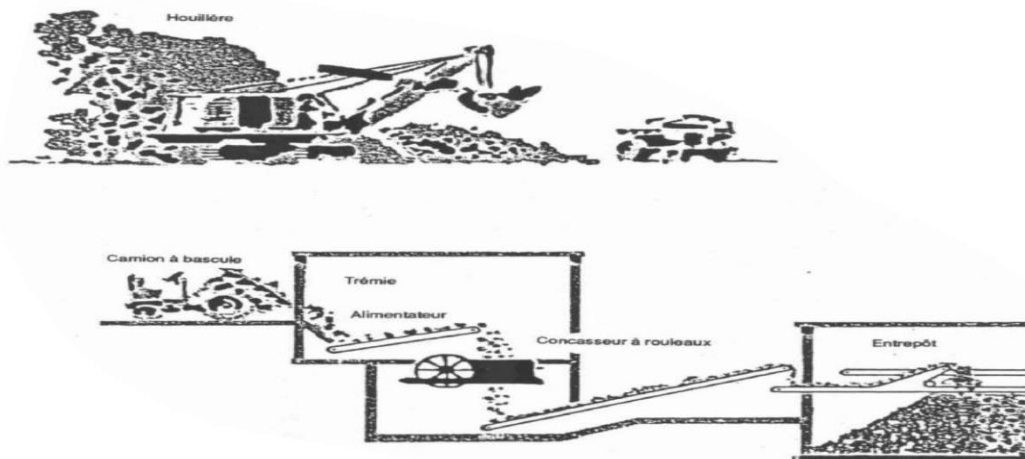


Figure 3. 5: Concassage à un étage en une seule passe d'argile collante dans des concasseurs à rouleaux. [10].

Les concasseurs utilisés ordinairement dans l'industrie du ciment sont les suivants :

- Les concasseurs à marteaux rotatifs (**Figure 3. 6**).
- Les concasseurs à marteaux rotatifs à double rotor avec grille de sortie (**Figure 3. 7**).
- Les concasseurs à barres d'impact (**Figure 3. 8**)
- Les concasseurs à mâchoires
- Les concasseurs à cônes
- Les concasseurs à mâchoires et à cylindres
- Les concasseurs à cylindres
- Les concasseurs à cylindres dentés

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

La description des concasseurs est donnée dans les pages suivantes. 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 est le critère de sélection ?

3.5.1 Concasseur à marteaux FLS, type EV :

Afin d'éviter un concassage compliqué en plusieurs étapes, FLS a mis au point un concasseur à marteaux : le concasseur EV qui n'exige pas de concassage primaire préalable. Il réduit les morceaux de pierre de 2 m à 25 mm. Le concasseur EV utilise un rotor simple à marteaux fonctionnant à la vitesse périphérique d'environ 40 mètres par seconde. La grille d'entrée n'est pas nécessaire puisque le concasseur EV est conçu avec des cylindres destinés à absorber le choc des gros morceaux. Le concasseur EV peut également traiter des matières contenant une certaine proportion d'éléments collants.

Lorsqu'un concasseur standard EV est équipé de grilles de sortie convenables, sa production peut directement être alimentée au broyeur à boulets. Si l'on désire un produit plus gros, on augmentera l'espace entre les barres de sortie, le débit du concasseur en sera d'autant plus accru.

Les morceaux de pierre sont amenés au concasseur par un alimentateur séparé qui répartit la matière sur toute la largeur de l'entrée du concasseur.

En entrant dans le concasseur, les morceaux tombent sur deux cylindres d'amortissement des chocs : l'un ayant une surface lisse alors que l'autre est pourvu de saillies. Ils fonctionnent à différentes vitesses afin d'empêcher les morceaux de se coincer.

Certaines matières fines s'introduisent dans l'espace situé entre les cylindres et se séparent à ce niveau.

Les cylindres alimentent les morceaux aux marteaux qui les brisent et les projettent contre le plateau de concassage & les tôles de revêtement situées dans la partie supérieure du concasseur pour finir de les fragmenter. Le lourd rideau de chaînes verticales à l'entrée du concasseur empêche la matière de rebondir vers l'alimentateur.

Au stade de concassage suivant, les morceaux cognent contre le plateau de concassage réglable et contre les barres de la grille de sortie. Enfin, le produit concassé passe à travers les ouvertures de la grille et est évacué par une bande transporteuse.

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

Le produit fini venant du département de concassage peut être alimenté directement au broyeur à boulets : dans ce cas, le produit d'alimentation ne doit pas contenir plus de 5% ; de morceaux supérieurs à 25 mm. Cet objectif est atteint en réglant l'écartement des fentes des grilles de sortie du concasseur EV de 36 à 44 mm. Inversement, en élargissant ces fentes à 100 mm environ, la production du concasseur augmente d'environ 50% sans que la consommation d'énergie en soit accrue (Amplifier). Mais environ 35 % du produit fini sera composé de morceaux supérieurs à 25 mm.

Si la charge de moteur du concasseur dépasse un certain niveau prédéterminé, l'alimentation du concasseur est automatiquement coupée jusqu'à ce que la consommation d'énergie revienne à la normale, suite à quoi l'alimentateur se remet en marche. Si le concasseur est encombré de corps étrangers non réductibles (des pièces d'acier par ex.), un dispositif de sûreté automatique déconnecte l'alimentation en énergie du concasseur et de l'alimentateur pour permettre un dégagement manuel [10].

Voici les composants du concasseur dans (**Figure 3. 6 (c)**).

1. Rotor à Marteaux (Hammer rotor)
2. Cylindre d'avancement (Inlet roller).
3. Marteaux (Hammers).
4. Grille de sortie (Outlet grate).
5. Rails (Rails for sliding grate in and out).
6. Enclume (Breaker plate adjustment).
7. Marteaux de rechange (Spare hammers).
8. Partie supérieur (Top part).
9. Verins (Hydraulic cylinders for opening top part).
10. Réducteur (Main drive station).
11. Accouplement à membrane (Membrane coupling).
12. Réducteur (Drive station, inlet roller).

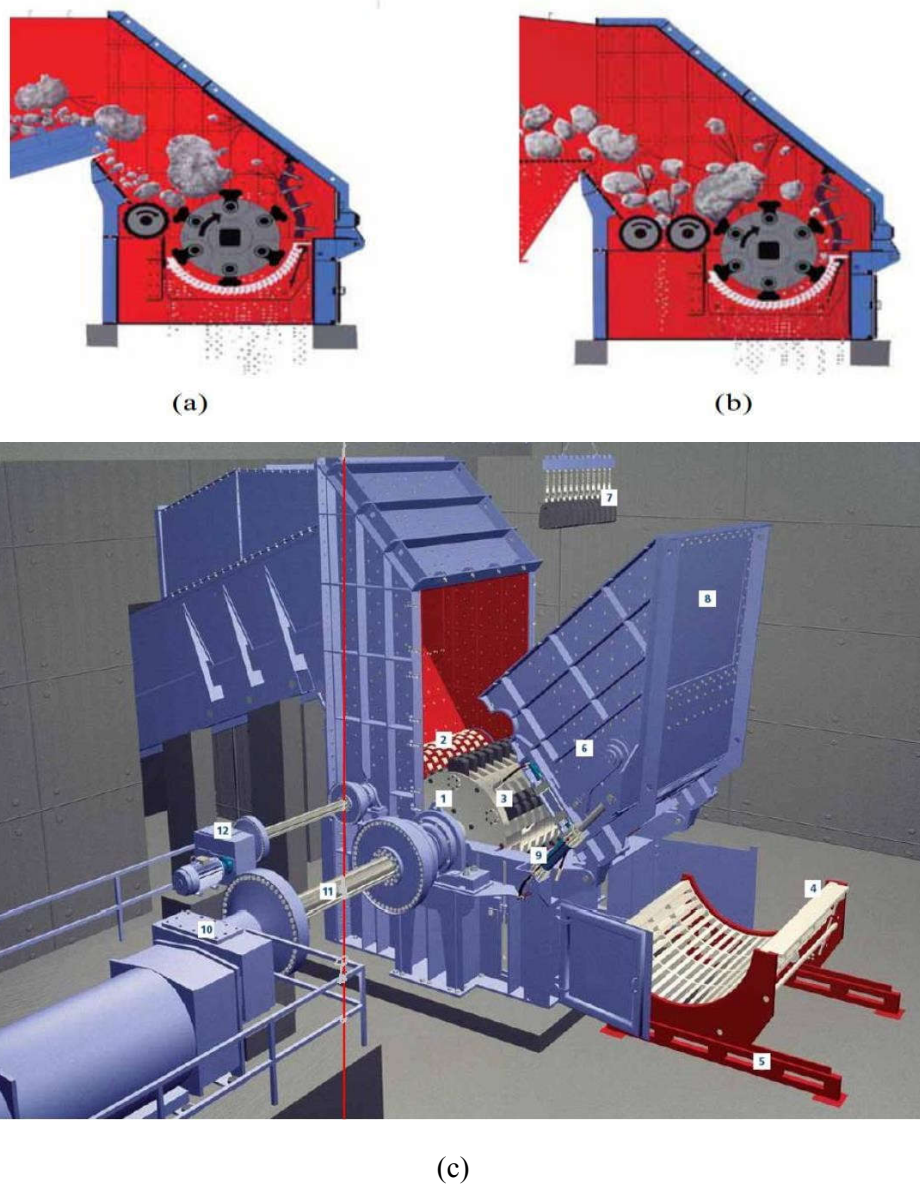


Figure 3. 6: Concasseur à marteaux à un cylindre d'avancement ;(b) Concasseur à marteaux à deux cylindres d'avancement (c) Concasseur à marteaux éclaté [12].

3.5.2 Concasseur à marteaux articulés à double rotor avec grille de sortie :

Les matières premières de ciment n'ont pas la même dureté, ce qui, combiné à d'autres facteurs, détermine le mode de fragmentation préalable au broyage du concasseur. Certaines matières premières peuvent être broyées à la taille d'alimentation du concasseur dès le premier concassage tandis que les autres devront peut-être subir un concassage en deux phases, c.à.d. un concassage primaire suivi d'un concassage secondaire.

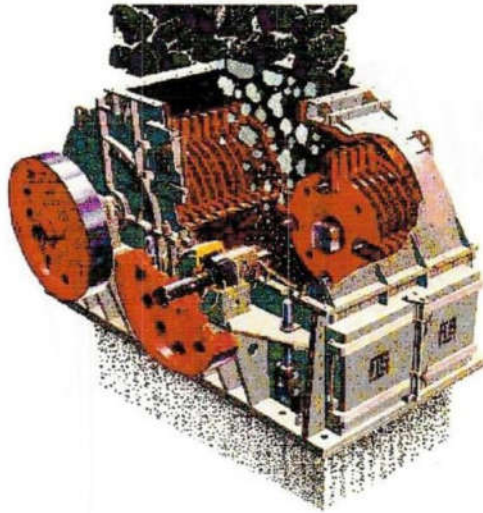


Figure 3. 7: Concasseur à marteaux rotatifs à double rotor avec grille de sortie.

Les concasseurs à marteaux à double rotor sont en fait des concasseurs secondaires, mais leur conception robuste et résistante les rend bien appropriés au concassage primaire des matières friables comme le calcaire, le gypse et le charbon brut.

Les concasseurs à marteaux FLS avec grille de sortie sont disponibles avec des vitesses périphériques convenant aussi bien au concassage primaire qu'au concassage secondaire et peuvent être adaptés pour traiter différentes matières premières. L'écartement des fentes dans les grilles de sortie peut s'adapter aux conditions opérationnelles en question.

Les arbres de rotor sont dotés de disques sur lesquels pivotent les marteaux. Les arbres de rotor tournent dans des rouleaux à roulement fortement immergés dans des bains d'huile et ils reposent sur le capot du concasseur composé d'un lourd alliage de fer et de sections soudées et boulonnées ensemble. Le capot est recouvert de plaques d'usure remplaçables.

Le concasseur à marteaux doubles est doté d'une lourde enclume avec des plaques de recouvrements remplaçables et une grille de sortie : ces deux parties peuvent être réglées pour compenser l'usure [10].

3.5.3 Concasseur à marteaux articulés sans grille de sortie :

Ce genre de concasseur à marteaux est utilisé pour traiter des matières relativement faciles à broyer comme la craie, le calcaire, le gypse, le charbon et autres matières semblables dont la résistance à la compression peut s'élever jusqu'à 800 kp/cm environ. Ce concasseur peut travailler avec des matières à adhésivité modérée. Le concasseur ne convient pas aux matières très abrasives à cause de son principe de concassage qui est une conjonction de la percussion et

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

du frottement. La matière doit être alimentée sur toute la largeur du rotor en glissant au-dessus du fond en direction de l'entrée. Le concasseur n'a pas de grille d'entrée et le produit est par conséquent limité en ce qui concerne sa granulométrie maximale. Le produit concassé ne contient généralement pas plus de 5% de grains supérieurs à 25-30 mm. Ce qui signifie que le produit peut normalement être utilisé comme alimentation à un broyeur à boulets sans traitement supplémentaire. Ce concasseur est un concasseur à marteaux sans grilles d'entrée et de sortie et il comprend : Un cadre d'assise robuste doté de consoles pour le corps de palier de l'arbre. Le rotor avec son arbre reposant sur les roulements à rouleaux dans les corps de palier, avec les disques à marteaux et les boulons à marteaux à passage direct sur lesquels sont accrochés les marteaux en acier au manganèse. L'arbre à marteaux est doté d'un volant. Une mâchoire réglable dotée d'un recouvrement résistant à l'usure.

Le capot pivotant supérieur constitué d'une plaque en acier donne accès aux parties internes du concasseur. Le capot supérieur et le cadre d'assise sont recouverts de plaques de recouvrement échangeables, résistantes à l'usure dans les endroits exposés à l'usure. Le concasseur à marteaux est conçu pour une commande à courroie trapézoïdale venant d'un moteur séparé [10].

3.5.4 Concasseeur à barres d'impact :

Le concassage par percussion est une opération dynamique dans laquelle le broyage se déroule en trois étapes. La première étape consiste à effectuer la plus grande partie du concassage par percussion, c.à.d. grâce à l'impact des barres motrices sur l'alimentation du concasseur. La fonction des mâchoires installées à l'intérieur du concasseur est de jouer le rôle de plaques de déviation : la matière est projetée contre elles, elle est rejetée vers le compartiment de concassage dans lequel elle subit à nouveau le choc des barres motrices avant de quitter le concasseur par la fente située entre le rotor et le côté le moins élevé de la mâchoire. La seconde étape du concassage s'effectue avec le choc de la matière contre les mâchoires. Lors de la troisième étape de concassage, les matières sont concassées les unes contre les autres. Cependant, dans ce système, le principal facteur de réduction est l'impact. La fragmentation ou broyage suit des clivages naturels où l'adhérence est basse (**Figure 3. 10 a, b & c**). Les broyeurs à impact sont constitués d'un ou deux rotors dotés de barres à percussion. La vitesse circonférentielle des rotors est d'à peu près 23 à 45 m/s. Cette allure est nécessaire pour donner la vitesse requise à l'alimentation du concasseur. Chaque sorte de pierre exige une vitesse circonférentielle adéquate pour aboutir à la production maximale de particules de taille la plus avantageuse possible. Une vitesse circonférentielle basse engendrera des particules de grosse

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

taille et vice versa. Les concasseurs à barres d'impact ont relativement peu de pièces d'usure souvent réversibles pour un fonctionnement efficace. En raison de l'espace plutôt étroit dans le corps, le concasseur est généralement doté d'une partie supérieure à bascule qui peut être soulevée par des cylindres hydrauliques pour, faciliter l'accès vers l'intérieur. La plupart des concasseurs à barres d'impact sont commandés par courroie trapézoïdale en passant par le volant. Les concasseurs à barres d'impact n'ont pas de grilles de sortie ; ce qui entrave le contrôle de la granulométrie, spécialement lorsque les barres d'impact et les mâchoires sont usés. D'autre-part, l'absence de grilles de sortie signifie que les particules d'acier non-broyables comme par ex. les dents des transporteurs, peuvent passer à travers le concasseur sans causer de dommages ou de pannes [10].

3.6 Choix du concasseur :

Nous avons déjà mentionné auparavant les 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 cylindres. Les concasseurs à marteaux et à barres d'impact et les concasseurs à marteaux ou à barres d'impact ont généralement un fort taux de réduction. Ce qui signifie qu'avec les concasseurs à marteaux ou à barres 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 [10]. Des matières premières du ciment :

Tableau 3. 3: Taux de réduction typiques des concasseurs utilisés pour le concassage [10].

Type de concasseur	Taux de réduction type
Concasseur à marteaux avec grille	50:1
Concasseur à barres d'impact	40:1
Concasseur à mâchoires	4:1
Concasseur giratoire	7:1
Concasseur à cônes	3 :1
Concasseur à cylindres	4:1
Concasseur à disques coupants	4:1

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

On trouve ci-après les taux de réduction typiques des concasseurs utilisés pour le concassage. Si l'on envisage un département de concassage simple (du point de vue économique, quelques machines, bâtiments peu élevés), il faut partir à la recherche d'un concasseur à marteaux avec grille de sortie. Souvent, il n'est pas nécessaire d'obtenir un produit fini à la granulométrie maximale très bien contrôlée. Dans ce cas, il est possible d'utiliser un concasseur à marteaux sans grille de sortie. En plaçant un tamis derrière le concasseur à barres d'impact, on peut contrôler la granulométrie du produit, mais alors il faudra installer un système de transport pour que le gros de la matière retourne jusqu'à l'entrée du concasseur ; ce qui signifie une installation encore plus compliquée.

Le concasseur à marteaux et le concasseur à barres d'impact sont l'un et l'autre aussi sensibles à l'usure. Pour le concasseur à barres d'impact, la plus grande partie de l'usure se concentre seulement sur quelques barres facilitant ainsi le remplacement ou le renversement des pièces d'usure. Au cas où l'on estimerait que la durée de vie des marteaux et des barres d'impact n'est pas assez longue, il faudrait envisager l'éventualité d'un concasseur à mâchoires ou à cône (bien que le taux de réduction soit plus bas), suivi d'une installation plus compliquée à plusieurs étages. Il serait bon d'ajouter que les concasseurs à mâchoires et à cône sont plus sensibles aux matières adhésives que les concasseurs à marteaux ou à barres d'impact.

Les concasseurs à marteaux et les concasseurs à barres d'impact sont de sensibilité égale aux problèmes d'adhésivité mais sont capables de traiter la plupart des matières collantes ayant une teneur en eau de 12 à 15%. Si une matière est trop collante pour être traitée dans un concasseur à marteaux, on utilisera généralement un concasseur à cylindres. Les concasseurs à cylindres sont aptes à traiter même les matières premières du ciment les plus collantes. Le concasseur à cylindres, comme le concasseur à cône et à mâchoires, a un taux de réduction bas. S'il fallait obtenir un haut taux de réduction, il serait nécessaire d'opter pour une installation à plusieurs étages avec une installation de concassage coûteuse et compliquée. Les concasseurs à cylindres sont moins sensibles à l'usure que les concasseurs à marteaux mais moins résistants à l'usure que les concasseurs à cône. Ils ne peuvent pas, à cause de leur conception, concasser des matières dures comme les concasseurs à mâchoires ou à cône. Les matières les plus difficiles à concasser sont les matières très collantes mêlées à de gros blocs ayant une forte résistance à la compression. Les concasseurs à cylindres seraient en mesure de les traiter mais cela nécessiterait une installation coûteuse. Le concasseur à mâchoire et à cylindre a une conception un peu démodée et est en train de disparaître. En ce qui concerne le concassage, le concasseur à mâchoire et à cylindre ressemble au concasseur à cylindres. Pour ce qui est de la résistance à

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

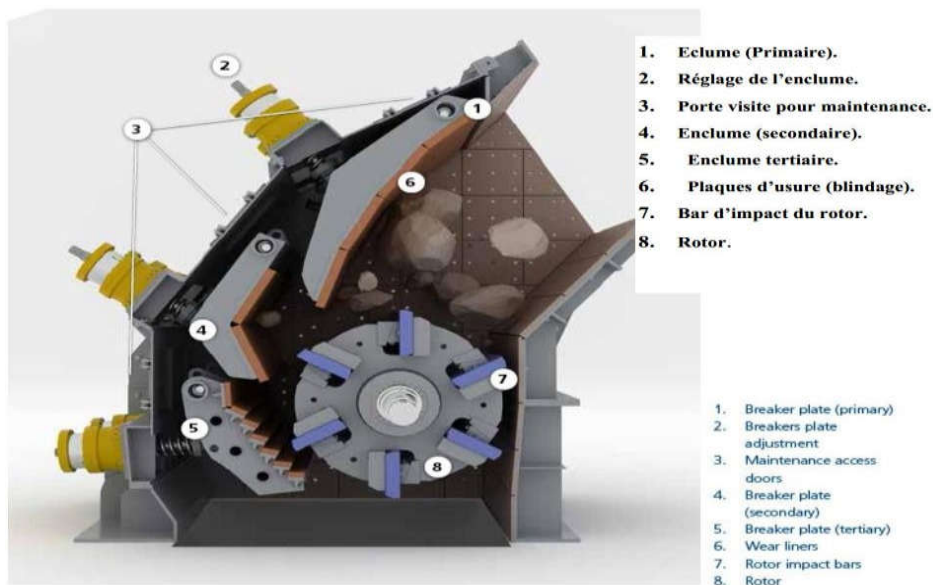
l'usure et de la sensibilité à l'adhésivité, le concasseur à cylindres est plus performant. Le concasseur à disques coupants est employé pour réduire les matières collantes et non pierreuses comme la craie, la marne et l'argile [13].



(a)



(b)



(c)

Figure 3. 8: Concasseur à bar d'impact fermé (b) concasseur à bar d'impact fermé (c) : concasseur à barre d'impact à trois mâchoires [12].

3.7 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

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

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

Le choix du type de concasseurs et leur dimensionnement nécessitent 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...

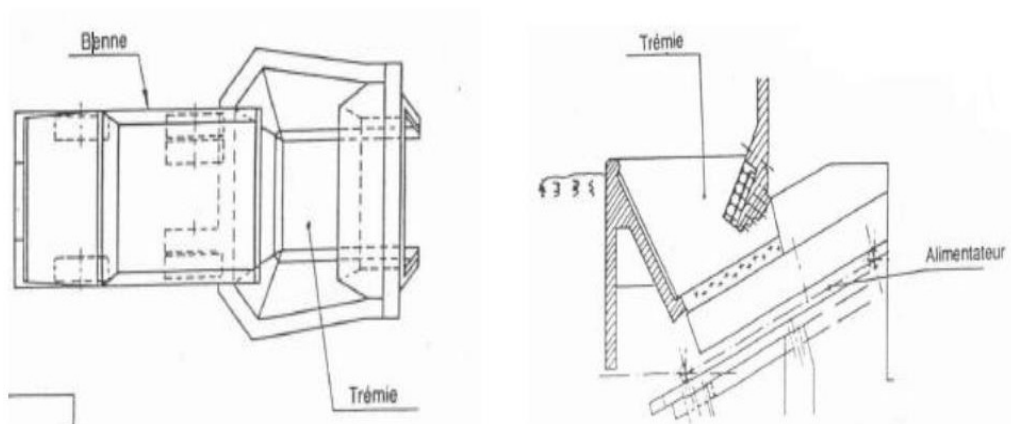
3.8 Trémies d'alimentation :

La matière qui alimente le département de concassage est généralement livrée par les dumpers ou les chargeurs en lots de 20 à 50 tonnes ou plus. Pour une réception efficace de telles quantités de matières, il faut une grande trémie pour égaliser les variations dues à la réception de la matière par chargements. La trémie doit pouvoir résister aux lourdes charges telles que les gros blocs de pierres qui, lors du déchargement, tombent dans la trémie d'une hauteur de 8 à 10 m. La trémie doit être conçue de telle façon que sa largeur facilite la mise en place et le déchargement des dumpers, éventuellement de deux ou trois côtés. Une trémie d'alimentation FLS typique est illustrée sur la figure (**Figure 3. 9. (a)**).

Dans les installations fixes de concassage, les trémies d'alimentation servant aux matières pierreuses de carrière sont généralement des constructions recouvertes de béton. On pourrait se servir d'un revêtement de rails ou de lourdes plaques d'acier fixé aux parois de la trémie et soutenu par des solives de bois dur. Sinon, La trémie pourrait être constituée d'une structure de plaques d'acier soudées (**Figure 3. 11 (b)**). Les parois de la trémie doivent être fortement inclinées pour permettre qu'un écoulement régulier de la matière vers le bas se mette en place graduellement au fur et à mesure que la trémie se vide par en-dessous. Les trémies d'alimentation traitant les matières collantes doivent avoir une surface lisse et des angles arrondis. Dans certains cas, on pourra équiper la trémie d'un bras à fonctionnement hydraulique muni d'instruments capables de fendre la pierre avec un dispositif de saisie et de grattage.[10]



(a)



(b)

Figure 3. 9: (a) et (b) : Trémie d'alimentation FLS [10].

3.9 Alimentation des concasseurs :

3.9.1 Alimentation :

Suivant le type d'appareil, plusieurs alimentations sont possibles :

- Alimentation par préstock ou par tremie.[11]
- Alimentation par transporteur à bande ou alimentateur.

a. *Préstock*

Un volume conséquent du stockage amont simplifie l'automatisme, les boucles de régulation et améliore la productivité ainsi que la qualité des matériaux. Dans le cas d'une reprise par engins, il faut prendre en compte les émissions de poussières provenant du roulage et du bennage. [11].

b. **Conception des trémies**

Les trémies présentent :

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

- Un fond plat avec talutage (caisses à pierres) pour les grosses granulométries de 150 à 300 mm ;
- Un fond pyramidal pour les granulométries inférieures à 150 mm. [11]

Dans le but de réduire l'envol des poussières lors du remplissage de la trémie, il est fortement conseillé de confiner cette dernière. Ce confinement permet également de traiter le risqué de chutes dans la trémie. Ce confinement peut être conçu tel un plancher muni d'une trappe d'accès (sécurisée) pour la maintenance. Des sondes de niveau accessibles peuvent être installées sur ce dernier afin de limiter les turbulences liées à une sous-alimentation et de réguler les alimentations. Des instructions de sécurité précises traiteront des accès dans la trémie. Il est recommandé d'anticiper le risque de colmatage en intégrant des systèmes adaptés : revêtement à faible coefficient de colmatage, canon à air, vibrant... La conception du plancher participe au confinement de la trémie et favorise aussi l'accès à la tête du convoyeur d'alimentation.

c. Conception du système d'alimentation du concasseur

Le système d'alimentation peut-être :

- Pour les matériaux issus du primaire : par tablier métallique, extracteur vibrant ou à tiroirs ou par gravité ;
- Pour les granulométries de 10 à 80 mm : par extracteur à bande, vibrant ou par gravité avec système de régulation.

Dans le cadre de la maintenance des appareils d'alimentation, un système d'isolement entre la trémie et la machine d'extraction (trappe à tiroir ou à crayons de préférence motorisés) est préconisé. La machine d'alimentation du concasseur sera si possible escamotable et de préférence motorisée. Pour limiter les dégagements de poussières, une attention toute particulière doit être apportée aux confinements des flux, ici les liaisons et étanchéités entre extracteur et concasseur (cf. « Dépoussiérage »).[11]

d. Régulation des débits en sortie des trémies

Elle est assurée par des systèmes d'extraction pilotés par le concasseur. Afin de garantir une qualité dans les granulats et d'atteindre une régularité des débits d'extraction, le dimensionnement correct des trémies-tampons (autonomie) est impératif.

e. Fonction régulation du niveau dans le concasseur

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

Afin de réguler l'alimentation du concasseur, et en fonction du type de celui-ci, il faut rendre en compte :

- L'installation de sondes de niveau à l'alimentation du concasseur (gavage) et ou de la trémie
- La mesure de la puissance du moteur du concasseur (qualité des matériaux) ;
- Le contrôle de débit des refus (serrage du concasseur) ;
- L'installation d'un système de serrage automatique ;
- La protection par détecteur de métaux en amont ;
- L'asservissement du système de traitement des poussières ;
- Les contrôleurs de rotation et tension automatique des courroies ;
- Les capteurs de vitesse nulle (consignations et maintenance) ;
- L'étude des consignations.

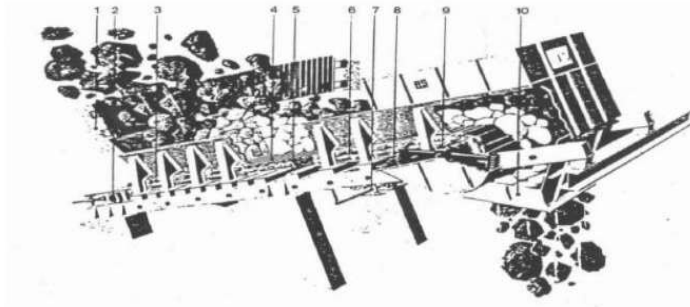
3.9.2 Alimentateurs :

L'alimentateur alimente le concasseur en envoyant un flux régulier de matières en provenance de la trémie d'alimentation afin de permettre l'utilisation optimale du concasseur, sans tenir compte des irrégularités d'approvisionnement en matière vers la trémie d'alimentation. Dans certains cas, le concasseur à cône et le concasseur à mâchoire peuvent fonctionner sans alimentateurs s'ils sont placés directement au-dessous de la trémie d'alimentation. Les autres types de concasseurs ont besoin d'un alimentateur pour assurer un débit d'alimentation régulier [10].

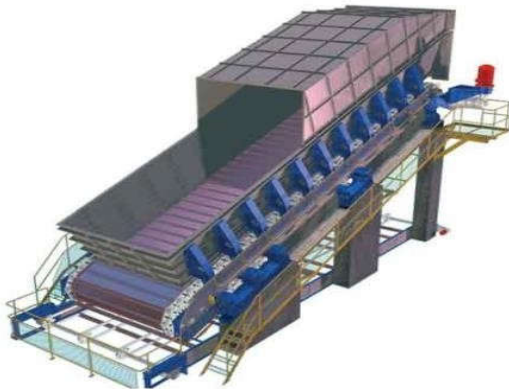
a. Alimentateurs à lamelles :

FLS se sert généralement d'alimentateurs à lamelles pour alimenter le concasseur. Pour le gros de la matière concassage primaire des matières pierreuses on se sert normalement d'un alimentateur à lamelles dont l'inclinaison est de 20° , distribuant automatiquement la matière sur la lamelle en une couche uniforme et appropriée, ceci quel que soit le contenu de la trémie. Ainsi on évite la mise en place d'un dispositif spécial pour limiter l'épaisseur de la couche d'alimentation en matière sur l'alimentateur. Les alimentateurs sont fournis avec des stations de commande de vitesses variables. L'alimentateur à lamelles FLS est illustré sur la figure (**Figure 3. 10**).

1. Trémie d'alimentation en béton
2. Station de tension
3. Chaîne
4. lamelles
5. Galets-supports
6. Rail
7. Râcloir
8. Cache engrenage
9. Mécanisme d'entraînement
10. Sortie



(a)



(b)



(c)

Figure 3. 10: (a) Alimentateur à lamelles FLS [10]. ; (b) Alimentateur à lamelles FLS incliné [12] ; (c) Alimentateur à lamelles FLS horizontal. [12].

L'alimentateur à lamelles FLS peut traiter les matières assez collantes. La hauteur des bâtiments de l'installation de concassage est sensiblement réduite si l'on utilise des alimentateurs de construction inclinée et cela signifie une réduction des frais de construction. On utilise parfois des alimentateurs à lamelles horizontaux ou légèrement inclinés pour les matières qui ont peu de risques de rester bloquées comme la pierre pré concassée, l'argile, la marne, la craie et autres matières similaires [10]

b. Alimentateurs à vibrations :

Les alimentateurs à vibrations sont aussi souvent utilisés comme alimentateurs de concasseurs (voir **Figure 3. 11**). Malheureusement, ils ne disposent pas des mêmes avantages que l'alimentateur à lamelles en ce qui concerne la taille peu élevée des bâtiments, l'uniformité de l'alimentation et le traitement des matières collantes.

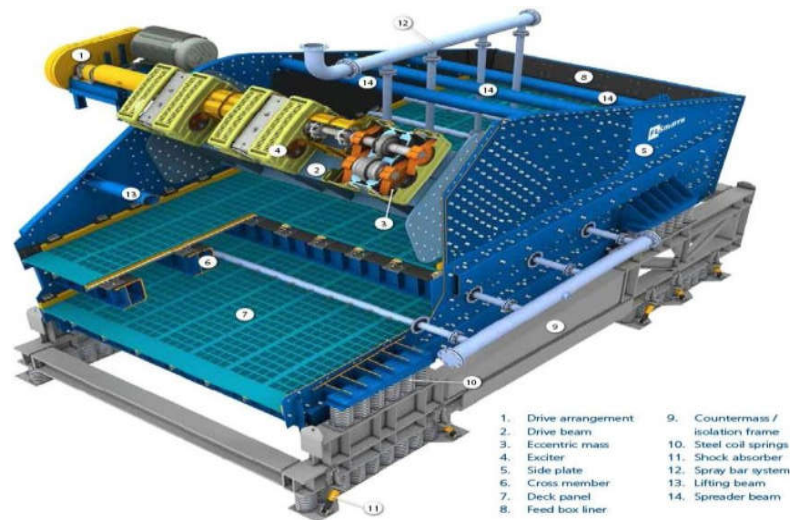


Figure 3. 11: Alimentateur à vibrations FLS [12].

Un de leurs avantages c'est qu'ils peuvent opérer avec un tamis, ainsi, la matière fine n'exigeant aucun concassage ne pourra contourner le concasseur. C'est une possibilité qui est rarement adoptée lors du concassage des matières premières du ciment puisque ces matières premières, même fines, doivent se transformer en farine crue. Avec les concasseurs à mâchoire, à cône ou à cylindres, il pourrait être avantageux de se servir d'un tamis afin de supprimer la matière fine de l'alimentation étant donné que la matière fine peut provoquer le blocage du concasseur. Avec les concasseurs à marteaux ou à barres d'impact, il n'y a aucun risque de blocage de la matière fine sauf si celle-ci est très collante. Lors du concassage de matières collantes, il pourrait être avantageux de retirer la fraction fine de l'alimentation en la tamisant mais cela est difficile à réaliser en pratique [10].

c. Alimentateur à grille déroulante :

Cet appareil est illustré sur la figure (**Figure 3. 12**). L'alimentateur à grille déroulante est utilisé à la fois pour alimenter et tamiser la matière. Les disques ovales à rouleaux qui assurent le transport, créent un effet de vibration sur le matériel assurant le tamisage. Lorsqu'on concasse les matières premières du ciment, on ne cherche normalement pas à faire dériver les matières fines et c'est pourquoi ce genre d'alimentateur est rarement utilisé. Le fait de trier les matières collantes de la pierre avant leur entrée dans le concasseur à marteaux et dans le concasseur à barres d'impact est aussi une tâche difficile pour ce genre d'alimentateur. Un tamisage efficace exige le mouvement permanent d'une fine couche de matières et cela est rarement possible vu que les alimentateurs extraient les matières pierreuses de la trémie d'alimentation.

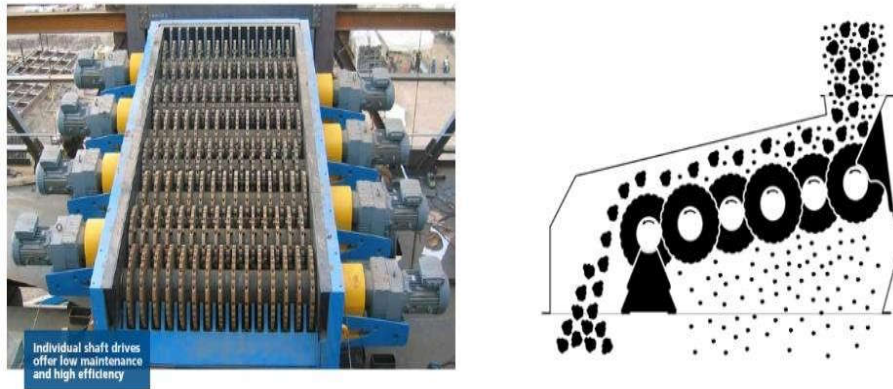


Figure 3. 12: Alimentateur à grille déroulante [12].

3.10 Pour une alimentation optimale :

Le but d'optimiser l'alimentation optimale est d'assurer l'utilisation efficace des capacités du concasseur. Les dimensions du moteur de concasseur sont généralement conçues en fonction de la capacité désirée pour le concasseur. L'alimentation optimale entraînera donc une charge optimale du moteur. Lors du concassage en circuit ouvert vers la finesse du produit exigée, la charge du moteur est directement liée au taux d'alimentation. Par conséquent, la charge du moteur peut être utilisée pour contrôler le taux d'alimentation optimal. Une alimentation irrégulière entraîne des variations dans la charge du moteur. Pour ne pas surcharger le moteur périodiquement, il est nécessaire, en cas d'alimentation irrégulière, de fonctionner selon une moyenne d'alimentation plus basse ce qui entraîne une diminution du degré d'utilisation du concasseur. Par conséquent, en choisissant le dispositif d'alimentation, on préférera une solution assurant une alimentation uniforme. Comme la distribution granulométrique varie toujours, une alimentation volumétrique constante ne garantit pas toujours une même charge de moteur. Les conséquences défavorables de ce fait sont moindres lorsque le concasseur a une inertie rotative élevée. C'est pourquoi beaucoup de concasseurs sont fournis avec un volant à grande masse. Un moteur résistant, par exemple un moteur à bague glissante, fonctionnant sur une résistance de glissement, diminuera aussi la sensibilité du concasseur aux variations de taille de la matière et permettra ainsi d'optimiser la production. Le département de concassage peut également être équipé d'un dispositif de dosage de la matière qui, basé sur la charge de moteur du concasseur, réduit ou stoppe l'alimentation en cas de surcharge. Le taux d'alimentation redevient normal une fois que la charge a été réduite. L'opérateur peut régler le niveau optimal du taux d'alimentation en fonction de la fréquence des mises en fonctionnement et des arrêts de l'alimentateur. L'utilisation efficace du dispositif de dosage automatique demande l'utilisation d'alimentateurs à vitesses variables comportant une régulation rapide bas/haut ainsi que

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

arrêt/démarrage rapide. Les concasseurs FLS dépassant une certaine taille sont équipés d'un système de dosage de la matière automatique [13].

3.11 Concasseur et structure support :

3.11.1 Concasseur :

Le choix et le dimensionnement de la machine devront être adaptés aux besoins spécifiques d'usage (matériaux, coefficient de réduction...) Quel que soit le type d'appareil, les recommandations et bonnes pratiques du guide sur les concasseurs à mâchoires peuvent être consultées et il reste toujours judicieux de procéder à des essais de concassage pour conforter le choix des appareils. Les principales caractéristiques à prendre en compte sont [11] :

- La masse globale de la machine ;
- La masse des pièces périphériques ;
- La masse des pièces d'usure ;
- Les hauteurs de levage ;
- Les puissances installées ;
- Les types de composants extérieurs à l'appareil ;
- Les débits d'air comprimé et/ou d'eau à considérer pour les traitements des poussières.
- L'ergonomie ;
- Les modes de réglage ;
- Les modes d'entretien ;
- Les systèmes de graissage ;
- Les aides à la maintenance et à la manipulation des pièces lourdes.

Dans les exemples présentés, les niveaux d'extraction et d'alimentation sont séparés de ceux du concassage par un plancher. Le relevage des extracteurs à bande et le transfert des tôleries d'alimentation, grâce au pont roulant, libèrent un vaste espace pour l'accès aux concasseurs disposés à l'étage inférieur. Les groupes de lubrification sont situés dans un local dédié et adapté à leurs caractéristiques fonctionnelles. Exemple de poste de concassage secondaire (voir **Figure 3.13**) :

- Trémie à fond plat ;
- Extracteur à bande avec tête relevable ;
- Concasseur giratoire ;

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

- Deux niveaux de passerelles ;
- Monorail d'entretien ;
- Dépoussiérage par pulvérisation d'eau.

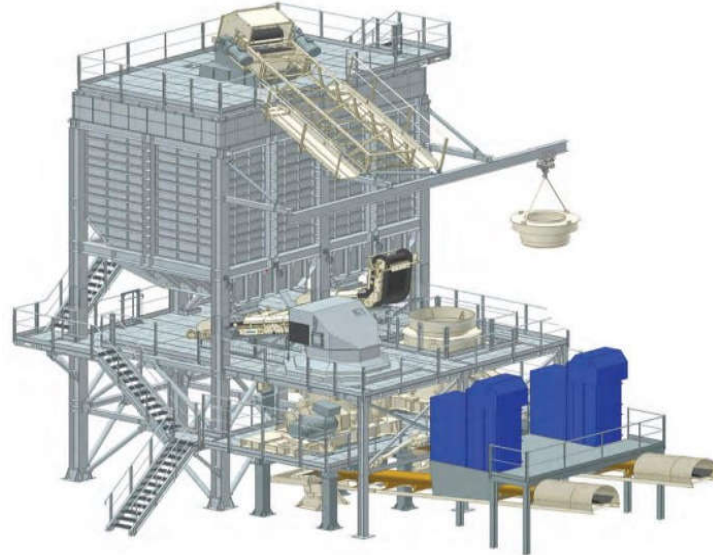


Figure 3. 13: Schéma de poste de concassage secondaire.

3.11.2 Structures :

Elles seront toujours largement dimensionnées. L'expérience montre en effet que les installations subissent dans le temps de nombreuses modifications et que les charpentes doivent être capables de supporter l'adjonction de charges (bardages d'insonorisation, poses ponctuelles d'éléments de rechange...). La structure sera adaptée à l'appareil concerné et de conception aérée pour faciliter les accès. Les structures seront conçues de façon à éviter les amas de matières (positionnement des chemins de câble, structure tubulaire plutôt que plane, plancher en caillebotis) et à faciliter le nettoyage régulier (par lavage et/ou aspiration).

Les différents niveaux de plateformes et les accès associés (escaliers, passerelles) seront définis pour répondre aux zones d'évolution du personnel de maintenance, à l'encombrement, aux poids des pièces à manipuler et aux périodicités d'intervention. Il convient de prêter une attention particulière aux transferts de charges (dans l'exemple présenté, par implantation d'un pont roulant). Le concepteur doit respecter les règles d'intégration des machines afin d'appliquer au mieux les contraintes d'exploitation ainsi que les conditions d'accès lors des opérations de maintenance (nettoyages des structures, accès en tout point aux différents équipements). Les points d'éclairage seront en nombre suffisant. Les pictogrammes de sécurité seront apposés et clairement identifiables [11].

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

3.12 Choix du fournisseur:

La conception et le dimensionnement des concasseurs et autres équipements se rapportant aux installations de concassage exigent des connaissances spéciales et de l'expérience. Les fournisseurs doivent activement participer au choix du type de concasseur ainsi qu'au dimensionnement et garantir que l'équipement peut satisfaire à la demande spécifiée. Serait-il question d'un certain nombre de fournisseurs, il peut s'avérer difficile de déterminer la responsabilité si quelque chose faisait défaut [10]. C'est pourquoi il serait finalement plus avantageux de choisir un ou deux fournisseurs capables de couvrir un large domaine au sein du département de concassage qui seront à même de proposer une large sélection de machines. Les concasseurs sont généralement fournis avec des pièces d'usure interchangeables ; ce qui garantit une longue durée de vie à la structure de base (une durée de vie de 20 à 30 ans n'a rien d'exceptionnel). Lors du choix du fournisseur, il faut se rappeler que les pièces de rechange doivent être disponibles pendant toute la durée de vie de l'équipement. [13]

3.13 Pièces d'usure du concasseur:

Le principal matériau utilisé pour les pièces d'usure de concasseurs (plus particulièrement les concasseurs primaires) est l'alliage acier-manganèse. Ce type d'alliage, connu depuis une centaine d'années, était autrefois appelé "acier Hadfield". C'est un matériau relativement bon marché et manufacturé dans la plupart des aciéries. S'il est correctement coulé et traité thermiquement, ce matériau convient parfaitement aux pièces d'usure d'un concasseur conçu pour le traitement des matières moyennement abrasives comme pour la plupart des matières premières du ciment [13]. L'acier au manganèse a une dureté initiale de 200 Brinell environ et est très résistant. En raison de la pression et de l'effet d'impact durant le concassage, la surface se durcit graduellement jusqu'à environ 450 Brinell = 48 RC. L'acier au manganèse est soudable, ce qui signifie que les pièces d'usure usées peuvent être reconstruites grâce au soudage. Dans les pays où les salaires sont élevés, il n'est peut-être pas très avantageux de reconstruire en soudant. Un soudage dur et résistant à l'usure d'une dureté de 50 à 55 RC peut également être soudé sur deux parties d'acier au manganèse. Cette couche s'usera graduellement, cependant, même si elle ne peut pas être reconstituée, cela permettra peut-être d'allonger la durée de vie de ces parties. La couche protectrice est sensée soutenir le processus d'auto-durcissement de l'acier au manganèse. Lorsque la matière à concasser est plus dure que l'outillage du concasseur (les marteaux, les rouleaux, les dents, etc.) une importante

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

augmentation de l'usure peut apparaître de façon inattendue (**Figure 3. 14**). En pareils cas, il faut rechercher une qualité de matériau supérieure pour les éléments du concasseur [10].



Figure 3. 14: Usure rapide des marteaux Mg 12%.

La principale alternative à l'acier au manganèse, lorsque celui-ci a une dureté insuffisante est un acier fortement allié en Cr-Mo. C'est un matériau dur, fragile et in-soudable dont la dureté peut aller jusqu'à 70 RC. Il est plus coûteux que l'acier au manganèse et on peut difficilement l'utiliser comme matériau à force résistance dans les concasseurs en raison de son caractère friable (destructibles). Il est employé avec succès dans les concasseurs pour concassage secondaire. L'acier fortement allié en Cr-Mo ne convient pas aux concasseurs à marteaux rotatifs pour le concassage primaire à cause de son caractère friable. On pourrait avoir intérêt à utiliser des marteaux à têtes durcies dans certains cas. Les marteaux dénommés bimétalliques, peuvent être fabriqués à partir de deux matériaux coulés ensemble : un matériau résistant pour la section oculaire (visible) et un matériau plus dur pour la tête. Il est difficile d'évaluer le besoin en éléments de concassage avancés sur la base d'études préliminaires d'échantillons de matières. C'est pourquoi on commence généralement une installation de concassage à partir de montages en acier au manganèse. On peut ensuite évaluer les futurs besoins en outillage de plus grande résistance à l'usure en fonction des conditions réelles. Seulement peu de fournisseurs de concasseurs ont la possibilité d'effectuer leurs propres recherches sur les nouveaux matériaux utilisés pour les outils de concassage, les aciéries qui disposent des connaissances requises sur le matériau, n'ont pas souvent la possibilité d'essayer leurs idées dans des conditions pratiques. Ainsi, le développement et le choix des matériaux ont souvent lieu en collaboration avec le fournisseur du concasseur, l'aciérie et le client qui se servira du concasseur. [13].

Chapitre 3 : Concassage dans l'industrie du ciment

3.14 Conclusion :

L'usage de concasseur par la cimenterie est nécessaire pour la fragmentation ; Dans ce chapitre, on a parlé sur les différents types de concasseur et comment il fonctionne, ainsi les critères de choix de concasseur.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Les problèmes du concassage sont très nombreux, mais leurs résolutions se base sur les dépenses énergétiques, puisqu'en fonction de la durée de services de chaque appareil de concassage. L'augmentation des frais d'entretien et de réparation.

Comme on l'a précisé en haut, c'est qu'il est plus difficile d'obtenir des informations fiables sur la consommation d'énergie, les caractéristiques d'usure, la résistance compressive et l'adhésivité des matières à concasser. Tous se basent sur les recherches des fournisseurs de concasseurs comme FLS qui doivent avoir des possibilités d'étudier ces caractéristiques sur les lieux de travail continuellement. Il n'existe pas de standards communément acceptés pour mesurer la consommation d'énergie, l'usure et les caractéristiques d'adhésivité. Comme les caractéristiques d'adhésivité sont principalement reliées à la structure de la matière et à la teneur en eau qui change selon l'exploitation de la carrière des tous venants. 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.

Une teneur en eau inférieure à 10-12 % cause rarement des problèmes d'adhésivité dans les types de concasseurs utilisés dans l'industrie du ciment. Lors de l'exploitation en carrière, de la mise en stock, du transport et autres traitements des matières collantes, il est très important de ne pas décomposer la structure de la matière inutilement et d'empêcher les prises d'eau superflues.

Par exemple, on aura des difficultés à traiter une matière déjà délicate si elle est fragmentée. Les recherches faites sur les caractéristiques des matières sont basées sur des échantillons types de matières. Pour obtenir des résultats qui peuvent être utilisés, il importe que les échantillons soient représentatifs des matières qui seront employées lors du processus de concassage envisagé. Une analyse des caractéristiques de matière appropriée au concassage nécessite un échantillon d'environ 20 kg sous forme de particules de 200mm environ. L'examen de la teneur en eau naturelle doit être exécuté sur la carrière en collaboration avec un géologue expérimenté ou un ingénieur des mines. La grosseur maximum de la matière alimentée au concasseur est très souvent un facteur décisif pour choisir la taille de la machine. La grosseur maximum de la matière est un élément déterminant pour une économie optimale de l'installation.

Conclusion générale

D'autre part, il pourrait être avantageux d'effectuer un deuxième abattage ou de casser les gros blocs ou encore de réduire d'une façon ou d'une autre la taille maximum de la matière qui sera amenée au concasseur [13].

L'usure est un ensemble complexe de phénomène difficile à interpréter amenant une émission de débris avec perte de masse, de cote, de forme et s'accompagnant de transformation physique et chimique des surfaces.

Cette étude possède comme but d'observer et d'essayer de contribuer pour la bonne exploitation mécanique de ces appareilles de l'atelier de concassage et de d'améliorer le schéma de concassage de la matière première pour la fabrication du ciment.

Enfin espérant que ce travail va aider les futures chercheuses mécaniciennes dans leurs travaux pour une bonne poursuite de la stratégie des entreprises de concassage.

Références

Références:

- [1] A. Baamar and R. Skhara, “Concasseurs et broyeurs: Types et maintenance,” Université Mohamed Boudiaf University of M’sila, 2020.
- [2] B. A. Wills and J. A. Finch, “Crushers,” in *Wills’ Mineral Processing Technology*, Elsevier, 2016, pp. 123–146. doi: 10.1016/B978-0-08-097053-0.00006-6.
- [3] T.-H. Meen, International Institute of Knowledge Innovation and Invention, Institute of Electrical and Electronics Engineers, and Longyan University, *Computation, Communication and Engineering : 2019 International Conference on Computation, Communication and Engineering (IEEE ICCCE 2019) : Longyan, Fujian P.R. China, November 8-10, 2019*.
- [4] P. Gireesh, K. Kolluru, V. L. Subramaniam, S. Moses, S. Neelima, and S. D. Editors, “Lecture Notes in Civil Engineering Recent Advances in Civil Engineering Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Construction Technologies and Advancements in Civil Engineering (ScTACE 2021).” [Online]. Available: <https://link.springer.com/bookseries/15087>
- [5] F. Monchy, J. P. Vernier, méthodes et organisations pour une meilleure productivité. Edition Dunod, Paris 2012, ISBN 978-2-10-057967-9.
- [6] Nabti Mohamed Tahar, Etude de l’évolution des indicateurs spectraux et cepstraux dans la détection des défauts mécaniques, Magistère, université Ferhat Abbas Sétif, 2011.
- [7] Ould Eyoub Mohamed Cheikh, Modification d’une machine tournante « cas d’une machine de filtrage de blé », mémoire de master, université Saad Dahled Blida, 2015.
- [8] Paresh Girdhar, “Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance”, Book of IDC technologies, Newnes an imprint of Elsevier, 2004.
- [9] Djaballah Saïd, Etude et optimisation de la transformée en ondelettes pour la détection des défauts dans les roulements, Mémoire de Magister Université Mohamed Chérif Messaâdia de Souk-Ahras.2015.
- [10] FLSMIDTH PLANT SERVICE DIVISION . (LE CONCASSAGE), VIGERSLEV ALLÉ 77 - 2500 VALBY – DANEMARK, The international Cément Seminar. Training.2003.
- [11] Groupe de travail Poussières minérales de la Sim Guide réalisé par le sous-groupe Installations
Autour des concasseurs secondaires et tertiaires
- [12] www.flsmidth.com
- [13] LAIFA FAKHREDDINE Etude technico-économique des marteaux du concasseur EV250X300-2-85 de l’usine LAFARGE CIMENT de M’SILA