

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**



**Département de Génie Minier**  
**PROJET DE FIN D'ÉTUDES**  
**En vue de l'obtention du**  
**Diplôme d'Ingénieur d'État**  
**En Génie Minier**

**L'influence du mode de concassage sur les  
caractéristiques de fabrication des granulats.**

Dirigé par :  
Dr. M. OULD HAMOU

Réalisé par :  
DJEZAIRI Omar

Proposé par  
ALGRAN

Promotion : juin 2008

## **Remerciements**

*Je tiens à remercier mon promoteur **Dr. OULD HAMOU Malek**  
Pour sa direction et pour ses conseils.*

*Je tiens aussi à remercier le président et les membres de jury qui m'ont fait  
l'honneur de juger ce travail.*

*Je tiens aussi à remercier*

- *le sous directeur de la société **ALGRAN M. MEHSSAS***
- *le chef de laboratoire de l'unité Keddara **M.KADDAR***
- *l'ingénieur d'exploitation **F. LOUNIS***
- *le directeur de l'unité Ain Mlila **.M. SAKHR***

*Je remercie toutes les personnes qui m'ont aidé, de près ou de loin.*

*Mes remerciements vont aussi à tous les enseignants du département de  
Génie Minier de l'ENP.*

## **DEDICACES**

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes très chers et tendres parents, que Dieu*

*Les protège ;*

*A mes frères mes sœurs, et toute ma famille ;*

*A tous les étudiants du Département de Génie Minier ;*

*A tous mes amis ;*

## الملخص

- الهدف من هذا المشروع يتمثل في تأثير المفتتات بالنقر على الخصائص الصناعية للحصى. هذه المفتتات أخذت مكان المفتتات ذات نمط صناعي دوار.

لأجل هذا دراستنا تركز على التجارب الشكلية للحصى على مختلف الفئات السابق ذكرها ثم قمنا بدراسة مقارنه بين نوعين التففتيت .

نتيجة التجارب أثبتت بأن الحصى التي تصنع بالنقر لديها نوعيه جيده خاصة أشكالها إلى حد ما مكعبه.

الكلمات الرئيسية حصى. مفتته. تجريه

## Résumé:

L'objectif de ce projet consiste l'influence de concasseurs à percussion sur les caractéristiques de fabrication des granulats, ces concasseurs ont été remplacés les concasseurs de mode giratoire.

Pour cela notre étude est basée sur les essais géométriques des granulats sur les différents classes de ce dernier .puis nous avons fait une étude comparative entre les deux modes de concassages.

Les résultats des essais ont été montré que les granulats qui fabriqué par le mode à percussion elle a une bonne qualité particulièrement sa forme qui plus cubique.

Les Mots clefs : granulat. Concassage. Essai

## Abstract

The objective of this project consists the influence of rebound crushers on the characteristics of manufacture of the aggregates, these breakers were replaced the breakers of gyratory mode.

For that our study is based on the geometrical tests of the aggregates on different the classes from this last puis we made a comparative study between the two modes of crushings.

The results of the tests were shown that the aggregates which manufactured by the mode with percussion it has a good quality particularly its form which more cubic.

Key Words aggregate, Crushing, Test

# Table des Matières

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
-----------------------------------	----------

## **CHAPITRE I      GENERALITES SUR LES GRANULATS**

1. Introduction.....	2
2. Types de granulats.....	2
3. Caractéristiques des granulats.....	2
3.1. Caractéristiques intrinsèques.....	3
3.1.1 Pétrographie.....	3
3.1.2. Caractéristiques physiques.....	3
3.1.3. Caractéristiques mécanique.....	4
3.2. Caractéristiques de fabrication.....	5
3.2.1. Granulométrie.....	5
3.2.2. Aplatissement.....	5
3.2.3. Angularité.....	6
3.2.4. Indice des vides rigden.....	6
3.2.5. Propreté des granulats.....	6
3.2.6. Sable .....	6

## **CHAPITRE II      LES APPAREILS DE FRAGMENTATION**

1. Introduction.....	8
2. Les lois fondamentales de concassage.....	8
2.1. Rapport de réduction.....	8
2.2. Consommation d'énergie dans le concassage et le broyage.....	9
3. Types de concasseurs et leur Principes de fonctionnement.....	10
4. Appareils opérant par écrasement .....	11
4.1. Les concasseurs à mâchoires.....	11
4.1.1. Principe de fonctionnement et description.....	11
4.1.2. Utilisation et caractéristiques des concasseurs à mâchoires.....	12
4.2. Les concasseurs giratoires.....	13
4.2.1. Principe de fonctionnement et description.....	13
4.2.1.1. Les appareils à tête montée sur arbre guidé .....	13
4.2.1.2. Les appareils dits « à tête en porte à faux » .....	13
4.2.2. Les concasseurs giratoires primaires .....	14
4.2.3. Les concasseurs giratoires secondaires.....	15
4.2.4. Les concasseurs giratoires tertiaires.....	16
4.3. Les concasseurs à rotors.....	17
5. Appareils opérant par choc.....	19
5.1. Les concasseurs à percussion.....	19
5.1.1. Généralités.....	19
5.1.2. Principe de fonctionnement.....	19
5.2. Les concasseurs à percussion à axe horizontal .....	20
5.2.1. Les concasseurs à percuteurs rigides.....	20
5.2.2. Les concasseurs à percuteurs articulés.....	21
5.2.3. Caractéristiques et Utilisation des concasseurs à percuteurs articulés.....	21
5.2.4. Avantages et inconvénients des concasseurs à percussion à axe horizontal.....	22
5.3. Les concasseurs à percussion à axe vertical.....	23

5.3.1. Les Machines à impact unique.....	23
5.3.2. Les machines à double impact indirect.....	23
5.3.3. la machine synchro concasseur.....	23
5.4. Commentaires généraux sur les machines opérant par percussion.....	24
6. Critères de choix d'un appareil ou d'une chaîne d'appareils.....	25
6.1. Données de base .....	25
6.2. Eléments du choix du concasseur primaire.....	26
6.3. Eléments du choix du concasseur secondaire et tertiaire.....	28
6.4. Eléments du choix du concasseur quaternaire .....	28
6.5. Cas particulier des produits humides et collants.....	28

### **CHAPITRE III LA CARRIERE DE KEDDARA**

1. Localisation de l'unité.....	29
1.1. Les Carrieres de KEDDARA.....	29
1.2. Historique des travaux de recherche.....	30
1.3. Réserves.....	30
2. Géologie.....	31
2.1. Généralités.....	31
2.2. Géologie du gisement.....	31
2.3. Pétrographie du gisement.....	31
3. Exploitation.....	32
3.1. La méthode d'exploitation.....	32
3.1.1. Méthode d'extraction et d'abattage.....	32
3.1.2. Abattage.....	32
3.1.3. Chargement – Transport.....	32
3.1.4. Travaux préparatoires.....	32
4. Station de concassage .....	33
4.1. Description du processus de fabrication des granulats .....	33
4.2. Processus primaire.....	33
4.3. Concassage secondaire.....	33
4.3.1. Processus BABBITLESS.....	34
4.3.1. Processus ARJA.....	35
4.4. Stade tertiaire (station de sable).....	36
5. Schéma technologique du traitement.....	36

### **CHAPITRE IV PARTIE EXPERIMENTALE**

1. Stade primaire essais d'analyse granulométrique .....	39
2. Stade secondaire L'analyse granulométrique des concasseurs à percussion (ARJA et KRUPP HAZMAK).....	42
3. Caractéristiques des produits marchands.....	43
3.1. Concasseur secondaire à percussion (ARJA).....	43
3.1.1. L'analyse granulométrique par tamisage des produits finis .....	43
3.1.2. Coefficient d'aplatissement.....	44
3.1.3. Équivalent de sable.....	45
3.1.4. Bleu de méthylène.....	47
3.2. Concasseur à percussion (KRUPP AZMAK).....	48
3.2.1. L'analyse granulométrique par tamisage.....	48
3.2.2. Coefficient d'aplatissement.....	49

3.2.3.équivalent de sable.....	50
3.2.4. Bleu de méthylène.....	50
3.3. Stade tertiaire (recyclage de sable concasseur. PISCIS 300 RP).....	51
3.3.1. L'analyse granulométrique par tamisage.....	51
3.3.2. Équivalent de sable.....	52
3.3.3. Bleu de méthylène.....	52
3.4. Produit mélange (0/40 mm).....	53
4. concasseurs giratoire .....	54
4.1. L'analyse granulométrique par tamisage .....	54
4.2. Coefficient d'aplatissement.....	55
4.3.équivalent de sable.....	55
5. Comparaison entre les produits des deux modes de concassages.....	56
<b>CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCE</b>	
<b>ANNAEXES</b>	

## **INTRODUCTION GENERALE**



## INTRODUCTION GENERALE

L'objectif capital de toute activité industrielle est l'augmentation du rendement et par conséquent des bénéfices. Ceci n'est possible que par la maîtrise parfaite du processus de production et du choix des équipements qui permettent de répondre aux exigences du marché ou du consommateur. C'est la raison pour laquelle, les opérateurs dans le domaine minier, et les gérants des carrières, doivent contrôler rigoureusement le processus de traitement de manière à assurer le succès de leur unités de production en améliorant le plus possible l'environnement des travaux par le biais d'une bonne assistance technico-économique.

L'essor qu'a connu le secteur de la construction civile et industrielle, ainsi que les projets des voies et ouvrages d'art, ces dernières années dans notre pays, contribue à l'expansion du marché des granulats tous types confondus.

Cependant les caractéristiques des granulats dans le domaine du génie civil sont fortement dépendantes du mode de concassage choisi.

Et c'est ainsi que mon projet de fin d'études présente une étude sur l'influence du mode de concassage sur les propriétés des agrégats, en me basant d'abord sur les notions théoriques acquises lors de ma formation d'ingénieur à l'école polytechnique et sur les résultats pratiques des produits issus des différents concasseurs qui sont la base de comparaison et d'interprétation.

## **CHAPITRE I**

### **GENERALITES SUR LES GRANULATS**

## 1. Introduction [5]

Les granulats sont des matériaux de dimensions n'excédant pas 125 mm, auxquels s'ajoutent les enrochements de dimensions supérieures à 125 mm. Ils sont désignés par leurs plus petites et plus grandes dimensions  $d$  et  $D$ . Le Rapport  $D/d$  étant appelé rapport de réduction ou degré de concassage. Cette désignation admet que des éléments puissent être retenus sur un tamis à mailles carrées d'ouverture  $D$  (tamis  $D$ ) et que d'autres puissent passer au travers le tamis  $d$ , dans les limites normalisées permises.

Les granulats les plus couramment utilisés dans la construction civile et industrielle ont une masse volumique réelle comprise entre 2 et 3  $t/m^3$

## 2. Types de granulats [1]

On distingue :

- **Les granulats naturels** : issus des roches meubles ou massives extraites in situ et ne subissant aucun traitement autre que mécanique.
- **Les granulats artificiels** : qui proviennent de la transformation thermique de roches, de minerais, de sous-produits industriels (laitiers, scories...) ou encore de la démolition d'ouvrages ou de bâtiments divers en béton, souvent appelés granulats recyclés.
- **Les granulats très légers** : ils sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale (bois, polystyrène). Ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600  $kg/m^3$ .

## 3. Caractéristiques des granulats : [1]

Quel que soit l'usage que l'on en fait des granulats (béton hydraulique, pour usages routiers ou encore en préfabrication), les granulats se caractérisent par un certain nombre de propriétés qui dépendent :

- De leur origine géologique : ce sont des caractéristiques liées au gisement qu'on appelle «caractéristiques intrinsèques» ;
- Du traitement qu'ils ont subi entre leur extraction et leur passage à l'état de produits finis dans l'usine de traitement : ce sont les «caractéristiques de fabrication».

Ces caractéristiques sont mesurées par des essais le plus souvent normalisés.

### 3.1 Caractéristiques intrinsèques

#### 3.1.1 Pétrographie

##### 3.1.1.1 Minéralogie

Pour granulats, les minéraux apparaissent dans les roches exploitées sous forme de très petits éléments dont l'identification s'obtient par examen en lame mince de quelques microns d'épaisseur ; par contre en section polie de la roche pour les minéraux opaques.

##### 3.1.1.2 Structure

Les minéraux s'organisent en différentes structures, en fonction de leur dimension. On distingue les structures suivantes

<b>Structure</b>	<b>taille des minéraux</b>
Macro grenue	10mm
Grenue	1mm
Microgrenue	0.1mm
Crypto cristalline	0.01mm
vitreuse	<0.001mm

#### 3.1.2 Caractéristiques physiques [1][8]

##### 3.1.2.1 Porosité

En général la porosité est le rapport du volume des vides au volume total de la roche. On peut aussi définir la porosité comme le volume de vide par unité de volume apparent.

$$\rho = \frac{\text{volume des vides}}{\text{volume total}}$$

##### 3.1.2.2 Masse volumique absolue (MVA)

C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon au volume de la matière solide de celui-ci (hors pores).

$$MVA = \frac{M_s}{V_t - V_v} \quad (\text{tonnes/m}^3)$$

##### 3.1.2.3 Masse volumique réelle (MVR)

C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon au volume de la matière solide de celui-ci, y compris les pores.

$$MVR = \frac{M_s}{V_t} \quad (\text{Tonnes /m}^3)$$

### 3.1.2.4 Coefficient d'absorption d'eau (Ab)

C'est le rapport de la différence entre la masse de l'échantillon immergé dans l'eau pendant 24 heures à 20°C et sa masse sèche, à sa masse sèche, multiplié par cent.

$$Ab = 100 \frac{Ma - Ms}{Ms}$$

Tel que

*Ma* : la masse d'un échantillon immergé dans l'eau pendant 24

*Ms* : la masse d'échantillon sèche

### 3.1.2.5 Teneur en eau

C'est le rapport de la différence entre la masse de l'échantillon en l'état et sa masse sèche, à la masse sèche de l'échantillon.

$$W = 100 \frac{M - M's}{M's}$$

Tel que

– *M* : la masse des granulats humides

– *M's* : la masse des granulats secs

## 3.1.3 Caractéristiques mécanique [1]

### 3.1.3.1 Résistance à la fragmentation

La mesure de la résistance à la fragmentation s'obtient par l'essai que l'on appelle Los Angeles (LA)

Ce coefficient est le rapport de la quantité des fines inférieures à 1,60 mm (maille carrée) produites dans la machine Los Angeles, et la masse de la prise d'essai.

Le coefficient Los Angeles est, par définition le rapport

$$lAg = \frac{100 * m}{5000}$$

Où : *m* = masse des fines produites au cours de l'essai et dont le diamètre est inférieur à 1,60 mm (maille carrée)

### 3.1.3.2 Résistance au gel

Cette caractéristique est exigée pour prévoir le comportement des bétons dans des conditions climatiques sévères

Un granulat est considéré comme non gélif s'il absorbe peu d'eau ( $Ab < 1\%$ ) ou si sa résistance à la fragmentation est bonne ( $LA < 25$ )

$$G = \frac{(LAg - LA)}{LA} \times 100$$

Avec  $LAg$  est le coefficient Los Angles de l'échantillon

## 3.2 Caractéristiques de fabrication [1]

### 3.2.1 Granulométrie

Le respect d'une régularité dans la répartition granulométrique d'un produit est essentiel quel que soit l'usage du produit. La norme exigera le respect de valeur spécifiée conduisant à construire les fuseaux de régularité et de fabrication

La détermination de la granularité s'obtient par l'analyse granulaire (analyse granulométrique).

L'analyse granulométrique est effectuée sur des tamis à maille carrée.

Il est évident qu'en fonction des caractéristiques de l'échantillon et la précision requise, on n'emploie qu'un nombre réduit des tamis choisis normalisés, l'échantillon pour essais doit avoir une masse supérieure à  $0.2 D$ .

Le détail de la procédure d'analyse par tamisage est donné en annexe 2.

### 3.2.2 Aplatissement [1]

Une bonne forme des granulats est essentielle pour éviter des chutes de résistance des bétons par suite de risque d'apparition de plans de glissement potentiels. Pour la majeure partie des usages, on préférera utiliser des granulats les plus isotropes possibles.

La forme du grain peut être estimée par la connaissance des 3 dimensions suivantes (figure.1)

$G$ , plus petit écartement entre deux plans tangents parallèles ;

$E$ , dimension de la maille carrée minimale à travers laquelle passe le grain.

Le Coefficient d'aplatissement d'un granulat est défini par la proportion de grains tels que :

$$G / E > 1.5$$

La Procédure d'essai est donnée en annexe [6]

### 3.2.3 Angularité

Une bonne angularité des granulats est nécessaire à l'obtention d'une bonne adhérence sur couche de roulement.

L'angularité des granulats est éventuellement estimée par les valeurs des indices le rapport de concassage.

On peut préférer comme mesure de l'angularité des matériaux, celle du temps d'écoulement d'un volume de granulat donné à travers un orifice donné. Il en est de même pour les sables, la méthodologie étant la même, sauf pour l'appareillage de mesure.

### 3.2.4 Indice des vides Rigden

Essentiel en technique routière, cet indice est représentatif du volume des vides existant entre les fines sèches compactées dans un récipient.

### 3.2.5 Propreté des granulats

La présence des argiles à la surface des granulats, aussi bien dans les bétons que dans les matériaux traités aux liants hydrocarbonés, peut entraîner des défauts d'adhérence granulats-liants.

### 3.2.6 Sable [1]

On mesure l'importance des pollutions argileuses dans les sables par l'essai d'équivalent de sable et l'essai de méthylène.

#### 3.2.6.1 Equivalent de sable

On sépare, dans une éprouvette, au moyen d'une solution lavante, les sables qui décantent, et les éléments fins qui restent en suspension. On détermine ainsi un équivalent sable dont la valeur est autant plus élevée que le sable est exempt d'impuretés argileuses.

- Des éléments non nocifs très fins peuvent conduire à un ES très bas (exemple : 4 % de fines silteuses < à 20 microns abaissent l'ES à environ 40 %)
- La kaolinite, à faible nocivité, est traitée comme les autres argiles.

**3.2.6.2 Essai au bleu de méthylène**

Le bleu de méthylène se fixe préférentiellement sur les fines argileuses au détriment des fines non argileuses. La valeur de bleu d'un sable est mesurée :

Pour les sables de chaussée : Par la quantité de bleu adsorbée par les fines contenues dans un kg de la fraction 0/2 mm du sable ;

Pour les sables à béton : par cette même valeur multipliée par le poids du 0/2 dans les 0/D.



## **CHAPITRE II**

### **LES APPAREILS DE FRAGMENTATION**

## 1. Introduction

La fragmentation d'un solide s'opère sous l'action d'un champ de contrainte tridimensionnel non homogène généré par des forces en contact. Le concassage est une opération particulière dans l'ensemble des opérations de fragmentation. Il commence à un stade précoce de la réduction dimensionnelle, pour faciliter la manutention, l'homogénéisation et le stockage des matériaux.

Le concassage est une opération de réduction du tout-venant extrait de la mine ou de la carrière jusqu'à une dimension de l'ordre du centimètre.

## 2. Les lois fondamentales de concassage

### 2.1. Rapport de réduction

On appelle rapport de réduction d'un concasseur la valeur du quotient qu'on obtient en divisant la dimension maximale des blocs de pierre qu'il est possible de faire rentrer, ou que l'on fait réellement rentrer dans le concasseur, par la dimension maximale des blocs qui quittent le concasseur après le concassage.

Ce rapport de réduction est une caractéristique quantitative du processus, indiquant, de combien de fois le produit concassé a été réduit.

$$I = \frac{D \max}{d \max}$$

D max = diamètre du plus grand morceau avant le concassage

d max = diamètre du plus grand morceau après le concassage

Pour les roches foisonnées, on tient compte des dimensions des ouvertures des cribles. Les fabricants de concasseurs utilisent le degré de concassage de construction calculé par :

$$I = \frac{B}{b}$$

Où

B = largeur de la trémie de réception du concasseur, mm.

b = largeur d'ouverture du concasseur, mm.

Ce degré de concassage est également calculé en fonction des dimensions moyennes des morceaux avant et après le concassage :

$$I = \frac{D_{moy}}{d_{moy}}$$

Cependant, dans l'industrie on utilise plutôt les D80 et d80 pour caractériser une granulométrie donnée (diamètre de l'ouverture à travers lequel passant 80% de matériaux avant et après le concassage).

## 2.2. Consommation d'énergie dans le concassage et le broyage

L'absorption d'énergie pour réduire des fragments de roche est importante.

La théorie de morcellement développée par Bond (1952) et appelée indice de travail ou indice de BOND, est encore employée aujourd'hui, bien qu'il y ait eu des avancées récentes (King et Schneider, 1995). En utilisant cette théorie, des besoins en énergie pour ramener des fragments de dimension d'alimentation de 80% à une taille du produit de 80% peuvent être calculés.

L'équation de morcellement de Bond est la suivante :

$$W = 10 w_i \left( \frac{1}{P^{0.5}} - \frac{1}{F^{0.5}} \right)$$

W=travail d'entrée, KWh /s. tonne (1 short tonne = 0.907 tonne métrique).

$W_i$  = indice de travail spécifique au type de matériau donnée, kWh/t (donnée expérimentale, 14 pour le minerai de fer).

P= 80% de la taille des passants du produit, micron

F=80% de la taille des passants de l'alimentation, micron

L'une des raisons de l'utilisation de la troisième théorie de morcellement de Bond est que  $W_i$  a été mesuré et rapporté pour plusieurs types de roches.

En employant ce rapport, On peut étudier le travail initial exigé pour différentes dimensions d'alimentation et les indices de travail dans les étapes du morcellement.

### 3. Types de concasseur et leur Principes de fonctionnement [3]

On distingue les types de concasseurs selon leur fonction dans l'usine de production de granulat ; on a l'habitude de les classer d'après leur mode d'action .La fragmentation met en œuvre trois actions : compression, impact et attrition.

- ***Dans les machines opérant par compression***, les morceaux subissent une action d'écrasement soit répétée, comme c'est le cas dans les concasseurs à mâchoires ou giratoires, soit continue comme dans les concasseurs à cylindres.
- ***Dans les machines opérant par impact***, les morceaux sont frappés violemment par un organe tournant à grande vitesse et projetés contre des enclumes, de façon à induire des fractures suivant les plans de clivage naturels de la roche.
- ***Dans les machines opérant par attrition***, c'est essentiellement l'abrasion qui est mise en jeu; ces machines sont surtout utilisées pour la production de sable.

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

#### **Les concasseurs opérant par compression:**

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

#### **Les concasseurs opérant par impact :**

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

#### **Les concasseurs opérant essentiellement par attrition:**

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

## 4. Appareils opérant par écrasement (*compression*)

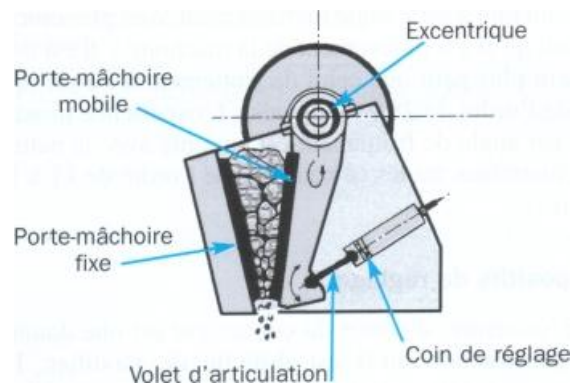
### 4.1. Concasseurs à mâchoires

#### 4.1.1. Principe de fonctionnement et description

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

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

Les types les plus répandus de concasseurs à mâchoires verticales sont le concasseur à simple effet (ou plutôt simple volet) et le concasseur à double effet (ou plutôt à double volet). Mais actuellement dans l'industrie minière, seuls, sont utilisés les concasseurs à simple effet (*figure III.1*) qui sont moins lourds (et donc moins chers) que les concasseurs à double effet.



**Fig. III.1 :** Concasseur à mâchoires à simple effet

##### 4.1.1.1. Le concasseur à simple effet (simple volet)

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

#### 4.1.1.2. Le concasseur à double effet (double volet)

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

**Remarque** : ce type de concasseurs à cause de leur prix, ne sont actuellement utilisées que pour la fragmentation des matériaux très abrasifs comme les ferro-alliages,

#### 4.1.2. Utilisations et caractéristiques des concasseurs à mâchoires :

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



**Fig. III.2** : ConcasEUR à mâchoires

## 4.2. Concasseurs giratoires

Il existe deux familles distinctes de concasseurs giratoires :

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

### 4.2.1. Principe de fonctionnement et description :[2] [3]

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



**Fig. III.3:** Concasseur giratoire

#### 4.2.1.1. Les appareils à tête montée sur arbre guidé

Ces appareils sont utilisés dans toutes les applications primaires, mais existent aussi en applications secondaires .souvent préféré des appareils dits «à tête en porte à faux».

#### 4.2.1.2. Les appareils dits « à tête en porte à faux »

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

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

- Concasseurs giratoires primaires ;
- Concasseurs giratoires secondaires ;

- Concasseurs giratoires tertiaires ;
- Concasseurs giratoires pour production de sable ;

#### 4.2.2. Concasseurs giratoires primaires : [2][3]

Ils sont tous à arbre guidé et porté. L'arbre est guidé en tête, dans un étrier, au niveau de l'intersection des axes de l'arbre et du bâti de la machine, et porté en pied par un vérin permettant le réglage et la compensation de l'usure. L'entraînement se fait en pied par l'excentrique monté le plus souvent sur bague bronze, et parfois sur roulement. Le mouvement y est transmis directement par l'intermédiaire d'un couple d'engrenages coniques formant à la fois réduction et renvoi d'angle (ou anciennement par poulie à axe vertical). La chambre de broyage, largement ouverte, a pour bissectrice une génératrice quasi-verticale.

L'évacuation des matériaux concassés s'effectue en sortie inférieure par décharge annulaire (ou par deux couloirs si entraînement direct par poulie à axe vertical).

Pour les anciens appareils à tête suspendue, le réglage était réalisé par un écrou en partie supérieur de l'arbre. L'arbre est supporté par un vérin qui permet un réglage quasi-instantané.

Les facteurs déterminant pour la production et le rendement des concasseurs sont, bien évidemment, le choix de la dimension, suivi de ;

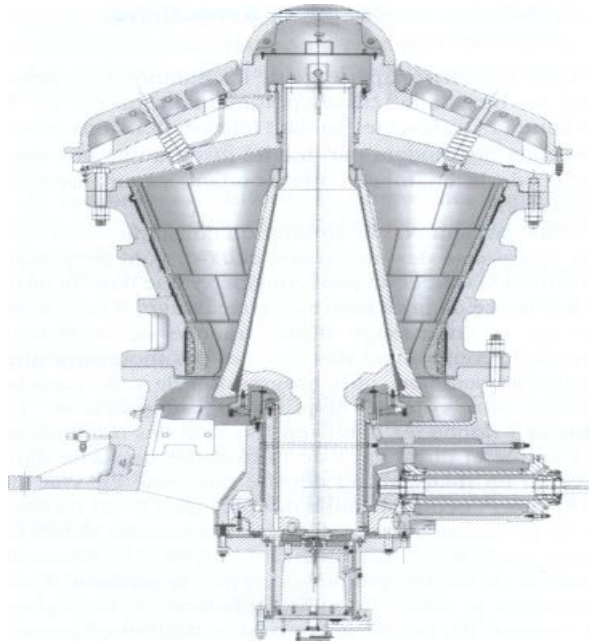
- La vitesse de rotation ;
- L'angle de prise des matériaux entre les pièces broyantes qui ne doit pas dépasser  $28^{\circ}$  sous peine de voir les blocs sauter dans la cuve de broyage.

- **Débit des concasseurs giratoires primaires**

On caractérise habituellement les concasseurs giratoires primaires par la dimension radiale des ouvertures d'admission, exprimée en pouces, suivie du diamètre de la mâchoire mobile à sa partie inférieure, exprimée également en pouces. En effet, ce sont les deux chiffres caractérisant le mieux les possibilités de l'appareil, puisque le premier conditionne la dimension des blocs à l'alimentation et le second conditionne le débit dont l'appareil est capable pour un réglage donné.



Le débit des concasseurs est, bien évidemment fonction de la dimension, et ensuite de la vitesse de rotation et de l'excentricité de l'arbre.



**Fig. III.4:** Concasseur giratoire primaire à tête guidée et portée.

#### 4.2.3. Les concasseurs giratoires secondaires

Ce sont des appareils destinés à reprendre les matériaux pré-concassés à l'étage primaire afin de les ramener à une dimension admissible pour les appareils. La plupart du temps, ils ne sont pas utilisés pour fabriquer des matériaux fins, sauf les ballasts.

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

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

Les concasseurs giratoires secondaires, ce sont des appareils "à tête sur arbre en porte à faux" ce dernier système, présente plusieurs avantages :

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

#### **4.2.4. Les concasseurs giratoires tertiaires**

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

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

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

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

Toutes ces conditions sont déterminées par :

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

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

Une qualité régulière des produits est assurée par un réglage automatique continu de l'ouverture de la chambre de concassage. Ainsi tous les appareils tertiaires bénéficient du même développement d'assistance hydraulique décrit pour les concasseurs secondaires. Le plus souvent, ces asservissements, hydrauliques sont pilotés par automate programmable asservi à :

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

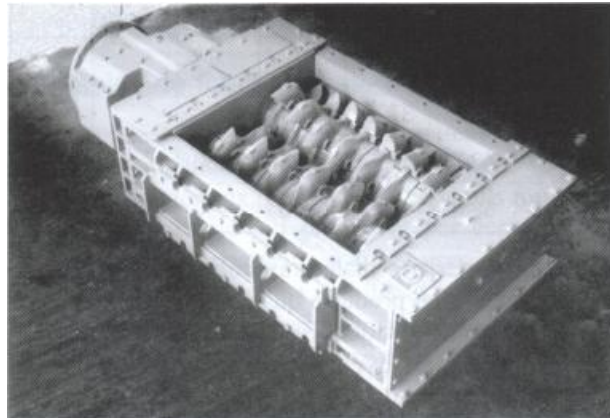
Après étalonnage, il devient facile, à l'aide d'un mini-calculateur, d'assurer une maîtrise de la courbe granulométrique, au fur et à mesure de l'usure des pièces.

### 4.3 .Concasseurs à rotors dentés

#### 4.3.1. Introduction

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

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



**Fig. III.5:** Concasseur MMD série 500

#### 4.3.2. Principe et description

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

Le système MMD exploite donc la faiblesse inhérente de la roche au cisailage, utilise les plans de fracture naturels pour fragmenter les matériaux à une taille prédéterminée.

Pour exécuter leur action de concassage, les concasseurs MMD utilisent de grandes dents implantées sur 2 rotors de diamètre relativement faible tournant en sens inverse qui effectuent la rupture en happant et en fragmentant le matériau lorsqu'il

passer entre elles; la taille, le nombre et la forme des dents déterminent les dimensions du produit final. L'espace présent entre ces grandes dents permet aux matériaux les plus fins de passer à travers la machine sans autre dégradation, comme dans une opération de scalpage. Les blocs par contre sont pris et broyés par les dents en rotation.

Des blocs de dimensions importantes peuvent être admis ; soit en gros 500 à 1500 mm. Donc ce système de concassage permet une hauteur réduite des appareils et des débits particulièrement élevés.

Ces machines pour les plus gros modèles, peuvent accepter de forts tonnages et de gros blocs (jusqu'à 2 m). La série 1500 peut débiter jusqu' à 10 000 t/h, fait moins de 2 m de haut.

Dans les mines de fond, où l'espace est réduit, les dimensions du matériel MMD présentent donc un avantage particulier.

Les concasseurs MMD peuvent facilement être intégrés dans des installations mobiles ou semi-mobiles de concassage.

Les concasseurs de type MMD peuvent être utilisés en concassage primaire, secondaire et même tertiaire (réduction jusqu'à 25 mm).

Ces machines pour les plus gros modèles, peuvent accepter de forts tonnages et de gros blocs (jusqu'à 2 m).

Les concasseurs MMD ayant, par rapport aux concasseurs classiques, de faible dimension pour le même débit, présentent un rapport taille/débit plus petit, de même le rapport poids/débit est de l'ordre de la moitié de celui d'un concasseur classique.

Ces caractéristiques permettent de monter aisément ces machines sur roues ou chenilles;

La vitesse réduite et les grandes dents facilitent le traitement des matériaux humides et collants

## 5. Appareils opérant par choc

### 5.1. Concasseurs à percussion :

#### 5.1.1. Généralités:

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

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

#### 5.1.2. Principe de fonctionnement

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

- La courbe granulométrique des produits obtenus est beaucoup plus riche en éléments fins;
- Les produits sont sensiblement plus cubiques; le coefficient de réduction est élevé, surtout si l'on traite des matériaux fragiles;
- La consommation d'énergie est faible eu égard au rapport de réduction et au débit obtenu;
- Les chocs sont tels que le procédé n'est pas utilisable industriellement pour des matériaux trop durs. Les effets du frottement sont si intenses que les matériaux un peu abrasifs provoquent des coûts d'usure absolument prohibitifs ; cette usure pourra être contenue dans la mesure où l'architecture du concasseur privilégiera les chocs normaux, mais à partir d'un certain degré d'usure inévitable, on générera des chocs tangentiels qui la précipiteront; on y a remédié dans une certaine mesure (appareils verticaux) en remplaçant les enclumes métalliques par une couche de matériaux, mais au détriment d'autres caractéristiques de ces appareils.

Ces machines sont divisées en deux types:

- Rotor à axe horizontal,
- Rotor à axe vertical.

Seules celles du premier type effectuent du concassage primaire, car généralement la dimension maximum admissible à l'entrée ne peut dépasser 50mm dans le cas des appareils à axe vertical.

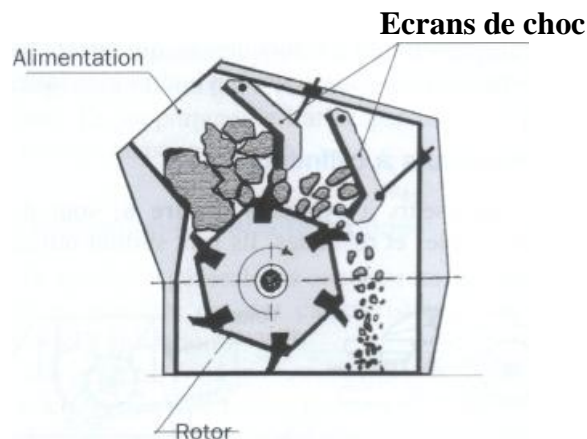
## 5.2. Concasseurs à percussion à axe horizontal

Cette famille est elle-même divisée en deux groupes :

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

### 5.2.1. Concasseurs à percuteurs rigides

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



**Fig. III.6.** Principe d'un concasseur à percuteurs rigides

### Caractéristiques des concasseurs à percuteurs rigides

-Le nombre d'écrans est généralement de 2. Cela permet de tirer partie de la machine en mettant deux étages de concassage, quelques machines sont de trois écrans pour augmenté encore le coefficient de réduction.

-il est possible de régler la machine en agissant sur les écartements des écrans. Cela permet de “translater“ la courbe granulométrique vers les dimensions plus importantes.

-il existe un deuxième paramètre sur lequel il est possible d'intervenir, la vitesse de rotation du rotor. Il s'agit d'un point très important. En effet, la vitesse de percussion. Qui peut varier de 25 à 55 m/s par exemple en position secondaire ou tertiaire. A une influence directe sur la composition granulométrique. C'est à dire pouvoir faire varier la production granulométrique intermédiaire en fonction du marché. La courbe granulométrique n'est pas donc translatée (déplacement parallèle ou par affinité).

### **5.2.2. Concasseurs à percuteurs articulés**

Le principe est le même que le concasseur à percussion à percuteurs rigides, sauf que la chambre de broyage est ouverte à la partie inférieure. L'avantage est l'absence de bourrage. L'inconvénient étant le manque de contrôle granulométrique des matériaux sortant.

Lorsqu'il est nécessaire d'effectuer un contrôle granulométrique des matériaux. Par exemple dans le cas de la production de produits fins, le fabricant met une grille galbée à la partie inférieure. Le risque de bourrage apparaît et est atténué par le remplacement des percuteurs rigides par des percuteurs articulés

### **5.2.3 Caractéristiques et Utilisation des concasseurs à percuteurs articulés**

Ces machines comportent généralement un rotor. il est possible d'adapter le diamètre du rotor, le nombre de marteaux et l'écartement des grilles aux matériaux et à l'application visée.

Ces concasseurs ont été très employés en tertiaire, généralement après des concasseurs à percussion. Ces machines restent extrêmement sensibles à l'abrasivité des matériaux.

Quand il s'agit de broyer des matériaux tendres et non colmatant, il est tentant de les utiliser en position primaire. Il s'agit alors, dans la majorité des cas, du seul étage de réduction, dans ce cas, l'appareil comporte deux rotors.

Dans tous les cas, l'usure demeure un handicap. Ce phénomène se produit d'une part le, lancé du matériau, d'autre part à son impact. Les techniciens ont cherché à réduire, sinon à éliminer, le frottement au lancé. La solution consiste à réduire l'impact.

#### **5.2.4. Avantages et inconvénients des concasseurs à percussion à axe horizontal**

Par leur conception, les appareils à chocs primaires sont des appareils permettant de très gros quotients de réduction. Surtout dans la mesure où l'on traite des matériaux fragiles. Ces appareils permettent en particulier de produire un pourcentage important d'éléments fins.

En revanche, leur emploi est absolument à proscrire lorsque :

- On a affaire à des matériaux tant soit peu abrasifs (plus de 5 à 8% du quartz ou de tout autre minéral dur) ;
- Le matériau à traiter est trop peu fragile aux chocs (calcaire tendre, craie, etc.);
- On ne veut pas produire d'éléments fins au poste primaire afin de pouvoir, par un criblage ultérieur, éliminer les matériaux sales avant l'étage secondaire.

D'outre part ces appareils réclament des puissances installées très importantes pour faire face au passage des gros blocs.

Le contrôle de la dimension des blocs à l'entrée doit être rigoureux.

En effet, il n'est pas possible d'aller extraire un bloc qui resterait coincé dans le gueulard d'admission sans ouvrir l'appareil, après l'avoir arrêté. Il ne faut pas oublier qu'avec son inertie, un tel appareil met souvent plus d'une demi-heure à s'arrêter à vide.

Du fait du grand coefficient de réduction et de la production directe d'éléments fins, de nombreux concasseurs à percussion ont été installés en cimenterie avec cependant certains déboires dus, soit à l'usure importante, soit au mauvais rendement dans le cas de matériaux trop tenaces ou trop tendres.

Les concasseurs à marteaux secondaires sont couramment utilisés dans les carrières destinés à la préparation de granulats calcaires car. Outre la production importante de sable de qualité, ils permettent d'obtenir des gravillons de cubicité inégalable.



La granularité des matériaux produits par ces appareils varie fortement avec la vitesse de rotor.

### 5.3. Concasseurs à percussion à axe vertical

Il existe trois types de concasseurs à percussion à axe vertical

#### 5.3.1 Concasseur à impact unique

Les grains à projeter sont placés près du centre d'un plateau comportant des canaux allant du centre à la périphérie. Sous l'effet de la force centrifuge, les grains se déplacent vers la périphérie du plateau et le quittent pour amorcer une trajectoire aérienne et venir heurter soit des plaques de blindage, soit un talus de produit.

Au début de la trajectoire aérienne, la vitesse des grains est la composante de la vitesse relative des grains par rapport au plateau et de la vitesse périphérique du plateau au point où le grain quitte ce dernier.

Deux types de machines se présentent sur le marché :

- Dans l'un, on s'attaque essentiellement aux problèmes d'usure en limitant les contacts du matériau avec les organes de protection de la machine.
- Dans l'autre, on cherche au contraire à tirer le meilleur parti possible de ses qualités.

#### 5.3.2 Machines à double impact indirect

Ces machines sont équipées de deux rotors situés l'un au-dessus de l'autre. Et montés sur le même arbre. Après un premier impact, le matériau est guidé vers le deuxième rotor pour être à nouveau accéléré en vue d'un deuxième impact, créant un concasseur à double impact indirect. Le premier rotor est normalement équipé d'un anneau blindé, tandis que le seconde peut être équipé soit d'un autre anneau blindé, soit d'un autogène.

### **5.3.3. La machine synchro concasseur**

Il se distingue à impact classique en ce que le trajet des particules est totalement déterministe, évitent à la fois les perturbations à l'impact et les interférences entre les particules. Les particules sont d'abord guidées le long des pales d'un distributeur rotatif et projetées par les forces centrifuge. Avec une vitesse de décollage la plus faible possible. Sur une enclume tournant dans le même sens et positionnée transversalement sur leur parcours pour augmenter leur énergie cinétique grâce à l'accélération qui leur est communiquée. Après cet impact en Co-rotation, les particules rebondissent avec une vitesse plus élevée que leur vitesse d'impact. Cette vitesse de rebond permet un impact secondaire soit contre un anneau blindé (synchroPactor), soit contre un anneau autogène (syncroCombiPactor). la collision s'effectue d'une façon totalement déterministe ; c.-à-d. Que les particules entrent en collision sans perturbation, essentiellement au même endroit, à la même vitesse d'impact et sous le même angle d'impact.

### **5.4. Commentaires généraux sur les machines opérant par percussion**

Le concassage à percussion constitue un progrès par rapport au concassage par écrasement : il permet le plus souvent des coefficients de réduction presque deux fois supérieurs, et l'obtention de matériaux riches en éléments fins, qui sont souvent utilisables. De plus, la forme des produits est nettement supérieure.

Ces caractéristiques font que le concassage par percussion suscite à l'heure actuelle un intérêt considérable auprès des carrières.

Ces qualités sont malheureusement stérilisées par leur incompatibilité avec les produits un peu durs, comme les matériaux dits nobles pour la construction des routes ou la fabrication de ballast : les appareils où "caisses à pierres" remplacent les pièces d'usure perdent en effet une partie des avantages, que le principe des appareils à percussion leur confèrent.

## 6. Critères de choix d'un appareil ou d'une chaîne d'appareils

### 6.1. Données de base :

Elles sont de deux sortes :

#### *Les objectifs à atteindre :*

- ✓ quantité à fragmenter,
- ✓ dimensions ou degré de fragmentation à atteindre des divers produits que l'on veut obtenir,
- ✓ sélection des divers constituants,

#### *La nature et les propriétés de la roches (des matériaux) traités :*

- ✓ Nature pétrographique,
- ✓ Abrasivité et pourcentage des constituants les plus durs.
- ✓ Résistance mécanique et fragilité
- ✓ Humidité et propreté,
- ✓ Dimension maximale des morceaux

Les appareils de fragmentation ayant la plupart du temps un coefficient de réduction relativement limité, il est rare que l'opération de concassage dans le cas d'un produit de carrière ou de mine souterraine puisse s'effectuer au moyen d'un seul appareil. En fonction de la nature de la roche et du débit à assurer, il y aura une cascade de machines de concassage associées à des cribles permettant soit de les court-circuiter. Soit de préparer les granulométries éventuellement nécessaires pour la commercialisation (granulats) ou la libération (Pré-concentration d'un minerai). Ces étapes de réduction granulométrique sont appelées "concassage primaire, secondaire, tertiaire et Quaternaire"

La granulométrie à l'entrée d'un appareil (et particulièrement la taille des plus gros blocs) et le débit qu'il doit assurer permettent de définir sa taille dans le type choisi. En général l'un de ces deux critères imposera le choix de l'appareil qui pourra être surdimensionné pour l'autre critère.

- On devra tenir compte de la charge circulante prévue, ainsi que du rendement et de la capacité d'admission du type d'appareil choisi, en fonction de l'usure moyenne des pièces broyantes, en effet :
- dans un appareil giratoire, l'ouverture d'entrée diminue par la remontée de la noix en fonction de l'usure

- dans un appareil à mâchoire ; la dimension des plus gros éléments produits augmente en fonction de l'usure de la denture des mâchoires ;
- dans un appareil à percussion, la proportion des éléments fins du produit diminue beaucoup avec l'usure des percuteurs ou des marteaux.
- dans un appareil à cylindres dentés, la prise des blocs est beaucoup moins bonne lorsque les dents sont usées.
- Dans la détermination du schéma de concassage, il y a lieu de tenir compte :
  - Que même si un concasseur permet de réaliser un rapport de réduction élevé, il a été prouvé qu'il est plus efficace de le faire fonctionner avec un réglage moyen plutôt qu'avec le réglage qui offre le plus grand rapport de réduction.
  - De la nécessité de prévoir dès la conception du schéma de nouvelles données d'exploitation venant d'impératifs commerciaux nouveaux (par exemple une modification de la granulométrie des granulats issus du concasseur tertiaire).
  - De l'ouverture du concasseur primaire doit permettre l'admission des blocs provenant de la carrière ou de la mine.
  - Qu'en fonction de l'abrasivité de la roche, on peut opter pour un appareil à percussion, ou un appareil opérant par écrasement.

## **6.2. Eléments du choix du concasseur primaire**

L'ouverture du concasseur primaire doit permettre l'admission des blocs provenant de la carrière ou de la mine dont la taille dépend du programme prévu pour l'abattage. En fonction de l'abrasivité de la roche, on peut opter pour un appareil à percussion, ou un appareil opérant par écrasement.

**6.2.1. Matériaux non abrasifs** (*calcaires, charbons, phosphates, bauxites*)

Le concassage par percussion peut être judicieux eu égard à l'énergie spécifique qu'il demande et aux grands coefficients de réduction qu'il permet, pouvant aller jusqu'à 10. Il est cependant générateur d'une plus grande quantité de fines. Il est surtout utilisé pour des applications où on ne désire pas obtenir de granulométries intermédiaires (cimenterie par exemple).

Il est à noter que pour des matériaux friables on pourra opter pour un concasseur à cylindres, opérant en compression.

**6.2.2. Matériaux abrasifs** (*La grande majorité des roches et des minerais*)

Le concassage par compression s'impose et la capacité de production prévue fixe en général le choix entre appareil à mâchoires et appareil giratoire.

Pour les débits inférieurs à 600 t/h, on utilise essentiellement des concasseurs à mâchoires à simple effet, lorsque la roche est très dure et très résistante. Le coefficient de réduction est au maximum de 4,5 à 5. C'est donc la dimension des plus gros blocs qui détermine le choix de l'ouverture du concasseur, donc de sa taille. Et on vérifie généralement que son débit nominal est compatible avec le débit prévu. Toutefois, En règle générale, la dimension des plus gros blocs doit être inférieure ou égale à 80 % de l'ouverture du concasseur. Il y a lieu également de tenir compte que les concasseurs à mâchoires ont tendance à laisser passer des blocs surdimensionnés par rapport à la taille recherchée.

Pour les débits compris entre 600 et 1000 t/h, le choix est plus controversé. Toutefois, on donne généralement l'avantage au concasseur à mâchoires si l'abattage a tendance à donner de gros blocs. Pour les matériaux à la fois très durs et très abrasifs, la préférence peut être donnée aux concasseurs giratoires.

Pour les débits supérieurs à 1000 t/h, seuls les concasseurs giratoires conviennent. C'est alors le débit qui fixe la taille et on vérifie que l'ouverture est compatible avec la dimension des plus gros blocs. Il s'agit d'appareils très lourds nécessitant une grande hauteur pour leur installation.

### **6.3. Eléments du choix du concasseur secondaire et tertiaire**

Dans les appareils secondaires et tertiaires on se basant sur les propriétés mécaniques (fragilité, Hétérogénéité, pétrographie) de la roche s'appliquent sur en priorité pour la détermination du choix des appareils des étages secondaires et tertiaires .en particulier, on tient compte dans le domaine de la fragmentation des minerais et des minéraux industriels de l'existence des technologies « libérantes » par fragmentation autogène et semi-autogène

Lorsque le choix s'est porté sur un appareil de concassage à écrasement, du fait que l'ouverture requise pour passer des matériaux déjà pré-concassés est relativement faible, c'est en général l'appareil capable du plus grand débit qui sera choisi, c'est-à-dire le concasseur giratoire, les concasseurs à mâchoires sont en effet de moins utilisés en secondaire dans les installations modernes d'abord à cause de leur faible débit mais aussi de l'usure relativement importante qu'ils subissent avec les matériaux abrasifs.

### **6.4. Eléments du choix des concasseurs quaternaires (industrie des granulats)**

C'est en général les problèmes de dureté du matériau, donc de l'usure, ainsi que le coefficient de forme que l'appareil est susceptible de donner qui vont permettre d'en fixer le choix.

### **6.5. Cas particulier des produits humides et collants**

Les appareils alimentés par simple gravité ne sont pas utilisables. On a alors le choix entre les concasseurs à cylindres qui peuvent être alors munis de peignes de décolmatage, et les concasseurs opérant par chocs munis soit d'un système de séchage à air chaud, soit d'une enclume mobile, ou encore les appareils autogènes ou semi autogènes à sec avec une circulation d'air chaud.

## **CHAPITRE III**

### **LA CARRIERE DE KEDARRA**

## 1. Présentation générale de l'unité de Keddara

L'unité de Keddara se situe à 70 km à l'Est d'Alger, et 20 km au Sud de la ville de Boumerdes, chef lieu de la wilaya. Elle est reliée par une piste d'accès de 1 km à la route nationale N° 29, reliant Boudouaou à Lakhdaria.

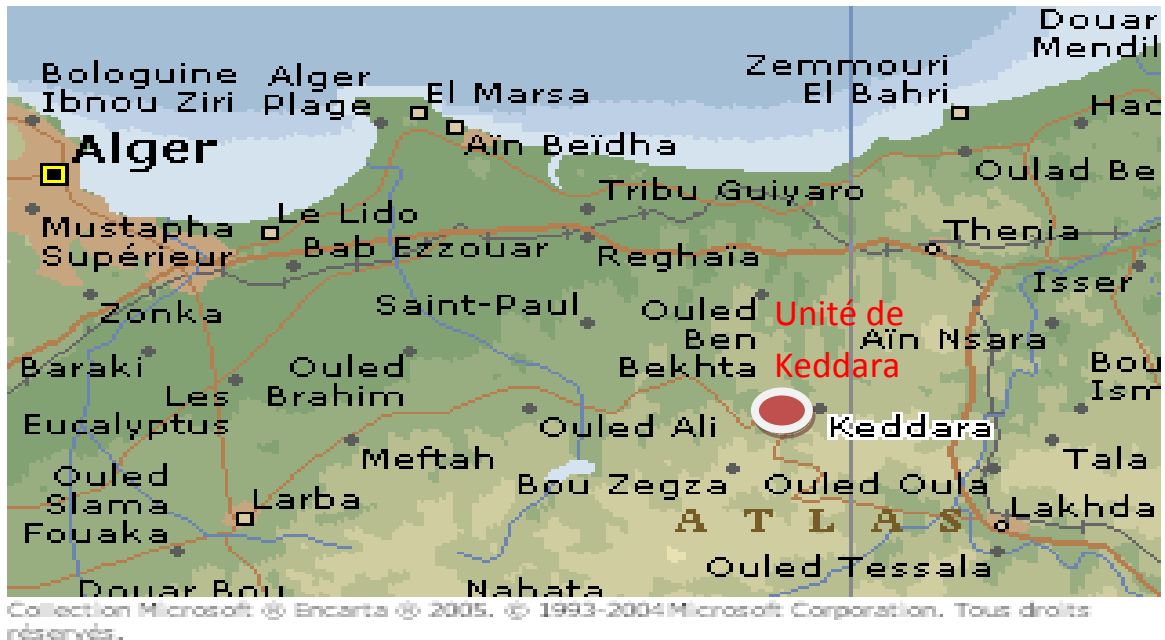


Fig. IV.1 : Localisation de l'unité

### 1.1. Les Carrières de Keddara

Le gisement de Keddara est situé à 1.2 km à l'Ouest du village de Keddara. Il est allongé Est-Ouest et est limité :

- Au Nord et à l'Est, par des terrains privés à vocation agricole.
- A l'Ouest, par le barrage de Keddara.
- Au Sud, par l'Oued Keddara

La localisation du centre du gisement est définie par les coordonnées Lambert suivantes :

$$X = 568\ 600$$

$$Y = 369\ 000$$



## **1.2. Historique des travaux de recherche**

Le gisement de calcaires de KEDDARA a été mis en évidence, étudié et évalué en 1974 par l'unité de l'Entreprise Nationale de Recherche et d'Exploitation Minière (SONAREM).

Les réserves de catégorie C (probables) avaient été estimées à près de 15 millions de tonnes.

Les travaux de terrain tels que : ouverture de la carrière, préparation des premiers gradins et montage de la station de concassage ont été réalisés entre 1975 et 1978. Une prospection détaillée a aussi été réalisée fin 1978 ; début 1979. L'entrée en production de la carrière a eu lieu dès Novembre 1978. Après les grandes opérations de restructuration industrielle de la décennie 80, et en particulier de la SONAREM, la carrière de KEDDARA a été rattachée à l'Entreprise Nationale des Produits Miniers Non-Ferreux et des Substances Utiles (ENOF), dont elle dépend depuis.

L'activité est Arrêtée totalement en décembre 1996 pour cause de sabotage. Puis Redémarrage en Avril 1997.

## **1.3 Réserves**

Au 31.12.2007

- ✓ Réserves géologiques: 1 981 294 000 Tonnes
- ✓ Réserves exploitables: 27 750 000 Tonnes
- ✓ Renouvellement des réserves en cours.

Des travaux d'extension ont été entrepris en 2006 suite à la redéfinition du périmètre de la carrière par le titre minier. Ces travaux ont permis d'augmenter les réserves exploitables qui seront de 5.000.000 tonnes à la fin de l'année 2006.

## **2. Géologie**

### **2.1 Généralités**

Les roches sédimentaires de la région Est de l'Algérois affleurent sur une grande surface, offrant un très fort potentiel en agrégats.

Plusieurs carrières exploitent ces matériaux de construction ; elles ont été surtout implantées en grand nombre dans la région de KEDDARA, dont l'unité ENOF fait partie, en raison de la facilité d'accès et de la proximité du massif montagneux de Bouzegza par rapport à la capitale Alger.

Les analyses chimiques et physico-mécaniques réalisées sur des échantillons représentatifs ont montré que les agrégats de KEDDARA sont de bonne qualité et peuvent être utilisés dans tous les domaines de la construction et des travaux publics.

### **2.2 Géologie du gisement**

Structurellement, le gisement fait partie de la chaîne calcaire de l'Atlas tellien.

- Il est formé de roches carbonatées du Crétacé Supérieur (Eocène Moyen).
- Les failles qui affectent la région sont orientées N-S.
- Le pendage moyen varie de 10° à 15° vers le sud.

### **2.3 Pétrographie du gisement**

La roche exploitée est une roche de nature sédimentaire représentée essentiellement par des calcaires massifs compacts durs à patine gris claire, la cassure gris foncé est due à la matrice dans laquelle baignent des fossiles telles que les bivalves, les Gastéropodes, les Coquilles de Nummulites constituant par endroit 80 à 90 % de la roche cimentée par une calcite à grand cristaux et la dolomie.

Les minéraux rencontrés dans ce gisement, mais en plus faible quantité sont: la baryte, la sidérite, la dolomie et la fluorine.

### 3 Exploitation

#### 3.1 La méthode d'exploitation

Compte tenu de la nature du minerai exploité, en l'occurrence le calcaire dur et du fait qu'il s'agit d'exploitation d'un gisement superficiel situé en altitude (montagne), la méthode d'exploitation retenue a été l'exploitation à ciel ouvert en gradins (carrière).

##### 3.1.1 Méthode d'extraction et d'abattage

La dureté du minerai qu'on exploite est de l'ordre de 8 selon l'échelle de Mohs et de ce fait la méthode d'extraction ne peut être que par abattage à l'explosif.

##### 3.1.2 Abattage

- Abattage avec sondeuse hydraulique et chariot de foration.
- Longueur du front de taille : 90 à 120m.
- Maille d'abattage = 3,5 m x 3,5m.
- Hauteur du gradin = 14 m.
- Consommation d'explosif = 180 à 200 g/tonne.

##### 3.1.3. Chargement – Transport.

Le chargement du matériau se fait à l'aide deux Chargeuses de capacité 6m<sup>3</sup> et de Capacité horaire 300 à 350 T/h.

L'opération de transport se fait à l'aide des Dumpers de 28T et 45T de Capacité horaire d'un dumper 28 T= 40 à 56 T/h. et de 68 à 90 T/h pour 45 T.

##### 3.1.4 Travaux préparatoires.

- **Carrière actuelle**

Reprise des gradins supérieurs (extension des limites Avec le nouveau titre minier).

- **Nouvelles carrières**

Préparation des nouveaux sites :

- IFRI et BOUZEGZA NORD

## **4. STATION DE CONCASSAGE**

L'installation industrielle se compose essentiellement de trois stades de concassage :

- ✓ concassage primaire
- ✓ concassage secondaire
- ✓ concassage tertiaire (nouvelle)

### **4.1. Description du processus de fabrication des granulats**

Le flowsheet simplifié de l'installation de fabrication et la liste du matériel sont détaillés ci dessous.

### **4.2. Processus primaire**

Le tout-venant, avec une grosseur de 1000 mm environ, est déversé à l'aide des dumpers dans une trémie réceptrice.

La fraction supérieure à 200mm sélectionnée par un alimentateur passe par un concasseur giratoire de marque BABITLESS type BP 38, d'un débit de 800 t/h, où elle subit une réduction à 200 mm.

La fraction inférieure à 200 mm passant à travers la grille de l'alimentateur et en fonction de sa qualité, soit elle est soumise à un criblage préalable dans un crible à deux étages de marque COMESSA ou la fraction 0/40mm est exclue comme stérile, soit elle rejoint le produit issu du concasseur à l'aide d'un by-pass pour un stockage dans un chapeau chinois d'une capacité de 3000 tonnes.

### **4.3. Concassage secondaire**

Au niveau de ce stade de concassage, il existe deux installations (installation ancienne qui s'appelle BABBITLESS et l'autre installation ARJA)

### 4.3.1. Installation BABBITLESS

Le produit du chapeau chinois avec une grosseur de 0/200mm est soutiré à l'aide d'un extracteur et soumis un criblage dans un crible à deux étages de marque BABBITLESS, où la fraction (0/40mm) est extraite du processus comme produit (mélange) marchant et la fraction (+40/200mm) passe dans un concasseur à percussion de marque (KRUPP HAZMAG ) type APS 1313K (*figure.2*) d'un débit de 300 t/h, où elle est réduite à 50mm.

Le produit issu du percuteur subit des opérations de criblage sur trois cribles à deux étages travaillant en série de marque SN METAL et BABBITLESS, où les fractions suivantes sont mises en stock dans des silos :



**Fig. IV.2 :** Concasseur à percussion (KRUPP HAZMAG)

#### 1. fractions du premier crible

Fraction supérieure à 70mm avec la possibilité de la remettre dans le cycle pour un concassage dans le percuteur.

Fraction 40/70mm avec la possibilité de la réduire à 25mm dans un concasseur giratoire de marque BABBITLESS type BS 704N à un débit de 120 t/h.

## 2. fractions du deuxième crible

Fraction 25/40mm avec la possibilité de la soumettre soit au concasseur BS 704N, soit à un autre concasseur giratoire de la même marque précédente de type BS 704EG d'un débit de 120 t/h pour une réduction à 25mm.

Fraction 15/25mm avec la possibilité de la réduire soit dans le concasseur BS704 EG, soit dans un quatrième concasseur giratoire de marque BABBITLESS type BS 702 d'un débit de 30 t/h pour une réduction à 15mm pour une opération de concassage tertiaire.

## 3. Fractions du troisième crible sans recyclage

- Fraction 8/15mm
- Fraction 3/8mm
- Fraction 0/3mm

### 4.3.1. Processus ARJA

Le produit avec une granulométrie de 0 à 200 mm est soutiré du chapeau chinois à l'aide d'un extracteur appartenant à l'installation BABBITLESS, pour alimenter un pré-crible à deux étages (toile supérieure de 70 mm et toile inférieure de 40 mm) par le biais d'un convoyeur

La fraction inférieure à 40 mm est mise en stock (en tas) par un convoyeur à bande, par contre les fractions supérieures à 40 mm passent par un concasseur à percussion de type TOROS ARJA P300 à un débit de 200 t/h.

Le produit issu du concasseur à une granulométrie de 0/70 mm est dirigé vers un crible sur silos à 4 étages doté des toiles suivantes 25 mm, 15mm, 8 mm et 3mm.

Les fractions issues du crible, représentant des produits finis de l'installation, sont stockées dans des silos et se résument comme suit :

- Fraction supérieure à 25mm
- Fraction 15/25 mm
- Fraction 8/15 mm
- Fraction 0/3 mm



**Fig. IV.3 :** Concasseur à percussion (ARJA)

#### **4.4. Stade tertiaire (station de sable)**

Cette station est installée récemment spécialement pour remplacer les trois concasseurs giratoires de recyclage des fractions (15/25. 25/40. 40/70 mm).

Les fractions passent par un concasseur à percussion de type PISCIS 300 RP. Le produit issu du concasseur à une granulométrie de 0/15 mm est dirigé vers un crible sur silos à 2 étages doté des toiles suivantes 15, 8, 3 mm. Les fractions 0/8 et 8/15 mm Dirigées vers le silo de stocks pour recycler.

#### **5. Schémas technologiques de traitement**

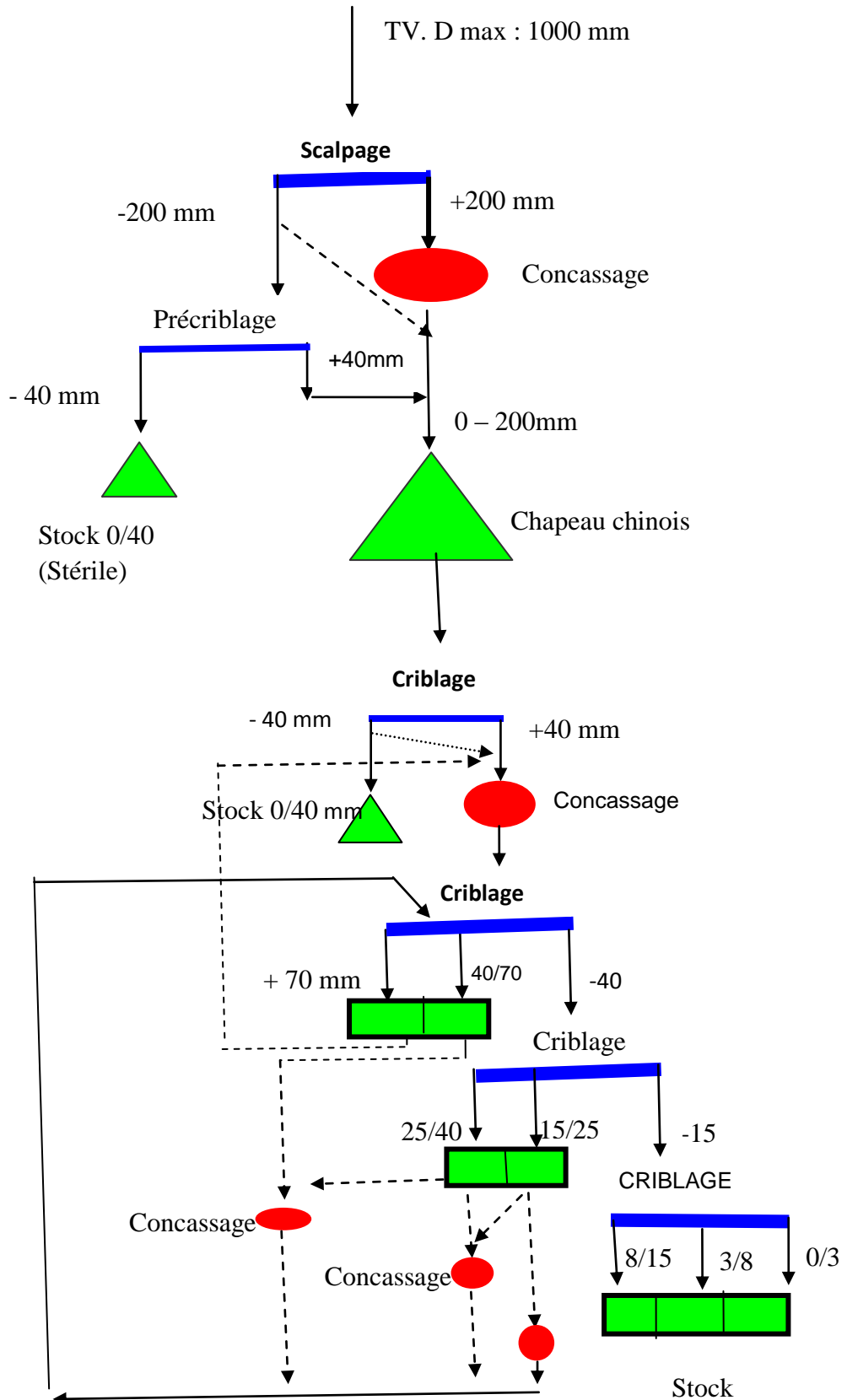


Schéma technologique de l'installation Babbittless



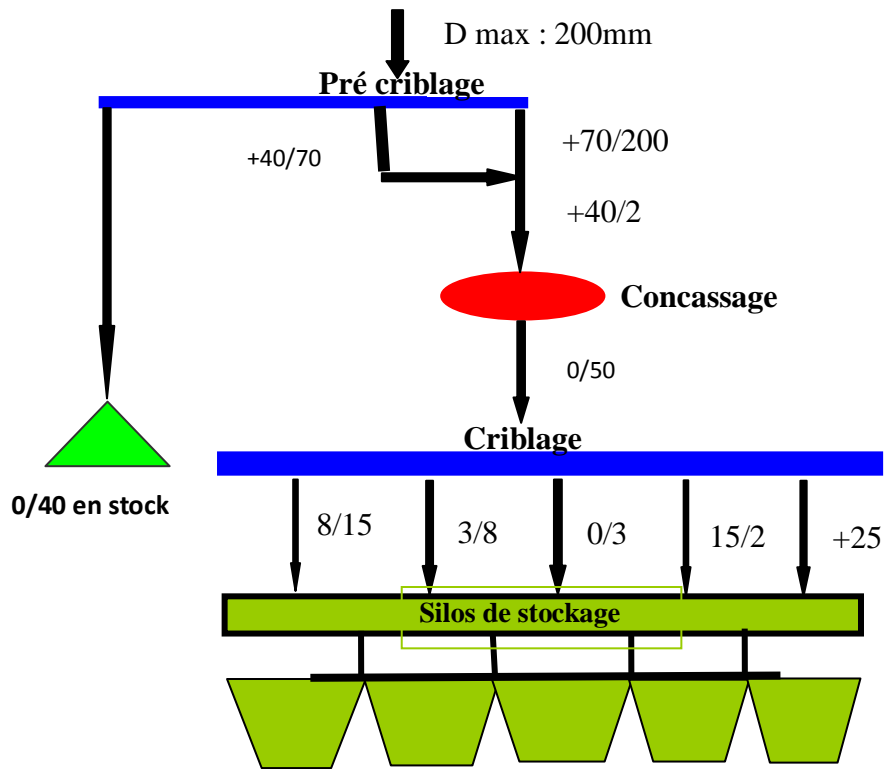


Schéma technologique de l'installation ARJA

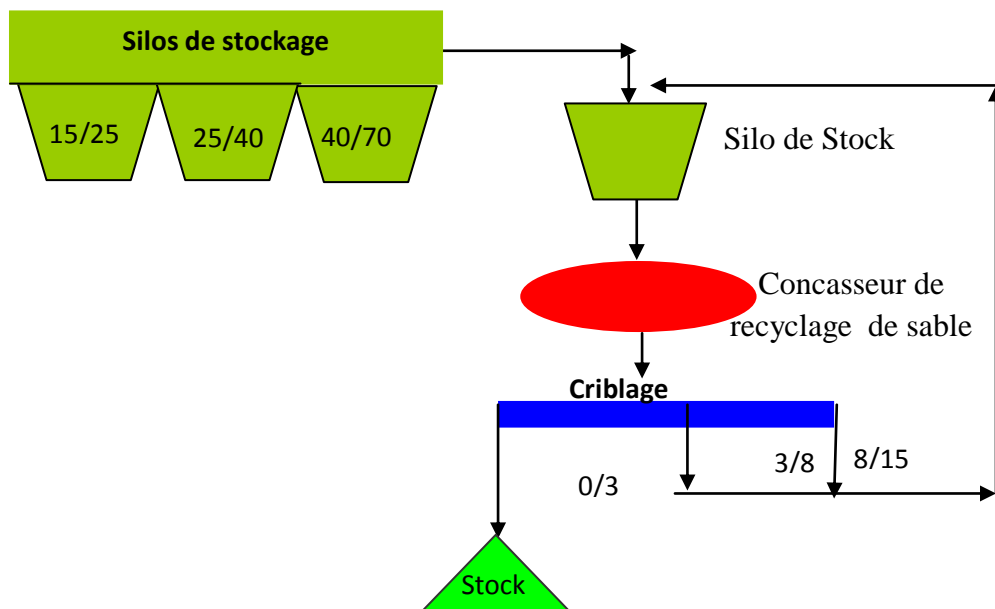


Schéma technologique de la station du sable

## **CHAPITRE IV**

### **PARTIE EXPERIMENTALE**

## 1. Stade primaire : essais d'analyse granulométrique

### A- Appareillage utilisé :

- Bacs inox de (350×250×57 mm).
- Brosses.
- Pinceaux.
- Cadre échantillonneur.
- Balance industrielle de 16 Kg, et de précision 0.2 g
- Balance industrielle de 50 Kg, et de précision 5 g
- Etuve universelle. avec de type UNB 400 tout en acier inox, volume utile 53(40×40×33cm), température maximale.2200°C, affichage digital, minuterie, régulation électronique, convection naturelle, alimentation 220 V/ 50 Hz, puissance 1400 W. son poids net est de 35 Kg. Avec 02 plateaux perforés en inox
- Un dispositif de lavage.
- Série de tamis dont l'ouverture sera de 140mm à 0.080mm.

Le matériau est séché à l'étuve jusqu'à dessiccation pendant 24h à une température de 105 °C avant de le peser pour obtenir la masse sèche.

### B- Classement des tamis :

Les tamis sont classés par ordre de grosseur croissante normalisée (les modules les plus faibles en bas). La colonne de tamis est inscrite sur la feuille de paillasse.

### C- Introduction de l'échantillon dans la colonne :

Le matériau est déversé dans la partie supérieure de la colonne. L'ensemble est agité par la tamiseuse électrique pour faire descendre les plus petits.

### D- le Tamisage :

On secoue tamis par tamis au-dessus d'un plateau jusqu'à ce qu'aucun grain ne passe à travers les mailles. Le matériau passé à travers le tamis appelé (tamisât) doit être remis dans le tamis de dimension immédiatement inférieure à celui utilisé.

**E- Pesage des refus :**

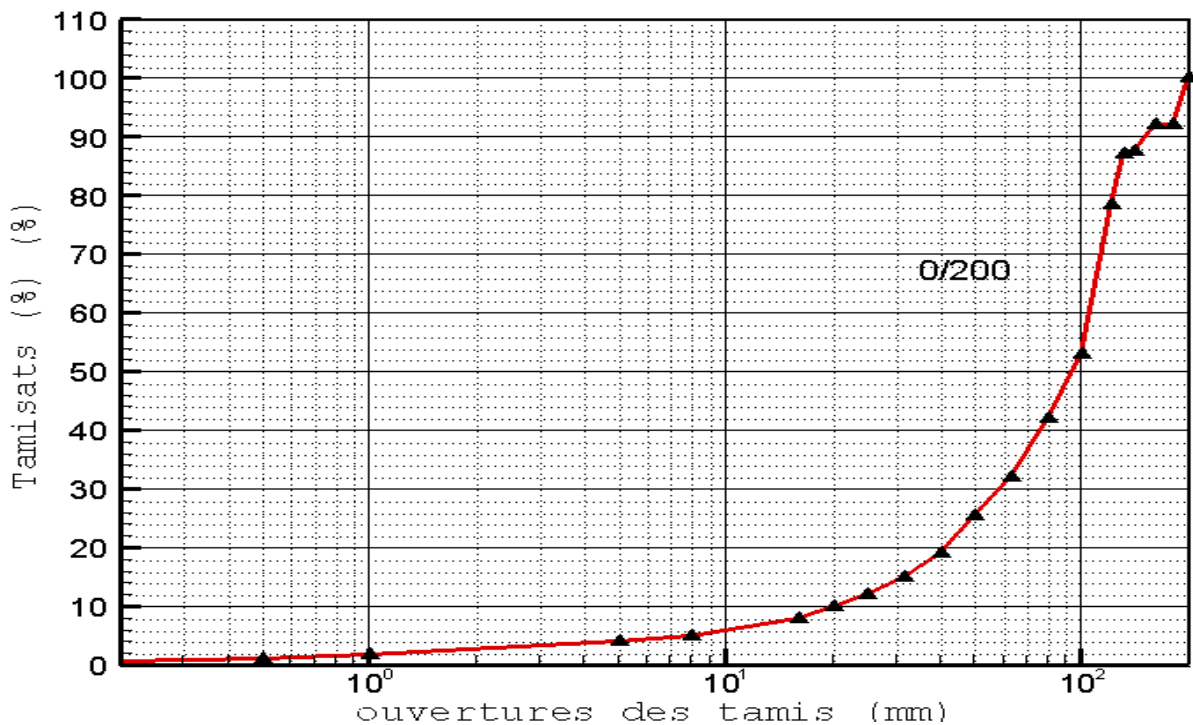
Le matériau resté sur le tamis (refus) doit être pesé, ainsi de suite, jusqu'à remplir la feuille de paille, dont on y trouvera :

- les refus cumulés en poids (g).
- les pourcentages des refus cumulés.

**F- Traçage de la courbe :**

On trace la courbe granulométrique sur un graphe comportant en ordonnée le pourcentage des tamisats en échelle arithmétique, dont les valeurs des mailles sont portées en abscisse selon une graduation logarithmique.

Le poids des tamisats successifs permet de déterminer les pourcentages du tamisât correspondant à chacun des tamis utilisés.

**G- Résultats des essais :**

**Graphique IV.1 :** La courbe granulométrique (0/200 mm) du concassage giratoire (primaire)

**Interprétation :**

La courbe granulométrique représentée ci-dessus (*figure IV.1*) est le résultat de l'analyse granulométrique du produit du concasseur giratoire installé au niveau du primaire de la station. Cette dernière apporte les renseignements suivants:

-Les limites d et D du granulat; tel que ( $D=180$  mm et  $d=0$ )

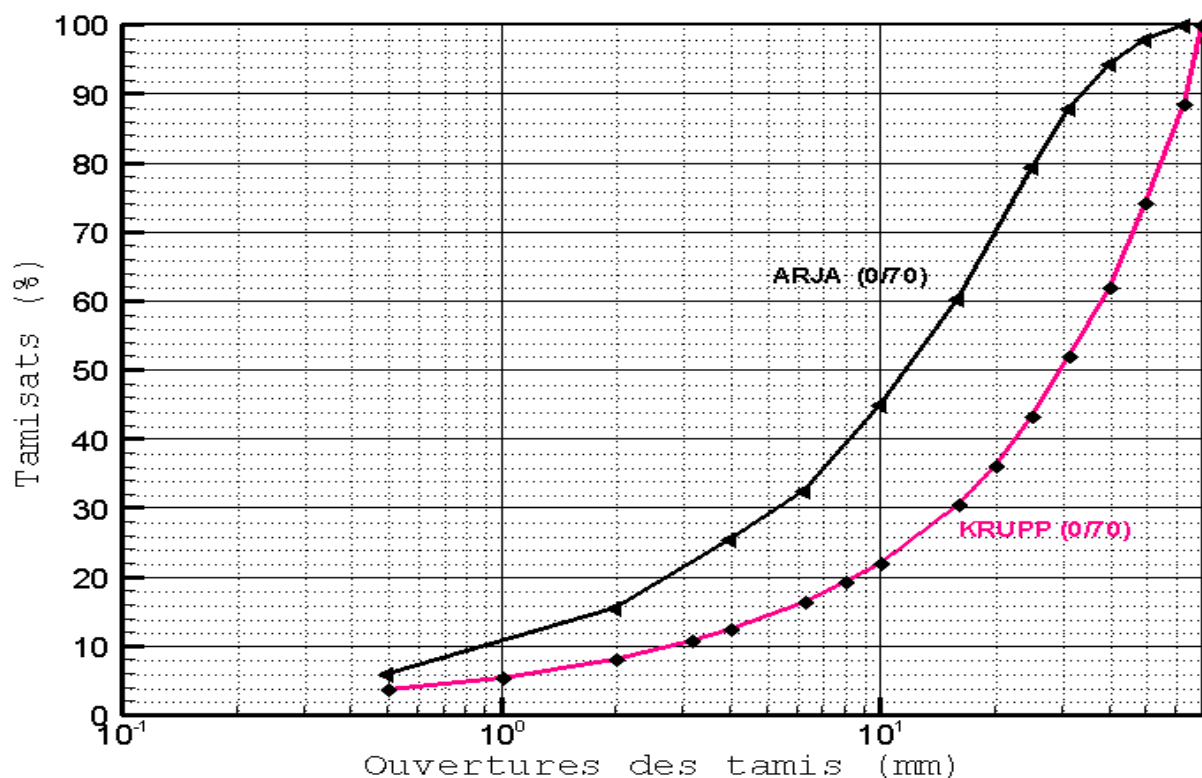
-le matériau est composé de particules ayant des grosseurs très variées. On dit que sa granulométrie est étalée. donc la courbe granulométrique est très inclinée jusqu'à 100 mm puis très peu inclinée jusqu'à 160.

-La quantité des grains fins est insignifiante, soit environ 4 %.

- Pour les grains inférieurs à 70 mm, elle est de 32%.Donc on peut conclure que le matériau qui sort du concasseur giratoire est majoritairement gros.

## 2. Stade secondaire

### 2.1. L'analyse granulométrique par tamisage des produits de deux concasseurs à percussion (ARJA et KRUPP AZMAK)



**Graphique IV.2 :** Les Courbes granulométriques (0/70mm) des produits des concasseurs à percussion (KRUPP et ARJA)

#### Interprétation :

la courbe granulométrique correspondante au concasseur ARJA est très inclinée par rapport au concasseur KRUPP et ceci se traduit par la proportion plus élevée en grains fins.

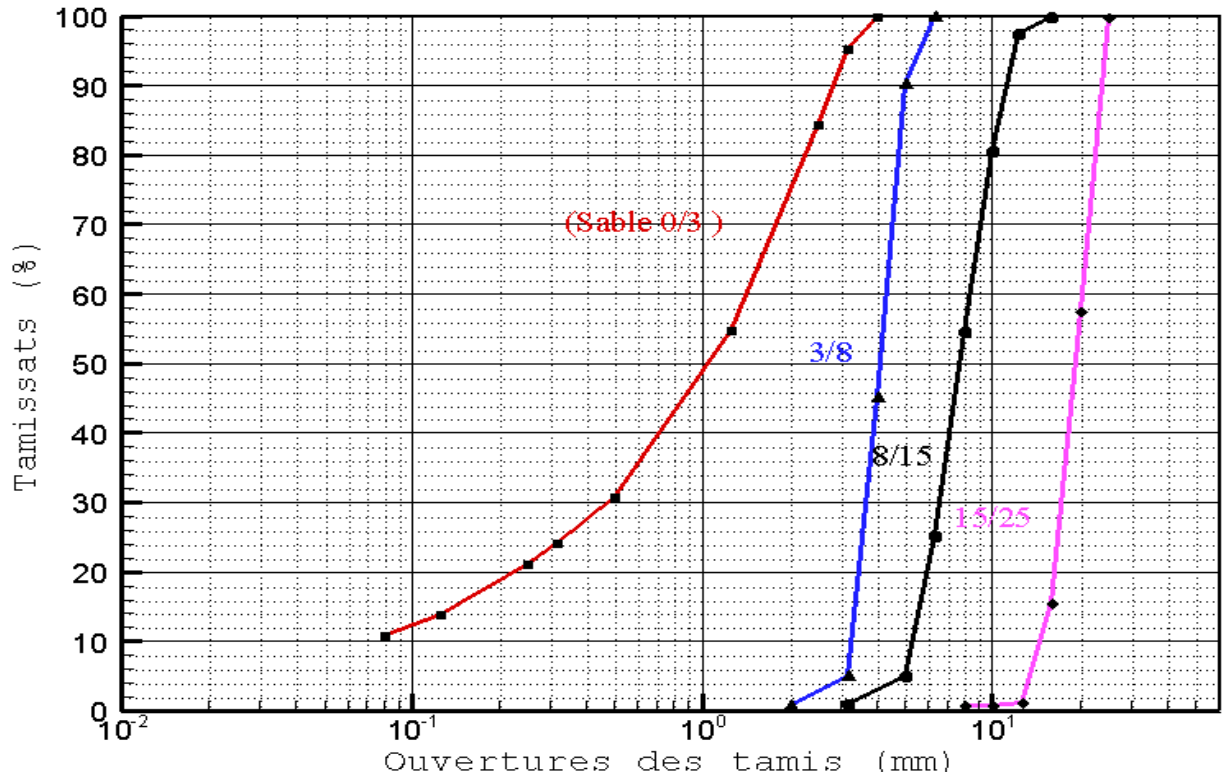
**Tableau IV.1** Pourcentage des grains de tailles inférieurs à 25 mm des produits de deux concasseurs à percussion

taille des grains (mm)	Pourcentage des grains (%)	
	concasseur ARJA	concasseur KRUPP
< 25	97.5	43.5
< 6.3	32.5	16.32
F.T	0.45	0.3

### 3. Caractéristiques des produits marchands

#### 3.1. Concasseur secondaire à percussion (ARJA)

##### 3.1.1. L'analyse granulométrique par tamisage des produits finis



**Graph IV.3** La courbe granulométrique des produits finis du concasseur à percussion (ARJA)

**Tableau IV.2 :** Notions dérivées des résultats des analyses granulométriques des(P.F) du concasseur à percussion (ARJA)

Produit (mm)	$C_u$	$C_c$	Mf (%)	F.T (%)
0/3	18.75	2	2.92	10.84
3/8	1.43	1.83	--	0.48
8/15	1.86	1.02	--	0.78
15/25	1.33	1.08	--	0.49

**Interprétations :**

Les courbes granulométriques présentées sur le **Graphe IV.3**, correspondent à l'analyse de tamisage des produits concassés de différentes classes par un concasseur à percussion de type (ARJA).

La classe 0/3 mm a un diamètre maximum  $D=3.15\text{mm}$ . Et à partir de sa courbe granulométrique, et selon les spécifications concernant les classes des granulats, on peut déduire que notre sable est de classe (0/3), avec un module de finesse  $MF = 2.92 \%$  qui se trouve entre 2 et 3.4, donc montrant un sable un peu trop grossier mais qui répond aux exigences, de granulométrie semi-étalée ( $C_u = 18.5$ ), il comporte peu de particules fines ( $C_c = 2$ ) et un fond de tamis F.T= 10.84 %.

Pour la classe 3/8 mm, sa granulométrie est serrée ( $C_u = 1.43$ ), et de bonne propreté ( $C_c = 1.83$ ) et un F.T = 0.48 %.

Pour La classe 8-15 mm. Sa classe réelle est (5/12 mm). Avec un Tamisât d'environ 54.50 % (tamis 8mm). Donc le 5/12 contient du 3/8 mm (surcharge du crible) de granulométrie très serrée ( $C_u = 1.86$ ) et de bonne propreté ( $C_c = 1.02$ ) et un F.T = 0.78 %.

Pour la quatrième courbe de La classe 15-25 mm, le produit est un Gravillon de classe (16/23mm). De granulométrie très serrée ( $C_u = 1.33$ ) et de bonne propreté ( $C_c = 1.08$  et un F.T = 0.49 %).

**3.1.2. Coefficient d'aplatissement****A- Appareillage :**

- Grilles à fente « en inox » de différents écartements selon la norme NF P 18-561 de « 2.5 à 40 mm »
- Balance électronique.
- Bac.
- série des tamis normalisés



**B- Mode opératoire :**

- Cet essai se pratique en même temps que l'analyse granulométrique de différents fractions telle que (3/8 .8/15. 15/25.0/40mm).
- Verser le matériau dans une série de tamis choisis.
- Préparer la série de grilles correspondantes.
- Après le pesage du refus de chaque tamis, verser cette quantité dans la grille correspondante.
- Peser le tamisât de chaque grille.

**C- Résultat d'essai de différentes fractions :****Tableau IV.3 :** résultats de (A%)des (P.F) du concasseur à percussion (ARJA)

Classe du Produit (mm)	Masse passant sur les tamis d'essais(g)	Masse passant sur grille à fentes (g)	Coefficient d'aplatissement (%)
3/8	456	34	7.45
8/15	2684	208	7.85
15/25	7260	200	2.75

**3.1.3. Équivalent de sable****A- Appareil d'équivalent sable** selon EN 933—8 et NF XP 18-598 comprenant :

- deux éprouvettes.
- règle en acier inox
- bouchon en caoutchouc.
- Entonnoir col large plastique
- boîte calibrée 200 ml
- bouteille en plastique 5 l
- tube laveur avec bouchon et assemblage syphon.
- Un récipient de 5 litres muni d'un système de siphonage avec un tube de caoutchouc relié au tube laveur.
- solution concentrée 1000 ml
- solution lavante de 125cl dans les 5 litres d'eau distillée.
- chronomètre.
- agitateur électrique avec compteur de coups et grille de protection réglé à 90 coups en 30.
- piston taré. et une balance.

**B- Mode opératoire**

Cet essai est valable uniquement pour les fractions 0/5 du matériau à étudier.

- On remplit les deux éprouvettes, jusqu'au premier trait, avec la solution lavante ;
- On ajoute 120g de sable dans chaque éprouvette et on frappe la base du cylindre pour éliminer les bulles d'air enfin de favoriser le mouillage du matériau.
- On laisse le mélange (solution + sable) reposer pendant 10 minutes.
- Après ce laps de temps on place l'éprouvette sur l'agitateur et on effectue les 90 cycles en 30 secondes.
- Après avoir enlevé le bouchon, on rince les parois de l'éprouvette avec la solution lavante et on enfonce le tube laveur jusqu'au fond de l'éprouvette pour faire remonter les éléments argileux.
- On laisse couler le robinet, pour que la solution atteigne le trait repère supérieur et on la laisse reposer 20 minutes.
- A l'aide de la règle, on mesure H1 et H2.

La mesure de H2 n'est pas toujours aisée donc l'ESV qui en découle contient des incertitudes. Il faut donc procéder de manière précise pour déterminer l'ES en utilisant le piston.

Descendre le piston taré dans le liquide à travers le floculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieur de l'éprouvette, et l'immobiliser au contact du sable. Mesurer alors H'2.

Ces opérations sont identiques pour les 02 éprouvettes réalisées sur chaque sable. Les mesures H1, H2 et H'2 doivent être faites avec la précision du mm.

**Remarque :**

Il convient que les valeurs de  $100x (h_2/h_1)$  pour les deux éprouvettes ne diffèrent pas plus de 4.

**C- Résultats d'essai :**

**Tableau .IV.4 :** Résultats d'essai de (ES) du concasseur à percussion (ARJA)

	Première éprouvette	Deuxième éprouvette
Masse de l'éprouvette (g)	160	174
h1 (mm)	154	139
h2 (mm)	114	100
ES (%)	74	71.94
<b>ES = 73</b>		

**Observations :**

ES = 73% donc « Sable propre » à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

**3.1.4. Bleu de méthylène****A- Appareillage**

- Un agitateur électrique diamètre 70 mm.
- Bécher en verre de 1000ml.
- Papier filtre diamètre 90 mm.
- Burette graduée.
- Entonnoir.
- Tige en verre.300 mm
- Eau distillée.
- Bleu de méthylène.
- Etuve.

**B- Mode opératoire :**

- 1-Sécher le matériau.
- 2- Tamiser le matériau dans un tamis de 2mm.
- 3- Peser 200grs.
- 5-Mettre ce dernier dans un bécher puis ajouté le 500ml d'eau distillée.
- 6-Agiter le tout pendant 5min à 700 tr/min.
- 7-Laisser l'agitateur fonctionner et verser successivement le bleu de méthylène.
- 8-Après chaque ajout de 5ml, attendre 1min avant de prendre un prélèvement.

**C- Résultats d'essai****Tableau IV.5 :** Résultats d'essai de (BM)) du concasseur à percussion (ARJA)

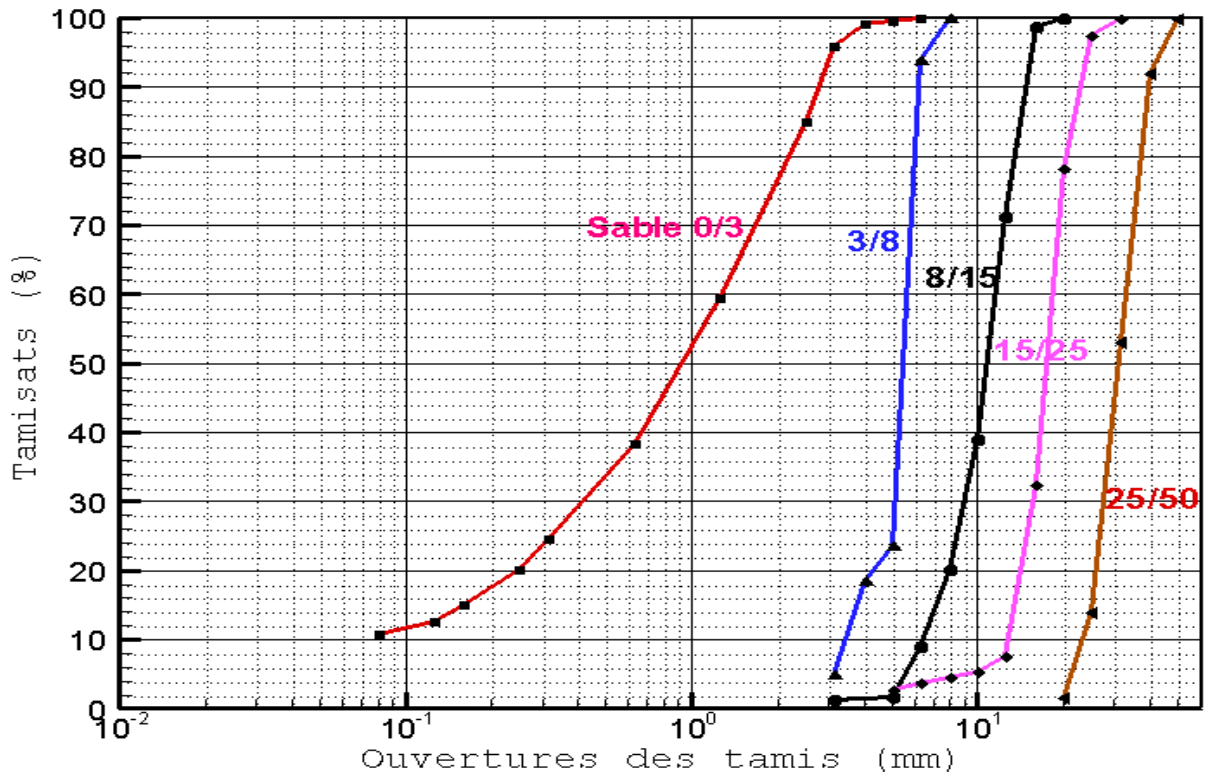
Masse sèche de la prise d'essai de fraction granulométrique 0/2 mm : M1 (g)	286
Volume de solution adsorbée par Kaolinite (si utilisée) v' (ml)	0
Quantité totale de solution de colorant ajoutée, V1 (ml)	20
<b>MB = 0.70</b>	

**Observation :**

BM = 0.70 donc  $BM < 1$ , les fines sont inertes (calcaire), donc le sable est propre.

**3.2. Concasseur à percussion (KRUPP AZMAK)**

**3.2.1. L'analyse granulométrique par tamisage**



**Graph IV.4 :** La courbe granulométrique des produits finis du concasseur à percussion (KRUPP AZMAK)

**Tableau IV.6 :** Notions dérivées des résultats des analyses granulométriques des (P.F) du concasseur à percussion (KRUPP AZMAK)

Produit (mm)	C <sub>u</sub>	C <sub>c</sub>	Mf (%)	T.F (%)
0/3	17.5	1.65	2.78	9.64
3/8	1.8	1.03	--	4.97
8/15	2.4	1.09	--	1.31
15/25	1.29	1.19	--	2.78
25/50	1.28	0.98	--	0.73

**Interprétations :**

Les courbes granulométriques présentées sur la figure (**Graphes IV.4**) correspondantes à des produits de différentes classes concassés par concasseur à percussion de type (KRUPP). qui sont comme suite 0/3, 3/8, 8/15, 15/25 et 25/50 mm.

La classe 0/3 mm est un sable avec un module de finesse .MF = 2.78 % qui se trouve entre 2 et 3.4 donc montrant un sable un peu trop grossier .et de granulométrie semi-étalée ( $C_u = 17.5$ ), comporte peu de particules fines. ( $C_c = 1.65$  et F.T = 9.64%).

Pour la classe 3-8 mm, on peut conclure que c'est un Graviton de classe 3-6 mm, de granulométrie très serrée ( $C_u = 1.8$ ) et de bonne propriété ( $C_c = 1.03$  et F.T = 4.97 %).

Pour la classe 8-15 mm, c'est aussi un Graviton de classe 6-12. De granulométrie serrée ( $C_u = 2.4$ ) donc c'est un gravier propre ( $C_c = 1.09$  et F.T = 1.31 %).

Pour le troisième courbe de (15/25 mm).le produit est un Graviton de classe (15/25). de granulométrie très serrée ( $C_u = 1.29$ ) et de bonne propriété ( $C_c = 1.19$  et F.T = 2.78 %).

Pour La classe 25-50 mm, le produit est un ballast de classe 25/40, de granulométrie très serrée ( $C_u = 1.28$ ) et de bon propriété ( $C_c = 0.98$  et F.T = 0.73 %).

**3.2.2. Coefficient d'aplatissement****Remarque :**

La description des essais du coefficient d'aplatissement pour les autres produits finis (du concasseur (KRUPP et giratoire) est le même que le paragraphe (3.2.2)

**Tableau IV.7 : Résultats de (A%) des (P.F) du concasseur à percussion (KRUPP)**

Classe du Produit (mm)	Masse passant sur les tamis d'essais (g)	Masse passant sur grille à fentes(g)	Coefficient d'aplatissement (%)
3/8	2240.0	340.0	15
8/15	4965.0	690.0	14
15/25	4960.0	769.0	16
25/50	6346.0	449.0	07

### 3.2.3.équivalent de sable

#### Remarque :

La description des essais d'équivalent de sable pour les autres produits finis (des concasseurs à percussion KRUPP et giratoire) est le même que le paragraphe (3.1.3)

**Tableau IV.8 :** Résultat d'(ES) pour le sable du concasseur à percussion (KRUPP)

Classe du produit (mm)	ES(%)
0/3	65.85
<b>ES = 65.85</b>	

#### Observation :

ES = 65.85% « sable légèrement argileux » de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.

### 3.2.4. Bleu de méthylène

#### Remarque :

La description des essais du Bleu de méthylène pour les autres produits finis (des concasseurs (à percussion KRUPP et giratoire) est le même que le (3.1.4)

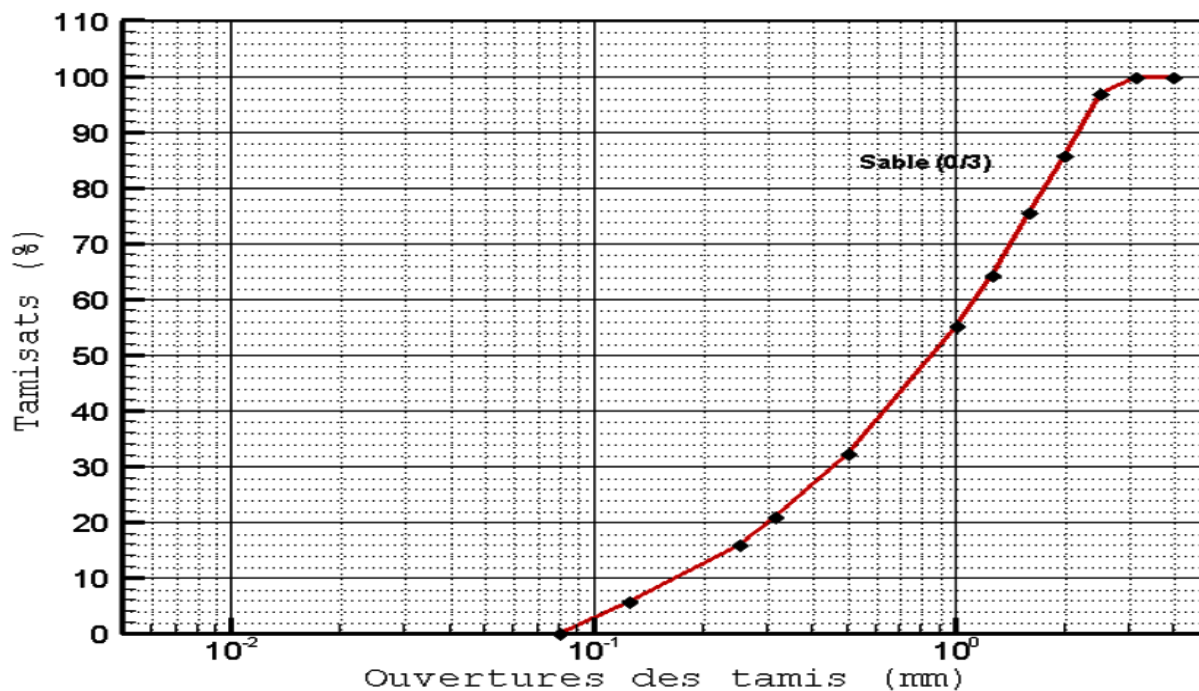
**Tableau IV.9 :** Résultat de (BM) pour le sable du concasseur à percussion (KRUPP)

Masse sèche de la prise d'essai de fraction granulométrique 0/2 mm : <b>M1</b> (g)	209
Volume de solution adsorbée par Kaolinite (si utilisée) <b>v'</b> (ml)	0
Quantité totale de solution de colorant ajoutée, <b>V1</b> (ml)	15
<b>MB= 0.72</b>	

**Observation :** MB= 0.72 < 1, donc le sable est propre.

### 3.3. Stade tertiaire (recyclage de sable concasseur. PISCIS 300 RP)

#### 3.3.1. L'analyse granulométrique par tamisage



Graph V.5: La courbe granulométrique (0/3mm sable) du concasseur à percussion (PISCIS 300 RP)

Tableau IV.10 : Notions dérivées des résultats des analyses granulométriques de sable du concasseur à percussion (PISCIS 300 RP)

Produit (mm)	$C_u$	$C_c$	Mf (%)	F.T (%)
0/3	7.35	1	2.12	14.42

#### Interprétation :

La courbe granulométrique ci –dessus correspondant à un résultat d'analyse granulométrique du produit concassé 0-3 mm concassé par un concasseur à percussion de type (PISCIS 300 RP).

La classe 0-3 mm est un sable avec un module de finesse MF = 2.12% qui se trouve entre 2 et 3.4 .et de granulométrie semi-étalée ( $C_u = 7.35$ ) ; Le pourcentage de particules fines étant de 14.42 %.

### 3.3.2. Équivalent de sable

**Tableau IV.11** : Résultat d'(ES) de sable du concasseur à percussion (PISCIS 300 RP)

	Première éprouvette	Deuxième éprouvette
Masse de l'éprouvette (g)	120.9	120.9
h1 (mm)	128	114
h2 (mm)	82	75
SE (%)	64.1	65.8
<b>ES = 65</b>		

#### Observation :

ES= 65 % « sable légèrement argileux » de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.

### 3.3.3. Bleu de méthylène

**Tableau IV.12** : résultat de (BM) pour le sable du concasseur à percussion (PISCIS 300 RP)

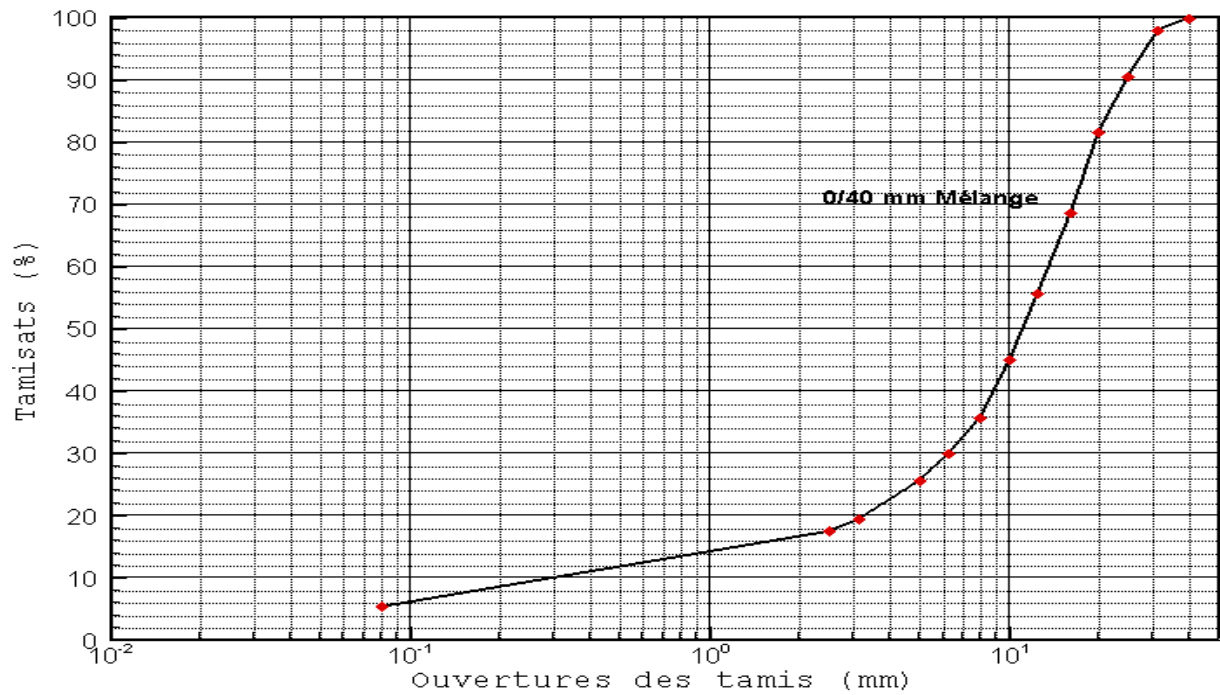
Masse sèche de la prise d'essai de fraction granulométrique 0/2 mm : <b>M1</b> (g)	220
Volume de solution adsorbée par Kaolinite (si utilisée), <b>v'</b> (ml)	0
Quantité totale de solution de colorant ajoutée, <b>V1</b> (ml)	15
<b>MB= 0.68</b>	

#### Observation :

MB = 0.68 < 1, donc le sable est propre.



### 3.4. Produit mélange (0/40 mm)



**Graph. IV.6:** Courbe granulométrique du produit mélange (0/40)

**Tableau IV.13 :** Notions dérivées des résultats des analyses granulométriques du produit mélange (0/40)

Produit (mm)	$C_u$	$C_c$	F.T (%)	A (%)
0/40	46.66	8.57	5.4	30.93

#### **Interprétation :**

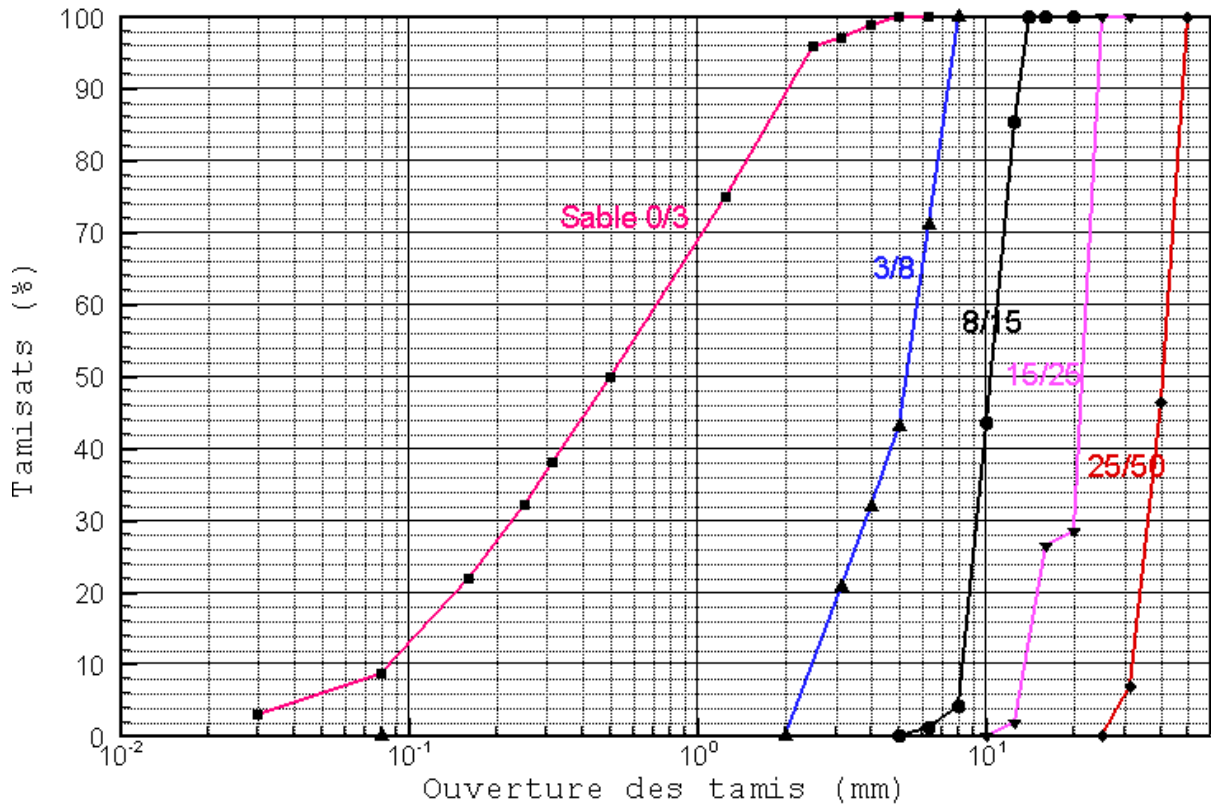
La courbe granulométrique présentée sur la figure (Fig. VI.6) correspondante à du produit de (0/40mm) concassé par concasseur giratoire (station primaire).

La classe 0/40 mm est un grave, de classe 0/31.5 mm de granulométrie étalée ( $C_u = 46.66$ ), et comportant peu de particules fines. ( $C_c = 8.57$  et un F.T= 5.4 %).

### 4. concasseur giratoire

Dans ce cas d'étude, nous avons considéré le deuxième stade ou stage de concassage (Concassage secondaire)

#### 4.1. L'analyse granulométrique par tamisage



Graph. IV.7: Les courbes granulométriques des produits finis du concasseur giratoire

Tableau IV.14 : Notions dérivées des résultats des analyses granulométriques des (P.F) du concasseur giratoire

Produit (mm)	C <sub>u</sub>	C <sub>c</sub>	MF (%)
0/3	9.60	0.98	2.25
3/8	2.32	0.98	--
8/15	1.44	0.82	--
15/25	1.60	1.20	--
25/50	1.30	0.95	--

**Interprétations :**

Les courbes granulométriques présentées sur la figure (Fig. VI.7) correspondantes à des produits de différentes classes concassés par concasseur giratoire qui sont comme suit ; (0/3, 3/8, 8/15, 15,25 et 25/50 mm).

La classe 0-3 mm .c'est un sable de (0/2mm).et de module de finesse MF = 2.25% qui se trouve entre 2 et 3.4% .et de granulométrie semi-étalée ( $C_u = 9.60$ ), comporte peu des particules fines. ( $C_c = 0.98$  et un F.T= 8.8 %).

Pour La classe 3-8 mm. C'est un Gravillon de classe (3 /7mm) de granulométrie serrée ( $C_u = 2.32$ ) et d'une bonne propreté ( $C_c = 0.98$ ).

Pour La classe 8-15 mm. Le produit est un Gravillon de classe (8/12.5 mm). de granulométrie très serrée ( $C_u = 1.44$ ) et d'une bonne propreté ( $C_c = 0.82$ ).

Pour La classe 15-25 mm. Le produit est un Gravillon de classe (15/20mm). de granulométrie très serrée ( $C_u = 1.60$ ) et d'une bonne propreté ( $C_c = 1.20$ ).

Pour La classe 25-50 mm, le produit c'est un ballast de classe (30/45 mm), de granulométrie très serrée ( $C_u = 1.30$ ) et d'une bonne propreté ( $C_c = 0.95$ ).

**4.2. Coefficient d'aplatissement**

**Tableau IV.15** : Résultats de coefficient d'aplatissement des (P.F) du concasseur giratoire

Classe du Produit (mm)	Coefficient d'aplatissement (%)
3/8	-
8/15	17
15/25	21
25/50	-

**4.3. Équivalent de sable**

**Tableau IV.16** : Résultats d'équivalent sable des (P.F) du concasseur giratoire

Classe du produit (mm)	ES(%)
0/3	78

**Observation :**

ES=78%, donc  $70 \leq ES < 80$  « sable propre » à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

## 5. Comparaison entre les produits des deux modes de concassages

### a. Pour le sable

**Tableau IV.17** : comparaison entre les sables de différents appareils

Appareil de	ES	MB	$C_u$	$C_c$	MF (%)
à percussion (ARJA)	73	0.70	18.75	2	2.92
à percussion (KRUPP)	65.85	0.72	17.5	1.65	2.78
à percussion (PISCIS)	65	0.68	7.35	1	2.12
giratoire	78	--	9.60	0.95	2.25

### b. Pour les autres fractions

**Tableau IV.18** : comparaison entre les produits de différents appareils

Appareil de concassage	Classe du produit	A (%)	$C_u$	$C_c$
à percussion (ARJA)	3/8	7.45	1.43	1.83
	8/15	7.85	1.86	1.02
	15/25	2.75	1.33	1.08
à percussion (KRUPP)	3/8	15	1.8	1.03
	8/15	14	2.4	1.09
	15/25	16	1.29	1.19
	25/50	07	1.28	0.98
giratoire	3/8	--	2.32	0.98
	8/15	17	1.44	0.82
	15/25	21	1.60	1.20
	25/50	--	1.30	0.95

#### **Observation :**

1- Les résultats de différents essais du concasseur à percussion (PISCIS) qui a été installé spécialement pour le recyclage de sable sont inférieurs aux ceux des concasseurs à percussion ARJA et KRUPP, qui sont eux mêmes inférieurs au du concasseur giratoire.

2- pour les résultats de coefficient d'aplatissement sont petits dans les deux concasseurs à percussion par rapport au celle de concasseur giratoire.

3- pour le résultat des (coefficients d'uniformité et de courbure) Sont un peu égales dans les trois concasseurs.

Ce qui veut dire que les concasseurs à percussion produit des granulats plus cubiques que les concasseurs giratoires.

## **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion générale et recommandation

Après les résultats de différents essais, et la comparaison, que nous avons faite entre les deux modes de concassage. On conclut qu'avec les concasseurs à percussion, les granulats sont de meilleure qualité, en particulier la forme (coefficient d'aplatissement petit).

De plus, l'efficacité de criblage n'étant pas très parfaite, nous remarquons un glissement de la classe inférieure (tamisât), vers la classe supérieure (refus). Pour cela, il est recommandé une étude plus approfondie des paramètres liés au criblage, à savoir : la surface criblante, vitesse de vibration des balourds, l'angle d'inclinaison.....

D'autre part, d'après la courbe granulométrique du concasseur à percussion « ARJA », nous remarquons aussi que le pourcentage des particules fines est plus élevé que celui à percussion (KRUPP). Il est possible de régler la machine, en agissant sur les écartements des écrans. Cela permet de "translater" la courbe granulométrique vers les dimensions plus importantes.

Dans toutes les carrières d'Algérie, les schémas technologiques se ressemblent. Par contre les caractéristiques des granulats différents dans leurs utilisations. Il est intéressant de cibler les clients potentiels et de développer des schémas plus adaptés pour chaque catégorie ; on peut citer : l'industrie du bâtiment, les routes, les chemins de fer etc.....

## Bibliographie

- [1] **RICHARD Maillot**, *Mémento technique des granulats*. Les Presses de l'Ecole des Mines (2001)
- [2] N° 4/ 4<sup>ème</sup> trimestre 1999- ISSN (société de l'industrie minérale). Les techniques de l'industrie minérale. *Ciel ouvert*. (1999)
- [3] N° 4/ 4<sup>ème</sup> trimestre 1999- ISSN (société de l'industrie minérale) Les techniques de l'industrie minérale. *Concassage*.(1999).
- [4] **Gorges. A., Claude .T.** *Granulat*. . Les Presses de l'Ecole des Ponts et Chaussées.
- [5] Technique d'ingénieur génie de procédé C903V2
- [6] [www.mescoursdegeniecivil.wifeo.com/documents/Prsentation2.pdf](http://www.mescoursdegeniecivil.wifeo.com/documents/Prsentation2.pdf)
- [7] Norme française NF EN 933-3
- [8] [www.la.refer.org/materiaux/chapitre\\_trois\\_exp.html](http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_trois_exp.html)/Coures Matériaux de construction

## Référence

- [1] **HORACE. H.** *Préparation mécanique et concentration des minerais par flottation.*
- [2] **Dr. SERRADJ T.** EMEA/ ECOLE DES MINES EL-ABED. *Etude des massifs rocheux et choix du système de forage.*
- [3] Norme française NF EN 933-1
- [4] Norme française NF EN 933-2
- [5] Norme française NF EN 933-3
- [6] Norme française NF EN 933-8
- [7] Norme française NF EN 933-9



## **ANNEXES**

## ANNEXE 1: ECHANTILLONNAGE DES GRANULATS [1]

### 1. Matériaux sur stock

Le prélèvement est effectué soit avec une sonde, manuelle ou mécanique, enfoncée dans le stock (voir figure ci-dessous), soit à la pelle (pelle à la main de hauteur  $D$  et de largeur  $> 4D$ , ou pelle mécanique,  $D$  étant la dimension du plus gros grain).

Chaque prélèvement élémentaire doit avoir une masse (en Kg)  $\geq 0.1 D$  (mm).



**Fig.1** : Matériaux en stock

### .2. Matériaux en cours d'écoulement

Les matériaux sont prélevés, soit à la pelle sur la bande transporteuse à l'arrêt, soit par des échantillonneurs automatiques. La masse minimale de l'échantillon global prélevé doit être  $\geq 2D$ .

### .3. Préparation d'un échantillon pour essais

On constitue, à partir de l'échantillon global précédant, un échantillon de masse compatible avec la nature de l'essai à réaliser, cet échantillon peut s'obtenir par quartage manuel (**Fig.2**) ou à l'aide de diviseurs automatiques



**Fig.2** : quartage manuel

## ANNEXE 2 : TAMISAGE DES GRANULATS [6] [7]

### Définition

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 0,063 et 125mm.

On appelle :

**Refus** sur un tamis : quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.

**Tamisât** (ou passant) : quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

### 1. Principe de l'essai

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

### .2. Matériel nécessaire

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique, soit par perçage d'une tôle. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique (**Fig.3**) qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis.

La dimension nominale de tamis est donnée par l'ouverture de la maille, c'est-à-dire par la grandeur de l'ouverture carrée. Ces dimensions sont telles qu'elles se suivent dans une progression géométrique de raison  $\sqrt{10}$ , depuis le tamis 0.08 mm jusqu'au tamis 80 mm. Pour des ouvertures inférieures à 0.08 mm, l'analyse granulométrique n'est pas adaptée et l'on peut procéder par sédimentométrie. L'existence antérieure de passoires (trous ronds) a conduit à une double classification de tamis et des passoires, tout en conservant pour chaque famille d'appareil la même progression géométrique des ouvertures.



**Fig.3:** Tamiseuse électrique

Afin d'éviter toute ambiguïté, un tamis et une passoire équivalents ont été désignés par un même numéro de module. Les dimensions nominales normalisées des tamis, seuls appareils utilisés actuellement, sont les suivantes (**Tableau.1**) :

**Tableau.1:** Dimensions nominales normalisées des tamis.

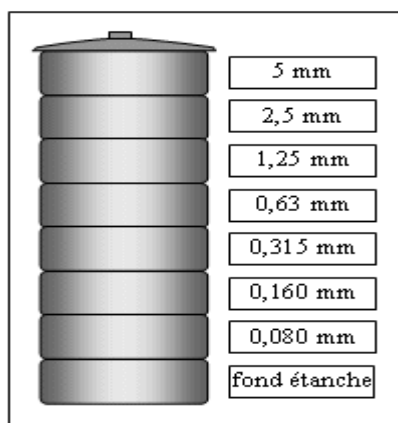
Module	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Tamis (mm)	0.08	0.100	0.125	0.160	0.200	0.250	0.315	0.400	0.500	0.630	0.800
Module	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Tamis (mm)	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00	10
Module	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
Tamis (mm)	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		

### 3. Tamisage de l'échantillon [6]

Verser le matériau lavé et séché dans la colonne de tamis (**Fig. II.4**). Cette colonne est constituée par l'emboîtement des tamis, en les classant de haut en bas dans l'ordre de mailles décroissantes, et en ajoutant un fond plein et un couvercle.

Agiter manuellement ou mécaniquement cette colonne, puis reprendre un à un les tamis en adaptant un fond et un couvercle. Agiter chaque tamis.

Verser le tamisât recueilli sur le fond sur le tamis immédiatement inférieur



**Fig.4:** Colonne de tamis

#### **.4. Résultats [6]**

- Peser le refus du tamis ayant la plus grande maille : soit R1 la masse de ce refus.
- Ajouter le refus obtenu sur le tamis immédiatement inférieur. Soit R2 la masse du refus cumulé.
- Poursuivre la même opération avec tous les tamis de la colonne pour obtenir les Masse des différents refus cumulés ...
- Peser le tamisât sur le fond. Soit P sa masse.
- Les masses des différents refus cumulés  $R_i$  sont rapportées à la masse totale de l'échantillon pour essai sec M1.
- Les pourcentages de refus cumulés ainsi obtenus, sont inscrits sur la feuille d'essai.
- **Validité de l'analyse** : La somme des masses  $R_i$  et P ne doit pas différer de plus de 1 % de la masse M2

#### **- Tracé de la courbe granulométrique :**

- Il suffit de porter les divers pourcentages des tamisât ou des différents refus cumulés sur une feuille semi-logarithmique :
  - *en abscisse* : les dimensions des mailles, échelle logarithmique
  - *en ordonnée* : les pourcentages sur une échelle arithmétique.
- La courbe doit être tracée de manière continue et peut ne pas passer par tous les points

## 5. Notions dérivées des résultats des analyses granulométriques

### a- coefficient d'uniformité

Le coefficient d'uniformité sert à définir l'étalement d'une courbe granulométrique. et Par définition Le coefficient d'uniformité  $C_u$  est égal au rapport

$$C_u = D_{60}/D_{10}$$

Où ;  $D_{10}$ ,  $D_{60}$  sont les diamètres effectifs correspondants aux tamisât cumulé respectivement de 10% et 60%.

D'après la valeur de leur coefficient d'uniformité on peut classer les matériaux en 5 catégories (**Tableau.II.2**).

**Tableau.2:** catégories des granulométries

Valeur de $C_u$	catégorie
$C_u \leq 2$	granulométrie très serrée
$2 < C_u \leq 5$	granulométrie serrée
$5 < C_u \leq 20$	granulométrie semi-étalée
$20 < C_u \leq 200$	granulométrie étalée
$200 < C_u$	granulométrie très étalée

### b.-coefficient de courbure

Le coefficient de courbure est égal au rapport suivant

$$C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$$

Le coefficient de courbure sert à quantifier la distribution des particules dans une courbe granulométrique.

- $C_c > 1$  le matériau comporte peu de particules fines.
- $1 < C_c < 3$  le Sable ou gravier est propre.
- Un matériau ayant une granulométrie étalée aura  $C_c \approx 0.5$  environ.

### c- module de finesse

Le module de finesse d'un sable est défini comme étant le centième de la somme des refus cumulés aux tamis 0.160, 0.315, 0.630, 1.25, 2.5, 5mm.

## 6. Interprétation des courbes [6]

La forme de la courbe granulométrique obtenue nous renseigne sur :

- Les dimensions  $d$  et  $D$  du granulat,
- La proportion d'éléments fins,
- La continuité ou la discontinuité de la granularité.

## ANNEXE 3 : COEFFICIENT D'APLATISSEMENT DES GRANULATS [6]

- La mesure du coefficient d'aplatissement (CA) caractérise la forme plus ou moins massive des granulats.

- Le CA s'obtient en faisant une double analyse granulométrique, en utilisant successivement, et pour le même échantillon de granulats :

- une série de tamis normalisés à mailles carrées (**Fig. 4**)
- une série de tamis à fentes de largeurs normalisées (**Fig. 5**)



**Fig.5** : Tamis à fentes

### .1. Procédure d'essai [6]

L'essai consiste en un double tamisage :

1. Tamisage classique sur une colonne de tamis à mailles carrées, afin d'isoler les classes granulaires  $d_i/D_i$ .
2. Les différentes classes granulaires  $d_i/D_i$  ainsi isolées sont tamisées une à une sur les grilles à fentes parallèles d'écartement  $E = D_i/2$  (ex :  $D = 20$  il vient  $E = 20 / 2 = 10$ ).

On peut donc associer à chaque classe granulaire  $d_i/D_i$  un tamis à fente correspondant de largeur E (ex : 20/25 correspond à une grille 12,5), ce qui permet de déterminer des coefficients d'aplatissement  $A_i$  partiels. Il est possible de définir un coefficient d'aplatissement global.

## 2. Méthodologie [6]

- Tamiser l'échantillon sur les tamis spécifiés
- Peser et éliminer tous les grains passant au tamis de 4 mm et retenus sur celui de 80
- Peser et retenir séparément tous les grains de fraction  $d_i/D_i$  comprise entre 4 mm et 80 mm est pesé.
- Puis le refus de chaque classe granulaire est tamisé sur le tamis à fente d'écartement E correspondant. Le passant à travers chaque grille est pesé.

## 3. Expression du coefficient d'aplatissement [6] [7]

Pour une classe granulaire  $d_i/D_i$  donnée, on peut définir un coefficient d'aplatissement partiel :

$$A_i = M_i / R_i \times 100$$

Où :

$R_i$  : est la masse de chaque granulat élémentaire  $d_i / D_i$ , exprimée en grammes ;

$M_i$  : est la masse du matériau de chaque granulat élémentaire  $d_i/D_i$  passant à travers la grille à fentes Correspondante, d'écartement  $D_i / 2$ , en grammes.

Le coefficient d'aplatissement global A s'exprime en intégrant les valeurs partielles déterminées sur chaque classe granulaire :

$$A = M_2 / M_1 \times 100$$

Où :

$M_1$  : est la somme des masses des granulats élémentaires  $d_i / D_i$ , en grammes ;(passant à  $D_1$  refus à  $d_1$ )



M2 : est la somme des masses de passants sur les grilles à fentes correspondantes d'écartement  $D_i / 2$ , en grammes.

## **ANNEXE 4 : ANGULARITE**

### **1. Coefficient d'écoulement des gravillons [1]**

Il mesuré par le temps découlement d'une masse donnée de gravillons à trévère un orifice donnée

Ce temps d'écoulement est lié à l'angularité du granulat.

Les gravillons (4/6.3, 6.3/10, 10/14, 4/10 ou 10/20) sont lavés et séchés à  $105^0$  C , puis déversés sur une sable vibrante alimentant une goulotte.

On laisse s'écouler une masse du granulat =  $1 + (7 * r/2.7)$  (Kg).

r étant la masse volumique du granulat.

Le temps d'écoulement est mesuré à partir du moment où le premier Kg s'est écoulé.

### **2. Coefficient d'écoulement des sables [1]**

Même principe : on mesure le temps d'écoulement d'une masse de sable à trévères un orifice donné. Ce temps est lié à l'angularité du sable.

L'appareil de mesure est différent : il se compose d'un récipient cylindrique muni d'un entonnoir à sa base. Le diamètre de l'orifice de l'entonnoir est de 12 mm pour un sable 0.08/2 mm, 16 mm pour un sable 0.08/ 4 mm (le sable est lavé sur un tamis de 0.08 mm).

La masse de l'échantillon est de  $r/ 2.7$  Kg, r étant la masse volumique du sable.

## **ANNEXE 5 : ESSAI AU BLEU DE METHYLENE [1]**

Le bleu de méthylène a la propriété de se fixer préférentiellement sur les argiles. La valeur de bleu des fines est la quantité de bleu (en gramme) adsorbé par 100 grammes de fines.

L'essai se pratique sur la fraction 0/2 d'un sable (ou d'une grave). On recueille les fines ( $< 80 \mu$ ) par lavage sur tamis et on recueille un mélange eau + fines contenant 30 g de fines, auxquelles on ajoute 30 g de kaolinite dont la valeur de bleu est connue.

On ajoute des doses successives de bleu de méthylène à la suspension eau-fines et on dépose, après chaque ajout d'une goutte de mélange sur un papier filtre. Lorsqu'apparaît une auréole bleu claire persistante autour de la tache, le test est dit «positif».

La valeur de bleu se calcule alors par la formule :  $VBta = (V-v)/Q$

Avec :  $V$  = volume de solution de bleu de méthylène consommé

$v$  = volume consommé par kaolinite

$Q$  = masse de fines testées

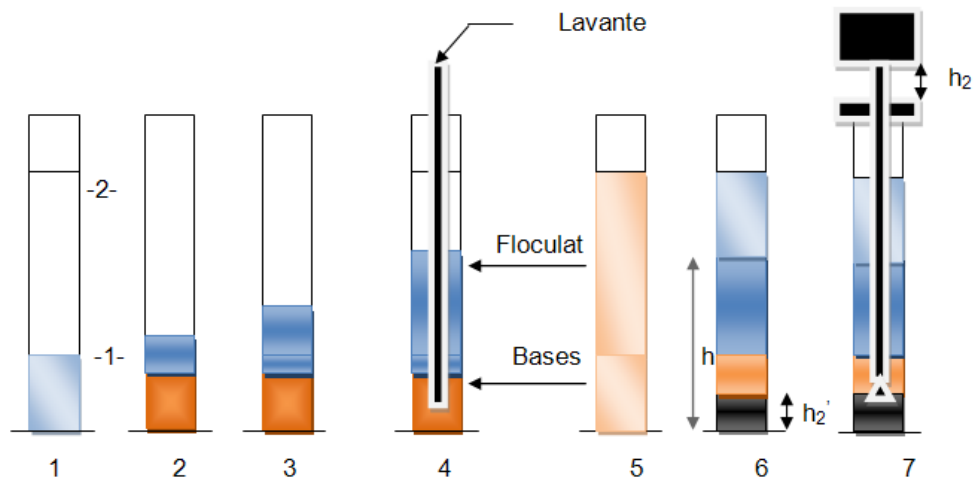
## ANNEXE 6 : ÉQUIVALENT SABLE

### 1. Principe de l'essai

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins.

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé. Pour cela on utilise une solution dite lavante, elle permet de séparer les éléments fins argileux et provoque la floculation. Après décantation, on mesure la hauteur des fines floculées (sable propre + éléments fins =  $h_1$ ) et la hauteur de sable propre ( $h_2$  si c'est au piston ou  $h_2'$  si c'est au réglet).

### 2.. Procédure de l'essai



1. Remplissage de la solution lavante jusqu'au premier trait. (-1-)

2. Masse du matériau  $m_h = 120 (1 + w)$  est introduite dans l'éprouvette.
3. Imbibition du sable pendant 10 min dans la solution lavante.
4. Eprouvette secouée (60 cycles en 30 s), lavage du sable avec la solution lavante, et remplissage jusqu'au deuxième trait. (-2-)
5. Début de la décantation, durée 20 min.
6. Mesure de la hauteur de sable  $h_1$  de l'ensemble sable plus flocculat.
7. Mesure de la hauteur du sable  $h_2$  au piston.

### 3. Expression des résultats

On calcule, pour chaque éprouvette, ES avec une précision décimale et on retient les moyennes arithmétiques, arrondies chacune à l'entier le plus proche.

*Valeur de l'équivalent sable au piston*                       $ESP = h_2/h_1 * 100$

*Valeur de l'équivalent sable visuel*                       $ESV = h'_2/h_1 * 10$

## ANNEXE 7

Les essais de Tamisage sur le produit concassé du concasseur giratoire (0/200 mm)

Tamis (mm)	Tamisât (%)		
	1er essai	2 Iième essais	la moyenne
200	100	100	100
180	100	84	92
160	100	84	92
140	100	75	87.5
130	99	75	87
120	89	68	78.5
100	51	55	53
80	37	47	42
63	24	40	32
50	19	32	25.5
40	14	24	19
31.5	10	20	15
25	7	17	12
20	5	15	10
16	3	13	8
8	2	8	5
5	1	7	4
1	0.5	3	1.75
0.5	0.4	2	1.2
0.08	0.2	0.4	0.3
F.T	0.1	0.2	0.15

## ANNEXE 8

Les essais de Tamisage sur le produit concassé du concasseur à percussion (ARJA)  
(0/70mm)

Tamis (mm)	Tamisât (%)		
	Ière essai	IIème essais	La moyenne
70	100	100	100
63	100	100	100
50	96	100	98
40	90	99	94.5
31.5	80	96	88
25	69	90	79.5
16	49	72	60.5
10	36	54	45
6.3	26	39	32.5
4	21	30	25.5
2	12	19	15.5
0.5	5	7	6
0.25	4	4	4
0.08	1	1	1
F.T	0.5	0.4	0.45

## ANNEXE 9

L'essai de Tamisage sur le produit concassé du concasseur à percussion  
(KRUPP AZMAK) (0/70mm)

tamis (mm)	Masse refus (Kg)	(%) de refus	(%) tamisât
63	4.44	11.33	88.67
50	10.074	25.71	74.29
40	14.668	37.43	62.1
31.5	18.77	47.9	52.1
25	22.206	56.67	43.33
20	25.038	63.9	36.1
16	27.208	69.44	30.56
10	30.56	77.99	22.01
8	31.656	80.79	19.21
6.3	32.79	83.68	16.32
4	34.28	87.48	12.52
3.15	34.976	89.26	10.74
2	35.998	91.87	8.13
1	37.03	94.5	5.5
0.5	37.754	96.35	3.65
F.T	39.068	99.7	0.3

## ANNEXE 10

### Analyse granulométrique des produits finis du concasseur à percussion (KRUPP)

Fraction 0/3 mm			
Masse sèche totale		:	M1 = 1162.0g
Masse sèche après lavage		:	M2 = 1051.0 g
Masse sèche des fines retirées par lavage :		M1 – M2 = 111.0 g	
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisâts cumulés (%)
6.3	0.0	0.0	100.0
5	4.0	0.34	99.66
4	10.0	0.86	99.14
3.15	47.0	4.04	95.96
2.5	175.0	15.06	84.94
1.25	472.0	40.62	59.38
0.315	877.0	75.47	24.53
0.125	1015.0	87.35	12.65
0.08	1036.0	89.16	10.84
0.063	1050.0	90.36	9.64
F.T	1051.0	90.45	9.55
Matériaux resté au fond P = 01.0	Observation : Tamisât des fines (f) sur le tamis de 0.063 mm 9.64 %		

Fraction 3/8 mm			
Masse sèche totale		:	M1 = 1186 g
Masse sèche après lavage		:	M2 = 1127 g
Masse sèche des fines retirées par lavage :		M1 – M2 = 59 g	
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisâts cumulés (%)
8	0.0	0.0	100.0
6.3	76.0	6.41	93.59
5	906.0	76.39	23.61
4	967.0	81.53	18.47
3.15	1127.0	95.03	4.97
0.063	1127.0	95.03	4.97
F.T	1127.0	95.03	4.97
Matériaux resté au fond P = 00.0	Observation : Tamisât des fines (f) sur le tamis de 0.063 mm 4.97 %		

Fraction 8/15 mm			
Masse sèche totale		:	M1 = 2975.0g
Masse sèche après lavage		:	M2 = 2956.0 g
Masse sèche des fines retirées par lavage		:	M1 – M2 = 19.0 g
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisâts cumulés (%)
20	0.0	0.0	100.0
16	37.0	1.24	98.76
12.5	855.0	28.74	71.26
10	1814.0	60.97	39.03
8	2373.0	79.76	20.24
6.3	2707.0	90.99	9.01
5	2924.0	98.29	1.71
3.15	2936.0	98.69	1.31
0.063	2936.0	98.69	1.31
F.T	2956.0	99.36	0.64
Matériaux resté au fond P = 20.0	Observation : Tamisât des fines (f) sur le tamis de 0.063 mm 1.31 %		

Fraction 15/25 mm			
Masse sèche totale		:	M1 = 4959.0 g
Masse sèche après lavage		:	M2 = 4921.0 g
Masse sèche des fines retirées par lavage		:	M1 – M2 = 38.0 g
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisâts cumulés (%)
31.5	0.0	0.0	100.0
25	117.0	2.36	97.64
20	1079.0	21.76	78.24
16	3346.0	67.47	32.53
12.5	4583.0	92.42	7.58
10	4693.0	94.64	5.36
8	4736.0	95.50	4.50
6.3	4772.0	96.23	3.77
5	4821.0	97.22	2.78
0.063	4821.0	97.22	2.78
F.T	4921.0	99.23	0.77
Matériaux resté au fond P = 0.0	Observation : Tamisât des fines (f) sur le tamis de 0.063 mm 2.78%		

Fraction 25/40 mm			
Masse sèche totale : M1 = 9945.0 g			
Masse sèche après lavage : M2 = 9908.0 g			
Masse sèche des fines retirées par lavage : M1 – M2 = 37.0 g			
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisâts cumulés (%)
50	0.0	0.0	100.0
40	781.0	7.85	92.15
31.5	4663.0	64.89	53.11
25	8543.0	85.90	14.10
20	9782.0	98.36	1.64
0.063	9908.0	99.63	0.37
F.T	9908.0	99.63	0.37
Matériaux resté au fond P = 0.0	Observation : Tamisât des fines (f) sur le tamis de 0.063 mm 0.37%		

Fraction 40/70 mm			
Masse sèche totale : M1 = 12020.0 g			
Masse sèche après lavage : M2 = 11989.0 g			
Masse sèche des fines retirées par lavage : M1 – M2 = 31.0 g			
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisâts cumulés (%)
60	0.0	0.0	100.0
50	5723.0	47.61	52.39
40	11203.0	93.20	6.80
0.063	11989.0	99.74	0.26
F.T	11989.0	99.74	0.26
Matériaux resté au fond P = 0.0	Observation : Tamisât des fines (f) sur le tamis de 0.063 mm 0.37%		



## ANNEXE 11

### Analyse granulométrique des produits finis du concasseur à percussion (ARJA)

Fraction 0/3 mm			
Masse sèche totale : M1 = <b>332 g</b>			
Masse sèche après lavage : M2 = <b>298 g</b>			
Masse sèche des fines retirées par lavage : M1 – M2 = <b>34 g</b>			
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisâts cumulés (%)
6.3	0	0	100
5	0	0	100
4	0	0	100
3.15	16	4.82	95.18
2.5	52	15.66	84.34
1.25	150	45.18	54.82
0.5	230	69.27	30.73
0.315	252	75.90	24.10
0.25	262	78.91	21.09
0.125	286	86.14	13.86
0.08	296	89.15	10.85
FT	298	90	10.25
Matériaux resté au fond P = 02.0 g	Observation : Tamisât des fines (f) sur le tamis de 0.08 mm 10.84 %		

Fraction 3/8 mm			
Masse sèche totale : M1 = <b>834 g</b>			
Masse sèche après lavage : M2 = <b>830 g</b>			
Masse sèche des fines retirées par lavage : M1 – M2 = <b>4 g</b>			
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisâts cumulés (%)
8	0	0	100
6.3	0	0	100
5	82	9.82	100
4	458	54.91	90.18
3.15	792	94.96	45.09
2	828	99.28	5.04
0.08	829	99.40	0.72
FT	831	99.64	0.60
Matériaux resté au fond P = 02.0 g	Observation : Tamisât des fines (f) sur le tamis de 0.08 mm 0.072 %		

Fraction 8/15 mm			
Masse sèche totale : M1 = <b>2796 g</b>			
Masse sèche après lavage : M2 = <b>2774 g</b>			
Masse sèche des fines retirées par lavage : M1 – M2 = <b>22 g</b>			
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisâts cumulés (%)
20	0	0	100
16	0	0	100
12.5	72	2.57	97.43
10	542	19.38	80.62
8	1272	45.50	54.50
6.3	2094	74.90	25.10
5	2654	94.92	5.08
3.15	2766	98.92	1.08
0.08	2772	99.14	0.86
Matériaux resté au fond P = 00.0	Observation : Tamisât des fines (f) sur le tamis de 0.08 mm 0.86 %		

Fraction 15/25 mm			
Masse sèche totale : M1 = <b>5794 g</b>			
Masse sèche après lavage : M2 = <b>5770 g</b>			
Masse sèche des fines retirées par lavage : M1 – M2 = <b>24 g</b>			
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisâts cumulés (%)
31.5	0	0	100
25	0	0	100
20	2458	42.42	57.58
16	4902	84.60	15.40
12.5	5730	98.90	1.10
10	5752	99.27	0.73
8	5752	99.27	0.73
0.08	5764	99.48	0.52
FT	5766	99.51	0.49
Matériaux resté au fond P = 2.0 g	Observation : Tamisât des fines (f) sur le tamis de 0.08 mm 0.52%		

Fraction ballast > 25 mm			
Masse sèche totale : M1 = <b>17516 g</b>			
Masse sèche après lavage : M2 = <b>17512 g</b>			
Masse sèche des fines retirées par lavage : M1 – M2 = <b>4 g</b>			
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisâts cumulés (%)
80	2108	12.03	87.97
63	3146	17.96	82.04
50	4922	28.10	71.90
40	8192	46.77	53.23
31.5	12278	70.01	29.99
25	16660	95.11	4.89
20	17440	99.56	0.44
0.08	17464	99.70	0.30
F.T	17467	99.72	0.28
Matériaux resté au fond P = 03.0 g	Observation : Tamisât des fines (f) sur le tamis de 0.08 mm 0.30%		

## ANNEXE 12

Analyse granulométrique de sable du concasseur à percussion (PISCIS 300 RP)

Ouvertures des tamis (mm)	refus cumulés (g)	refus cumulé (%)	passant cumulé (%)
4.000	0	0	100
3.150	0	0	100
2.500	12	3,06	96,94
2.000	56	14,28	85,72
1.600	96	24,49	75,51
1.250	140	35,71	64,29
1.000	176	44,90	55,10
0.500	266	67,86	32,14
0.315	310	79,08	20,92
0.250	330	84,18	15,82
0.125	370	94,39	5,61
0.080	392	100,00	0,00
F.T	392	100,00	0,00

## ANNEXE 13

Fraction mélange (0/40 mm)			
Masse sèche totale		:	M1 = <b>8342 g</b>
Masse sèche après lavage		:	M2 = <b>7906 g</b>
Masse sèche des fines retirées par lavage :			M1 – M2 = <b>436 g</b>
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisâts cumulés (%)
40	0	0	100
31.5	164	1.96	98.04
25	778	9.32	90.68
20	1522	18.24	81.76
16	2602	31.26	68.74
12.5	3686	44.18	55.82
10	4574	54.83	45.17
8	5352	64.15	35.84
6.3	5844	70.05	29.95
5	6196	74.27	25.53
3.15	6724	80.60	19.40
2.5	6878	82.45	17.55
0.08	7892	94.60	5.40
FT	7906	94.77	5.23
Matériaux resté au fond P = 14.0 g	Observation : Tamisât des fines (f) sur le tamis de 0.08 mm 5.40%		