

République Algérienne Démocratique et  
Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de  
la Recherche Scientifique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Minier

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes d'ingénieur

Thème

**Utilisation du concasseur à  
percussions pour la production  
des sables des carrières.**

Présenté par :

M.FayçalRafik MADANI

M. Mohamed Amine BELGHOUL

Devant la commission

d'examen:

Dr. M.A BACHAR ASSED Président

R. GACEM Examineur

Dr. M. OULD HAMOU Promoteur

Promotion : juin 2013

# DEDICACES

*Je dédie ce travail :*

*A mes chers parents, qui ont comblés ma vie de tendresse d'affection et de compréhension, rien au monde ne pourra compenser les efforts et les sacrifices que vous avez consentis pour mon bien être, et la poursuite de mes études dans de bonnes conditions. Aucune dédicace, ne saurait exprimer à sa juste valeur le profond amour que je vous porte,*

*A mon adorable sœur qui ma tant supporter,*

*A mon unique frère qui étais toujours là pour moi,*

*A ma tante qui m'a toujours soutenu et qui ne cesse de croire en moi,*

*A mes voisins : MELLAÏ et  
GOURARO, ma deuxième famille avec qui j'ai grandi et j'ai beaucoup appris,*

*A la famille MADANI, qui m'a accueilli  
chaleureusement,*

*A mes amis, qui m'ont encouragé, soutenue, conseillé et aidé  
dans les périodes difficiles,*

*A tout les membres du Club des Activités polyvalente  
de l'ENR, l'essence de ma motivation,*

*A tous ceux qui partagent leurs savoirs sans cesse car ils  
croient que Le savoir est la seule richesse que l'on peut partager sans s'appauvrir,*

*A tous ceux qui me sont chères.*

*BELGHOUL Mohamed Amine.*

*A mes parents, ma première école, qui m'ont protégé, qui ont toujours été présents, qui m'ont orienté et soutenu, et qui ont cru en moi.*

*A mon frère et à mes sœurs ma source de motivation, qui m'ont accompagné et dont je suis fier d'être le grand frère.*

*A mes grands-mères, parce qu'une mère t'aime, mais une grand-mère est toujours de ton côté.*

*A toute ma chère et grande famille, mes adorables tantes et oncles qui prient sans cesse pour moi.*

*A toutes mes cousines et mes cousins petits et grands à qui je souhaite de tout mon cœur qu'ils puissent atteindre leur objectif.*

*Mais une pensée toute particulière à Ammou Wahbi, qui est loin de nous mais très présent dans notre cœur et notre esprit.*

*A mes amis,*

*A tous ceux qui me sont chers,*

*A tous ceux qui m'aiment,*

*A tous ceux que j'aime,*

*Je dédie ce travail.*

*Madani Fayçal Rafik*

# **REMERCIEMENTS**

*Nous exprimons toute notre gratitude à Mr OULD HAMOU notre promoteur et chef de département, pour la confiance qu'il nous a accordé, pour les conseils qu'il nous a prodigué, sa patience et pour avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires à la réalisation de notre projet.*

*Nous adressons également nos remerciements à Mr SAADA, notre professeur, pour sa précieuse aide, son soutien continu lors de nos trois années de spécialité et à qui nous souhaitons un prompt rétablissement.*

*Nous remercions très sincèrement l'ensemble du personnel des carrières de Keddara et de Si Mustapha pour leur accueil et leur professionnalisme et particulièrement à Mr Ali KADDACHE pour sa disponibilité et son aide.*

*Nous profitons de cette occasion, pour remercier les étudiants et les professeurs du département génie minier spécialement et de l'école en général. Un salut particulier au groupe des 7.*

*A AMMI SALAH, père spirituel de tous les polytechniciens et qui n'a jamais refusé son aide à qui que se soit, nous disons merci.*

*Enfin, Nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis qui nous ont toujours soutenu et encouragé tout au long de notre cursus universitaire.*

## ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو استعمال الكسارة الصدمية من أجل إنتاج رمل المحاجر و تعيين العوامل التكنولوجية للحصول على رمال تستجيب لمعايير إنتاج الخرسانة.

و لهذا, قمنا بتكسير فصائل مختلفة من الحصى بسرعات مختلفة القادمة من محجر قدارة و محجر السي مصطفى, و بعدها قمنا بإخضاع النتائج المحصل عليها إلى تجارب ضبط النوعية كالتحليل لحجم الجسيمات, المكافئ الرملي و أزرق المثلين.

**الكلمات المفتاحية:** الرمل, التكسير, الصنف الحجمي, سرعة التكسير, العناصر المتناهية.

## Résumé

L'objectif de cette présente étude est l'utilisation de concasseur à percussions pour la production de sable de carrières et la détermination des paramètres technologiques pour l'obtention de sables qui répondent aux normes pour la conception de béton.

Pour cela, nous avons fait soumettre un concassage à différentes vitesses aux différentes classes de granulats provenant des carrières de Keddara et de Si Mustapha, ensuite on a soumis les résultats à des essais de contrôle de qualité tels que l'analyse granulométrique, l'équivalent de sable et le bleu de méthylène.

**Mots clés :** Sable, concassage, classe granulaire, vitesse de concassage, les fines.

## Abstract:

The main objective of this study is the use of the percussion crusher for the production of the sand quarries and the determination of technologic parameters which allowed us to obtain sand that respond to the standards of the design of concrete.

For that, we crushed different classes of aggregates of Keddara quarry and Si Mstapha quarry at different speeds, and then the results were subjected to quality control tests such as: grain size analyses, the sand equivalent and the methylene blue.

**Key words:** sand, crushing, granular class, speed of crushing, fine.

# Table des matières

## Introduction générale

I. Généralités sur les granulats .....	4
I.1 Définition.....	5
I.2 Les différents types de granulats .....	5
I.2.1 Les granulats naturels .....	5
I.2.2 Les granulats artificiels .....	5
I.2.3 Les granulats recyclés .....	6
I.2.4 Les granulats et composants légers .....	6
I.3 Caractéristiques des granulats .....	6
I.3.1 Caractéristiques intrinsèques .....	6
I.3.2 Caractéristiques de fabrication .....	9
II. Présentation des unités de Keddara et de Si Mustapha .....	12
II.1 Présentation de l'unité de Keddara.....	12
II.1.1 Présentation générale de l'unité.....	12
II.1.2 Situation géographique et administrative de l'unité .....	12
II.1.3 Localisation du gisement.....	13
II.1.4 Géologie du gisement.....	15
II.1.5 Caractéristiques du gisement.....	15
II.1.6 Caractéristiques de la roche.....	15
II.1.7 Traitement .....	16
II.2 Présentation de l'unité de Si Mustapha .....	24
II.2.1 Présentation générale de l'unité.....	24
II.2.2 Situation géographique et administrative de l'unité.....	24
II.2.3 Localisation du gisement.....	25
II.2.4 Géologie du gisement.....	28
II.2.5 Caractéristique du gisement .....	28
II.2.6 Caractéristique de la roche .....	28
II.2.7 Traitement .....	29
III. Généralités sur le concassage.....	34
III.1 Introduction .....	34
III.2 Types de concasseurs et leurs principes de fonctionnement .....	34

III.2.1	Machines opérant par compression (écrasement).....	34
III.2.2	Machines opérant par choc.....	36
III.3	Conclusion.....	39
IV.	Les essais effectués .....	41
IV.1	L'échantillonnage .....	41
IV.1.1	Principe de l'échantillonnage .....	41
IV.1.2	Procédures d'échantillonnage.....	41
IV.2	Réduction des échantillons .....	41
IV.2.1	Définitions et symboles .....	41
IV.2.2	Réduction de l'échantillon à l'aide d'un diviseur rotatif.....	42
IV.2.3	Réduction de l'échantillon à l'aide d'un diviseur à couloirs.....	42
IV.2.4	Réduction par quartage.....	42
IV.3	Essai Los Angeles.....	43
IV.3.1	But de l'essai .....	43
IV.3.2	Principe de l'essai.....	43
IV.3.3	Matériels utilisés.....	44
IV.3.4	Préparation de l'échantillon .....	44
IV.3.5	Mode opératoire .....	45
IV.4	Essais sur les sables .....	45
IV.4.1	Analyse granulométrique .....	45
IV.4.2	Equivalent de sable.....	50
IV.4.3	Essai au bleu de méthylène.....	53
V.	Partie expérimentale : .....	57
V.1	Essai Los Angeles (Résistance à la fragmentation).....	57
V.1.1	Introduction .....	57
V.1.2	Analyse et interprétations des résultats (Keddara) :.....	58
V.1.3	Analyses et interprétations des résultats de l'essai Los Angeles (Si Mustapha)...	59
V.1.4	Conclusion.....	59
V.2	Préparation mécanique du sable : .....	59
V.3	Analyse granulométrique.....	59
V.3.1	Analyse granulométrique des sables issus des granulats de Keddara : .....	59
V.3.2	Module de finesse des sables de Keddara .....	69
V.3.3	Teneur en fines des sables de Keddara.....	70

V.3.4	Analyses et interprétations (Keddara) .....	70
V.3.5	Analyse granulométrique des sables issus des granulats de Si Mustapha :.....	71
V.3.6	Module de finesse pour les sables de Si Mustapha .....	80
V.3.7	Teneur en fines des sables de Si Mustapha .....	81
V.3.8	Analyses et interprétations (Si Mustapha).....	81
V.3.9	Conclusion.....	82
V.4	Equivalent de sable.....	83
V.4.1	Analyses et interprétation (Keddara).....	83
V.4.2	Analyses et interprétations (Si Mustapha).....	84
V.4.3	Conclusion.....	84
V.5	Bleu de méthylène :.....	85
V.5.1	Analyses et interprétations (Keddara) .....	85
V.5.2	Analyses et interprétations des résultats (Si Mustapha) .....	86
V.5.3	Conclusion (Bleu de méthylène) .....	86
	Conclusion générale.	



# LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Type de structure en fonction des dimensions. ....	7
Tableau II.1 : Coordonnées des points du périmètre du gisement de Keddara. ....	14
Tableau II.2 : Composition chimique de la roche (Keddara). ....	15
Tableau II.3 : Caractéristiques physico-mécaniques de la roche (Keddara). ....	16
Tableau II.5 : Composition chimique de la roche (Si Mustapha). ....	28
Tableau II.6 : Caractéristique physico-chimiques de la roche (Si Mustapha). ....	29
Tableau IV.1 : Charge des boulets pour chaque classe granulaire. ....	44
Tableau IV.2 : Fuseau de spécification des sables. ....	47
Tableau IV.3 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX. ....	50
Tableau V.1 : Résistance à la fragmentation par choc (LA) Keddara. ....	57
Tableau V.2 : Résistance à la fragmentation par choc (LA) Si Mustapha. ....	58
Tableau V.3 : Analyse granulométrique du sable (0/4) de Keddara. ....	60
Tableau V.4 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (4/8) de Keddara. ....	61
Tableau V.5 : Analyse granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (4/8) de Keddara. ....	62
Tableau V.6 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (8/16) de Keddara. ....	63
Tableau V.7 : Analyses granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (8/16) de Keddara. ....	64
Tableau V.8 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (16/25) de Keddara. ....	65
Tableau V.9 : Analyses granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (16/25) de Keddara. ....	66
Tableau V.10 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (25/40) de Keddara. ....	67
Tableau V.11 : Analyses granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (25/40) de Keddara. ....	68
Tableau V.12 : Modules de finesse des sables obtenus par concassage (Keddara). ....	69
Tableau V.13 : Teneur en fines des sables obtenus par concassage (Keddara). ....	70
Tableau V.14 : Analyse granulométrique du sable (0/4) de Si Mustapha. ....	71
Tableau V.15 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (4/8) de Si Mustapha. ..	72
Tableau V.16 : Analyses granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (4/8) de Si Mustapha. ....	73
Tableau V.17 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (8/16) de Si Mustapha. ....	74
Tableau V.18 : Analyses granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (8/16) de Si Mustapha. ....	75
Tableau V.19 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (16/25) de Si Mustapha. ....	76
Tableau V.20 : Analyses granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (16/25) de Si Mustapha. ....	77
Tableau V.21 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (25/40) de Si Mustapha. ....	78
Tableau V.22 : Analyses granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (25/40) de Si Mustapha. ....	79

Tableau V.23 : Modules de fines des sables obtenus par concassage (Si Mustapha). .....	80
Tableau V.24 : Teneurs en fines des sables obtenus par concassage (Si Mustapha). .....	81
Tableau V.25 : Equivalent de sable pour les sables de Keddara. ....	83
Tableau V.26 : Equivalent de sable pour les sables de Si Mustapha. ....	84
Tableau V.27 : Valeur du bleu de méthylène pour les sables de Keddara. ....	85
Tableau V.28 : Valeur du bleu de méthylène pour les sables de Si Mustapha. ....	86

# LISTE DES FIGURES

Figure II.1 : Carte de situation géographique de l'unité de Keddara .....	13
Figure II.2 : Situation du gisement de Keddara ( <i>Extrait de la carte topographique de ROUIBA, (Feuille N°34 EST) Echelle : 1/25 000<sup>e</sup></i> ).....	14
Figure II.3 : Schéma technologique du poste primaire. ....	17
Figure II.4 : Schéma technologique de la station BABITLESS.....	19
Figure II.5 : Schéma technologique de la station ARJA.....	21
Figure II.6 : Schéma technologique de la station ARJA Sable. ....	23
Figure II.7 : Carte de la situation géographique de l'unité de Si Mustapha ( <i>Extrait de la carte touristique de l'Algérie du Nord Echelle 1/1 000 000<sup>e</sup></i> ).....	25
Figure II.8 : Situation topographique du périmètre de l'unité de Si Mustapha ( <i>Extrait de la Carte Topographique de BORDJ MENAIEL à l'Echelle 1/ 50 000, Feuille N° NJ-31-V4</i> )....	27
Figure II.9 : Schéma de la station primaire (Si Mustapha). ....	30
Figure II.10 : Schéma de la station secondaire DRAGON.....	31
Figure II.11 : Schéma de la station secondaire SANDVICK (Si Mustapha). ....	32
Figure IV.1 : Opération de quartage.....	43
Figure IV.2 : Colonne de tamis. ....	45
Figure IV.3 : Fuseau des sables admissibles. ....	48
Figure IV.4 : Détermination de l'équivalent de sable. ....	51
Figure V.1 : Courbe granulométrique du sable 0/4 de Keddara.....	61
Figure V.2 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction 4/8 de Keddara. ....	63
Figure V.3 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction 8/16 de Keddara. ....	65
Figure V.4 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction 16/26 de Keddara. ....	67
Figure V.5 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction 25/40 de Keddara. ....	69
Figure V.6 : Courbe granulométrique du sable (0/4) de Si Mustapha. ....	72
Figure V.7 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction 4/8 de Si Mustapha. ....	74
Figure V.8 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction 8/16 de Si Mustapha. ....	76
Figure V.9 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction 16/25 de Si Mustapha. ....	78
Figure V.10 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (25/40) de Si Mustapha.....	80

# **Introduction Générale**

Impossible d'imaginer l'industrie du bâtiment ou celle des travaux publics sans le recours massif aux granulats. C'est quantitativement la première des matières premières après l'air et l'eau. Elle représente un volume d'échanges internationaux de 70 Milliards de dollars par an.

L'activité des granulats se situe en amont de la filière de la construction. De sa production dépendent :

- les activités de travaux publics qui emploient les granulats en l'état,
- les industries qui utilisent cette matière première minérale pour fabriquer d'autres matériaux de construction : béton prêt à l'emploi, produits en béton et enrobés.

L'Algérie est un pays en fort développement, face à une demande sans cesse croissante en granulats, où l'offre ne suffit guère à la demande, du fait des nombreux projets tels que, la réalisation de 400 000 logements, l'autoroute des hauts plateaux, 10 000 km de nouvelles routes, 152 ouvrages d'art (tunnels, ponts...), 14 projets de Tramway dans différentes wilayas du pays ainsi que pour la réalisation de la grande mosquée d'Alger.

La quasi-totalité des granulats est issue de roches massives principalement calcaires. La production de granulats est estimée à 80-100 millions de tonnes par an ; quant à la demande, elle est estimée à 455 millions de tonnes dont 159 millions de tonnes de sable.[1]

Cette augmentation a engendré une exploitation minière accélérée qui se traduit très souvent par le fait de privilégier la quantité au détriment de la qualité, ce qui pourrait nuire à l'environnement. Pour cela, il est nécessaire de trouver une corrélation entre la quantité de production et la qualité du produit.

Les granulats, essentiellement les sables, ont un rôle primordial dans la résistance des matériaux. Les recherches sur les bétons à hautes performances et bétons bitumineux, ont montrés que les limites de résistance du matériau dépendent en partie des granulats qui entrent dans sa composition.

Le sable est l'élément qui joue un rôle de jonction de forme entre les granulats et la partie fine (ciment). Cet élément en matière de granulat est l'objet de notre présente étude. On entend par sable de concassage ou carrières, le produit obtenu à partir des roches massives (compactes) après les opérations de concassage et de criblage dans une station de production de granulats, avec une distribution dimensionnelle comprise entre 0 et 4 mm. Les particules obtenues ont une forme angulaire, ce qui les différencie des particules des sables des rivières qui ont une forme arrondie.

Sa nature, sa forme et ses caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production. La nature minérale du sable est un critère fondamental pour son emploi : chaque roche possédant des caractéristiques spécifiques en termes de résistance mécanique, de tenue au gel et des propriétés physico-chimique. La méthode de production influence généralement sur la granularité des sables et leurs teneurs en fines ; c'est pour cela qu'il faut maîtriser ces deux paramètres, pour pouvoir utiliser le sable de concassage pour tous les types de bétons et surtout pour les bétons hydrauliques de haute qualité.

Dans notre travail, on a utilisé un concasseur à percussions pour la production de sable, ouon a étudié deux différentes origines : calcaire de la carrière de Keddara et granodiorite de la carrière de Si Mustapha. Pour chaque provenance, on a alimenté le concasseur avec différentes fractions qui sont : 4/8, 8/16, 16/25 et 25/40 et on aussi fait varier la vitesse de concassage. Pour chaque sable produit, on a étudié la granularité et calculé les modules de finesse et les teneurs en fines et on a effectué les essais d'équivalent de sable et de bleu de méthylène pour vérifier la propreté des sables.

**Chapitre I :**  
**Généralités sur**  
**les granulats**

## I.1 Définition [12]

On appelle granulat un ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, de provenance naturelle ou artificielle, destinés à la confection :

- Des mortiers et des bétons,
- Des couches de fondations, des couches de base et de roulement des chaussées,
- Des assises, des ballasts et des voies ferrées.

Ils sont appelés : fillers, sablons, sables, gravillons, graves ou ballast suivant leurs dimensions.

La taille d'un granulat répond à des critères granulométriques précis. Ils sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle de grains) déterminés par analyse granulométrique. Le granulat est désigné par le couple  $d/D$  avec :

$d$  : dimension inférieure du granulat,

$D$  : dimension supérieure du granulat.

Cette désignation admet que des éléments puissent être retenus sur un tamis de mailles carrées d'ouverture  $D$  (tamis  $D$ ), et que d'autres puissent passer à travers un tamis d'ouverture  $d$ , dans les limites normalisées permises.

## I.2 Les différents types de granulats [3]

### I.2.1 Les granulats naturels

Les granulats naturels sont issus de roches meubles ou massives. Les roches meubles (matériaux alluvionnaires) sont exploitées le long des fleuves et des rivières. Les roches massives calcaires constituent les bassins sédimentaires et les chaînes récentes ; les roches massives éruptives constituent les anciens massifs.

### I.2.2 Les granulats artificiels

Des granulats artificiels peuvent être employés pour réaliser des bétons à usages spécifiques.

#### I.2.2.1 Sous produits industriels

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau.

#### I.2.2.2 Granulat à hautes caractéristiques

Il s'agit de granulats élaborés industriellement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux) ou granulats réfractaires.



## I.2.3 Les granulats recyclés

Ce sont des granulats essentiellement obtenus par recyclage du béton de démolition.

## I.2.4 Les granulats et composants légers

### I.2.4.1 Les granulats légers

Les plus usuels sont l'argile expansée, le schiste expansé et le laitier expansé. D'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m<sup>3</sup> selon le type de la granularité, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique. Les gains de poids sont intéressants puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m<sup>3</sup>.

### I.2.4.2 Les composants légers

Sont d'origine aussi bien organique (végétale) que minérale. Le polystyrène expansé et le liège, d'origine non minérale, le bois, ainsi que la vermiculite sont également utilisés pour réaliser des bétons très légers en isolation ou pour des chapes. Très légers de 20 à 100 kg/m<sup>3</sup> ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600 kg/m<sup>3</sup>. Ils sont aussi adaptés à la réalisation d'éléments légers : blocs coffrant, bloc de remplissage, dalles ou rechargements sur planchers peu résistants.

## I.3 Caractéristiques des granulats [7]

Quel que soit l'usage que l'on fait des granulats (béton hydraulique, pour usages routier 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.

### I.3.1 Caractéristiques intrinsèques

#### I.3.1.1 Pétrologie

##### ➤ Minéralogie

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

➤ **Structure**

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

**Tableau 0.1** : Type de structure en fonction des dimensions.

Structure	Taille des minéraux (mm)
Macro grenue	10
Grenue	1
Micro grenue	0,1
Crypto cristallin	0,01
Vitreuse	<0,001

### I.3.1.2 Caractéristiques physiques

➤ **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.

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

➤ **Masse volumiques absolue (MVA)**

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

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

➤ **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.

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

➤ **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.

$$Ab = 100 \frac{M_a - M_s}{M_s}$$

Tel que :  $M_a$  est la masse d'un échantillon dans l'eau pendant 24 heures

$M_s$  est la masse de l'échantillon sec.

## ➤ 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 est la masse des granulats humides,

M's est la masse des granulats secs.

### I.3.1.3 Caractéristiques mécaniques

#### ➤ La 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 1,60mm produites dans la machine Los Angeles, et la masse de la prise d'essai.

$$LA = 100 \frac{m}{M}$$

Où : LA est le coefficient Los Angeles (%).

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

#### ➤ 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 ( $LA < 25\%$ ).

#### ➤ Résistance à l'usure

La mesure de la résistance à l'usure s'obtient par l'essai qu'on appelle Micro-Deval à sec ou humide.

Ce coefficient est le rapport de la masse matériaux inférieure à 1,6 mm produite dans l'appareil du Micro-Deval et la masse de la prise d'essai.

$$MD = 100 \frac{m}{M}$$

Où : M : masse du matériau soumis à l'essai (g).

m : masse des éléments passants au tamis 1.6 mm (g).

MD : coefficient Micro-Deval (%).

## I.3.2 Caractéristiques de fabrication

### I.3.2.1 Granulométrie

E 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 valeurs spécifiées conduisant à construire les fuseaux de régularité et de fabrication.

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

### I.3.2.2 L'aplatissement

Une bonne forme de granulat est essentielle pour éviter des chutes de résistances 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 :

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 :

$$G/E = 15$$

### I.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 du 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.

### I.3.2.4 Indices des vides de Ridgen

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

### I.3.2.5 Modules de finesse

Les sables sont caractérisés par le module de finesse (MF). Le module de finesse d'un granulat est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentages, sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm.

Le module de finesse surtout utilisé pour les sables permet de caractériser leur granularité par une seule valeur. Celle-ci dépend surtout de la teneur en grains fins du sable. Plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin. Un module de finesse élevée caractérise un sable grossier.

### **I.3.2.6 Propreté des sables**

#### ➤ **Equivalent de sable**

On sépare, dans une éprouvette, au moyen d'une solution lavante, les sables quidécantent, 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.

#### ➤ **Bleu de méthylène**

Le bleu de méthylène se fixe préférentiellement sur les fines argileuses au détrimentdes 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 dansun 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 :**

**Description des unités de  
production de granulats  
de Keddara et de Si  
Mustapha**

## **II.1 Présentation de l'unité de Keddara [8]**

### **II.1.1 Présentation générale de l'unité**

L'unité agrégats de KEDDARA est une filiale de la société Algérienne des granulats, ALGRAN, rattachée au groupe ENOF, Entreprise Nationale Minière des Métaux Non Ferreux, regroupant 9 unités de production réparties d'Est en Ouest du pays sur huit wilayas. Elle totalise une expérience de 34 années. Elle couvre une superficie de 252 hectares et est située dans la commune de BOUZEGZA KEDDARA daïra de BOUDOUAOU wilaya de BOUMERDES à environ 03 Km à l'ouest de la ville de KEDDARA. On y accède par la route nationale N°29 reliant BOUDOUAOU à LAKHDARIA.

L'entrée en production est intervenu en 1978 une fois les travaux de reconnaissance et de recherches géologiques réalisées par la société mère, SONAREM, entamés en 1974 furent achevés.

Les infrastructures, les équipements et l'accompagnement logistiques sont mis en place. Les capacités initiales de traitement étaient alors de l'ordre de 1 000 000 de tonnes/an en tout venant carrière.

L'unité passe sous la tutelle de l'ENOF à la faveur de la première structuration industrielle intervenue en 1983. La seconde structuration, intervenue en 2002, fait passer l'unité sous la tutelle d'ALGRAN qui est érigée en filiale rattachée au groupe ENOF.

L'unité de production d'agrégats de KEDDARA exploite deux gisements :

- Gisement de KEDDARA.
- Gisement d'IFRI.

Le gisement de calcaire de KEDDARA, d'une superficie de soixante cinq hectares (65 ha), est entré en production en 1978 avec un permis d'exploitation de petite et moyenne mine enregistré sous le numéro n° PM 0371.

Le gisement d'IFRI, d'une superficie de cent quatre vingt sept (187 ha) hectares, a fait l'objet de travaux d'exploration sur la base du titre minier délivré à ALGRAN par le ministère de l'Energie et des Mines sous le N° PM 0171 du 16/05/2007.

Le plan d'exploitation de l'Unité de KEDDARA pour l'année 2013 est élaboré pour un volume de production de **1250 000** tonnes en abattage pour une production de **1 100 000** de tonnes en produits finis. 720 000 tonnes seront extraites du gisement de KEDDARA et 530 000 tonnes du gisement d'IFRI.

### **II.1.2 Situation géographique et administrative de l'unité**

L'unité Keddara est située à 3 km au Sud-Ouest du chef lieu de la commune de Keddara, à 12 Km au Sud de la ville de Boudouaou, chef lieu de Daïra –Wilaya de Boumerdès et à 45 Km à l'Est d'Alger, sur le versant et au pied du massif culminant de Djebel Bouzegza, à 1035 m d'altitude (figure II.1).



Figure II.1 : Carte de situation géographique de l'unité de Keddara

### II.1.3 Localisation du gisement

Le gisement de calcaire de KEDDARA est localisé dans la commune de BOUDOUAOU dans la Wilaya de BOUMERDES.

Il est situé à 45 Km d'Alger, à une quinzaine de kilomètres au Sud de BOUDOUAOU, à 1,2 Km à l'Ouest du village de KEDDARA.

L'accès au site se fait par la route nationale 29 reliant BOUDOUAOU à LAKHDARIA.

Le gisement est allongé Est-Ouest et se trouve à 1 Km de la nationale.

Ses limites géographiques sont les suivantes :

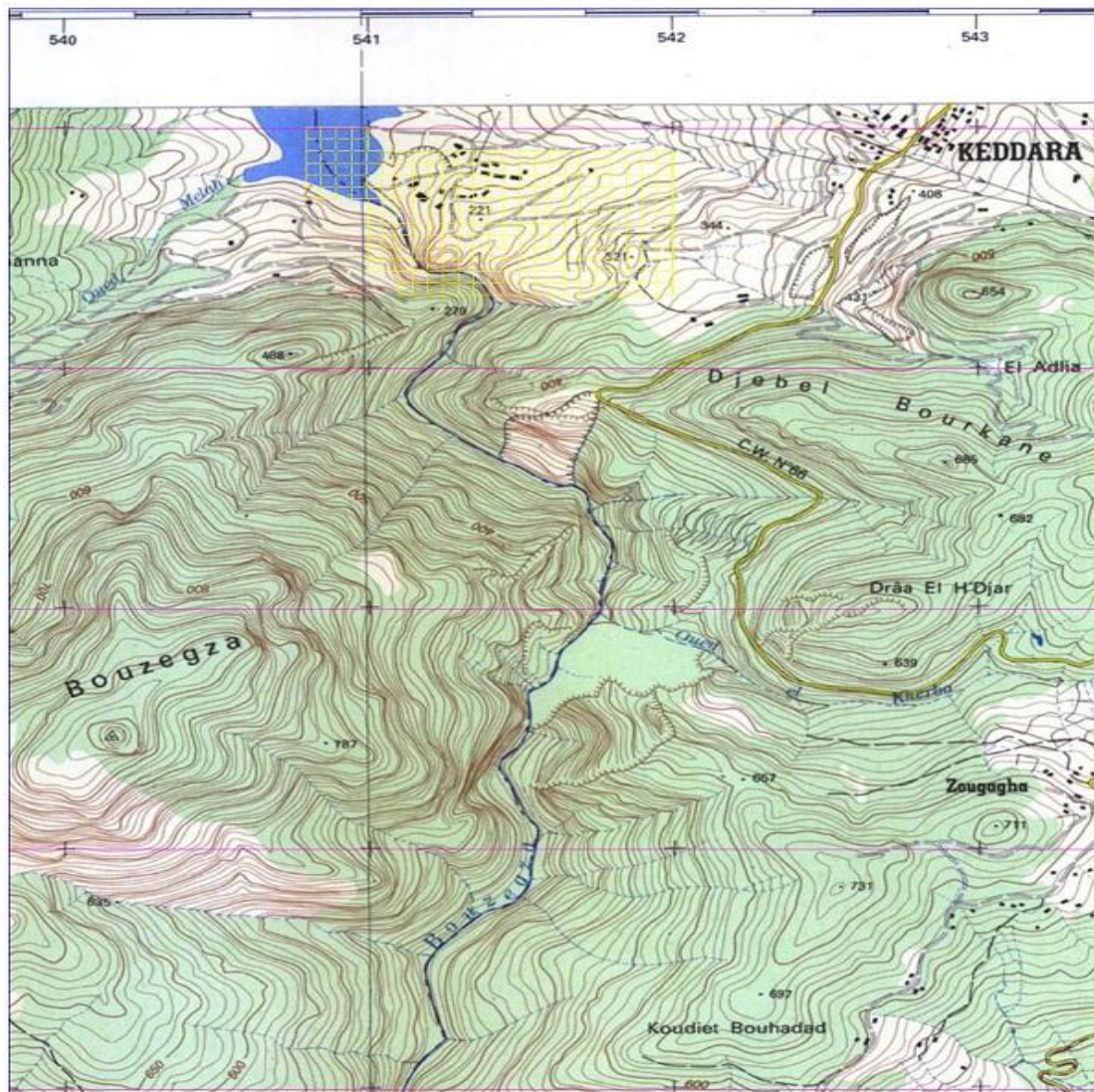


- Au Nord et à l'Est, des terrains privés à vocation agricole et des forêts.
- A l'Ouest, le barrage de Keddara.
- Au Sud, l'oued Keddara.

Le périmètre de KEDDARA d'une superficie de (65 ha) est délimité par 10 points de coordonnées UTM NORD-Sahara ci-après :

**Tableau II.1 :** Coordonnées des points du périmètre du gisement de Keddara.

Borne	X	Y	Borne	X	Y
1	540 800	4 053 000	6	541 100	4 052 300
2	541 100	4 053 000	7	541 100	4 052 400
3	541 100	4 052 900	8	541 000	4 052 400
4	542 000	4 052 900	9	541 000	4 052 700
5	542 000	4 052 300	10	540 800	4 052 700



**Figure II.2 :** Situation du gisement de Keddara (Extrait de la carte topographique de ROUIBA, (Feuille N°34 EST) Echelle : 1/25 000<sup>e</sup>)

### II.1.4 Géologie du gisement

Le gisement en question, est associé à un bloc tectonique qui se prolonge sur 20 km en direction Nord–Est.

La structure du gisement est assez simple. Elle est représentée par un monoclinal de direction Ouest-Nord, Ouest–Est, Sud, avec des pendages de 10 à 15° Sud, qui repose en discordance avec les formations du Précambrien (grés, argile, schiste), où se manifeste une faille large qui dépasse les 60 m.

En surface, le gisement est affecté par des cavités superficielles.

La substance utile dans ce gisement est représentée par des calcaires Lutétiens. Il s’agit de calcaires à nummulites gris- clair à gris foncé en petits cristaux.

La roche est massive, affectée de nombreux filons nets ramifiés de calcite blanche cristalline comportant des intervalles sporadiques de barytine à grands cristaux .Dans les zones de failles, on rencontre des calcaires bréchiques cimentés par la calcite, dolomie et barytine.

### II.1.5 Caractéristiques du gisement

Le matériau exploité est une roche de nature sédimentaire, représentée essentiellement par des calcaires massifs compacts durs à patine gris claire, la cassure grise foncée est due à la matrice, dans laquelle baignent des fossiles tels que les Bivalves, les Gastéropodes et les Coquilles de Nummulites.

Ces calcaires renferment des fentes de tensions parfois en échelons à remplissage de calcite, avec présence par endroit de stylolites.

Les minéraux rencontrés dans ce gisement, mais en faible qualité sont: la baryte, la Sidérite, la Dolomie et la Fluorine.

Les fissures existantes dans la roche sont de directions diverses, et généralement, remplies par des recristallisations secondaires, telles que la calcite, avec parfois quelques géodes formées par de très beaux cristaux de calcite bien développés.

### II.1.6 Caractéristiques de la roche

Les essais qualitatifs réalisés par le laboratoire national des travaux publics centre (L.T.P.C) sur des échantillons de différentes tailles (monolithes, produits concassés et sables) ont donné les résultats suivants :

#### ➤ Composition minéralurgique de la roche

**Tableau II.2 :** Composition chimique de la roche (Keddara).

Composition	CaO	MgO	SiO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PAF	NaCl	CaCO <sub>3</sub>
<b>Pourcentage(%)</b>	<b>37,88</b>	<b>0,78</b>	<b>2,49</b>	<b>2,01</b>	<b>0,61</b>	<b>42,22</b>	<b>0,12</b>	<b>88,34</b>
	%	%	%	%	%	%	%	%

Le gypse (CaSO<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>) est sous forme de trace.

➤ **Caractéristiques physico-mécaniques**

Les caractéristiques physico-mécaniques de la roche sont représentées dans le tableau (II.3) ci-dessous :

**Tableau II.3** : Caractéristiques physico-mécaniques de la roche (Keddara).

Caractéristiques	Résultats obtenus
Poids spécifique	2,69 t/m <sup>3</sup>
Poids volumique	2,66 t/m <sup>3</sup>
Densité apparente	1,44 t/m <sup>3</sup>
Densité absolue	2,72 t/m <sup>3</sup>
Porosité	2,00 %
Absorption d'eau	0,44 %
Résistance à la compression	1250 kg/cm <sup>3</sup>
Résistance à l'usure (Micro-Deval humide)	21,4 %
Résistance à l'usure (Micro-Deval sec)	8 %
Résistance à la fragmentation (Los Angeles)	23 %

Sur des échantillons de sable, obtenus à partir de trois sondages destructifs, on a obtenu une valeur moyenne de friabilité de 65,3 %.

**II.1.7 Traitement**

L'élaboration de produit fini au niveau de Keddara se fait ainsi par :

- Une installation primaire de marque BABBITLESS d'une capacité de 800 T/H en 0/200 mm.
- Une installation secondaire de marque BABBITLESS d'une capacité de 300 T/H en 0/70 mm.
- Une installation secondaire de marque ARJA d'une capacité de 200 T/H en 0/25 mm.
- Une installation de sable de marque ARJA d'une capacité de 108 T/H en 0/4 mm.

**II.1.7.1 Station Primaire (Figure II.3)**

Le tout venant avec une grosseur de 970 mm maximal transporté par les camions dumpers de l'exploitation est déversé dans la trémie de réception.

La fraction inférieure à 200 mm passe à travers la grille d'un crible à deux étages avec une maille de 40 mm à l'étage inférieur. Une goulotte by-pass oriente le tout venant (0/200) en fonction de sa qualité : la fraction 40 à 200 mm rejoint le produit issu du concasseur, 0 à 40 mm est considérée comme stérile.

La fraction supérieure à 200 mm sélectionnée par un alimentateur passe dans le concasseur giratoire de marque BABITLESS type BP 38 DD, d'un débit théorique de 800 T/H où elle subit une réduction à 200 mm. Le produit qui en résulte, 0/200, est acheminé par voie du convoyeur vers un stock tampon d'une capacité de stockage de 3 000 m<sup>3</sup>.

Le stock tampon de forme de chapeau chinois joue deux rôles : d'abord, homogénéiser les matériaux qui seront envoyés vers l'usine d'élaboration ; ensuite, servir de tampon entre la carrière, fonctionnant de façon discontinue et l'usine d'élaboration, qu'il est nécessaire de faire fonctionner de façon continue.

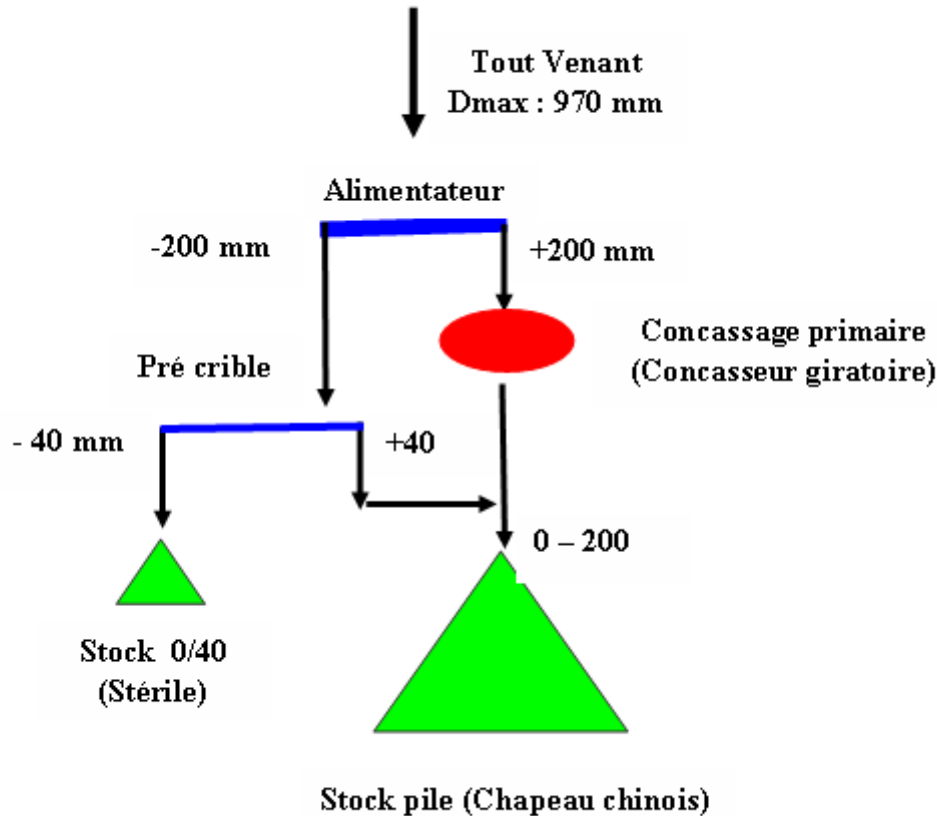


Figure II.3 :Schéma technologique du poste primaire.

### II.1.7.2 Stations secondaires

Deux extracteurs montés en parallèle assurent l'alimentation des deux stations secondaires BABITLESS et ARJA par voie de convoyeurs à bande, placé dans un tunnel sous le stock tampon.

#### II.1.7.3 Station secondaire BABITLESS (Figure II.4)

Le produit stocké dans le chapeau chinois, d'une granulométrie 0 à 200 mm passe par un crible vibrant à deux étages, avec des tôles perforées à l'étage supérieur et des grilles d'une maille de 40 mm à l'étage inférieur, sépare le tout venant (0/200) en deux fractions :

- La fraction inférieure à 40 mm est extraite du processus comme produit marchand (0/40 mélange).

- La fraction (40 à 200 mm) passe dans un broyeur à percussion de marque KRUPP HAZMAG type APS 1313K d'un débit de 300 T/ h pour subir une réduction en 0/70 mm.

Le produit issu du percuteur subit des opérations de criblage sur trois cribles à deux étages travaillant en série ou les fractions suivantes sont mises en stock dans leurs silos respectifs:

➤ **Fractions du premier crible :**

- Fraction supérieure à 70 mm avec la possibilité de la remettre dans le cycle pour un concassage dans le percuteur pour une réduction et un produit de sortie 0/70 mm.

- Fraction 40 à 70 mm avec la possibilité de la soumettre à une réduction au niveau du concasseur giratoire de marque BABBITLESS type BS 704 N d'un débit de 120 T/h pour une réduction et un produit de sortie 0/25 mm.

- Fraction inférieure à 40 mm sera acheminée soit vers le silo ou vers le second crible.

➤ **Fractions du deuxième crible :**

- Fraction 25 à 40 mm avec la possibilité de la soumettre à une réduction au niveau du concasseur giratoire de marque BABBITLESS type BS 704EG d'un débit de 120 T/h pour une réduction pour un produit de sortie 0/25 mm.

- Fraction 15 à 25 mm avec la possibilité de la soumettre à une réduction au niveau du concasseur giratoire de marque BABBITLESS type BS 702 N d'un débit de 30 T/h pour une réduction pour un produit de sortie 0/15 mm.

- La fraction inférieure à 15 mm sera déversée soit vers le silo, soit vers le troisième crible.

➤ **Fractions du troisième crible :**

- Fraction 15 à 08 mm, retenue dans la première grille du crible, est directement stockée dans le silo 8/15.

- Fraction 08 à 03 mm retenue dans la seconde grille du crible, est envoyée directement vers le silo 3/8.

- Fraction 03 à 00 mm sera directement déversée dans le silo 0/3.

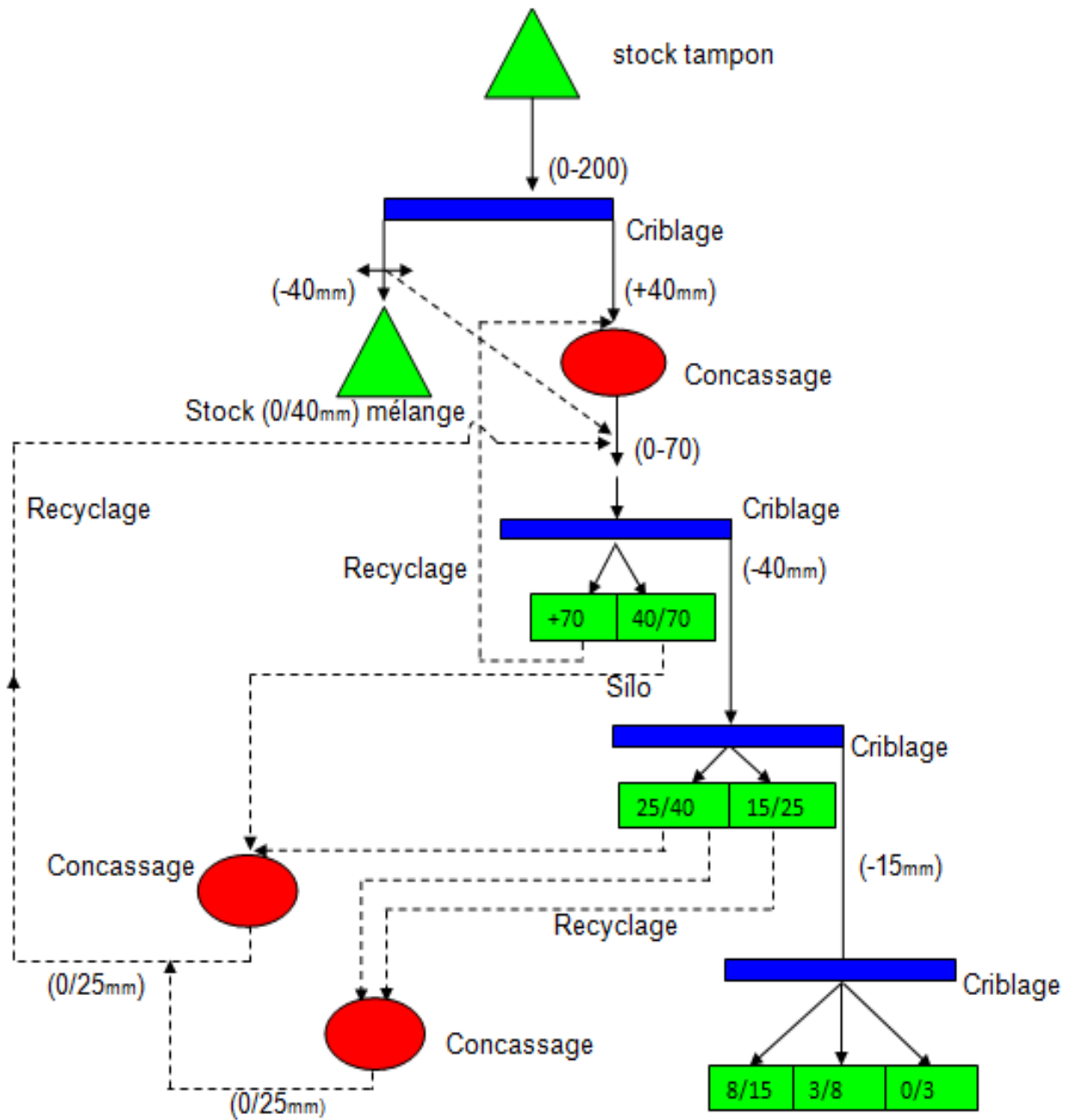


Figure II.4 : Schéma technologique de la station BABITLESS.

#### II.1.7.4 Station secondaire ARJA (Figure II.5)

Le tout venant 0/200 passe dans un pré-crible à deux étages, étage supérieur avec une grille à maille carrées 70 mm et étage inférieur avec une grille à maille carrées 40 mm :

- La fraction inférieure à 40 mm est extraite du processus comme produit marchand 0/40 mélange.
- La fraction 40 à 200 mm passe dans un broyeur à percussion de marque ARJA type TAURO 30 P d'un débit de 200 T/ h pour subir une réduction en 0/25 mm.

La fraction supérieure à 25 mm, si elle n'est pas vendue, a la possibilité d'être remise dans le cycle pour un concassage tertiaire dans le giratoire BS 702 pour la production du 0/25 mm.

Le produit issu du broyeur à percussion TAURO 30 P est dirigé vers un crible sur silos à 4 étages avec des toiles à mailles carrées de 25 mm, 15 mm, 8 mm et 3 mm en commençant par l'étage supérieur.

Les fractions issues du crible représentent le produit fini de l'installation, sont déversés dans leurs silos respectifs:

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

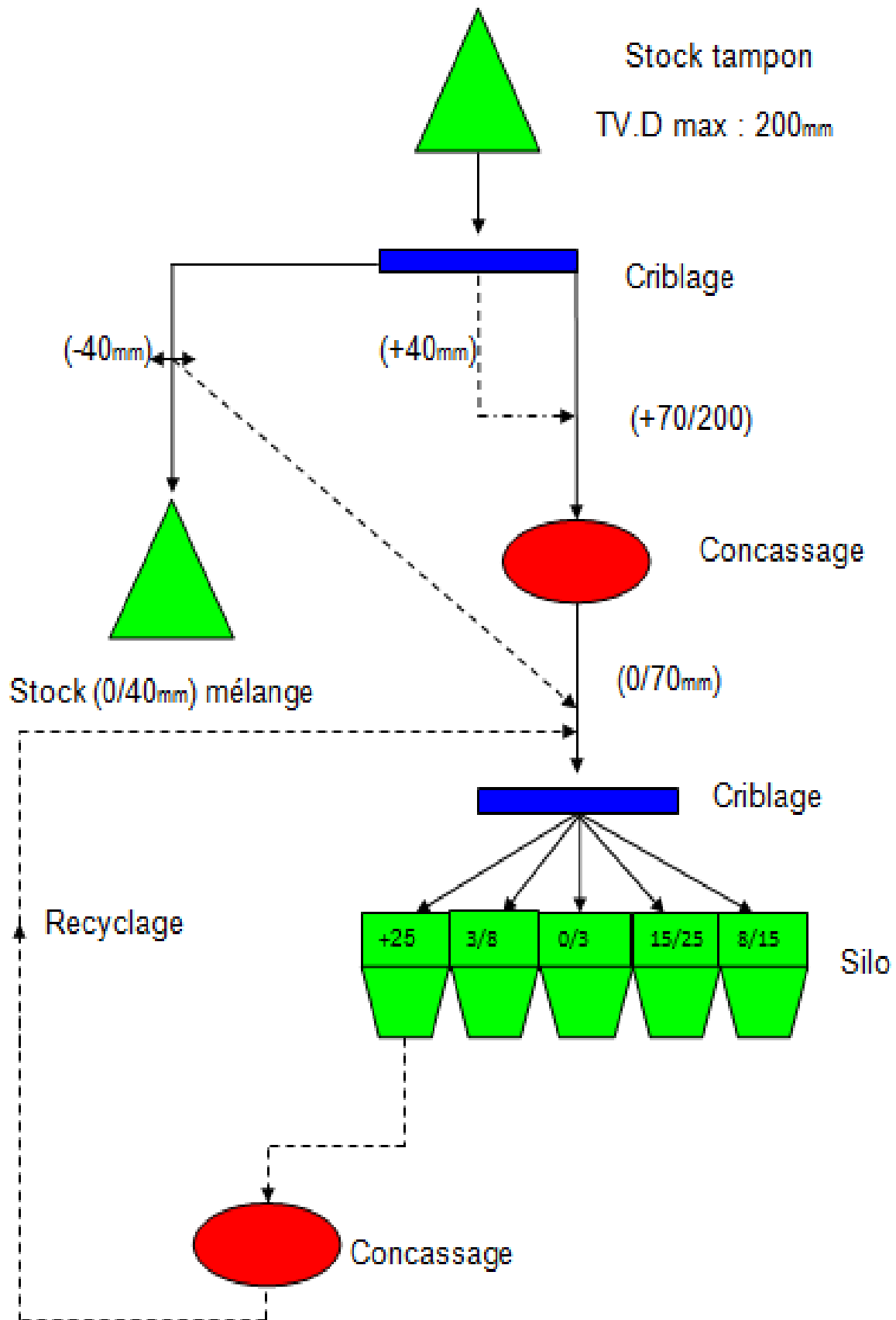


Figure II.5 : Schéma technologique de la station ARJA.



**II.1.7.5 Station de sable ARJA (Figure II.6)**

La station de sable ARJA est alimentée à partir des deux silos des deux granulométries 25/40 et 40/70 de la station BABBITLESS par voie du convoyeur de la recomposition. Le produit est soutiré des silos à l'aide de deux extracteurs et déversé dans un petit silo de 25 m<sup>3</sup> de capacité.

Le produit du silo est soutiré par un extracteur à balourd pour alimenter l'appareil principal de la station, soit le broyeur à percussion PISCIS 3000 RP.

Le produit issu du broyeur à percussion est dirigé vers deux cribles à deux étages montés en parallèle, où la fraction inférieure à 04 mm avec un débit de 108 T/H, représentant le produit fini de l'installation est déversé dans un silo de 90 m<sup>3</sup>.

Par contre la fraction supérieure à 4 mm est remise dans le silo de réception pour être à nouveau recyclée.

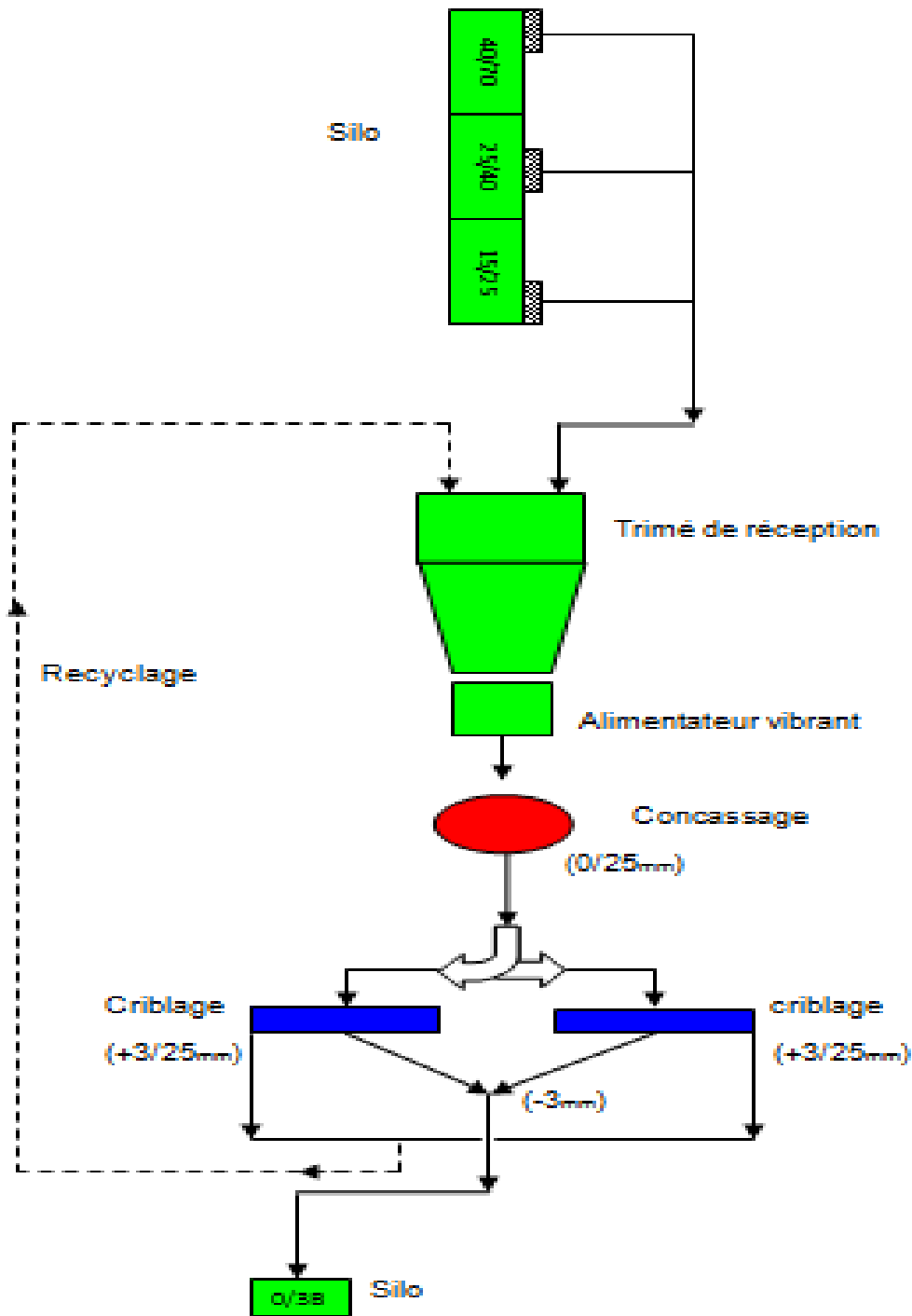


Figure II.6 : Schéma technologique de la station ARJA Sable.

### II.2 Présentation de l'unité de Si Mustapha [9] [2]

#### II.2.1 Présentation générale de l'unité

L'unité de production de Si-Mustapha est rattachée à l'Entreprise Nationale des Granulats 'ENG', regroupant 10 unités de production et une usine de carbonate de calcium ainsi qu'une filiale RoCaAl chargé de pierres ornementales, réparties d'Est en Ouest sur neufs wilayas, elle totalise une expérience de 27 années. Elle couvre une superficie de 59 hectares et se situe dans la commune de Si-Mustapha, daïra d'Isser, willaya de Boumerdès, à environ 03 Km au Nord-Est de la ville de Thénia. On y accède par le chemin de wilaya qui relie la ville de Thénia à celle de Zemmouri.

L'entrée en production est intervenue en 1980. Le gisement a été mis en évidence suite aux campagnes de prospection effectuées en 1976 et 1978. Les réserves sont estimées selon l'étude géologique faite en 1976 par l'Ingénieur Géologue I.MEDVIDEV.

La région d'étude est caractérisée par une agriculture développée et une industrie en expansion ; les conditions d'infrastructure sont bonnes.

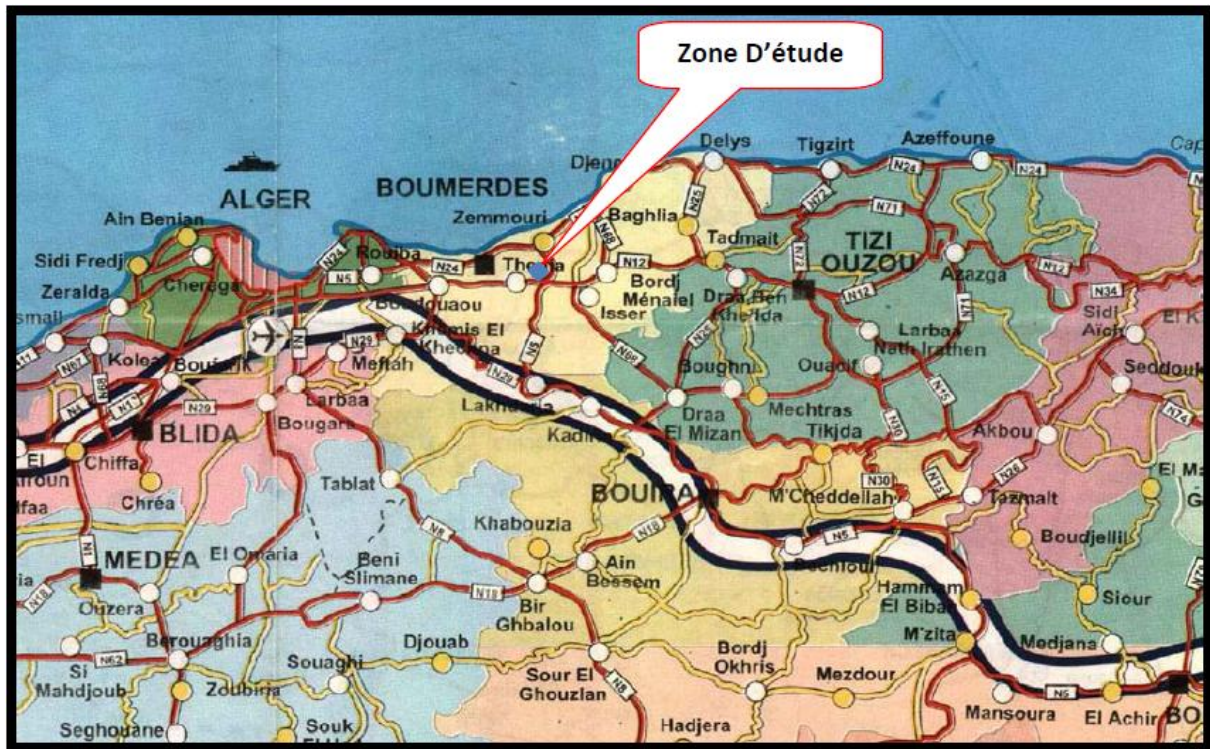
L'Entreprise Nationale des Granulats 'ENG', issue de la restructuration de la SNMC (Société Nationale des Matériaux de Construction), a été créée par décret N° 86.270 du 04 novembre 1986, avec effet à partir du 1er Janvier 1987.

Le plan d'exploitation de l'Unité de Si-Mustapha pour l'année 2013 est élaboré pour un volume de production de 2 000 000 tonnes en abattage.

#### II.2.2 Situation géographique et administrative de l'unité

Le gisement est localisé dans la commune de Si-Mustapha, Wilaya de Boumerdès.

Il est situé à 53 km à l'Est d'Alger et à 3 km au Nord-Est de la ville de Thénia. On accède au site via un chemin de wilaya qui relie la ville de Thénia à Zemmouri sur une distance de 3 Km. Administrativement, il est rattaché au territoire de la commune de Si Mustapha.



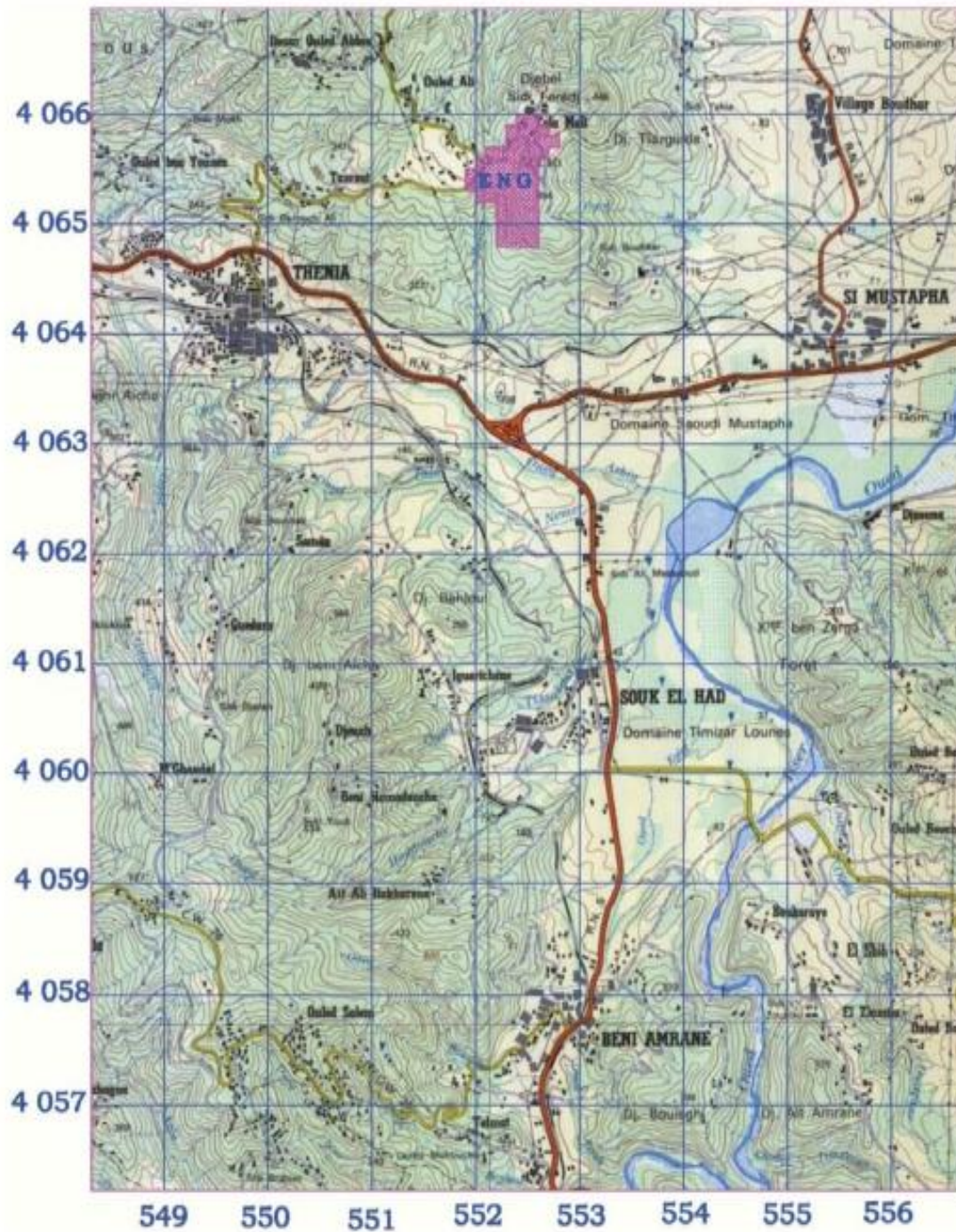
**Figure II.7 :** Carte de la situation géographique de l'unité de Si Mustapha (*Extrait de la carte touristique de l'Algérie du Nord Echelle 1/1 000 000<sup>e</sup>*)

### II.2.3 Localisation du gisement

Le gisement est situé dans la partie centrale du massif Djebel Boukhenfer. Géomorphologiquement le massif représente une élévation ovale de 411.2 m, en s'étendant dans la direction Nord-Ouest. Le gisement est défini par les coordonnées UTM Nord-Sahara ci-après, avec une superficie de 59 Ha.

**Tableau II.4 :** Coordonnées des points du périmètre du gisement de Si Mustapha.

Borne	X	Y	Borne	X	Y
1	552 800	4 065 800	13	552 000	4 065 500
2	552 800	4 065 700	14	552 000	4 065 600
3	552 700	4 065 700	15	552 100	4 065 600
4	552 700	4 065 600	16	552 100	4 065 700
5	552 600	4 065 600	17	552 300	4 065 700
6	552 600	4 064 800	18	552 300	4 065 900
7	552 200	4 064 800	19	552 400	4 065 900
8	552 200	4 065 200	20	552 400	4 066 000
9	552 000	4 065 200	21	552 600	4 066 000
10	552 000	4 065 300	22	552 600	4 065 900
11	551 900	4 065 300	23	552 700	4 065 900
12	551 900	4 065 500	24	552 700	4 065 800



**Figure II.8 :** Situation topographique du périmètre de l'unité de Si Mustapha (*Extrait de la Carte Topographique de BORDJ MENAÏEL à l'Echelle 1/ 50 000, Feuille N° NJ-31-V4*)

### II.2.4 Géologie du gisement

Le gisement de Si Mustapha fait partie du massif de Thenia. Il est constitué essentiellement de granodiorites à grains fins et moyens de couleur gris à gris foncé à teinte verdâtre. La surface du massif est altérée. L'épaisseur de la zone d'altération varie de 0 à 22m. La profondeur maximale d'altération a été reconnue dans la partie Sud-Est du gisement faisant partie de la zone de dépressions géologiques.

Des franges de granodiorites très fissurées se manifestent assez souvent.

Les roches quaternaires sont représentées au gisement par des sables éluviaux et déluviaux de couleur brune, par endroits, on observe des interlites d'argile. La puissance des formations quaternaires varie de 1m à 20-22 m faisant une moyenne de 5,6m.

### II.2.5 Caractéristique du gisement

Le gisement est constitué par des granodiorites fins et moyens, souvent porphyroïdes et de diorites quartzique constituées de plagioclases (52 à 69%), de quartz (10 à 17%), de biotite (0 à 10%), de chlorite (5 à 10%) et d'amphibole (0 à 5%).

La roche est très altérée et chloritée (la chloritisation a gagné la biotite et l'amphibole) ; du carbonate et de la montmorillonite se développent souvent au dépens des plagioclases. Elle est très hétéro granulaire et montre des feldspaths plagioclases fortement zonés et des cristaux d'orthose sub-automorphes, ces deux types de feldspath sont parfois composites, ce qui est typique à des feldspaths magmatique.

Le teint verdâtre est dû à la présence dans les roches de minéraux foncés de hornblende, de chlorite de biotite et plus rarement de pyroxène.

### II.2.6 Caractéristique de la roche

#### ➤ Composition minéralurgique de la roche

Les analyses chimiques confirment l'acidité de gisement de si Mustapha, le résultat moyen des différents échantillons est dans le Tableau :

**Tableau II.5** : Composition chimique de la roche (Si Mustapha).

Composition	SiO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	PAF
<b>Pourcentage</b>	<b>60,70%</b>	<b>15,93%</b>	<b>5,89%</b>	<b>6,10%</b>	<b>0,23%</b>	<b>3,96%</b>	<b>2,74%</b>	<b>-</b>	<b>3,66%</b>

#### ➤ Caractéristiques physico chimiques

Les granodiorites ont été étudiées dans le but de leur utilisation ; en tant qu'agrégats fins et grossiers aux bétons et dans la construction routière. D'après les essais physico-mécaniques, les agrégats de granodiorites présentent les résultats suivants :

**Tableau II.6** : Caractéristique physico-chimiques de la roche (Si Mustapha).

Caractéristiques	Résultats obtenus
Poids spécifique	2,65 t/m <sup>3</sup>
Poids volumique	2,5 t/m <sup>3</sup>
Porosité	3,2 %
Absorption d'eau	2 %
Résistance à la compression	665 kg/cm <sup>3</sup>
Résistance à la fragmentation (Los Angeles)	27 %

### II.2.7 Traitement

L'élaboration de produit fini au niveau de Si-Mustapha se fait ainsi par deux installations:

- Une station primaire avec deux postes A et B.
- Deux stations secondaires :
  - ✓ L'installation DRAGON.
  - ✓ L'installation SANDVICK.

#### II.2.7.1 Station primaire

Les deux postes A et B peuvent fonctionner en même temps comme ils peuvent fonctionner individuellement. Chaque poste a son propre concasseur à mâchoire, le produit passant se divisera en deux classes : le stérile 0/40 et le 0/200 qui alimentera le pré-stock.

Le tout venant, avec une grosseur de 1000 mm maximale, est déversé à l'aide des dumpers (camions) dans une trémie réceptrice (appelée aussi alimentateur ou scalpeur, 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 est soumise soit à un criblage préalable dans un crible à deux étages où la fraction 0-40 mm est exclue comme stérile, soit elle rejoint le produit issu du concasseur à l'aide d'un by-pass pour un pré-stockage dans un chapeau chinois.

La fraction supérieure à 200 mm sélectionnée par un alimentateur passe par un concasseur à mâchoire d'un débit de 400 t/h.

La schématisation de cette station est mentionnée dans la figure ci-dessous :



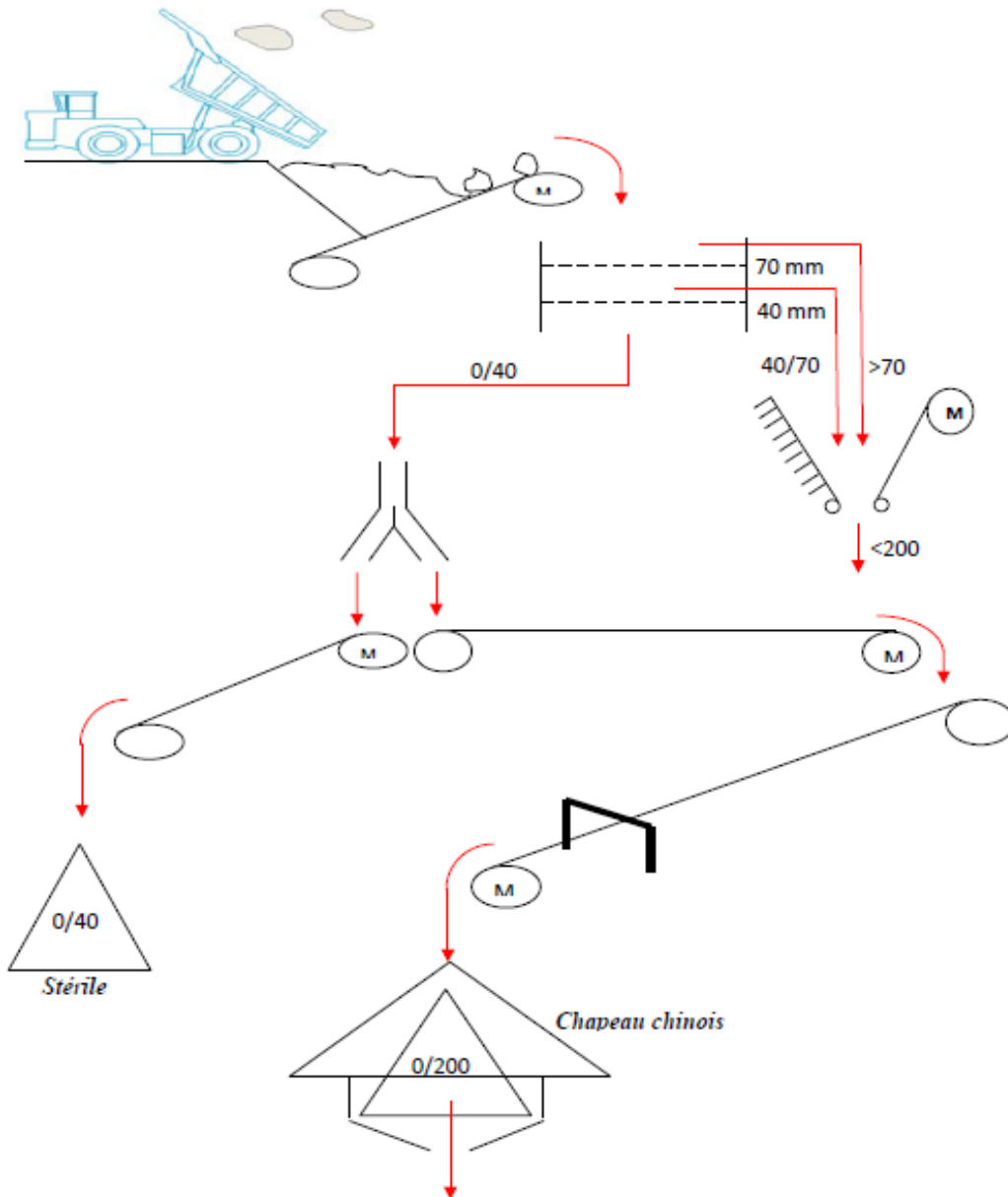


Figure II.9 : Schéma de la station primaire (Si Mustapha).

### II.2.7.2 Station secondaire

#### ➤ Dragon

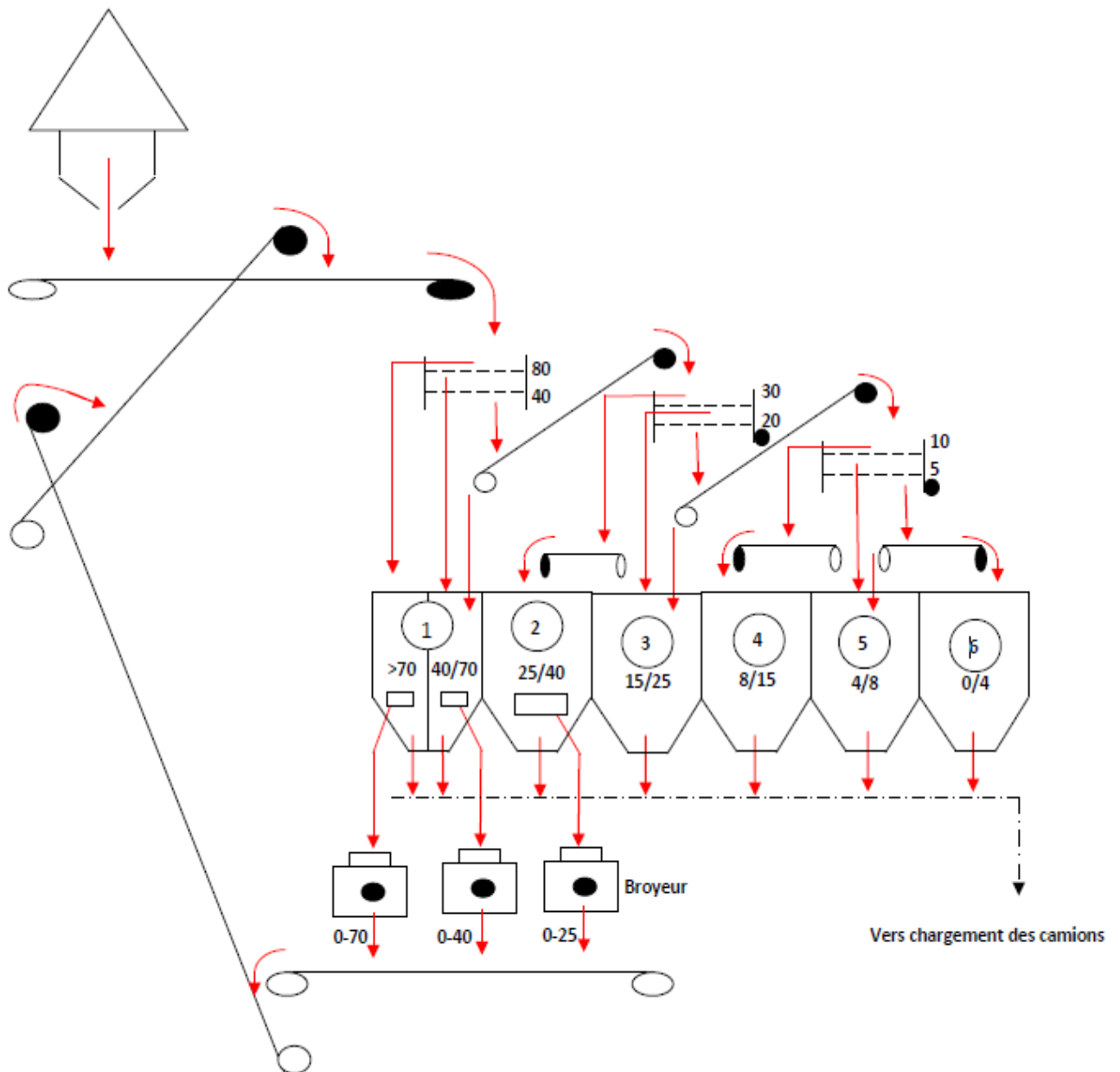
Le produit de pré-stockage avec une grosseur de 0-200 mm est soumis dans une série de criblage sur trois cribles à deux étages 40-80, 20-30 et 5-10 mm.

#### - Fractions du premier crible 40-80 mm :

- Fraction supérieure à 70 mm stocké dans un silo1 avec chargement direct vers les camions ou avec la possibilité de la remettre dans le cycle pour un broyeur de 0/70 mm.
- Fraction -70 + 40 mm stocké dans un silo1 avec chargement direct vers les camions ou avec la possibilité de la réduire dans un broyeur de 0/40 mm.

- **Fractions du deuxième crible 20-30 mm :**
- Fraction -40+25 mm avec la possibilité de la soumettre soit au stock dans le silo2 ou réduire par broyeur 0-25 mm puis recycler.
- Fraction -25+15 mm stocké dans le silo3 sans recyclage.
- **Fractions du troisième crible 5-10 mm sans recyclage :**
- Fraction -15+8 mm stocké dans le silo4.
- Fraction -8+ 3 mm stocké dans le silo5.
- Fraction -3+0 mm stocké dans le silo6.

La schématisation de l'installation secondaire DRAGON est représentée dans la figure (II.10) ci-dessous:



**Figure II.10 :** Schéma de la station secondaire DRAGON.



**Chapitre III :**  
**Généralités**  
**sur le**  
**concassage**

## III.1 Introduction [10]

La fragmentation d'un solide s'opère sous l'action d'un champ de contraintes tridimensionnelles non homogènes générées 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 de la mine ou de la carrière jusqu'à une dimension de l'ordre de quelques centimètres.

## III.2 Types de concasseurs et leurs principes de fonctionnement

Pour réaliser le concassage, on utilise des appareils de plusieurs types, dans lesquelles les procédés vaincraient les forces de cohésions des particules. La fragmentation met en œuvre trois actions : compression, impact et attrition.

### III.2.1 Machines opérant par compression (écrasement)

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.

#### III.2.1.1 Concasseurs à mâchoires

##### ➤ 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 mâchoire verticales sont le concasseur à simple effet et le concasseur à double effet. Mais actuellement dans l'industrie minière, seuls, sont utilisés les concasseurs à simple effet qui sont moins lourds que les concasseurs à double effet.

#### III.2.1.2 Concasseurs giratoires

##### ➤ Principe de fonctionnement et description

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

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

Le concasseur giratoire est l'un des principaux types de concasseurs primaires dans les mines ou les usines de traitement du minerai. Les concasseurs giratoires sont désignés par leur taille, soit selon l'ouverture maximum et le diamètre inférieur de la mâchoire mobile, soit par la taille de l'ouverture de réception. Les concasseurs giratoires peuvent être utilisés pour le concassage primaire ou secondaire. Le concassage est causé par la fermeture de l'écart entre la mâchoire mobile montée sur l'arbre central vertical et les doublures concaves (fixes) montées sur le châssis principal. Cet écart varie grâce à un excentrique sur la partie inférieure de l'arbre, qui entraîne l'arbre central vertical en rotation. L'arbre vertical est libre de tourner autour de son axe. Ce qui signifie que l'axe principal est suspendu au sommet et que l'excentrique est monté au-dessus de la couronne. La conception à arbre court a remplacé la conception à arbre long dans lequel l'excentrique est monté au-dessous de la couronne.

### III.2.1.3 Concasseurs à rotors dentés

#### ➤ Principe de fonctionnement 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.

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

## III.2.2 Machines opérant par choc

### III.2.2.1 Le concasseur à percussion

#### ➤ Généralités

Le principe général de la plupart des appareils opérant par chocs est simple : un rotor tournant à une 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.

#### ➤ Principe de fonctionnement

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

- Une courbe granulométrique des produits obtenus est beaucoup plus riche en éléments fins ;
- Les produits sont sensiblement 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 par une certaine mesure (appareils verticaux) en remplaçant les enclumes métalliques par une couche de matériaux, mais au détriment d'autres caractéristiques de ces appareils.

Les concasseurs à percussions sont divisés en plusieurs types :

- Rotor à axe horizontal :
  - A percuteurs rigides.
  - A percuteurs articulés.
- Rotor à axe vertical.
  - A impact unique.
  - A double impact.
  - Synchro concasseurs.

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

Le concasseur à percussion utilisé pour l'élaboration de cette thèse étant un concasseur à percussion à axe horizontal à percuteurs rigides.

### ➤ Concasseurs à percussion à axe horizontal

#### • 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.

Les 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 concassages, quelques machines ont trois écrans pour augmenter 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 importante.
- Il existe un 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 23 à 55 m/s a une influence directe sur la composition granulométrique. C'est-à-dire, pour varier la production granulométrique intermédiaire en fonction du marché.

#### • Concasseurs à percuteurs articulés

Le principe est le même que le concasseur à percussions 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 bourrage apparaît et est atténué par le remplacement des percuteurs rigides par des percuteurs articulés.

Les caractéristiques des concasseurs à percuteurs articulés :

- Il est possible d'adapter le diamètre du rotor ;
- Ces concasseurs ont été très employés en tertiaire, ils restent très sensibles à l'abrasivité des matériaux ;
- Quand il s'agit de matériaux tendres et non colmatant, il est tenant des les utiliser en position primaire. Il s'agit alors, dans la majorité des cas, du seul étage de réduction.



### ➤ Avantages et inconvénients des concasseurs à percussion à axe horizontal

Par leur conception, les appareils à chocs primaires sont des appareils permettant d'avoir 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 un 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.) ;

D'autre 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.

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.

### ➤ Concasseurs à percussions à axe vertical

#### • Concasseurs 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.

#### • Concasseurs à double impact

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 second est équipé soit d'un autre anneau blindé, soit d'un autogène.

#### • Concasseurs synchro

Ils se distinguent par un trajet des particules totalement déterministe, évitent à la fois les perturbations à l'impact et les interférences entre particules. Les particules sont d'abord guidées le long des pales d'un distributeur rotatif et projetées par les forces centrifuges. Avec une vitesse de décollage la plus faible possible sur une enclume tournant dans le même sens et positionné transversalement sur leur parcours pour augmenter leur énergie cinétique grâce à l'accélération qui leur a été communiquée. Après un 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, soit contre un anneau autogène.

### III.3 Conclusion

Le concassage à percussion constitue un progrès par rapport au concassage par écrasement ; il permet d'avoir, le plus souvent des coefficients de réduction presque deux fois supérieurs, et l'obtention de matériaux riches en éléments fins, qui sont souvent utilisables.

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 leurs incompatibilités 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 confère.

**Chapitre IV :**  
**Les essais**  
**effectués**

## **IV. Les essais effectués**

### **IV.1 L'échantillonnage [18]**

#### **IV.1.1 Principe de l'échantillonnage**

Un échantillonnage ainsi qu'un transport de l'échantillon convenable et soigneux sont les conditions préalables et nécessaires d'une analyse donnant des résultats fiables. L'usage correct de l'appareillage spécifié empêche de fausser l'échantillonnage. On réduit à un niveau acceptable les écarts d'échantillonnage dus à l'hétérogénéité du lot si on procède à un nombre suffisant de prélèvements. Si le granulats est homogénéisé par des procédés de production, un seul prélèvement important peut être représentatif du lot.

Les prélèvements doivent être choisis au hasard dans toutes les parties du lot que l'échantillon globale est censé représenter. Des granulats sur lesquels on ne peut effectuer aucun prélèvement élémentaires (parce qu'il n'est pas accessible ou pour tout autre raison pratique) ne doivent pas être considérés comme appartenant au lot représenté par l'échantillon globale. Ainsi, si les prélèvements proviennent de granulats déchargés d'un silo, l'échantillon globale représente les granulats déchargés mais pas ceux qui restent dans le silo.

L'opérateur de l'échantillonnage doit être informé de l'objectif de l'échantillonnage.

La masse de l'échantillon globale doit être calculée en tenant compte de la nature et du nombre des essais, des dimensions des granulats et de leur masse volumique. Les nombres de prélèvement constituant l'échantillon global doit être choisi sur la base d'expériences passées d'échantillonnage de granulats similaires provenant de conditions de fabrications semblables.

#### **IV.1.2 Procédures d'échantillonnage**

L'échantillonnage peut se faire sur une bande transporteuse à l'arrêt, au point de déchargement des bandes transporteuses et des goulottes, sur silo ou sur stock.

##### **IV.1.2.1 Echantillonnage sur stock**

Des prélèvements de taille à peu près égale doivent être effectués en différents points, à différentes hauteurs ou profondeurs sur l'ensemble du stock. L'emplacement et le nombre de prélèvement doivent tenir compte de la manière dont le stock est construit, de sa forme et de la possibilité de ségrégation interne. Les prélèvements doivent être effectués à l'aide d'une pelle, une pelle à main ou d'une benne.

### **IV.2 Réduction des échantillons [17]**

#### **IV.2.1 Définitions et symboles**

➤ Division par moitiés : division d'un échantillon en sous échantillons de masse à peu près égales.

- Division aux  $\frac{3}{4}$  : division d'un échantillon en deux sous échantillons de masses respectives approximativement égales à  $\frac{3}{4}$  et  $\frac{1}{4}$  de la masse de l'échantillon original.
- Division aux  $\frac{5}{8}$  : division d'un échantillon en deux échantillons dont les masses sont approximativement égales à  $\frac{5}{8}$  et  $\frac{3}{8}$  de la masse de l'échantillon original.
  - $M_L$  masse de l'échantillon de laboratoire.
  - $M_s$  masse du sous échantillon.
  - $M_i$  masse de la prise d'essai spécifiée.

### IV.2.2 Réduction de l'échantillon à l'aide d'un diviseur rotatif

Placer l'échantillon dans la trémie et mettre le rotor en marche. Lorsque le rotor tourne à la vitesse de régime, mettre le distributeur vibrant en marche.

S'assurer que la machine a fait au moins 35 tours avant l'épuisement de l'échantillon de laboratoire. Si ce n'est pas le cas, recombinez les sous-échantillons et répétez la réduction de l'échantillon à une vitesse de distribution plus faible.

### IV.2.3 Réduction de l'échantillon à l'aide d'un diviseur à couloirs

Placer l'échantillon dans l'un des réceptacles du diviseur à couloirs et étaler régulièrement le matériau sur toute la longueur du réceptacle. Mettre en place les deux autres réceptacles.

Verser l'échantillon depuis le grand côté du diviseur à couloirs le long de la ligne médiane du diviseur à couloirs.

### IV.2.4 Réduction par quartage

Il s'agit d'une méthode manuelle, ne nécessitant que très peu de matériel. La figure détaille cette opération : étaler l'échantillon selon une forme circulaire régulière sur une feuille, et à l'aide d'une petite pelle ou d'une lame de papier rigide, séparer l'échantillon verticalement en deux moitiés symétriques et écarter l'une des deux moitiés de quelques centimètres, en prenant garde à ce qu'un minimum de poudre demeure sur la feuille de base. Scinder ensuite les deux moitiés par un nouveau plan vertical perpendiculaire au premier, puis séparer l'échantillon de sorte que l'on obtienne quatre quarts identiques. Prélever et rassembler les quarts 1 et 3 avec lesquels l'opération est répétée jusqu'à l'obtention de la quantité désirée. Quant aux quarts 2 et 4, ils serviront de témoins.

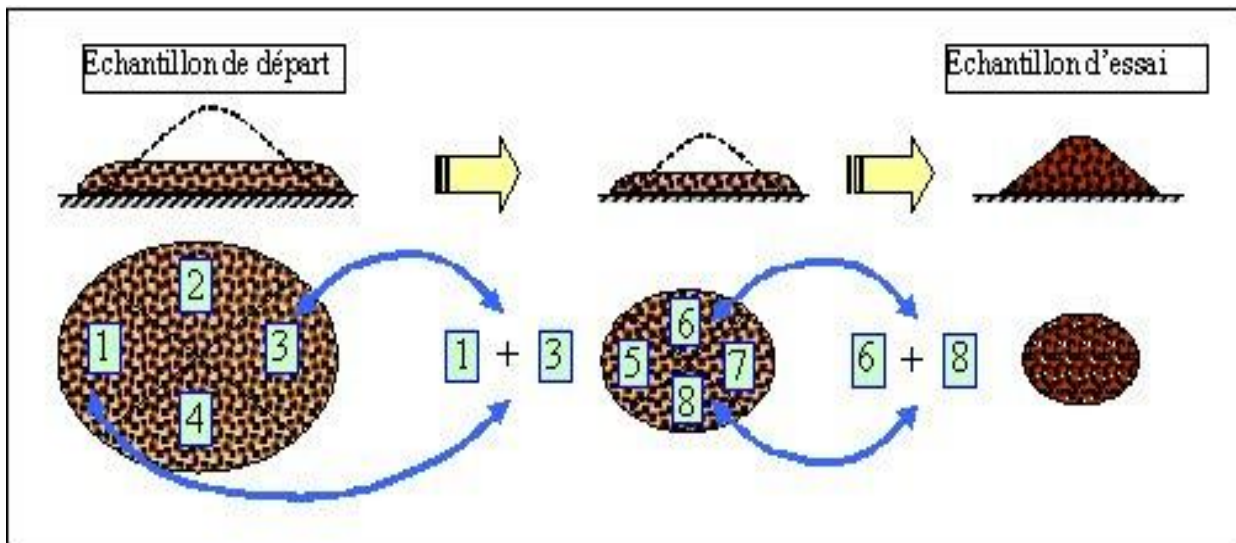


Figure IV.1 : Opération de quartage.

### IV.3 Essai Los Angeles [16]

#### IV.3.1 But de l'essai

L'essai Los Angeles a pour but de déterminer la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un granulat.

#### IV.3.2 Principe de l'essai

L'essai consiste à appliquer un cycle de broyage à sec à un échantillon de  $5\,000 \pm 5$  g. Une charge abrasive de boulets d'acier est introduite avec l'échantillon de  $5\,000 \pm 5$ g dans la machine Los Angeles. Ensuite, un cycle de 500 rotations du cylindre autour de son axe est réalisé, au rythme de 30 à 33 tr/min. Pendant chaque rotation, les boulets sont remontés par la plaque vers le haut du cylindre puis tombent en chute libre sur les particules restées dans le fond. À l'issue du cycle, l'échantillon est soigneusement récupéré et tamisé à l'aide d'un tamis de 1,6mm.

Soient  $M$  la masse de matériau soumis à l'essai et  $m$  la masse des éléments inférieurs ou passants à 1,6mm produits au cours de l'essai.

La résistance à la fragmentation par chocs est alors donnée par le coefficient Los Angeles, par la formule suivante:

$$LA = 100 \frac{m}{M}$$

Où : LA est le coefficient Los Angeles (%).

Les classes, parmi lesquelles est choisie la granularité du matériau soumis à l'essai, sont au nombre de 6 et ceux de la granularité du matériau tel qu'il est utilisé:

4/6,3 ; 6,3/10 ; 10/14 ; 10/25 ; 16/31,5 ; 25/50 mm.

Les conditions que doivent remplir quelques classes sont:

- La classe 10/25 mm doit contenir 60% de 10/16 mm.
- La classe 16/31,5 mm doit contenir 40% de 16/25 mm.
- La classe 25/50 mm doit contenir 60% de 25/40 mm.

**Tableau IV.1** : Charge des boulets pour chaque classe granulaire.

Classes granulaires (mm)	Nombre de boulets	Masse totale de la charge (g)
4/6,3	7	3080 (à +20 à - 150)
6,3/10	9	3960 (à +20 à - 150)
10/14	11	4840 (à +20 à - 150)
10/25	11	4840 (à +20 à - 150)
16/31,5	12	5280 (à +20 à - 150)
25/50	12	5280 (à +20 à - 150)

Le coefficient Los Angeles est d'autant plus élevé que le granulat est moins bon, la valeur spécifiée par les normes étant 40 %.

### IV.3.3 Matériels utilisés

- La machine Los Angeles: C'est un broyeur de forme cylindrique en acier d'axe horizontal, de diamètre intérieur de 711mm et une longueur interne de 508mm, comportant une plaque fixée sur une génératrice.
- Une charge abrasive, constituée de boulets sphériques en acier de 47mm de diamètre et pesants entre 420 et 445g.
- Un bac destiné pour recueillir le matériau après essai.
- Une série de tamis à mailles carrées de: 1,6 ; 4 ; 6,3 ; 10 ; 14 ; 16 ; 25 ; 31,5 ; 50 mm.

### IV.3.4 Préparation de l'échantillon

L'échantillon global doit être supérieur ou égale à 15000g. On réduit l'échantillon global avec un diviseur ou par quartage, jusqu'à obtenir un échantillon de 5000g, avec un seuil de tolérance de g. Ce dernier est tamisé à sec sur chacun des tamis de classe granulaire choisie par ordre de croissance, ensuite lavé, puis séché à l'étuve à  $105^{\circ} \pm 5^{\circ}$ , jusqu'à obtention de la masse constante.

## IV.3.5 Mode opératoire

- Effectuer une prise d'échantillon de 5000 g (détermination de la masse initiale).
- Laver l'échantillon pour éliminer les particules fines.
- Sécher jusqu'à obtention d'une masse constante.
- Mettre l'échantillon dans l'appareil Los Angeles.
- Introduire les boulets.
- Après 15 minutes de rotation, enlever le matériau.
- Laver ce dernier dans un tamis de 1,6 mm.
- Sécher le matériau jusqu'à obtention d'une masse constante.
- Peser le matériau après séchage (détermination de la masse finale).

## IV.4 Essais sur les sables

### IV.4.1 Analyse granulométrique [15]

#### IV.4.1.1 But de l'essai

Le but de l'analyse granulométrique consiste à caractériser les sables, en déterminant la distribution dimensionnelle des grains, la teneur en fines et le module de finesse (Mf).

#### IV.4.1.2 Principe de l'essai

L'essai consiste à séparer, au moyen d'une série de tamis emboîtés les uns sur les autres dont les ouvertures des mailles de tamis sont décroissantes du haut vers le bas (Ref. figure), un matériau en plusieurs classes granulaires de dimensions décroissantes. Les dimensions des mailles et le nombre des tamis sont choisis, en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision requise.

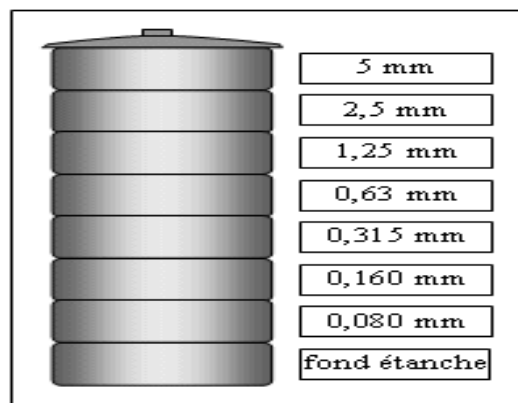


Figure IV.2 : Colonne de tamis.

Le procédé à adopter est le tamisage par lavage suivi d'un tamisage à sec.



Les masses de grains retenues sur les différents tamis sont rapportées à la masse initiale de matériau, en considérant que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1 % entre deux séquences de vibration de la tamiseuse. Puis on trace la courbe granulométrique sur un graphique, comportant en ordonnée le pourcentage des tamisats sous les tamis, dont les mailles  $D$  sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique.

### IV.4.1.3 Matériel nécessaire

- Tamiseuse ;
- Etuve ventilée pour le séchage;
- Dispositif de lavage;
- Série de tamis ;
- Couvercle, évitant la perte de matériau pendant le tamisage et un réceptacle de fond pour recueillir le dernier tamisât ;
- Bacs, brosses et pinces ;
- Balance de précision à  $\pm 0,1$  % de la masse de la prise d'essai.

### IV.4.1.4 Préparation de l'échantillon

Il faut une quantité assez faible pour que la durée de l'essai soit acceptable et que les tamis ne soient pas saturés et donc inopérants.

On réduit l'échantillon global avec un diviseur ou par quartage, jusqu'à avoir un échantillon supérieur ou égal à 200g, selon la norme EN 933-1.

### IV.4.1.5 Mode opératoire

- Détermination de la masse humide ( $M_h$ ) de l'échantillon en le pesant ;
- Sécher l'échantillon dans l'étuve ventilée à la température de  $(110 \pm 5)$  °C ;
- Déterminer la masse sèche totale ( $M_1$ ) de l'échantillon en le pesant ;
- Laver l'échantillon jusqu'à ce que l'eau soit claire ;
- Sécher à nouveau l'échantillon à 110°C ;
- Déterminer la masse sèche après lavage ( $M_2$ ) de l'échantillon ;
- Monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond ;
- Verser le matériau sec dans la colonne de tamis ;
- Agiter mécaniquement cette colonne ;
- Reprendre un à un les tamis, en commençant par celui qui a la plus grande ouverture, en adaptant un fond et un couvercle ;
- Agiter manuellement chaque tamis, jusqu'à ce que le refus du tamis ne varie pas de plus de 1% en masse par minute de tamisage ;
- Verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur ;
- Déterminer ainsi la masse du refus de chaque tamis ;
- Poursuivre l'opération jusqu'à déterminer la masse du refus contenu dans le fond de la colonne de tamis ;
- Vérifier la validité de l'analyse granulométrique imposée par la Norme NF EN 933-1.

**IV.4.1.6 Fuseau de spécification**

Le fuseau de spécification (Tableau IV.2) coïncide avec les limites decatégories définies dans les normes européennes des granulats, devant contenir le fuseau de régularité dans son intégralité.

C'est un ensemble de deux courbes granulométriques établies pour chaque dimension de tamis à partir des valeurs spécifiées.

Le pourcentage en poids entre deux tamis successifs de la série doit être inférieur à 40%, selon la norme NF P18 541.

Le fuseau de spécifications est déterminé par des valeurs spécifiées, qui sont définies enpourcentage de tamisâts :

- Valeur spécifiée inférieure (Vsi) — ;
- Valeur spécifiée supérieure (Vss); —

**Tableau IV.2** : Fuseau de spécification des sables.

Tamis (mm)	Vsi	Vss
5	95	100
2.5	80	100
1.25	55	90
0.63	30	70
0.315	15	40
0.16	5	20
0.063	0	15

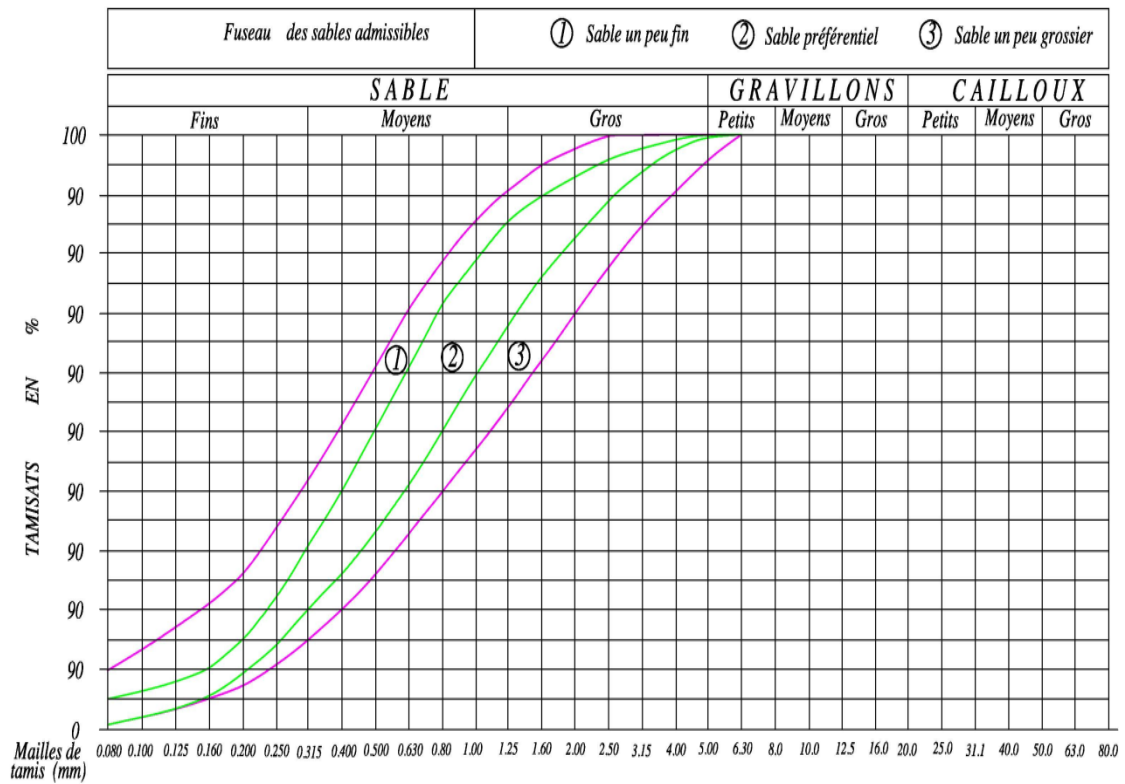


Figure IV.3 : Fuseau des sables admissibles.

**IV.4.1.7 Module de finesse**

Les sables doivent présenter une granulométrie de façon que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton, tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile.

La forme de la courbe permet d'observer et d'apprécier la granularité du granulat. Mais, ce n'est pas suffisant, surtout, pour le sable. Le module de finesse permet de fournir une information plus précise en quantifiant la granularité d'un sable. Cette grandeur indique si un granulat comporte plutôt des grains fins, grossiers ou s'il a une granularité régulière. C'est un indicateur important, pour déterminer la capacité d'un granulat de donner une compacité suffisante au béton. Le module de finesse est défini par la norme NF P 18-304.

La norme, tenant compte des caractéristiques des gisements, fixe les limites à 1.8 et 3.2, mais l'optimum qui donnera le meilleur compromis résistance-maniabilité-maintien de l'homogénéité se situe à  $2.5 \pm 0.35$  environ.

Le module de finesse d'un sable est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés, exprimé en pourcentage sur les tamis de la série suivante : 0.16 – 0.315 – 0.63 – 1.25 – 2.5 – 5 mm.

$$Mf = \frac{1}{100} \sum \text{refus cumulés en \% des tamis } \{0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5\}$$

- **Pour 1,8 <Mf< 2,2** : Le sable est à utiliser, si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- **Pour 2,2 <Mf< 2,8** : Le sable est à utiliser, si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.
- **Pour 2,8 <Mf< 3,2** : Le sable est à utiliser, si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité avec des risques de ségrégation.
- **Pour Mf > 3,2** : le sable est à rejeter.

**IV.4.1.8 La teneur en fines**

La teneur en fines, définie comme étant la fraction granulaire passant au travers du tamis de 0,063 mm, doit être inférieure à 15% pour les bétons de qualité.

Les fines confèrent au béton frais un pouvoir de rétention d'eau, permettant de s'opposer au ressuage et une cohésion assurant le maintien de l'homogénéité (absence de ségrégation). Leur excès devient défavorable, car il accroît la demande en eau, donc le rapport E/C. leur absence ne permet pas d'obtenir un béton suffisamment compact et réduit les résistances mécaniques.

La teneur en fines est obtenue par la relation suivante :

$$f = \frac{[(M_1 - M_2) + P]}{M_1} \times 100$$

Tel que P : matériau du fond de tamis.

**IV.4.2 Equivalent de sable [14]**

D'une façon générale, la propreté des granulats doit toujours être vérifiée ; l'utilisation de sables pollués provoque une baisse des résistances mécaniques et une augmentation du retrait, sans oublier un dosage en eau dans le béton plus important avec les incidences sur ses caractéristiques.

La propreté désigne principalement:

- La teneur en fines argileuses ou autres particules adhérentes à la surface des grains, ce qui se vérifie sur le chantier par les traces qu'elles laissent, lorsqu'on frotte les granulats entre les mains.
- Les impuretés susceptibles de nuire à la qualité du béton, parmi lesquelles on peut citer les scories, le charbon, les particules de bois, les feuilles mortes, les fragments de racine.

Le pourcentage des fines, ensemble de grains passant au tamis de 63 µm, peut être important dans les sables broyés ou concassés. En effet, un excès de fines nécessite un dosage en eau plus élevé, mais un manque de fines conduit à des bétons peu maniables, ségrégeables et de faibles compacités.

Cette étape est primordiale, pour quantifier la propreté de sable qui est fournie par l'équivalent de sable (ES), selon la norme EN 933-8.

**Tableau IV.3 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX.**

ES (%)	Nature et qualité de sable
Inférieur à 60	<b>Sable argileux:</b> risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité.
Compris entre 60 et 70	<b>Sable légèrement argileux:</b> de propreté admissible pour béton de qualité, quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
Compris entre 70 et 80	<b>Sable propre:</b> à faible pourcentage de fines argileuses, convenant parfaitement pour des bétons de haute qualité.
Supérieur à 80	<b>Sable très propre:</b> l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

**IV.4.2.1 But de l'essai**

L'équivalent de sable est appliqué principalement pour le choix, le contrôle des sables à béton et évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. Son principal objectif repose sur la détermination d'un coefficient d'équivalence de sable, quantifiant sa propreté.

#### IV.4.2.2 Principe de l'essai

Il permet de mesurer la propreté d'un sable, tout en rendant compte de la quantité des éléments fins contenus dans ce sable: fines de nature siliceuse ou calcaire et fines de nature argileuse, y compris celles qui recouvrent les granulats de dimension supérieure à 63 µm, n'apparaissant pas dans l'analyse granulométrique par voie sèche.

Il est appliqué uniquement sur la fraction de sable 0/2 mm, avec une teneur en humidité inférieure à 2 % et à la température de 23 ± 3°C. Dans certains cas, il peut s'avérer nécessaire de réduire ou d'augmenter la teneur en humidité naturelle, afin d'obtenir une prise d'essai, dont l'humidité est comprise entre 0% et 2%. Le tamisage se fait par voie humide, afin de ne pas perdre d'éléments fins.

L'essai d'équivalent de sable (SE) consiste à faire flocculer les éléments fins d'un sable mis en suspension dans une solution lavante, permettant de séparer les éléments fins argileux et provoquant la floculation, puis, après un temps de mise au repos donné, à mesurer la hauteur des fines flocculées, sable propre + flocculat =  $h_1$  ; la hauteur de sable propre,  $h_2$  si c'est au piston ou  $h'_2$  si c'est au réglet.

L'équivalent de sable est donné par la formule suivant:

$$ES = 100 \frac{h_2}{h_1}$$

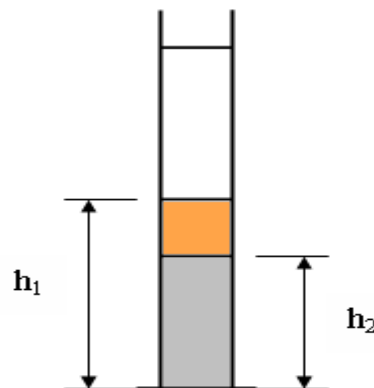


Figure IV.4 : Détermination de l'équivalent de sable.

#### IV.4.2.3 Préparation de l'échantillon

L'échantillon de laboratoire doit être réduit par une opération de division ou par quartage, afin d'obtenir une prise d'essai.

Le sable 0/4 mm doit être réduit à la fraction 0/2 mm, à l'aide d'un tamis de mailles carrées de 2mm, avec une teneur en humidité inférieure à 2%.

Ensuite, on prépare les deux échantillons humides de sable sec, dont la masse humide de chaque échantillon est égal à 120(1+w) g.

Où w est la teneur en eau de l'échantillon, telle que:  $w = \text{Masse d'eau} / \text{Masse sèche}$ .

### IV.4.2.4 Matériel nécessaire

- Un tamis de mailles 2 mm avec fond et couvercle;
- Deux éprouvettes cylindriques transparentes en matière plastique, de diamètre intérieur 32 mm, de hauteur 430 mm, munies de deux repères à 100 et 380 mm de la base;
- Un bouchon en caoutchouc, s'adaptant sur les éprouvettes;
- Un entonnoir à large ouverture pour transvaser l'échantillon;
- Un piston taré de 1 kg;
- Une réglette métallique graduée, de 500 mm de longueur;
- Un flacon de 5 litres muni d'un siphon (placé à 1 mètre au-dessus de la table de travail), contenant une solution lavante à base de solution concentrée, de chlorure de calcium + glycérine + solution aqueuse de formaldéhyde;
- Un tube laveur relié au flacon avec un robinet d'arrêt;
- Une machine agitatrice;
- Un chronomètre;
- Une main écope pour le remplissage;
- Une balance, avec une précision de 0,2 g;
- Des bacs en plastique pour effectuer les essais.

### IV.4.2.5 Mode opératoire

- Déterminer la teneur en eau de l'échantillon ;
- Préparer deux échantillons de  $120(1+w)$  g ;
- Remplir l'éprouvette cylindrique jusqu'au trait inférieur, en utilisant le tube laveur relié au flacon contenant la solution lavante. Amorcer si nécessaire le siphon en soufflant dans le tube court, tout en ouvrant le robinet du tube laveur ;
- Verser progressivement à l'aide de l'entonnoir, l'échantillon humide dans l'éprouvette puis frapper fortement à plusieurs reprises la base de l'éprouvette sur la paume de la main, afin de déloger les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon ;
- Laisser reposer 10 minutes ;
- Boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et la fixer correctement sur la machine agitatrice de telle sorte que le bouchon soit bloqué ;
- Enclencher la machine, agitant horizontalement l'éprouvette suivant 90 cycles de 20 cm en 30 secondes ;
- Rincer le bouchon avec la solution lavante à l'aide du tube laveur au-dessus de l'éprouvette et rincer les parois de l'éprouvette ;
- Faire remonter les éléments fins, tout en maintenant l'éprouvette en position verticale en procédant de la manière suivante: l'éprouvette étant soumise à un lent mouvement de rotation, remonter lentement et régulièrement le tube laveur ;
- Fermer le robinet, lorsque le niveau de la solution atteint le trait repère supérieur (compléter éventuellement le volume déplacé par le tube) ;
- Laisser reposer 20 minutes ;
- Mesurer à l'aide de la réglette, la hauteur  $h_1$  du niveau supérieur du floculat par rapport au fond de l'éprouvette ;

- Descendre doucement le piston dans l'éprouvette, jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, le manchon coulissant prenant appui sur l'éprouvette ;
- Bloquer le manchon coulissant sur la tige du piston ;
- Introduire la réglette dans l'encoche du manchon, amener le zéro contre la face inférieure de la tête du piston et lire la hauteur  $h_2$  du sable propre au niveau de la face supérieure du manchon.

### IV.4.3 Essai au bleu de méthylène [13]

Les molécules de bleu de méthylène ont pour propriété de se fixer sur les surfaces externes et internes des feuillettes d'argile, la quantité de bleu adsorbée par 100 g de sol s'appelle « Valeur Au Bleu » du sol et est notée VBs, la VBs reflète globalement :

- La teneur en argile (associée à la surface externe des particules).
- L'activité de l'argile (associée à la surface interne).

#### IV.4.3.1 But de l'essai

L'essai au bleu de méthylène permet d'évaluer la surface spécifique d'échange d'un matériau argileux. Donc, mesurer la capacité d'adsorption du bleu de méthylène.

#### IV.4.3.2 Principe de l'essai

Des doses d'une solution de bleu de méthylène sont ajoutées successivement à une suspension de la prise d'essai dans l'eau. L'adsorption de la solution colorée par la prise d'essai est vérifiée après chaque addition de solution en effectuant un test à la tache sur du papier filtre pour déceler la présence de colorant libre.

Lorsque la présence de colorant libre est confirmée, la valeur de bleu de méthylène est calculée et est exprimée en grammes de colorant adsorbé par kg de la fraction granulaire testée.

La valeur du bleu de méthylène,  $MB$ , est obtenue à l'aide l'équation suivante :

$$MB = 10 \frac{V_1}{M_1}$$

Où :  $M_1$  est la masse de la prise d'essai en grammes ;

$V_1$  est le volume total de solution de colorant injectée, en millilitres.

#### IV.4.3.3 Préparation de l'échantillon

- Les échantillons de laboratoire doivent être réduits pour obtenir un sous-échantillon contenant au moins 200gr de la fraction de 0/2 mm ;
- Sécher le sous-échantillon à  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$  jusqu'à masse constante et le laisser refroidir ;
- Passer le sous-échantillon sous séché sous un tamis de 2 mm, pour s'assurer de la séparation et de la récupération de toutes les particules de la fraction de 0/2 mm ;
- Peser la prise d'essai et noter la masse au gramme près ( $M_1$ ).



### IV.4.3.4 Matériel nécessaire

- Une burette, d'une capacité de 100ml ;
- Papier filtre d'épaisseur 0,20 mm ;
- Tige de verre, longueur 300 mm ; diamètre : 8 mm ;
- Agitateur à ailettes avec une vitesse de rotation pouvant atteindre  $(600 \pm 60)$  tr/min avec 3 ou 4 ailettes  $(75 \pm 10)$  mm de diamètre.
- Balance précise à 0,1% de la masse de la prise d'essai ;
- Chronomètre gradué en secondes ;
- Tamis de 2 mm ;
- Bécher, d'une capacité de 1 à 2 litres ;
- Fiole en verre d'une capacité d'un litre ;
- Etuve ventilée pouvant maintenir une température de  $(110 \pm 5)$  °C ;
- Spatule ;
- Dessiccateur.

### IV.4.3.5 Mode Opérateur

#### ➤ Préparation de la solution

- Verser  $(500 \pm 5)$  ml d'eau distillée ou d'eau déminéralisée dans le bécher et ajouter la prise d'essai séchée en remuant la spatule ;
- Ajouter la solution de colorant ou bien la mélanger uniformément. Remplir la burette de solution colorée et placer la solution restant dans un endroit sombre ;
- Régler l'agitateur sur une vitesse de 600 tr/min et positionner les ailettes à environ 10 mm du fond du bécher ;
- Mettre en marche l'agitateur et déclencher le chronomètre, agiter le contenu du bécher pendant 5min à  $(600 \pm 60)$  tr/min, puis agiter continuellement à  $(400 \pm 40)$  tr/min pendant la poursuite de l'essai.

#### ➤ Description du test à la tache :

- Après chaque injection de colorant, le test à la tache consiste à prélever à l'aide de la tige de verre une goutte de la suspension et de la déposer sur le papier filtre. La tache qui se forme est composé d'un dépôt central de matériau, en général d'une couleur bleu foncée, entourée d'une zone humide incolore.
- La quantité de suspension prélevée par la goutte doit permettre d'obtenir un dépôt dont le diamètre est compris entre 8 mm et 12 mm.
- Le test est considéré comme positif si, dans la zone humide, une auréole bleu claire, persistante d'environ 1 mm apparait autour du dépôt central.

➤ **Calcul de la quantité de colorant adsorbé :**

- Poser le papier filtre sur un bécher, ou sur un autre support approprié, de façon à ce que la plus grande partie de sa surface ne soit pas en contact avec du solide ou du liquide ;
- Après agitation de 5min à  $(600 \pm 60)$  tr/min, introduire dans le bécher une dose de 5ml de solution de colorant, agiter à  $(400 \pm 40)$  tr/min pendant au moins 1min et effectuer un test à la tache sur le papier filtre. Si après l'ajout des premiers 5ml de solution de colorant l'auréole n'apparaît pas, effectuer une autre addition de 5ml de solution de colorant, continuer à agiter pendant 1min et faire un autre test à la tache. Si aucune auréole n'est visible, continuer à agiter, en alternant les ajouts de colorants et les périodes de mélange jusqu'à apparition d'une auréole. Lorsque ce stade est atteint, continuer à agiter et sans autre ajout de solution de colorant, effectuer des tests à la tache toutes les minutes ;
- Si l'auréole disparaît durant les 4 premières minutes, ajouter une autre dose de 5ml de solution de colorant. Si l'auréole disparaît à la 5<sup>ème</sup> minute, ajouter seulement 2ml de solution de colorant. Dans tous les cas, continuer l'agitation et les tests à la tache jusqu'à ce que une auréole reste visible pendant 5min ;
- Enregistrer le volume total de la solution de colorant  $V_1$  ; ajouter pour obtenir une auréole qui est restée visible pendant 5min.

**Chapitre V :**  
**Partie**  
**expérimentale**

**V.1 Essai Los Angeles (Résistance à la fragmentation)**

**V.1.1 Introduction**

Les fractions de granulats (4/8, 8/16, 16/25, 25/40) utilisés dans cet essai, proviennent des carrières de Keddara et de Si Mustapha.

La résistance à la fragmentation par choc est donnée par la relation suivante :

$$LA = 100 \frac{m}{M}$$

Tel que : m = Masse initiale (M) – Masse finale.

- Les résultats obtenus par l'essai pour les granulats de Keddara sont représentés dans le tableau (V.1) suivant :

**Tableau V.1** : Résistance à la fragmentation par choc (LA) Keddara.

Granulats	Masse initiale [M] (g)	Nombre de boulets	Masse finale (g)	Masse [m] (g)	Coefficient Los Angeles LA (%)
Gravier (4/8)	5000	7	3870	1130	22,60
Gravier (8/16)	5000	11	3840	1160	23,20
Gravier (16/25)	5000	11	3820	1180	23,60
Gravier (25/40)	10000	12	6850	3150	25,50

**V.1.2 Analyse et interprétations des résultats (Keddara) :**

- D’après le tableau (V.1) ci-dessus, la fraction (4/8) a une résistance à la fragmentation la plus élevée, avec un coefficient LA= 22,60%, suivie des fractions (8/16) et (16/25), avec des coefficients LA de 23,20 et 23,60% respectivement. La (25/40) a le plus faibles coefficient, avec une valeur de 25,50%, puisque la résistance à la fragmentation diminue avec l’augmentation du coefficient LA.
- Il est connu que, dans un broyage, plus on augmente la charge des boulets, plus on produit d’éléments fins (7 boulets pour la fraction (4/8), 11 boulets pour les fractions (8/16) et (16/25) et 12 boulets pour la fraction (25/40)).
- La valeur maximale fixée par la norme Algérienne étant de 40%, on peut dire alors, que les produits de la carrière de Keddara (coefficient LA (moyen)= 23,8%) répondent aux exigences de la norme et présentent une résistance à la fragmentation admissible.

• Les résultats obtenus par l’essai pour les granulats de Si Mustapha sont représentés dans le tableau (V.2) suivant :

**Tableau V.2 : Résistance à la fragmentation par choc (LA) Si Mustapha.**

Granulats	Masse initiale [M] (g)	Nombre de boulets	Masse finale (g)	Masse [m] (g)	Coefficient Los Angeles LA (%)
Gravier (4/8)	5000	7	3630	1370	27,40
Gravier (8/16)	5000	11	3500	1500	30,00
Gravier (16/25)	5000	11	3480	1520	30,40
Gravier (25/40)	10000	12	6670	3330	33,30

### V.1.3 Analyses et interprétations des résultats de l'essai Los Angeles (Si Mustapha)

➤ D'après le tableau (V.2) ci-dessus, la fraction (4/8) a la résistance à la fragmentation la plus élevée, avec un coefficient LA=27,40% puis viennent les fractions (8/16) et (16/25) avec des valeurs de 30 et 30,40 % respectivement et en dernier, la fraction (25/40), qui a la plus faible résistance à la fragmentation avec une valeur de 33,30%.

➤ La proportion d'éléments fins augmente plus on augmente la charge broyante, ce qui explique la différence entre les coefficients LA des différentes fractions.

On peut aussi dire que, les granulats de la carrière de Si Mustapha (coefficient LA (moyen)=30,3%) répondent aux exigences de la norme (valeur maximale fixé à 40%) et qu'ils ont une résistance à la fragmentation admissible.

### V.1.4 Conclusion

Les résultats obtenus des carrières de Keddara et de Si Mustapha, répondent aux exigences de la norme, avec des coefficients LA (moyen) de 23,8 et de 30,3% respectivement (Inférieurs à 40%), donc, on dispose de produits avec une granularité constante qui ne changera pas avec le malaxage ou le transport en camion, ce qui ne modifiera pas la qualité du béton.

De plus, les résultats obtenus pour les produits de Keddara (LA (moyen) < 30%), nous permettent de dire, qu'ils conviennent à l'élaboration des bétons d'ouvrages d'art et les bétons pour les bâtiments.

## V.2 Préparation mécanique du sable :

Les granulats utilisés dans cette étude proviennent des carrières de Keddara et de Si Mustapha.

Les sables (0/4) de cette étude ont été obtenus après concassage des fractions 4/8, 8/16, 16/25, 25/40 provenant de ces deux carrières et cela à différentes vitesses 2900, 3200 et 3500 tr/min, au moyen du concasseur à percussions du laboratoire du département Génie Minier de l'Ecole Nationale Polytechnique.

## V.3 Analyse granulométrique

Le procédé utilisé est le lavage et le tamisage par voie sèche.

Les différents résultats sont représentés comme suit :

### V.3.1 Analyse granulométrique des sables issus des granulats de Keddara :

#### V.3.1.1 Sable (0/4) de Keddara :

Masse humide  $M_h = 338,68$  g.

Masse sèche  $M_1 = 336,5$  g.

Masse sèche après lavage  $M_2 = 287,8$  g.

Masse sèche de fines retirées par lavage  $M_1 - M_2 = 48,7$  g.

**Tableau V.3** : Analyse granulométrique du sable (0/4) de Keddara.

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus cumulés $R_i$ (g)	Pourcentage refus cumulés (%) $(R_i/M_1) \times 100$	Pourcentage de tamisâts cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_1) \times 100$
5	7,2	2,14	97,86
4	14,5	4,31	95,69
2,5	52,1	15,48	84,52
2	76,3	22,67	77,33
1,25	126,1	37,47	62,53
1	144,8	43,03	56,97
0,63	180,3	53,58	46,42
0,5	194,4	57,77	42,23
0,315	221,6	65,85	34,15
0,25	235,7	70,04	29,96
0,160	256,0	76,08	23,92
0,125	265,0	78,75	21,25
0,080	279,4	83,03	16,97
0,063	285,8	84,93	15,07

Matériau resté au fond du tamis P = 2g.

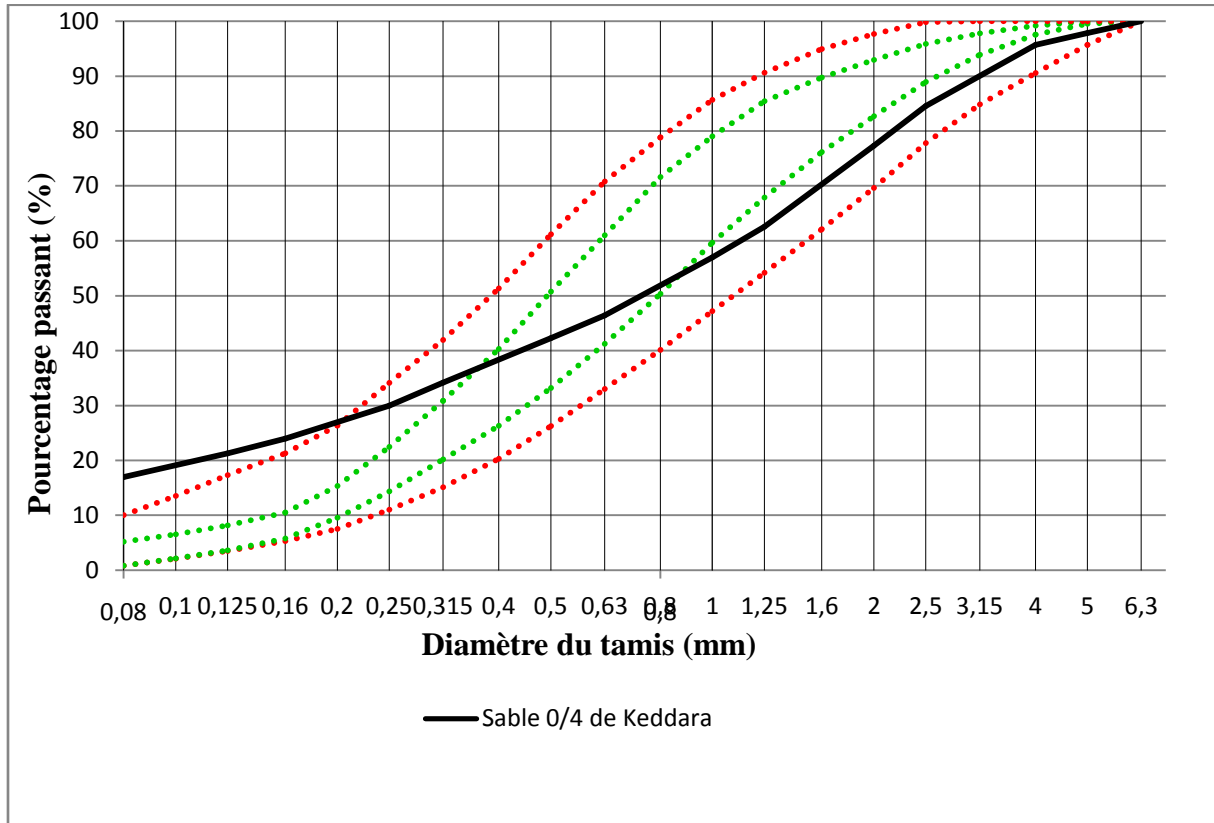


Figure V.1 : Courbe granulométrique du sable 0/4 de Keddara.

V.3.1.2 Sables obtenus à partir de la fraction (4/8) :

Tableau V.4 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (4/8) de Keddara.

Vitesse de concassage (tr/min)	Masse humide $M_h(g)$	Masse sèche $M_1 (g)$	Masse sèche après lavage $M_2 (g)$	Masse de fines retirées après lavage $M_1-M_2 (g)$	Matériau resté au fond du tamis P (g)
V = 2900	282,5	281,3	264,0	17,3	4,0
V = 3200	272,4	271,7	250,2	21,5	2,1
V = 3500	282,19	280,4	255,0	25,4	4,3



**Tableau V.5** : Analyse granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (4/8) de Keddara.

Ouvertures des tamis (mm)	Pourcentage de refus cumulés (%) $(R_i/M_1) \times 100$			Pourcentages de tamisâts cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_1) \times 100$		
	Vitesse de concassage (tr/min)			Vitesse de concassage (tr/min)		
	2900	3200	3500	2900	3200	3500
5	2,13	2,02	2,32	97,87	97,98	97,68
4	8,50	7,51	7,16	91,50	92,49	92,84
2,5	25,20	23,37	20,30	74,80	76,63	79,70
2	33,27	31,47	27,33	66,73	68,53	72,67
1,25	49,09	46,60	40,50	50,91	53,40	59,50
1	55,21	52,45	46,14	44,79	47,55	53,86
0,63	65,62	62,72	55,79	34,38	37,28	44,21
0,5	69,89	66,99	59,73	30,11	33,01	40,27
0,315	76,89	74,38	66,73	23,11	25,62	33,27
0,25	80,38	78,14	70,22	19,62	21,86	29,78
0,160	85,42	83,55	75,29	14,58	16,45	24,71
0,125	87,56	85,98	77,61	12,44	14,02	22,39
0,080	90,76	89,51	81,06	9,24	10,49	18,94
0,063	92,43	91,31	83,15	7,57	8,69	16,85

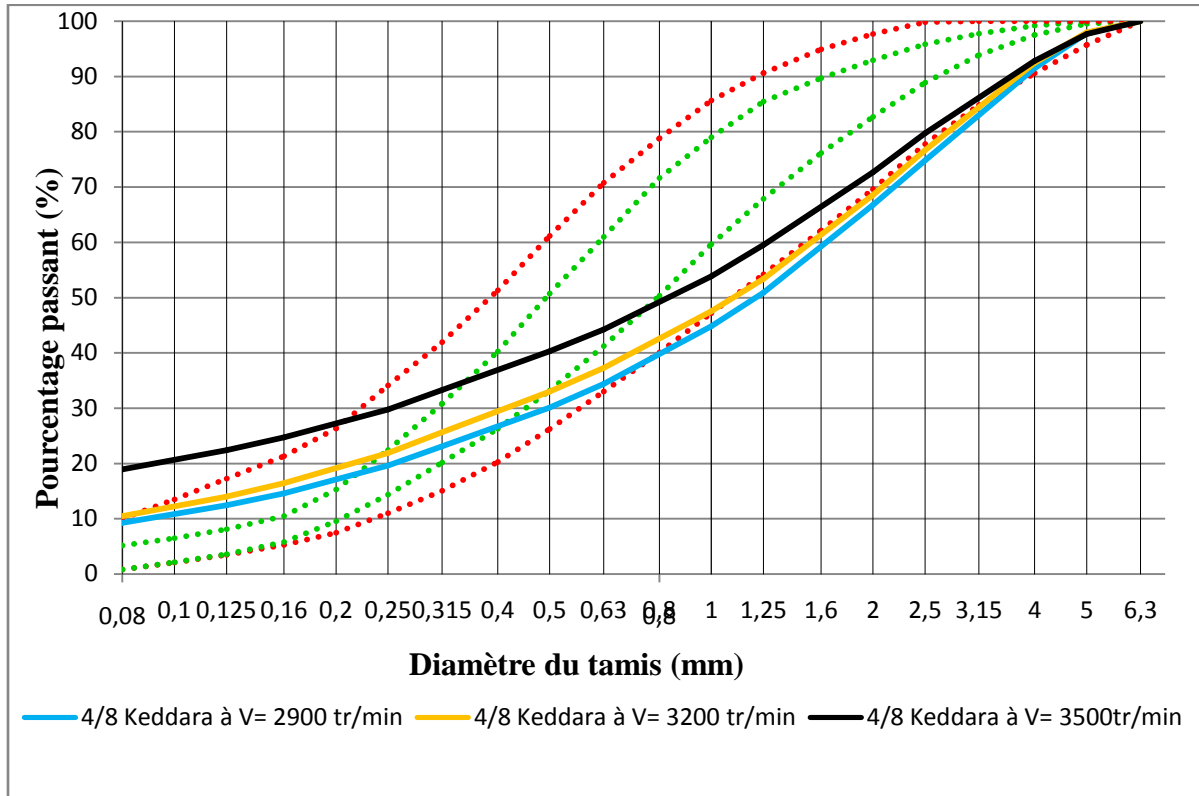


Figure V.2 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction 4/8 de Keddara.

V.3.1.3 Sables obtenus à partir de la fraction (8/16) :

Tableau V.6 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (8/16) de Keddara.

Vitesse de concassage (tr/min)	Masse humide $M_h$ (g)	Masse sèche $M_1$ (g)	Masse sèche après lavage $M_2$ (g)	Masse de fines retirées après lavage $M_1 - M_2$ (g)	Matériau resté au fond du tamis P (g)
V = 2900	269,2	268,5	250,0	18,5	4,4
V = 3200	246,3	245,8	219,4	26,4	2,2
V = 3500	303,7	301,8	271,0	30,8	3,0

**Tableau V.7 :**Analyses granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (8/16) de Keddara.

Ouvertures des tamis (mm)	Pourcentage de refus cumulés (%) $(R_i/M_1) \times 100$			Pourcentages de tamisats cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_1) \times 100$		
	Vitesse de concassage (tr/min)			Vitesse de concassage (tr/min)		
	2900	3200	3500	2900	3200	3500
5	8,79	3,09	4,17	91,21	96,91	95,83
4	12,96	7,36	8,71	87,04	92,64	91,29
2,5	25,47	19,77	19,88	74,53	80,23	80,12
2	33,07	26,24	26,38	66,93	73,76	73,62
1,25	47,56	40,60	39,83	52,44	59,40	60,17
1	53,59	46,26	45,56	46,41	53,74	54,44
0,63	63,72	56,67	56,30	36,28	43,33	43,70
0,5	67,82	61,07	60,64	32,18	38,93	39,36
0,315	74,97	68,76	68,69	25,03	31,24	31,31
0,25	78,47	72,62	72,80	21,53	27,38	27,20
0,160	83,72	78,76	79,03	16,28	21,24	20,97
0,125	85,96	81,57	81,91	14,04	18,43	18,09
0,080	89,50	86,00	86,48	10,50	14,00	13,52
0,063	91,47	88,36	88,80	8,53	11,64	11,20

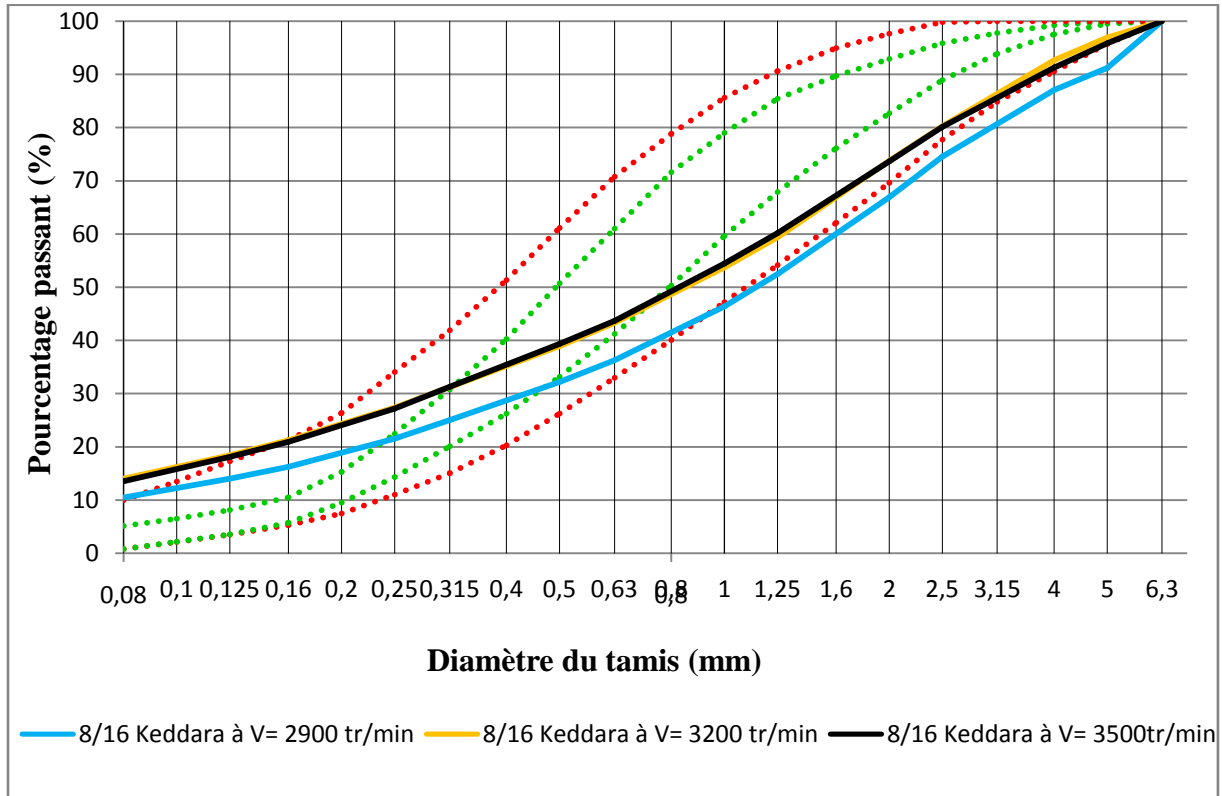


Figure V.3 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction 8/16 de Keddara.

V.3.1.4 Sables obtenus à partir de la fraction (16/25) :

Tableau V.8 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (16/25) de Keddara.

Vitesse de concassage (tr/min)	Masse humide $M_h$ (g)	Masse sèche $M_1$ (g)	Masse sèche après lavage $M_2$ (g)	Masse de fines retirées après lavage $M_1 - M_2$ (g)	Matériau resté au fond du tamis P (g)
V = 2900	224,8	223,9	208,5	15,4	3,0
V = 3200	290,4	289,0	263,1	25,9	2,5
V = 3500	300,8	299,2	267,0	32,2	3,0

**Tableau V.9 :** Analyses granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (16/25) de Keddara.

Ouvertures des tamis (mm)	Pourcentage de refus cumulés (%) $(R_i/M_1) \times 100$			Pourcentages de tamisâts cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_1) \times 100$		
	Vitesse de concassage (tr/min)			Vitesse de concassage (tr/min)		
	2900	3200	3500	2900	3200	3500
5	7,01	3,67	3,58	92,99	96,33	96,42
4	10,09	7,79	7,35	89,91	92,21	92,65
2,5	21,35	20,14	18,11	78,65	79,86	81,89
2	28,72	27,37	24,20	71,28	72,63	75,80
1,25	43,50	41,25	37,97	56,50	58,75	62,03
1	50,11	47,30	43,85	49,89	52,70	56,15
0,63	61,19	58,06	54,71	38,81	41,94	45,29
0,5	65,65	62,63	59,29	34,35	37,37	40,71
0,315	73,56	70,69	67,51	26,44	29,31	32,49
0,25	77,45	74,81	71,79	22,55	25,19	28,21
0,160	83,25	81,00	78,28	16,75	19,00	21,72
0,125	85,35	83,77	80,88	14,65	16,23	19,12
0,080	89,55	88,10	85,59	10,45	11,90	14,41
0,063	91,78	90,17	88,24	8,22	9,83	11,76

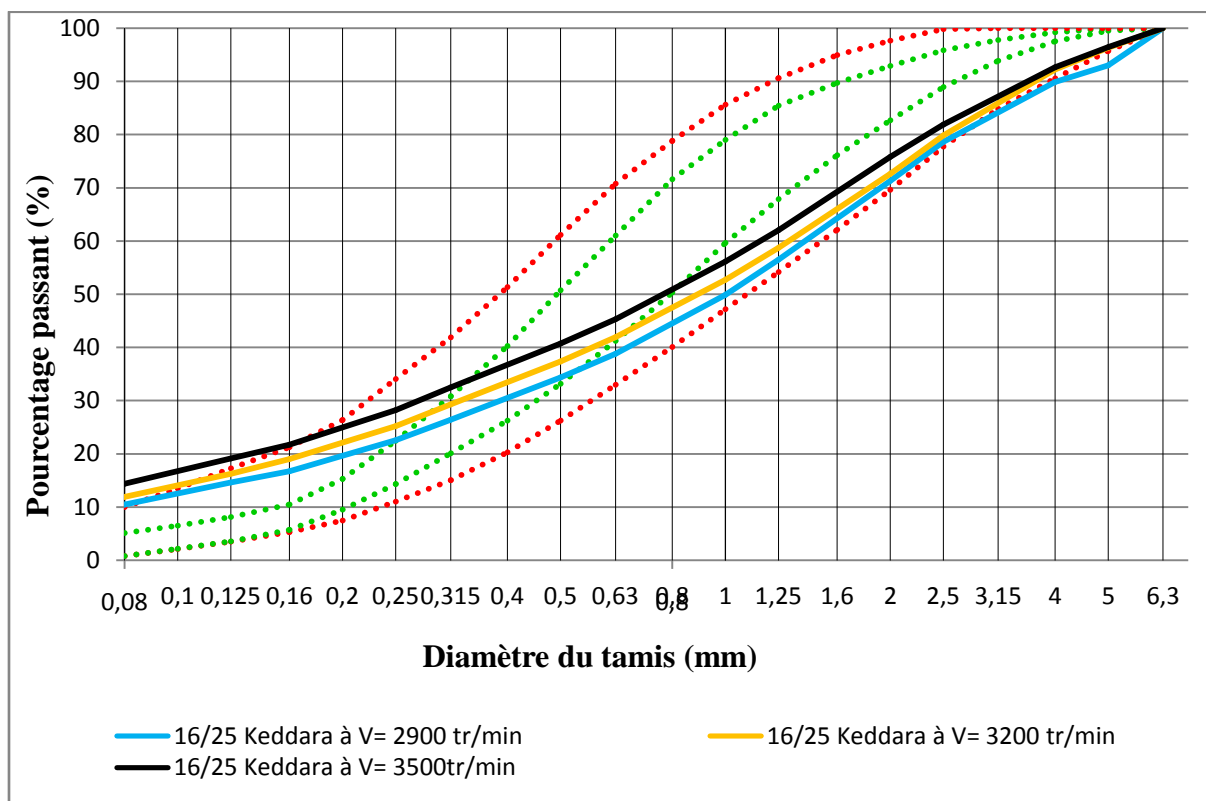


Figure V.4 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction 16/26 de Keddara.

V.3.1.5 Sables obtenus à partir de la fraction (25/40) :

Tableau V.10 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (25/40) de Keddara.

Vitesse de concassage (tr/min)	Masse humide $M_h$ (g)	Masse sèche $M_1$ (g)	Masse sèche après lavage $M_2$ (g)	Masse de fines retirées après lavage $M_1 - M_2$ (g)	Matériau resté au fond du tamis P (g)
V = 2900	271,8	270,7	254,3	16,4	6,3
V = 3200	303,4	301,5	274,1	27,4	3,1
V = 3500	279,1	278,4	249,8	28,6	2,5

**Tableau V.11** : Analyses granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (25/40) de Keddara.

Ouvertures des tamis (mm)	Pourcentage de refus cumulés (%) $(R_i/M_1) \times 100$			Pourcentages de tamisâts cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_1) \times 100$		
	Vitesse de concassage (tr/min)			Vitesse de concassage (tr/min)		
	2900	3200	3500	2900	3200	3500
5	2,22	3,75	3,05	97,78	96,25	96,95
4	5,10	6,87	5,78	94,90	93,13	94,22
2,5	14,15	17,61	15,12	85,85	82,39	84,88
2	20,17	23,98	20,50	79,83	76,02	79,50
1,25	33,84	38,74	34,25	66,16	61,26	65,75
1	40,23	44,98	40,83	59,77	55,02	59,17
0,63	52,97	56,38	53,03	47,03	43,62	46,97
0,5	58,44	61,16	58,31	41,56	38,84	41,69
0,315	68,71	69,72	67,40	31,29	30,28	32,60
0,25	74,70	74,03	71,92	25,30	25,97	28,08
0,160	81,64	80,46	78,74	18,36	19,54	21,26
0,125	84,74	83,25	81,76	15,26	16,75	18,24
0,080	89,14	87,46	86,10	10,86	12,54	13,90
0,063	91,61	89,88	88,80	8,39	10,12	11,20

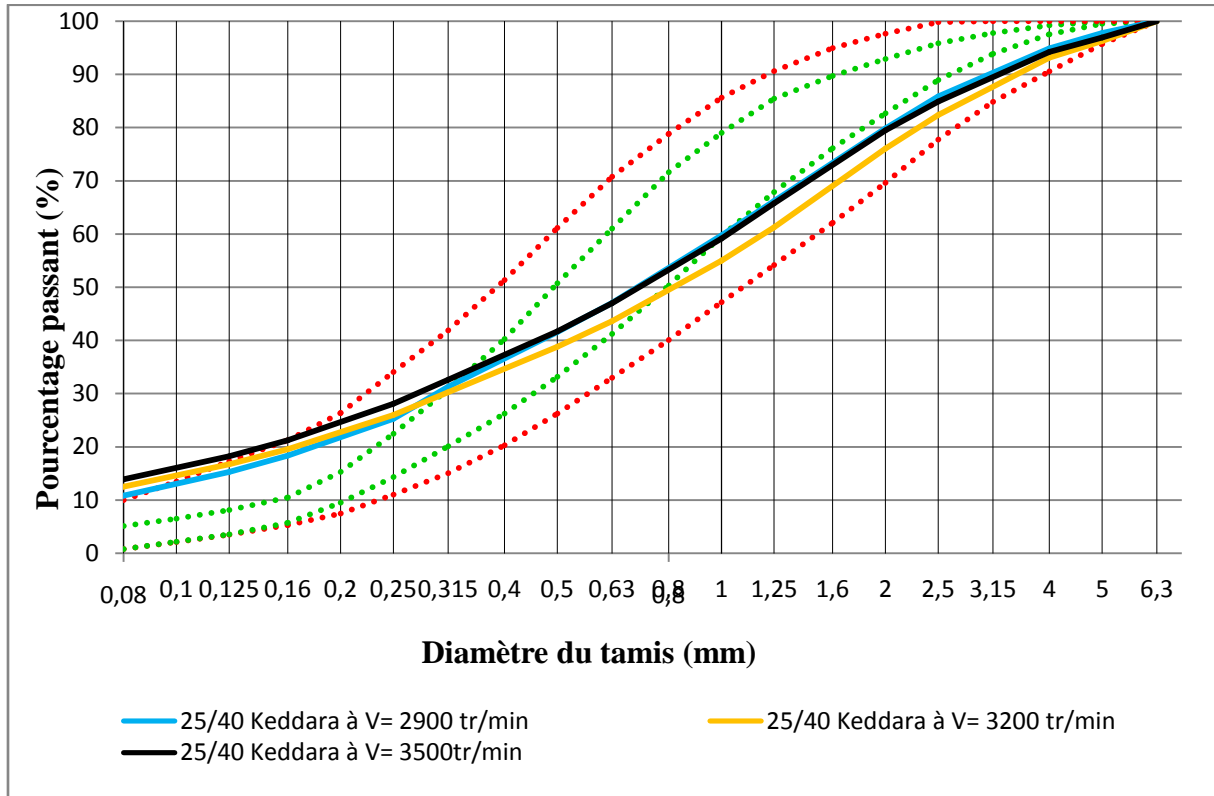


Figure V.5 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction 25/40 de Keddara.

V.3.2 Module de finesse des sables de Keddara

Tableau V.12 : Modules de finesse des sables obtenus par concassage (Keddara).

Vitesse de concassage (tr/min)	Module de finesse			
	Fraction (mm)			
	4/8	8/16	16/25	25/40
2900	2,55	2,57	2,46	2,20
3200	2,46	2,27	2,33	2,28
3500	2,20	2,28	2,22	2,17

Le module de finesse obtenue pour le (0/4) provenant de la carrière de Keddara  $M_f = 2,13$ .



**V.3.3 Teneur en fines des sables de Keddara**

**Tableau V.13** : Teneur en fines des sables obtenus par concassage (Keddara).

Vitesse de concassage (tr/min)	Teneur en fines (%)			
	Fraction (mm)			
	4/8	8/16	16/25	25/40
2900	7,6	8,52	8,2	8,4
3200	8,8	11,60	9,8	10,1
3500	10,6	9,40	9,5	11,2

La teneur en fines du sable (0/4) provenant de la carrière de Keddara est de 15,1%.

**V.3.4 Analyses et interprétations (Keddara)**

- Pour le (0/4) provenant de la carrière de Keddara (figure (V.1)), sa courbe granulométrique n'est pas totalement contenue dans le fuseau des sables admissibles, ce qui s'explique par une présence d'éléments fins supérieure à la valeur spécifique supérieur, résultat confirmé par un module de finesse d'une valeur de 2,13. Avec une teneur en fines de 15,1%, on peut dire que le sable provenant de Keddara est un sable fin.
- Pour la fraction 4/8 (figure (V.2)), les courbes granulométriques ne sont pas intégralement contenu à l'intérieur du fuseau des sables admissibles, les courbes à V= 2900 tr/min et V=3200 tr/min contiennent plus d'éléments grossiers et ce qui est confirmé par, des modules de finesse de 2,55 et 2,46 respectivement, contrairement à la courbe à V= 3500 tr/min qui contient plus d'éléments fins avec un module de finesse de 2,2.
- Pour la fraction 8/16 (figure (V.3)), la courbe granulométrique à V=2900 tr/min, n'est pas totalement contenu dans le fuseau et cela à cause d'une forte présence d'éléments grossiers et un module de finesse de 2,57. La quasi-totalité des courbes granulométriques à V= 3200 tr/min et V= 3500 tr/min sont à l'intérieur du fuseau, mais contiennent plus d'éléments fins que la valeur spécifique supérieur, ceci s'explique par des modules de finesse de 2,27 et 2,28.
- Pour la fraction 16/25 (figure (V.4)), la courbe granulométrique à V= 3200tr/min est totalement contenue dans le fuseau et a un module de finesse de 2,33. La courbe à V= 2900 tr/min contient plus d'éléments grossiers et une valeur du module de finesse assez élevée égale 2,46, alors que la courbe à V= 3500 tr/min contient plus d'éléments fins, avec un module de finesse de 2,22.
- Pour la fraction 25/40 (figure (V.5)), les courbes granulométriques à V= 2900 tr/min et V= 3200 tr/min sont totalement contenues dans le fuseau. Alors que, la courbe à V= 3500 tr/min ne l'est pas totalement car elle contient plus d'élément fins que la valeur spécifique supérieur, confirmé par une valeur du module de finesse de 2,17.

- Les sables obtenues des produits de Keddara, ont été tous ou presque contenus dans le fuseau des sables admissibles, avec des valeurs de module de finesse comprises entre 2,2 et 2,8 et des teneurs en fines en deçà, des 15% de fines à ne pas dépasser selon la norme, donc, on peut dire que les sables obtenus, sont des sables préférentiels.
- Pour chaque fraction, en augmentant la vitesse de concassage, on a obtenu des sables avec plus d'éléments fins et sensiblement moins d'éléments grossiers.
- Pour la même vitesse, mais en augmentant la fraction, on a obtenu des sables avec moins d'éléments fins et plus d'éléments grossiers.
- Le sable obtenu de la fraction 25/40 à V= 2900 tr/min, est celui qui tend le plus vers un sable préférentiel.

**V.3.5 Analyse granulométrique des sables issus des granulats de Si Mustapha :**

**V.3.5.1 Sable (0/4) de Si Mustapha :**

Masse humide  $M_h = 345,21$  g.

Masse sèche  $M_1 = 333,8$  g.

Masse sèche après lavage  $M_2 = 279$  g.

Masse sèche de fines retirées par lavage  $M_1 - M_2 = 54,8$  g.

**Tableau V.14 :** Analyse granulométrique du sable (0/4) de Si Mustapha.

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus cumulés $R_i$ (g)	Pourcentage refus cumulés (%) $(R_i/M_1) \times 100$	Pourcentage de tamisats cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_1) \times 100$
5	5,0	1,50	98,50
4	15,8	4,73	95,27
2,5	62,6	18,75	81,25
2	85,1	25,49	74,51
1,25	128,8	38,59	61,41
1	145,5	43,59	56,41
0,63	177,8	53,27	46,73
0,5	192,7	57,73	42,27
0,315	218,4	65,43	34,57
0,25	232,1	69,53	30,47
0,160	251,2	75,25	24,75
0,125	258,6	77,47	22,53
0,080	271,3	81,28	18,72
0,063	276,5	82,83	17,17

Matériau resté au fond du tamis P = 2,5g.

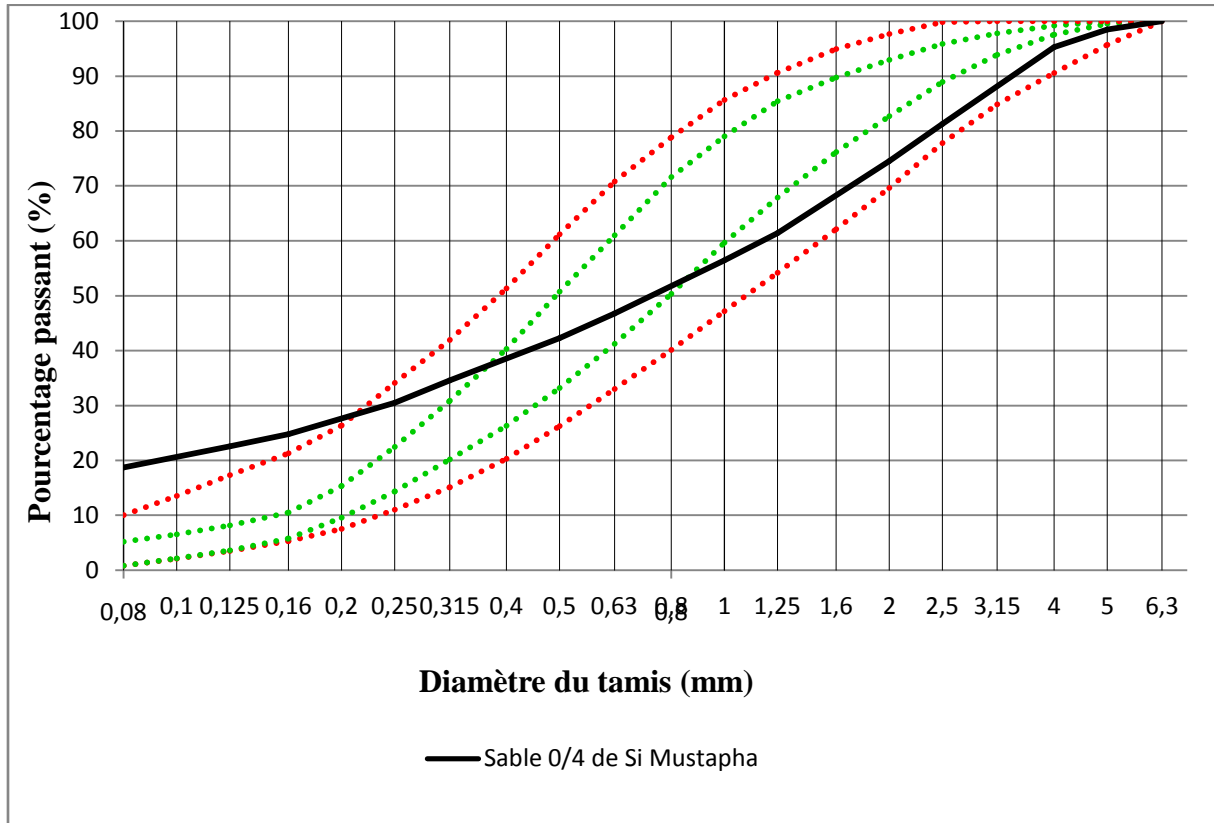


Figure V.6 : Courbe granulométrique du sable (0/4) de Si Mustapha.

V.3.5.2 Sables obtenus à partir de la fraction (4/8) :

Tableau V.15 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (4/8) de Si Mustapha.

Vitesse de concassage (tr/min)	Masse humide $M_h(g)$	Masse sèche $M_1 (g)$	Masse sèche après lavage $M_2 (g)$	Masse de fines retirées après lavage $M_1-M_2 (g)$	Matériau resté au fond du tamis P (g)
V = 2900	263,4	261,4	240,0	21,4	5,7
V = 3200	304,1	298,2	268,2	29,8	3,0
V = 3500	284,2	279,0	250,0	29,0	6,6

**Tableau V.16** :Analyses granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (4/8) de Si Mustapha.

Ouvertures des tamis (mm)	Pourcentage de refus cumulés (%) $(R_i/M_1) \times 100$			Pourcentages de tamisats cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_1) \times 100$		
	Vitesse de concassage (tr/min)			Vitesse de concassage (tr/min)		
	2900	3200	3500	2900	3200	3500
5	2,30	3,96	4,66	97,70	96,04	95,34
4	4,67	7,55	7,17	95,33	92,45	92,83
2,5	14,35	17,57	14,34	85,65	82,43	85,66
2	20,20	23,47	19,00	79,80	76,53	81,00
1,25	34,12	36,05	30,47	65,88	63,95	69,53
1	40,74	41,68	36,20	59,26	58,32	63,80
0,63	52,79	52,82	47,31	47,21	47,18	52,69
0,5	58,26	58,05	52,33	41,74	41,95	47,67
0,315	67,71	67,07	62,01	32,29	32,93	37,99
0,25	72,76	71,90	67,35	27,24	28,10	32,65
0,160	79,95	78,81	75,27	20,05	21,19	24,73
0,125	83,01	81,96	78,85	16,99	18,04	21,15
0,080	87,22	86,28	83,87	12,78	13,72	16,13
0,063	89,63	89,00	87,24	10,37	11,00	12,76

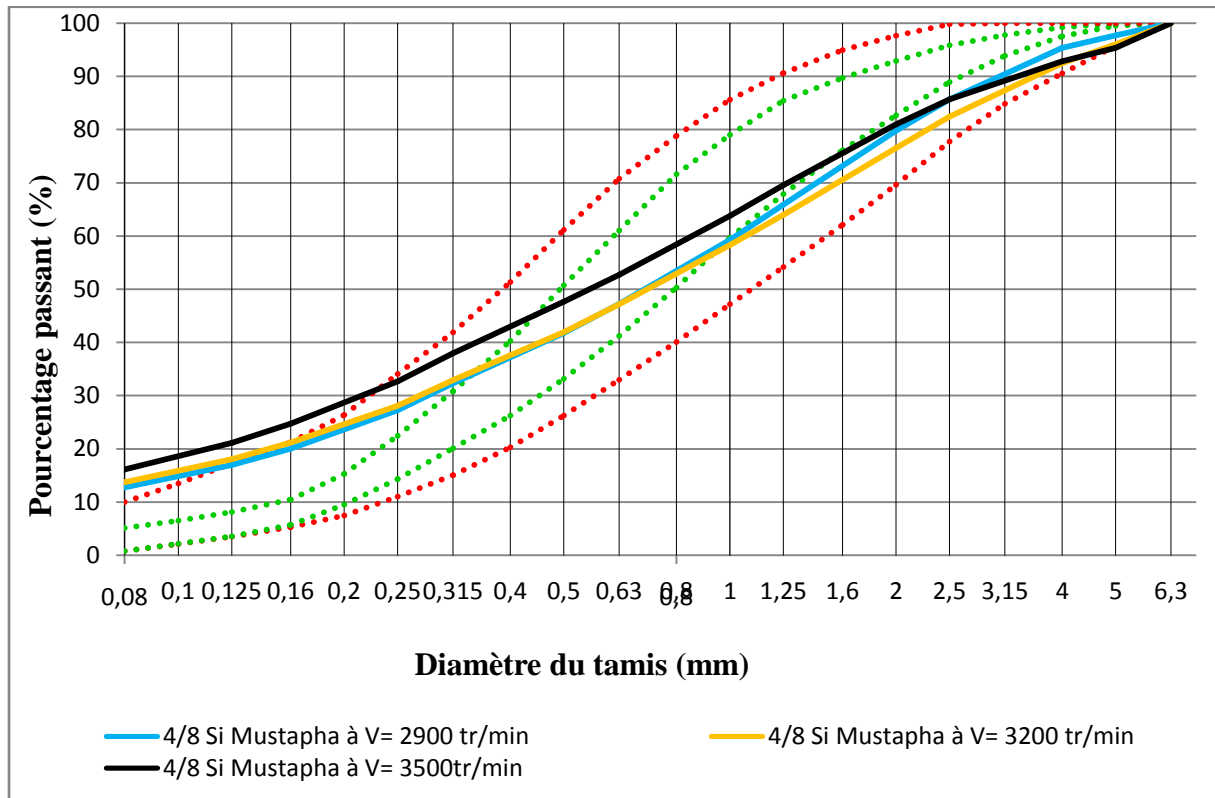


Figure V.7 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction 4/8 de Si Mustapha.

V.3.5.3 Sables obtenus à partir de la fraction (8/16) :

Tableau V.17 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (8/16) de Si Mustapha.

Vitesse de concassage (tr/min)	Masse humide $M_h(g)$	Masse sèche $M_1 (g)$	Masse sèche après lavage $M_2 (g)$	Masse de fines retirées après lavage $M_1-M_2 (g)$	Matériau resté au fond du tamis P (g)
V = 2900	269,7	267,8	250,0	17,8	3,0
V = 3200	291,0	288,1	263,8	24,3	2,8
V = 3500	252,2	249,8	227,2	22,6	1,8

**Tableau V.18** : Analyses granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (8/16) de Si Mustapha.

Ouvertures des tamis (mm)	Pourcentage de refus cumulés (%) $(R_i/M_1) \times 100$			Pourcentages de tamisâts cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_1) \times 100$		
	Vitesse de concassage (tr/min)			Vitesse de concassage (tr/min)		
	2900	3200	3500	2900	3200	3500
5	4,97	2,40	2,40	95,03	97,60	97,60
4	8,78	4,34	4,80	91,22	95,66	95,20
2,5	19,31	12,36	11,61	80,69	87,64	88,39
2	25,77	17,46	16,41	74,23	82,54	83,59
1,25	38,83	30,89	27,22	61,17	69,11	72,78
1	44,81	37,66	32,83	55,19	62,34	67,17
0,63	56,09	50,68	44,04	43,91	49,32	55,96
0,5	61,24	56,23	49,84	38,76	43,77	50,16
0,315	70,65	66,89	61,05	29,35	33,11	38,95
0,25	75,69	72,44	67,65	24,31	27,56	32,35
0,160	82,90	80,35	76,86	17,10	19,65	23,14
0,125	85,96	83,65	81,10	14,04	16,35	18,90
0,080	89,92	88,02	87,39	10,08	11,98	12,61
0,063	92,23	90,59	90,23	7,77	9,41	9,77

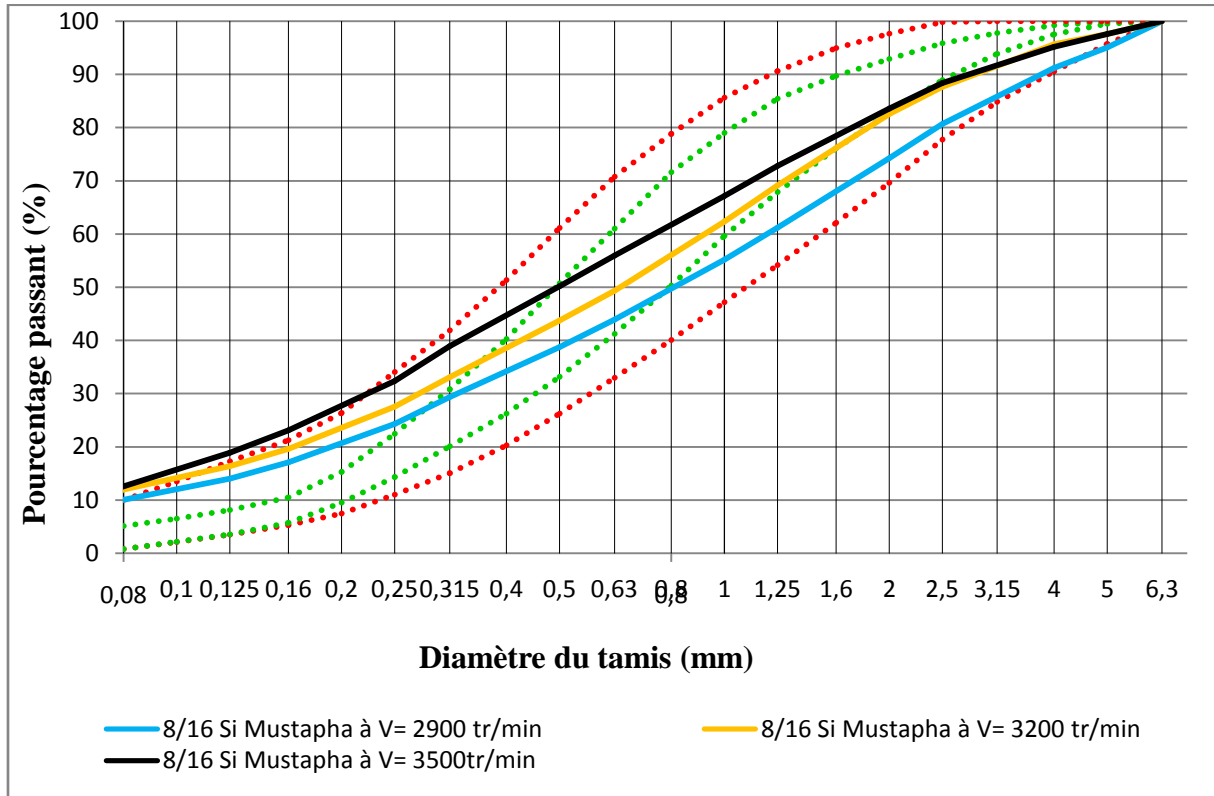


Figure V.8 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction 8/16 de Si Mustapha.

V.3.5.4 Sables obtenus à partir de la fraction (16/25) :

Tableau V.19 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (16/25) de Si Mustapha.

Vitesse de concassage (tr/min)	Masse humide $M_h$ (g)	Masse sèche $M_1$ (g)	Masse sèche après lavage $M_2$ (g)	Masse de fines retirées après lavage $M_1 - M_2$ (g)	Matériau resté au fond du tamis P (g)
V = 2900	318,1	298,3	277,2	21,1	3,2
V = 3200	296,9	294,5	276,5	18,0	9,9
V = 3500	289,2	285,3	261,6	23,7	2,6

**Tableau V.20** :Analyses granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (16/25) de Si Mustapha.

Ouvertures des tamis (mm)	Pourcentage de refus cumulés (%) $(R_i/M_1) \times 100$			Pourcentages de tamisats cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_1) \times 100$		
	Vitesse de concassage (tr/min)			Vitesse de concassage (tr/min)		
	2900	3200	3500	2900	3200	3500
5	4,49	3,12	3,96	95,51	96,88	96,04
4	8,75	5,98	6,52	91,25	94,02	93,48
2,5	19,28	15,01	14,97	80,72	84,99	85,03
2	25,08	21,43	20,33	74,92	78,57	79,67
1,25	37,88	34,63	32,77	62,12	65,37	67,23
1	43,75	40,75	38,63	56,25	59,25	61,37
0,63	55,05	52,36	50,26	44,95	47,64	49,74
0,5	60,34	57,79	55,56	39,66	42,21	44,44
0,315	69,66	67,16	65,37	30,34	32,84	34,63
0,25	74,76	72,33	70,73	25,24	27,67	29,27
0,160	82,00	79,66	79,00	18,00	20,34	21,00
0,125	85,15	83,00	82,65	14,85	17,00	17,35
0,080	89,17	87,84	88,12	10,83	12,16	11,88
0,063	91,85	90,53	90,78	8,15	9,47	9,22



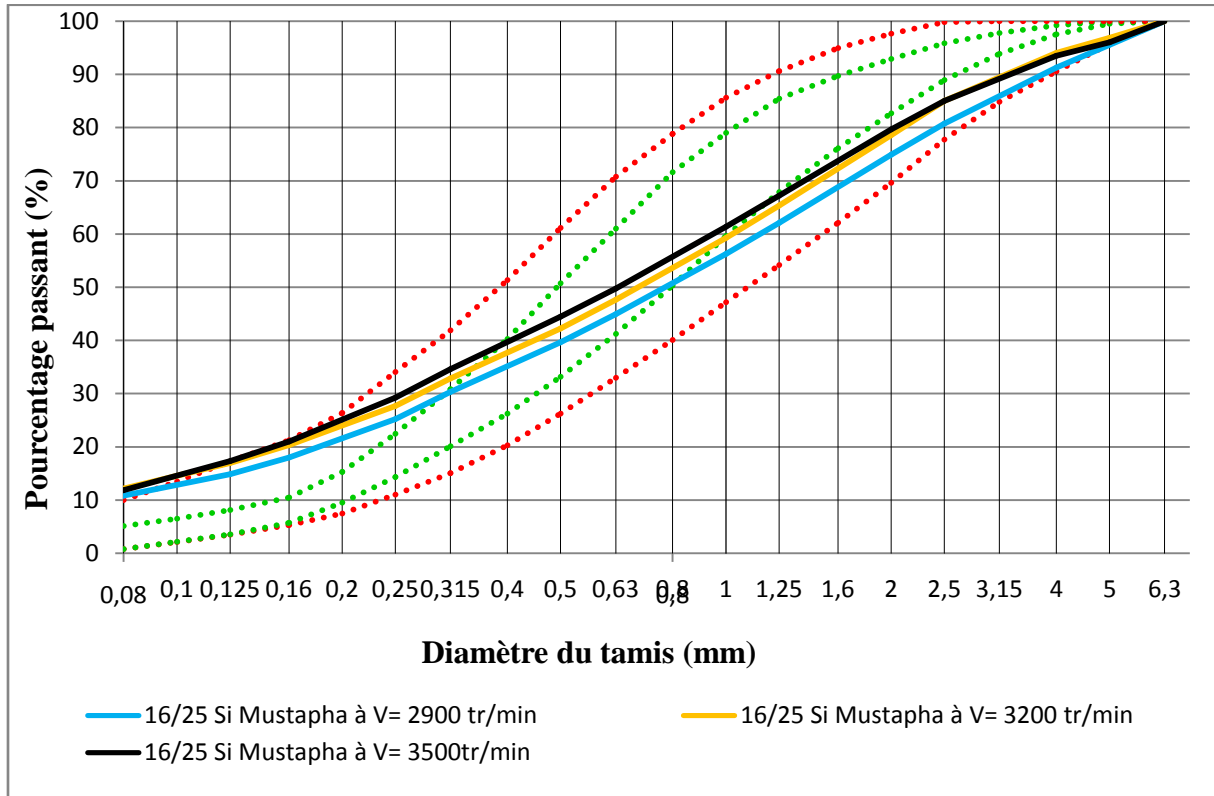


Figure V.9 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction 16/25 de Si Mustapha.

V.3.5.5 Sables obtenus à partir de la fraction (25/40) :

Tableau V.21 : Les masses des sables obtenus à partir de la fraction (25/40) de Si Mustapha.

Vitesse de concassage (tr/min)	Masse humide $M_h$ (g)	Masse sèche $M_1$ (g)	Masse sèche après lavage $M_2$ (g)	Masse de fines retirées après lavage $M_1 - M_2$ (g)	Matériau resté au fond du tamis P (g)
V = 2900	246,2	242,8	221,0	21,8	3,0
V = 3200	298,2	295,8	272,2	23,6	4,2
V = 3500	284,2	282,0	255,8	26,2	2,5

**Tableau V.22** : Analyses granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (25/40) de Si Mustapha.

Ouvertures des tamis (mm)	Pourcentage de refus cumulés (%) $(R_i/M_1) \times 100$			Pourcentages de tamisats cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_1) \times 100$		
	Vitesse de concassage (tr/min)			Vitesse de concassage (tr/min)		
	2900	3200	3500	2900	3200	3500
5	7,29	5,65	2,06	92,71	94,35	97,94
4	10,46	8,32	4,26	89,54	91,68	95,74
2,5	20,18	16,90	10,92	79,82	83,10	89,08
2	25,25	22,24	15,25	74,75	77,76	84,75
1,25	37,27	34,52	26,60	62,73	65,48	73,40
1	42,83	40,09	32,09	57,17	59,91	67,91
0,63	53,54	51,39	43,33	46,46	48,61	56,67
0,5	58,28	56,46	48,62	41,72	43,54	51,38
0,315	67,26	66,09	59,29	32,74	33,91	40,71
0,25	72,08	71,50	65,64	27,92	28,50	34,36
0,160	79,08	79,45	75,57	20,92	20,55	24,43
0,125	82,37	83,00	80,14	17,63	17,00	19,86
0,080	86,90	87,90	86,52	13,10	12,10	13,48
0,063	89,79	90,60	89,82	10,21	9,40	10,18

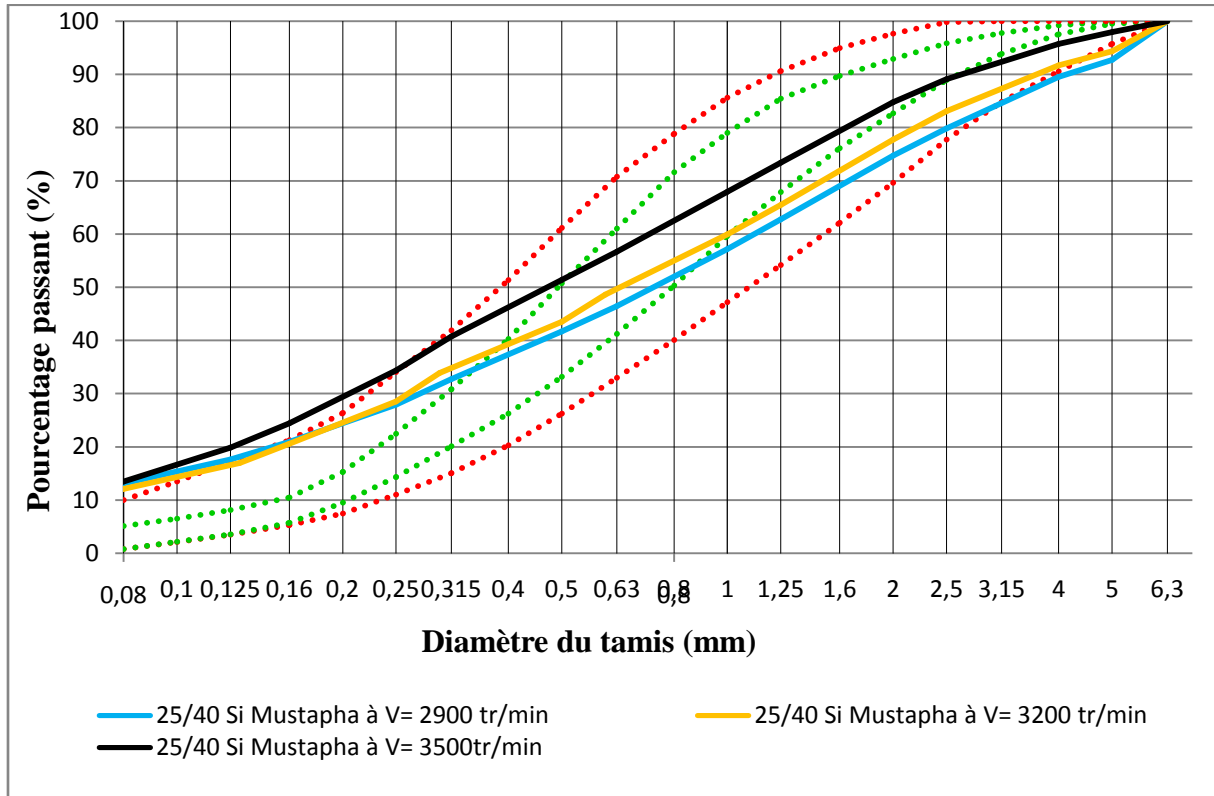


Figure V.10 : Courbes granulométriques des sables obtenus à partir de la fraction (25/40) de Si Mustapha.

V.3.6 Module de finesse pour les sables de Si Mustapha

Tableau V.23 : Modules de fines des sables obtenus par concassage (Si Mustapha).

Vitesse de concassage (tr/min)	Module de finesse			
	Fraction (mm)			
	4/8	8/16	16/25	25/40
2900	2,17	2,34	2,31	2,27
3200	2,20	2,13	2,17	2,20
3500	2,04	1,96	2,14	1,91

Le module de finesse obtenu pour le sable (0/4) de Si Mustapha  $M_f = 2,14$ .

**V.3.7 Teneur en fines des sables de Si Mustapha**

**Tableau V.24** : Teneurs en fines des sables obtenus par concassage (Si Mustapha).

Vitesse de concassage (tr/min)	Teneur en fines (%)			
	Fraction (mm)			
	4/8	8/16	16/25	25/40
2900	10,4	7,70	8,1	10,2
3200	11,0	9,40	9,5	9,4
3500	12,8	9,80	9,2	10,2

La teneur en fines du sable (0/4) provenant de la carrière de Si Mustapha est de 17,2%.

**V.3.8 Analyses et interprétations (Si Mustapha)**

- Pour le sable (0/4) provenant de la carrière de Si Mustapha (figure (V.6)), il n'est pas totalement à l'intérieur du fuseau admissible pour les sables car, il contient plus d'éléments fins que la valeur spécifique supérieure, ce qui s'explique par un module de finesse de 2,14 et une teneur en fines de 17,2%.
- Pour les fractions (4/8), (8/16) et (25/40) (figure (V.7, V.8 et V.10)), les courbes granulométriques à V= 2900 tr/min et à V= 3200 tr/min sont à l'intérieur du fuseau et ont des modules de finesse compris entre 2,13 et 2,34. Mais, les courbes à V= 3500 tr/min elles ne le sont pas entièrement, car montrent une proportion élevée d'éléments fins, en comparant avec la valeur spécifique supérieure et ils présentent des modules de finesse très faible arrivant jusqu'à 1,91.
- Pour la fraction (16/25) (figure (V.9)), toutes les courbes granulométriques sont à l'intérieur du fuseau des sables admissibles.
- Les sables, obtenus des produits de Si Mustapha, sont tous à l'intérieur du fuseau de spécification des sables admissibles, sauf à V= 3500 tr/min, pour les fractions (4/8), (8/16) et (25/40), où on a obtenu plus d'éléments fins comparés à la valeur spécifique supérieure, résultat confirmé par des modules finesse faibles 2,04, 1,96 et 1,91 respectivement, qui sont des valeurs pour des sables fins.
- Les teneurs en fines n'ont pas dépassé les 15%, mais la fraction 4/8 à V = 3500 tr/min, a présenté la valeur la plus élevée.
- Le changement de vitesse, a influé sensiblement sur les courbes, car plus la vitesse augmente, plus la quantité d'éléments fins augmente.
- On peut dire aussi que le concasseur n'a pas influé sur la granulométrie du sable en changeant les vitesses ou augmentant les fractions.

### V.3.9 Conclusion

La granularité des sables est un terme important à considérer dans l'établissement d'une formulation de béton, notamment pour les paramètres suivants :

- Continuité et régularité de la granularité ;
- Teneurs en éléments fins jugés par le module de finesse ;
- Teneurs en fines.

D'après l'analyse granulométrique, les sables obtenus sont tous admissibles pour la conception des bétons hydrauliques car, ils ont tous été contenus dans le fuseau admissible pour les sables.

La bonne continuité observée sur les courbes granulométriques est nécessaire, car elle permet d'obtenir un béton maniable.

Le module de finesse nous permet de juger globalement de la granularité d'un sable. Pour les sables obtenus après concassage, certains modules de finesse sont faibles, ce qui caractérise des sables fins, d'autres sont élevés ce qui indique que le sable est grossier.

La norme, tenant compte des caractéristiques des granulats, fixe les limites à 1,8 et 3,2, mais l'optimum qui donnera le meilleur compromis résistance-maniabilité-maintien de l'homogénéité se situe à  $2,5 \pm 0,35$ , ce qui est le cas pour les sables de Keddara et peuvent même être utilisés dans la conception de béton d'ouvrages d'art et les bétons de bâtiments.

Les sables provenant des deux carrières, ont des teneurs en fines supérieures à 15%, donc, cet excès va engendrer un accroissement de la demande en eau, donc le rapport Eau/Ciment lors de l'élaboration du béton. Les sables produits, ont des teneurs inférieures à 15%, ce qui va conférer un béton frais, un pouvoir de rétention d'eau qui permet de s'opposer au ressuage et une cohésion qui assure le maintien de l'homogénéité (absence de ségrégation).

**V.4 Equivalent de sable**

L'équivalent de sable est obtenu par la formule suivante :

$$ES = 100 \frac{h_2}{h_1} \text{ et } ES = (ES1 + ES2)/2$$

Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux (V.25 à V.26) suivants :

**Tableau V.25** : Equivalent de sable pour les sables de Keddara.

Fraction (mm/mm)	Vitesse de concassage (tr/min)	N° de l'éprouvette	Masse de l'échantillon (g)	h <sub>1</sub> (cm)	h <sub>2</sub> (cm)	ES (%)	
16/25	2900	1	120,5	9,60	8,20	85,4	86
		2	120,5	9,60	8,30	86,5	
	3200	1	120,6	9,80	8,45	86,2	85
		2	120,6	10,00	8,40	84,0	
	3500	1	120,7	10,00	8,35	83,5	83
		2	120,7	10,00	8,25	82,5	
25/40	2900	1	120,5	9,80	8,70	88,8	88
		2	120,5	10,25	9,05	88,3	
	3200	1	120,8	10,30	8,65	84,0	83
		2	120,8	10,20	8,50	83,3	
	3500	1	120,4	10,20	8,30	81,2	82
		2	120,4	10,20	8,60	84,3	
0/4 Keddara	-	1	120,8	11,50	7,70	67,0	66
		2	120,8	11,85	7,80	65,8	

**V.4.1 Analyses et interprétation (Keddara)**

- Les résultats obtenus, varient de 82 à 86 %, pour ce qui est du sable provenant de la carrière de Keddara, il présente un équivalent de sable de 66%.
- Le sable obtenu de la fraction 25/40 à V= 2900 tr/min, présente la valeur la plus élevée de ES égale a 88%.
- D'après ces résultats, on peut dire que les sables obtenus par concassage des produits de Keddara, sont des sables propres (ES entre 80 et 85%) à très propres (ES > 85%).

**Tableau V.26** : Equivalent de sable pour les sables de Si Mustapha.

Fraction (mm/mm)	Vitesse de concassage (tr/min)	N° de l'éprouvette	Masse de l'échantillon (g)	h <sub>1</sub> (cm)	h <sub>2</sub> (cm)	ES (%)	
8/16	2900	1	121,0	11,70	9,60	82,0	80
		2	121,0	11,65	9,30	79,3	
	3200	1	121,3	11,70	9,00	76,9	76
		2	121,3	11,80	8,90	75,4	
	3500	1	121,2	11,60	8,70	75,0	73
		2	121,2	11,60	8,40	72,4	
16/25	2900	1	128,0	11,40	9,45	82,9	81
		2	128,0	11,80	9,45	80,0	
	3200	1	121,0	11,90	8,85	74,4	75
		2	121,0	11,50	8,80	76,5	
	3500	1	121,7	12,20	9,00	73,8	74
		2	121,7	11,60	8,70	75,0	
0/4 Si Mustapha	-	1	124,0	12,30	5,70	46,3	47
		2	124,0	11,80	5,85	49,6	

#### V.4.2 Analyses et interprétations (Si Mustapha)

- Les résultats obtenus, varient de 73 à 80 %. Mais pour le sable (0/4) provenant de la carrière de Si Mustapha, on a obtenu une valeur de 47%.
- Les résultats montrent, que les sables obtenus après concassage des produits de Si Mustapha, sont des sables propres (ES compris entre 75 et 80%) et des sables légèrement argileux (ES compris entre 70 et 75 %), mais pour le sable 0/4 provenant de la carrière, on peut dire que c'est un sable argileux (ES < 65%).
- Les sables de la carrière de Keddara ont montré de bien meilleurs résultats que ceux de la carrière de Si Mustapha et les Equivalent de sable des produits obtenus après concassage sont plus élevés que pour les sables provenant des carrières.

#### V.4.3 Conclusion

Cet essai permet de mesurer la quantité de matières très fines contenues dans le sable mais sans faire la distinction entre les colloïdes nocifs et les fines nécessaires à certains bétons. Il exprime un rapport volumétrique conventionnel entre les éléments dits sableurs et les éléments très fins (fines de concassage, argiles, impuretés etc..).

Plus la valeur de ES est élevée, plus le sable est propre. Les résultats pour les sables obtenus pour les sables concassés, sont compris entre 70 et 85%, donc se sont des sables propres, à faibles pourcentages d'éléments fins, convenant parfaitement pour des bétons de qualité. Mais pour les résultats supérieurs à 85%, c'est un signe d'un manque presque total de fines argileuses, on peut craindre un défaut de plasticité du béton, qui devra être compensé de préférence sans majoration du rapport Eau/Ciment.

**V.5 Bleu de méthylène :**

La valeur de bleu de méthylène est obtenue par la formule suivante :

$$MB = 10 \frac{V_1}{M_1}$$

Où :  $M_1$  est la masse de la prise d'essai en grammes.

$V_1$  est le volume total de la solution de colorant injectée, en millilitres.

Les résultats obtenus sont représentés dans (V.27 à V.28) suivants :

**Tableau V.27 :** Valeur du bleu de méthylène pour les sables de Keddara.

Fraction (mm)	Vitesse de concassage (tr/min)	Masse de la prise d'essai $M_1$ (g)	Volume de la solution injectée $V_1$ (ml)	MB (g de colorant/kg de 0/2)
16/25	2900	223,3	15	0,67
	3200	228,3	15	0,66
	3500	259,5	10	0,38
25/40	2900	213,3	10	0,47
	3200	237,8	15	0,63
	3500	257,9	15	0,58
0/4 Keddara	-	212,5	25	1,18

**V.5.1 Analyses et interprétations (Keddara)**

➤ Les résultats du bleu de méthylène des sables obtenus après concassage sont tous inférieurs à 1. Pour le sable 0/4 provenant de la carrière de Keddara, il présente une valeur de 1,18 > 1.

➤ En observant les résultats, on peut dire que les sables de Keddara présentent une faible proportion d'argile.



**Tableau V.28** : Valeur du bleu de méthylène pour les sables de Si Mustapha.

Fraction (mm)	Vitesse de concassage (tr/min)	Masse de la prise d'essai $M_1$ (g)	Volume de la solution injectée $V_1$ (ml)	MB (g de colorant/kg de 0/2)
8/16	2900	242,5	67	2,76
	3200	223,8	57	2,55
	3500	221,4	50	2,26
16/25	2900	239,6	40	1,67
	3200	237,7	70	2,94
	3500	237,9	50	2,10
0/4 Si Mustapha	-	211,0	155	7,34

### V.5.2 Analyses et interprétations des résultats (Si Mustapha)

- Les résultats de l'essai du bleu de méthylène obtenus pour les sables obtenus après concassage, sont tous compris entre 2 et 2,8.
- Pour le sable 0/4 provenant de la carrière de Si Mustapha, on a obtenu une valeur de 7,34.
- En observant les résultats, on peut dire que les sables de la carrière de Si Mustapha présentent une proportion de fines argileuses, assez importante surtout, pour le sable 0/4 provenant de la carrière.

### V.5.3 Conclusion (Bleu de méthylène)

Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins d'un sable à adsorber le bleu de méthylène. Le bleu de méthylène est adsorbé préférentiellement par les argiles et les matières organiques. Plus la valeur du bleu de méthylène est élevée, plus le sable est sale.

La pollution des granulats accroît la demande en eau, fait chuter les résistances, augmente les retraites et nuit à la durabilité du béton.

Les sables de Keddara ne sont pas argileux, contrairement aux sables de Si Mustapha qui, présentent de hautes teneurs en particules argileuses, qui interdisent son emploi en tant qu'agrégat fins au béton et ceci s'explique par l'altération de la roche de Si Mustapha (de la montmorillonite qui se développent souvent au dépend des plagioclases), en plus de cela, les granodiorites sont intensément fissurés.

La différence des résultats entre les sables concassés et les sables provenant des carrières, est due à des faibles teneurs en fines pour les premiers, ce qui explique les valeurs élevés pour les sables provenant des carrières.

# **Conclusion Générale**

L'objectif principal de cette étude est la production d'un sable avec l'utilisation du concasseur à percussions et de montrer que le sable produit, répond aux exigences des normes, en terme de granularité, de teneurs en fines et de propreté.

Les résultats obtenus par les différents essais, effectués au sein du laboratoire du Génie Minier de l'Ecole Nationale Polytechnique, nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- En augmentant la vitesse de concassage et en diminuant la fraction d'alimentation on obtient plus d'éléments fins.
  - Pour les produits de Keddara, l'utilisation du concasseur à percussions a permis d'obtenir de bons résultats en termes de granularité, de teneurs en fines. Les essais d'équivalent de sable et de bleu de méthylène ont prouvé que les sables de Keddara, sont des sables propres avec de très faibles teneurs en argiles.
  - Pour les produits de Si Mustapha, le concasseur à percussions a corrigé la granularité du sable en comparaisant, avec le sable provenant de la carrière de la carrière de Si Mustapha mais, le changement de vitesse ou de fraction n'a pas fortement influé sur la granulométrie. En plus de cela, les sables obtenus, sont des sables fins.
  - Les sables obtenus peuvent être utilisés pour la conception de bétons hydrauliques, car les résultats obtenus respectent les exigences des normes. Mais pour les sables de Si Mustapha, les fortes teneurs en matières argileuses interdisent leur emploi en tant qu'agrégat fin au béton hydraulique.
- Les concasseurs à percussions conviennent parfaitement aux roches peu dures tels que les calcaires car ils procurent aux sables une granularité convenable. Pour pouvoir réduire la teneur en fines il faudrait :
- Mettre en place des appareils de dépoussiérages pour capter les poussières, dans le but d'empêcher leur mélange avec les produits fines et aussi pour le coté environnementale.
  - Faire des cycles de nettoyage des cribles et des concasseurs afin d'éliminer les fines restées sur place.
  - Construire des airs de stockage couverts, pour mettre à l'abri les sables de toutes contaminations extérieures.



**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1]. 5<sup>ème</sup> rencontre des mines et des carrières, 23 et 24 Avril 2013, Hôtel Sheraton, club des pins, Alger.
- [2]. AISSANI Ahmed Amine et KAMEL Younes, Recherche de corrélations entre la quantité produite et les coûts opérationnels « Utilisation des régressions simples », Mémoire de fin d'étude d'ingénieurs de l'Ecole Nationale Polytechnique, Juin 2011.
- [3]. ALLOU Smail et OTSMANE Belkacem, Etude des caractéristiques géologiques et géotechniques des roches basiques pour la production de granulats, Mémoire de fin d'études d'ingénieur de l'Ecole Nationale Polytechnique, Juin 2010.
- [4]. AOUISSA Sofiane, Utilisation sélective des sables de carrières dans l'industrie du bâtiment (aspect technique et comparaison avec les sables de rivières), Mémoire de fin d'études d'ingénieur de l'Ecole Nationale Polytechnique, Juin 2008.
- [5]. Association techniques de l'industrie des liants hydrauliques, Les bétons, bases et données pour leur formulation, Eyrolles, 1999,
- [6]. CALLAUD M.A.J.M, Cours de technologie de construction, Tome 3, les matériaux de construction, Ecole Inter - Etats Des Techniciens Supérieurs De l'Hydraulique et de l'Equipement Rural, Juillet 2003, Burkina Faso.
- [7]. DJEZAIRI Omar, l'influence du mode de concassage sur les caractéristiques de fabrication des granulats, Mémoire de fin d'études d'ingénieur de l'Ecole Nationale Polytechnique, Juin 2008.
- [8]. Document ALGRAN, plan d'exploitation de l'unité de Keddara, 2013.
- [9]. Document ENG, plan d'exploitation de l'unité de Si Mustapha, 2013.
- [10]. Dr OULD HAMOU Malek, Cours de Minéralurgie : Valorisation des minéraux utiles – Préparation mécaniques des minéraux – Concassage et broyage, Année 2011/2012.
- [11]. Dreux G. et Festa J, « nouveau guide du béton et de ses constituants », Huitième édition, Eyrolles, 1998, France.
- [12]. Gabrysiak.F, « Matériaux – les granulats », Chapitre 2.
- [13]. Norme Algérienne NA 1948: « Essais pour déterminer les caractéristiques des granulats – Qualification des fines – Essai au bleu de méthylène », AINOR, 2006.
- [14]. Norme Algérienne NA 455 : « Essais pour déterminer les caractéristiques des granulats – Qualification des fines – Equivalent de sable », AINOR, 2006.
- [15]. Norme Algérienne NA EN 933-1 : « Essais pour déterminer les caractéristiques des granulats – Détermination de la granularité – Analyse », AINOR, 2009.

- [16]. Norme Algérienne NA EN 1097-2 : « Essais pour déterminer les caractéristiques des granulats – Méthode pour la détermination de la résistance à la fragmentation », AINOR, 2009.
- [17]. Norme Algérienne NA 453 : « Essais pour déterminer les caractéristiques des granulats – Méthodes de réduction d'un échantillon de laboratoire », AINOR, 2006.
- [18]. Norme Française NF EN 932-1 : « Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – Méthodes d'échantillonnage », AFNOR, Décembre 1996.
- [19]. Union nationale des producteurs des granulats, Industrie- Géologie- Environnement ,Les granulats, Dépliant, 1997.

### **Webographie**

- [1]. <http://www.eng-spa.dz/eng.php?id=31&content=13>
- [2]. <http://www.la.refer.org/materiaux/sommaire.html>
- [3]. [http://www.memoireonline.com/08/09/2521/m\\_Identification-geotechnique-de-materiaux-concasses-types-en-corps-de-chaussees-et-evaluation-de2.html](http://www.memoireonline.com/08/09/2521/m_Identification-geotechnique-de-materiaux-concasses-types-en-corps-de-chaussees-et-evaluation-de2.html).

# **Annexes**



## Annexes : les appareils utilisés

- Concasseur à percussions



- Los Angeles



- Tamiseuse

