

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ÉCOLE NATIONALE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE



DEPARTEMENT DE GENIE MINIER

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier

Thème

**Utilisation sélective des sables de
carrières dans l'industrie du bâtiment
(aspect technique et comparaison avec les
sables de rivière)**

Proposé et dirigé Par :

Dr. OULD HAMOU Malek

Réalisé Par :

OUISSA Sofiane

Année universitaire 2008/2009

École Nationale Supérieure Polytechnique 10, Avenue Hassan Badi. El-Harrach. Alger

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes parents, pour leurs sacrifices, soutien et encouragements,

*À ma sœur Malika et mes frères Tahar, Idir et Mohammed, à qui
je souhaite beaucoup de réussite,*

À mes deux grand-mères, auxquelles je souhaite une longue vie,

À mes cousins et mes cousines et à toute ma famille,

À la mémoire de mon oncle Rabah et ma tante Louisa,

*À tout(e)s mes ami(e)s pour leur soutien moral et leurs
encouragements, ainsi qu'à toute ma promotion,*

À toutes personnes qui me sont chères.

Sofiane

Remerciements

" On ne donne rien si libéralement que ses conseils"

LA ROCHEFOUCAULD

A cet effet ;

Je tiens à remercier infiniment tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire de fin d'études. Qu'ils trouvent ici ma profonde gratitude.

Je tiens à remercier Mr OULD HAMOU Malek, pour son encadrement bénéfique et ses conseils judicieux, qui m'ont été d'une grande utilité, qu'il trouve ici, l'expression de ma profonde reconnaissance.

Mes remerciements s'adressent aussi à :

Tout le personnel de l'unité KEDDARA, pour leur disponibilité et leur serviabilité. En particulier :

- *Mr KADDAR Mustapha et Mounir du laboratoire contrôle qualité.*
- *Au personnel des services exploitation et traitement.*

Tous les enseignants du département Génie Minier de l'ENSP, pour leur gentillesse, leur générosité, ainsi que leur disponibilité, en dépit de leurs nombreuses occupations.

Mrs les membres de jury, qui ont très aimablement accepté d'examiner mon travail.

ملخص :

الهدف من هذه الدراسة هو إيجاد أحسن فسييلة الحصى لإنتاج رمال المحجر المخصص لصناعة الخرسانة الهيدروليكية و ذلك بمحولة إحسان خصائصهم الصناعية, و مقارنتهم مع رمال الأودية.

النتائج المتحصل عليها عن طريق التجربة بينت أن الفسييلة (3/8) هي الأحسن لصناعة الخرسانة, و أن الرمال المحجر المتحصل عليها من كل فسييلة يلامون جيدا صناعة الخرسانة الهيدروليكية.

الكلمات المفتاحية : رمل المحجر, رمل الوادي, درجة المواد الناعمة, الخرسانة, مقاومة, فسييلة,

Résumé :

L'objectif de cette présente étude est de trouver la meilleure classe granulométrique pour la production des sables de carrière destinés à la fabrication des bétons hydrauliques, tout en essayant d'améliorer leurs caractéristiques de fabrication, en comparaison avec le sable de rivière.

Les résultats obtenus par l'essai de compression ont montré que la fraction (3/8) est la meilleure pour la fabrication des bétons, et que les sables de carrière issus de toutes les fractions conviennent parfaitement à la fabrication des bétons hydrauliques.

Mots clés : Sable de carrière, sable de rivière, teneur en fines, béton, résistance, fraction, granularité.

Abstract:

The aim of this study is to find the best particle-size range for the production of the pit sands intended for the manufacture of the hydraulic concretes, by improving their characteristics of manufacture, in comparison with the stream sand.

The results obtained by the test of compression showed that the fraction (3/8) is the best for the manufacture of the concretes, and that all the pit sands issued from all the fractions are appropriate for the manufacture of the hydraulic concretes.

Key words: Pit sand, stream sand, content of fines, concrete, resistance, fraction, granularity.

Sommaire

Introduction générale	01
Chapitre I: Généralités sur l'unité de KEDDARA	
I.1 Présentation de l'unité	06
I.1.1 Historique	06
I.1.2 Situation géographique et administrative de l'unité	06
I.1.3 Accès à l'unité et aux gisements	07
I.1.3.1 Accès à l'unité	07
I.1.3.2 Accès au gisement de Keddara	07
I.1.3.3 Accès au gisement d'Ifri	07
I.1.4 Superficie et limites de périmètre de l'unité	07
I.1.5 Evaluation du gisement	08
I.2 Géologie de la région	08
I.2.1 Lithostratigraphie	09
I.2.2 Tectonique	11
I.2.3 Géologie du gisement	11
I.3 Hydrogéologie	11
I.4 Conditions climatiques de la région.....	11
I.4 Caractéristiques du gisement.....	12
I.5 Caractéristiques de la roche.....	12
I.5.1 Composition chimique de la roche	12
I.4.2 Caractéristiques physico-mécaniques	12
I.6 Caractéristiques de la carrière	13
I.6.1 Capacité de production	13
I.6.2 Réserves exploitables	14
I.7 Organisation et gestion du travail dans l'unité	14
I.7.1 Effectifs	14
I.8. Étapes de production dans la carrière de KEDDARA	14
I.8.1. Exploitation	15
I.8.1.2. Opération de découverte (décapage)	15
I.8.1.3. Extraction	16
I.8.2. Chargement et transport	18
I.8.3. Traitement	19
I.8.3.1. Poste primaire	20
I.8.3.2. Poste secondaire	20
I.8.3.2.1. Station BABBITLESS	21
I.8.3.2.2. Station ARJA	22
I.8.3.2.3. Station de sable ARJA	24
I.9. Contrôle de qualité	25
Chapitre II: Essais sur le sable et le béton	
II.1.Echantillonnage	27

II.1.1. Prélèvement dans le stock (échantillon global)	27
II.1.2. Prélèvement en laboratoire (échantillonnage en laboratoire)	28
II.1.2.1. Quartage	28
II.1.2.2. Echantillonneur	28
II.2. Importance de la composition granulométrique dans la fabrication du béton	29
II.2.1. Correction	30
II.3. Essai Los Angeles	30
II.3.1. But de l'essai	30
II.3.2. Principe de l'essai	30
II.3.3. Matériels utilisés	31
II.3.4. Préparation de l'échantillon	31
II.3.5. Mode opératoire	32
II.4. Essai Micro-Deval	32
II.4.1. But de l'essai	32
II.4.2. Principe de l'essai	32
II.4.3. Matériels utilisés	33
II.4.4. Préparation de l'échantillon	33
II.4.5. Mode opératoire	33
II.5. Essais sur les sables	34
II.5.1. Analyse granulométrique	34
II.5.1.1. But de l'essai	34
II.5.1.2. Principe de l'essai	34
II.5.1.3. Matériel nécessaire	35
II.5.1.4. Préparation de l'échantillon	35
II.5.1.5. Mode opératoire	35
II.5.1.6. fuseau de spécification	36
II.5.1.7. Module de finesse	37
II.5.1.8. La teneur en fines	38
II.5.2. Equivalent de sable	38
II.5.2.1. But de l'essai	39
II.5.2.2. Principe de l'essai	39
II.5.2.3. Préparation de l'échantillon	40
II.5.2.4. Matériel nécessaire	40
II.5.2.5. Mode opératoire	41
II.6. Essais sur les bétons	41
II.6.1. Caractéristiques principales du béton durcissant	41
II.6.2. Résistance en compression	42
II.6.3. Confection des éprouvettes pour l'essai de compression	42
II.6.3.1. Composition du béton	42
II.6.3.2. Dimension des moules et mise en place du béton	46
II.6.2.3. Rectification des extrémités des éprouvettes	47
II.6.3. Essai de compression	48
II.6.3.1. But de l'essai	48
II.6.3.2. Principe de l'essai	48

II.6.3.3. Matériel nécessaire	49
II.6.3.4. Conduite de l'essai	49
Chapitre III: Partie expérimentale	
III.1. Identification des matériaux	51
III.2. Caractéristiques des granulats	51
III.2. Essais sur granulats	52
III.2.1. Essai Los Angeles (Résistance à la fragmentation)	52
III.2.2. Essai Micro-Deval (Résistance à l'usure)	52
III.3. Essais sur sables	53
III.3.1. Analyse granulométrique	53
III.3.2. Module de finesse	58
III.3.3. Équivalent de sable	58
III.4. Essais sur les bétons	60
III.4.1. Formulation du béton (Méthode de Faury)	60
III.4.2. Essai de compression	62
Chapitre IV: Analyse et interprétation des résultats	
IV.1. Introduction	63
IV.2. Analyse et interprétation des résultats	63
IV.1. Essai Los Angeles	64
IV.2. Essai Micro-Deval	65
IV.3. Analyse granulométrique	65
IV.4. Equivalent de sable	66
IV.4. essai de compression	67
Conclusion générale et recommandations	69
Bibliographie	
Annexes	

Liste des figures

<i>Figure I.1</i> : Carte de situation géographique de l'unité Keddara.....	07
<i>Figure I.2</i> : Schéma de chargement des trous.....	18
<i>Figure I.3</i> : Schéma technologique du poste primaire.....	20
<i>Figure I.4</i> : Schéma technologique de la station Babbitless.....	22
<i>Figure I.5</i> : Schéma technologique de la station ARJA.....	23
<i>Figure I.6</i> : Schéma technologique de la station de sable ARJA.....	24
<i>Figure II.1</i> : Opération de quartage.....	28
<i>Figure II.2</i> : Schéma d'une opération de division en utilisant un échantillonneur.....	29
<i>Figure II.3</i> : Compacité d'un mélange de grains fins et de grains grossiers.....	30
<i>Figure II.4</i> : Colonne de tamis.....	34
<i>Figure II.5</i> : Fuseau pour un sable préférentiel.....	37
<i>Figure II.6</i> : Détermination de l'équivalent de sable.....	40
<i>Figure II.8</i> : Tracé de la courbe granulométrique de référence.....	44
<i>Figure II.9</i> : Tracé de la courbe théorique.....	45
<i>Figure II.10</i> : Principe du surfacage au soufre.....	48
<i>Figure II.11</i> : Eprouvette cylindrique pour mesurer la résistance en compression.....	48
<i>Figure III.1</i> : Courbe granulométrique de sable issu de la fraction (3/8).....	53
<i>Figure III.1</i> : Courbe granulométrique de sable issu de la fraction (8/16).....	54
<i>Figure III.1</i> : Courbe granulométrique de sable issu de la fraction (16/25).....	55
<i>Figure III.1</i> : Courbe granulométrique de sable issu de la fraction (25/40).....	56
<i>Figure III.1</i> : Courbe granulométrique de sable de rivière (S.R).....	57
<i>Figure IV.1</i> : Courbes granulométriques.....	66

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Coordonnées Lambert du périmètre	08
Tableau I.2 : composition chimique de la roche	12
Tableau I.3 : Caractéristiques physico-mécaniques	13
Tableau I.4 : Evaluation des réserves pour Djebel Ifri	14
Tableau I.5 : Evaluation des réserves pour Bouzegza Nord (M'hana)	14
Tableau I.6 : Evaluation des réserves pour Keddara	14
Tableau I.7 : Effectif de l'unité de Keddara	15
Tableau I.8 : paramètres principaux de tir	17
Tableau I.9 : Engins de transport	19
Tableau II.1 : Charge de boulets pour chaque classe granulaire	31
Tableau II.2 : Charges abrasives pour chaque classe granulaire	33
Tableau II.3 : fuseau de spécification des sables	36
Tableau II.4 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX	39
Tableau II.5 : Format et dimension des moules	47
Tableau III.1 : Caractéristiques du sable et graviers	51
Tableau III.2 : Résistance à la fragmentation (LA)	52
Tableau III.3 : Résistance à l'usure (MD)	52
Tableau III.4 : Analyse granulométrique du sable (0/4), obtenu à partir de la fraction (3/8)	53
Tableau III.5 : Analyse granulométrique du sable (0/4), obtenu à partir de la fraction (8/16)	54
Tableau III.6 : Analyse granulométrique du sable (0/4), obtenu à partir de la fraction (16/25) ..	55
Tableau III.7 : Analyse granulométrique du sable (0/4), obtenu à partir de la fraction (25/40) ..	56
Tableau III.8 : Analyse granulométrique du Sable (0/4), de rivière	57
Tableau III.9 : Teneur en fines des sables	58
Tableau III.10 : Module de finesse des sables	58
Tableau III.11 : ES du sable (0/4), obtenu à partir de la fraction (3/8)	58
Tableau III.12 : ES du sable (0/4), obtenu à partir de la fraction (8/16)	59
Tableau III.13 : ES du sable (0/4), obtenu à partir de la fraction (16/25)	59
Tableau III.14 : ES du sable (0/4), obtenu à partir de la fraction (25/40)	59
Tableau III.15 : ES du Sable (0/4), de rivière	59
Tableau III.16 : Pourcentage des différentes fractions suivant la méthode de Faury	60
Tableau III.17 : Composition du béton dans 1 m ³	62
Tableau III.18 : Résistance à la compression	62
Tableau IV.1 : Coefficient Los Angeles (LA)	64
Tableau IV.2 : Coefficient Micro-Deval (DM)	65
Tableau IV.3 : Equivalent de sable.....	66
Tableau IV.4 : Résistance à la compression	67



Introduction générale



Introduction générale

La construction en Algérie est devenue ces dernières années l'un des piliers de l'envolée économique. Les perspectives de croissance et de développement sont innombrables. Les produits de la filière béton, en particulier le sable sur lequel repose notre étude, sont présents dans presque toutes les constructions modernes et particulièrement au stade des gros œuvres.

Face à une demande sans cesse croissante en sable, où l'offre ne suffit guère à la demande, il devient impératif de faire appel aux sables issus des carrières, afin de prévenir les nombreux impacts environnementaux générés. Cette forte demande est due principalement à la relance du secteur du bâtiment et travaux publics, avec leurs grands chantiers comme le projet de construction d'un million de logements et de la réalisation de l'autoroute Est-Ouest ; ce qui a entraîné l'exploitation effrénée et abusive des sablières et engendré des dégâts importants à l'environnement.

Cependant, une instruction interministérielle, portant sur les spécifications techniques relatives aux sables de carrières pour bétons hydrauliques et enrobés bitumeux, a été signée dans le cadre de la généralisation progressive de l'utilisation de ces derniers dans le bâtiment, et l'interdiction de l'utilisation des sables de rivière. L'initiative de cette interdiction s'appuie sur la loi n°05-12 du 4 août 2005 sur l'eau, qui stipule dans son article 14, que l'extraction de matériaux alluvionnaires par tous les moyens, et, en particulier, par l'installation de sablières dans les lits des oueds, a été interdite depuis le 4 septembre 2007. Cette nouvelle disposition permet de remplacer graduellement l'utilisation du sable de rivière par le sable de carrière.

Jusqu'à présent, les sables employés dans la fabrication des bétons hydrauliques étaient, et restent encore, pour une proportion très élevée, d'origine alluvionnaire, vu le manque de sable de carrière et surtout sa mauvaise qualité qui n'est pas acceptée pour la confection des bétons hydrauliques.

Le constituant principal du faisceau granulaire ayant le plus d'importance sur la qualité du béton est le sable. De ce fait, la substitution totale d'un sable de rivière (roulé) par un sable de concassage élaboré suivant une maîtrise rigoureuse des différentes étapes de la production, permet la formulation d'un béton de très bonne qualité, du point de vue performances mécanique et physique.

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.

Ce présent travail a été réalisé en collaboration avec l'unité KEDDARA de la filiale ALGRAN. Des échantillons de différentes classes granulométriques (3/8 mm; 8/15 mm; 15/25 mm; 25/40 mm) ont été prélevés au niveau de la carrière de Keddara pour la réalisation des différents essais sur les sables et bétons au niveau de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique. On a également choisi, comme témoin, le sable de rivière qui est actuellement utilisé pour les bétons hydrauliques compris entre 20 MPa et 35 MPa.

En Algérie, la plupart des sables de concassage sont susceptibles de satisfaire aux spécifications en vigueur pour les bétons bitumineux, mais restent encore médiocres pour les bétons hydrauliques de haute qualité. L'Algérie étant bien pourvue en gisements de roches massives, les sables issus de ces gisements constituent des matériaux de substitution intéressants, à condition d'avoir résolu les problèmes techniques posés par leur utilisation dans les bétons. En effet, les rares expériences d'utilisation de tels sables s'étaient généralement soldées par des échecs. Les opinions, sur ces échecs, sont les suivantes :

- Les sables de concassage sont élaborés essentiellement pour l'usage routier, car ils contiennent trop de fines (plus de 10%) ; il faut donc réduire le % de ces fines, ce qui coûte cher.
- L'excès de particules fines dans les sables de carrières nécessitent, pour une mise en place correcte du béton, un besoin en eau supplémentaire, généralement de 10% à 15% supérieur à celle utilisée pour les sables de rivières, d'où le défaut de ségrégation.

En effet, les nouvelles normes de production de sable à béton mettent plus l'accent sur une courbe de production de référence, sur le module de finesse et sur la stabilité de ces deux éléments, que sur un fuseau ou une enveloppe granulaire plus large.

Dans ce travail, nous avons expérimenté les principales caractéristiques qui influent sur la qualité de fabrication des bétons, telles : la distribution granulométrique des grains et la proportion en particules fines, par :

1. la recherche de la meilleure fraction susceptible d'améliorer la qualité des sables
2. La modification des paramètres technologiques, qui déterminent les caractéristiques de fabrication, comme la granulométrie et la teneur en fines, afin de parvenir à la sélection d'un meilleur schéma technologique.

Notre travail est composé de quatre chapitres, à savoir:

- Chapitre premier : Identification de l'unité KEDDARA, comme la présentation de l'unité, la géologie, la capacité et les caractéristiques du gisement, dans le but de connaître les caractéristiques des produits, en particulier le sable.
- Chapitre deuxième : Description des différents essais effectués sur les sables et les bétons.
- Chapitre troisième : Caractéristiques et essais effectués sur les sables de carrières et de rivières, et les bétons (basés sur la recherche des teneurs optimales en fines et des résistances maximales en compression du béton).
- Chapitre quatrième : Analyse et interprétation des résultats obtenus sur les sables de carrières et comparaison avec ceux des sables de rivières.

Chapitre I: Généralités sur
l'unité de KEDDARA

Généralités sur l'unité de KEDDARA

I.1 Présentation de l'unité :

ALGRAN est une filiale du Groupe ENOF, entreprise minière des métaux non ferreux, elle-même issu de SONAREM, regroupant 9 unités de production réparties d'Est en Ouest du pays sur huit wilayas. Conformément à la loi minière, l'Entreprise détient les droits d'exploitation de ces gisements.

Parmi eux l'unité de KEDDARA, où on a effectué notre stage de fin d'études. Ses activités consistent à l'extraction, au traitement et à la commercialisation des granulats. Elle exploite un gisement de calcaire, depuis l'année 1978, sur la base d'un permis d'exploitation de petite et moyenne mine au nom de l'ENOF.

L'unité de Keddara consiste à produire les différentes classes de granulats (0/3 ; 3/8 ; 8/15 ; 15/25 ; 25/40 ; 40/70 mm). Ces granulats sont utilisés dans trois domaines principaux :

- La confection des bétons hydrauliques.
- La confection des bétons bitumineux.
- La construction des routes, des voies ferrées, assises et ballasts.

I.1.1 Historique :

L'unité de Keddara a été mise en évidence, étudiée et évaluée en 1974 par l'unité de recherche de Tizi-Ouzou de l'entreprise Nationale de Recherche et d'Exploitation Minière (SONAREM). Les travaux de terrain tels que l'ouverture de la carrière, la préparation des premiers gradins et le montage du concassage ont été réalisés entre 1975 et 1978.

Une prospection détaillée a aussi été réalisée fin 1978 et début 1979. L'entrée en production de la carrière a eu lieu dès Novembre 1978. Après les grandes opérations de restructuration industrielle de la décennie 80, et en particulier de la SONAREM, l'unité de Keddara a été rattachée à l'entreprise Nationale des produits miniers non ferreux et des substances utiles ENOF.

Une seconde opération de restructuration s'est produite en Janvier 2002, qui a donné naissance à la nouvelle filiale baptisée ALGRAN du Groupe ENOF.

I.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 I.1).



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

I.1.3 Accès à l'unité et aux gisements :

I.1.3.1 Accès à l'unité :

Elle est reliée à la route nationale N°12 par la route nationale N°29, reliant Boudouaou à Lakhdaria, et une piste de 1 km.

I.1.3.2 Accès au gisement de Keddara :

L'accès se fait par une piste, avec une distance de 400 m et 800 m entre la plateforme inférieure et les niveaux 188 m et 320 m d'altitude respectivement.

I.1.3.3 Accès au gisement d'Ifri :

L'accès se fait par une piste de 8 km, qui donne accès directement au niveau 620 m, en passant par la carrière EPTPAG, Bronzfield, Mouheb Kherrouba et GENISIDER (BARTRAP).

I.1.4 Superficie et limites du périmètre de l'unité :

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.

La superficie du périmètre est de 624313 m².

Les coordonnées Lambert du périmètre de l'unité Keddara sont données dans le tableau (I.1).

Tableau I.1 : Coordonnées Lambert du périmètre [3].

	Coordonnées	
	X	Y
A	568.660	368.862
B	568.371	368.873
C	568.328	368.920
D	568.226	368.942
E	568.142	368.922
F	567.964	368.996
G	568.020	368.252
H	567.960	369.318
I	567.850	369.320
J	567.026	369.584
K	567.918	369.470
L	568.150	369.410
M	568.296	369.490
N	568.444	369.524
O	568.566	369.476
P	568.900	369.506
Q	568.900	369.040

I.1.5 Evaluation du gisement :

Le gisement actuel de Keddara est en voie d'épuisement, avec des réserves exploitables, estimées en 2009 à 2 540 000 tonnes, soit en moyenne 3 ans et 6 mois d'extraction.

En outre, l'entreprise a acquise deux permis d'exploitation, au niveau du Djebel Ifri et de Bouzegza Nord (M'hana), décernés en 2003 pour une période de 10 ans, ainsi que deux titres d'exploration pour Bounedès et Draa sahar.

Le gisement Ifri a été retenu pour remplacer le gisement de Keddara ; pour éviter la rupture de travail au niveau de concassage primaire, les travaux de découverte de ce gisement ont débuté en 2007 par le niveau 630 m et qui suivent à l'heure actuelle vu l'importance de taux de découverte, avec les travaux de la plateforme de réception. Ce dernier est considéré comme étant le plus grand gisement, vu ses réserves exploitables, estimées à 27 millions de tonnes.

En revanche, le gisement de Bouzegza Nord, où ses réserves exploitables sont estimées à 22411000 tonnes, n'est pas encore en voie d'exploitation.

Par ailleurs, deux autres gisements, Draa Sahar et Bounedès, sont en phase d'exploration, afin de garantir une longue durée de vie pour l'unité.

I.2 Géologie de la région :

Le gisement de calcaire de Keddara est associé géologiquement au territoire de l'Atlas Tellien "chaîne calcaire", qui se poursuit de Djebel Bouzegza à L'Ouest jusqu'à Koudiet El Maroune à l'Est. Sa structure comprend les roches, dont leurs âges vont du précambrien au quaternaire.

I.2.1 Lithostratigraphie :

a) Précambrien :

Représenté essentiellement par des phyllithes (schistes) avec quelques passages de grès et de conglomérats affleurant, sous forme de bancs très étroits de calcaires gris et gris brun, et de quartzites grise et grise claire au Sud du village de Keddara. La puissance du dépôt dépasse 200 m.

b) Trias :

Très répandu dans les limites de la chaîne calcaire se présente principalement par des quartzeux et arkoses rouges, gris foncés. Ces terrains renferment des inter-couches de gravellites et de poudings, et on rencontre aussi parfois des couches d'argiles roses et lilas ; la puissance des dépôts est de 500 m environ.

c) Jurassique :

Reconnu par le jurassique inférieur (lias) et le jurassique supérieur (malm).

- **Lias** : il est subdivisé en deux unités :
 - **Unité inférieure** : Reconnue essentiellement par des calcaires et dolomies massive gris clair, avec une puissance de 500 m environ.
 - **Unité supérieure** : Repérée sur les versants Sud de Djebel Bouzegza et Draa Sahar, en concordance sur les calcaires massifs de l'unité inférieure, constituée essentiellement de calcaires argileux gris. La puissance de ces dépôts est de 150 m environ.
- **Malm** : Il est repéré sous forme de petites écailles au niveau d'un grand accident sublatitudinal, longeant le versant Sud de la chaîne calcaire entre des terrains du crétacé supérieur et du paléogène (charriage). Il est constitué par des argiles rougeâtres, avec des radiolarites silexoides de couleur verdâtre et cerise.

d) Crétacé :

Il est reconnu par les crétacés inférieur et supérieur.

- **Crétacé inférieur**: Repéré essentiellement par des formations flyschoides, il est subdivisé en néocomien aptien et aptien albien.
 - **Néocomien aptien** : Reconnu en forme d'une bande sublatitudinale, qui repose sous forme d'une grande écaille, représentée par une alternance régulière des

couches de grès quartzeux blancs, gris et d'argilites avec, une puissance de 500 à 700 m environ.

- **Aptien albien** : Développé dans la partie Sud et Nord de la région, et constitué de flyschs formés par une alternance régulière des couches de grès et surtout des argilites, d'une puissance de 100m environ.
- **Crétacé supérieur** : il est reconnu par le cénomanien qui est en contact avec les dépôts du cétaqué inférieur et du paléogène. Répandu au Nord-Est de la région par les grès, argiles, des marnes schisteuses uniformes, et par des endroits, assez massives, avec une puissance qui dépasse les 100 m.

e) Paléogène :

Il est reconnu par des dépôts éocènes et oligocènes.

f) Eocène :

Ce sont des formations de calcaires et grès très répandues au centre de la région sous forme de terrains séparés.

Il est subdivisé en éocène moyen et éocène supérieur.

- **Eocène moyen « Lutétien »**: On le rencontre sous forme de blocs tectoniques en nappes et en écaillés. Ce sont des calcaires massifs gris et gris clair. L'assise est d'une puissance de 100 m environ.
Au-dessus de cette assise, repose une formation flyschoides, formée de grès grisâtre, alternant avec des argiles calcaires gris et des marnes, avec une puissance de 100 m environ.
- **Eocène supérieur (Oligocène inférieur)** : Il est représenté par une formation flyschoides, en lits moyens avec présence d'arkoses, de calcaires grisâtres alternés avec des marnes micacées grises, gris verdâtre. La puissance de ces dépôts est de 600 à 800 m environ.

a) Oligocène :

Représenté par une formation, de série puissante, de flyschs alternés par des grès et des marnes. Dans la partie inférieure de la coupe de l'assise au dessus des marnes, prédominent les grès arkoses, calcaires polygéniques gris en gros bancs. Par ailleurs, dans la partie supérieure de la coupe de l'assise, on trouve une alternance de bancs puissants de 5 à 10 m de grès gris, calcaires, quartz et marnes micacées, où la puissance de l'assise peut atteindre les 100 m.

b) Quaternaire :

Il est représenté par plusieurs types génétiques:

- type alluvionnaire qui se trouve dans les lits actuels des oueds et sur les terrasses.
- Types diluviaux - proluviaux des creux et des versants.
- Travertins, formés par les sources, qui sortent en surface, traversant des couches de roches carbonatées.

Représenté essentiellement par des argiles et limons de recouvrement. La puissance des dépôts varie entre 1,5 et 3 m.

I.2.2 Tectonique :

La région est affectée surtout par des accidents discontinus, avec un pendage raide de 60° environ, mais aucune faille majeure n'est visible dans cette zone d'extension, par contre il existe des failles intraformationnelles dans toutes les directions. On note aussi la présence des cavités karstiques, généralement remplies de boues parfois très oxydées.

Il existe aussi des diaclases, formant un réseau de cassures dans toutes les directions.

La région comprend deux types de déformation : des déformations souples, qui se manifestent par un vaste dôme anticlinal à grand rayon de courbure dont l'axe est de direction Est-Ouest, et des déformations cassantes, qui se traduisent par des accidents, s'organisant en plusieurs familles suivant leur direction.

I.2.3 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 monoclinale de direction Ouest-Nord, Ouest-Est, Sud, avec des pendages de 10 à 15° Sud, qui repose en discordance avec les formations du Précambrien (grès, 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 des 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.

I.3 Hydrogéologie :

Les observations hydrogéologiques simples, qui ont été faites dans certains trous de sondages, signalent qu'aucun d'entre eux n'a rencontré des eaux souterraines ; par contre on note l'existence de deux points d'eau situés à l'Est et au Sud du gisement, permettant ainsi d'alimenter l'unité en eau potable.

I.4 Conditions climatiques de la région :

Le climat de la région est méditerranéen, sec et aride en été et froid et pluvieux en hiver. Le réseau fluvial de la région est largement développé, avec une pluviométrie moyenne de la région est de 500 mm.

Le taux d'humidité maximum enregistré dans la région atteint les 78% aux mois de Janvier et Décembre, tandis qu'un taux minimum de 70% est atteint durant les mois de Juillet et d'Août.

Compte à la température, les maximums absolus sont compris entre 10 °C pendant la saison froide et 39 °C durant la saison sèche.

Le gel est présent de janvier à avril, avec une moyenne annuelle de 15 jours par an.

La vitesse moyenne mensuelle des vents varie entre 2 et 4,3 m/s, et les maximums sont enregistrés dans la période mai à juillet. Par ailleurs, les vents, de vitesse supérieure à 20 m/s, ont été enregistrés durant 4 à 5 jours par an.

I.4 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, dont 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.

I.5 Caractéristiques de la roche :

I.5.1 Composition chimique de la roche :

Tableau I.2: composition chimique de la roche.

CaO	HgO	SiO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	PAF	NaCl	CaCO ₃
37,88 %	0,78 %	2,49 %	2,01 %	0,61 %	42,22 %	0,12 %	88,34 %

Le gypse (CaSO₄(H₂O)₂) est sous forme de trace.

I.4.2 Caractéristiques physico-mécaniques :

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

Tableau I.3 : Caractéristiques physico-mécaniques.

Caractéristiques	Résultats obtenus
Poids spécifique	2,69 t/m³
Poids volumique	2,66 t/m³
Densité apparente	1,44 t/m³
Densité absolue	2,72 t/m³
Porosité	2,00 %
Absorption d'eau	0,44 %
Résistance à la compression	1250 kg/cm³
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 %.

Les roches de l'extension font partie des formations géologiques massives susceptibles de fournir des granulats de bonne qualité, répondant aux spécifications en vigueur. Elles présentent aussi une bonne résistance à l'altération. Les essais ont également montré que les calcaires en question ont une bonne affinité chimique avec les liants hydrocarbonés et bénéficient d'une très bonne adhésivité.

I.6 Caractéristiques de la carrière :

I.6.1 Capacité de production :

La capacité de production annuelle pour chaque carrière est de:

- ★ 800 000 t/an pour la carrière de Keddara.
- ★ 900 000 t/an pour la carrière de Bouzegza Nord (M'hana).
- ★ 700 000 t/an pour la carrière de Djebel Ifri.

D'où la capacité de production annuelle pour toute la carrière est de 2 400 000. Cependant les deux gisements de Djebel Ifri et de Bouzegza Nord (M'hana) ne sont pas encore en voie d'exploitation. On ne tiendra compte que de la production annuelle de Keddara qui est de 800 000 t/an.

I.6.2 Réserves exploitables :

Les réserves exploitables sont réparties de la manière suivante :

Tableau I.4: Evaluation des réserves pour Djebel Ifri.

Réserves géologiques (t)	Pertes d'exploitation (2%) (t)	Volume de découverte (2,5%) (t)	Réserves exploitables (t)
27 800 000	556 000	695 000	26 549 000

Tableau I.5: Evaluation des réserves pour Bouzegza Nord (M'hana).

Réserves géologiques (t)	Pertes d'exploitation (2%) (t)	Volume de découverte (2,5%) (t)	Réserves exploitables (t)
30700000	614000	767500	29318500

Tableau I.6: Evaluation des réserves pour Keddara.

Réserves géologiques (t)	Pertes d'exploitation (2%) (t)	Volume de découverte (3%) (t)	Réserves exploitables (t)
2 800 000	56 000	84 000	2 660 000

D'où les réserves exploitables globales pour toute la carrière sont de 53 207 500 tonnes.

I.7 Organisation et gestion du travail de l'unité :

La carrière d'agrégats de Keddara fonctionne, selon le régime suivant :

- > Le nombre de jours ouvrables par an**234 jours /an**
- > Le nombre de jours ouvrables par semaine**5 jours /semaine ;**
- > Le nombre de postes de travail par jour.....**2 poste /jour ;**
- > Le nombre d'heures de travail par poste.....**8 heures / poste.**

I.7.1 Effectifs :

L'effectif global de l'unité est de 264, se décomposant en :

- Cadres
- Agents de maîtrise
- Personnel d'exécution

Quant à l'ensemble de l'unité, l'effectif global (Tableau I.7) est reparti comme suit :

Tableau I.7 : Effectif de l'unité de Keddara.

Grandes fonctions	Nombre
Direction	5
Carrière	18
Chargement et roulage	20
Traitement	40
Maintenance et parc roulant	24
Commercial	3
Approvisionnement	9
Ressources humaines	3
Finances et comptabilités	4
Social	21
MGX	17
Agents de sécurité	100
Total	264

I.8. Étapes de production dans la carrière de KEDDARA:

I.8.1. Exploitation :

L'exploitation de la carrière Keddara se fait à ciel ouvert. La production des granulats et du sable en particulier nécessite deux types d'opérations : l'extraction et le traitement.

Aujourd'hui, aucune exploitation de carrière ne se conçoit plus sans un projet préalable et précis de réaménagement, accompagné d'un financement adapté.

Dans tous les cas, la production de sables de carrières passe par cinq étapes principales :

- Une opération de découverte ou décapage des niveaux non exploitables ;
- Une extraction des matériaux ;
- Un transfert vers les stations de traitement ;
- Différentes opérations de traitement ;
- une remise en état du site de la carrière en fin d'exploitation ;

I.8.1.2. L'opération de découverte (décapage) :

Le processus industriel de la carrière commence par la préparation de la surface, pour l'abattage de la roche, qui se fait par enlèvement des stériles de recouvrement.

La découverte consiste à mettre à nu la partie saine de la roche à exploiter. La terre végétale est d'abord décapée au buteur ou au scrapeur, puis disposée en cordons à la

périphérie du gisement ou transportée sur une aire de dépôt, pour être éventuellement réutilisée plus tard au moment du réaménagement du site.

L'extension de La carrière de Keddara est caractérisée par un volume de recouvrement estimé à 70000 m³, ce qui donne 100 000 tonnes de stérile. Ce qui nous amène à une découverte, estimé à (3 %).

I.8.1.3. Extraction:

L'extraction se fait par abattage à l'explosif.

L'abattage a pour but de réduire la roche saine en place en bloc de tailles compatibles aux possibilités des engins de chargement et de transport, d'une part, ainsi qu'au gabarit du concasseur primaire, d'autre part.

L'abattage est réalisé par un tir à l'explosif, disposé dans de trous forés, alignés sur plusieurs plans parallèles au front de taille ou qui peut être incliné jusqu'à 20° par rapport à la verticale. La détonation de l'explosif transmet au massif rocheux une puissante onde de choc, qui broie la roche dans son voisinage immédiat, initie une fracturation radiale au-delà et engendre une fracturation parallèle à toute surface libre, sur laquelle elle se réfléchit. Elle produit également un gaz à haute température et haute pression, qui prolonge les fractures radiales et éjecte les blocs fracturés. La hauteur du front de taille est limitée par la réglementation à 15 m ; pour le gisement de Keddara, la hauteur maximale des gradins est de 15 m, en conformité à la hauteur de sécurité.

L'abattage de la roche se réalise, selon les étapes suivantes :

a) Etablissement d'un plan de tir :

- Les trous de mines seront disposés suivant plusieurs rangées sur la banquette supérieure.
- L'explosif utilisé sera l'Anfomil en vrac (charge de colonne), Marmanit III, N18 et Gélanit II, dont les diamètres de cartouche sont de 80 mm, 65 mm, 50 mm (charge de pied).
- L'amorçage de la charge sera latéral par cordeau détonant de 12g/m linéaire et un détonateur micro retard (DMR) ; l'intervalle des retards est de 20 ms.
- Le branchement des charges sera en série.

b) Foration :

Après la préparation du terrain, vient la foration. C'est une étape de préparation pour la réalisation du tir. Le forage est réalisé par une sondeuse (par percussion à l'air comprimé).

Dans la carrière de Keddara, le forage se fait régulièrement selon deux rangées, chacune comportant 25 à 35 trous ; le diamètre des trous varie de 110 mm à 89 mm, avec une inclinaison de 15° environ, et la profondeur des trous étant de 16 m.

La distance, entre les deux rangées et tous les deux trous, est de 3,4 et 4 m respectivement ; entre le front de gradin et la première rangée, elle est de 3,1 m.

La maille de foration est la surface comprise entre 4 trous d'abattage. Elle est généralement comprise entre 10 et 20 m² ; dans le cas de Keddara la maille est de 3,4 m × 4 m.

c) **Chargement des trous et tir** : (figure I.2)

Les explosifs utilisés pour la fragmentation de la roche sont : le Gélanit qui est utilisé comme charge de pied (charge brisante), l'Anfomil, la Marmanit ou N18, qui sont utilisés comme charge de colonne (charge détonante).

Les trous seront chargés en explosif cisillant sur 5 m de hauteur, et en explosif déflagrant sur 6,6 m de hauteur, puis les 3,4 mètres restants on remplira par de l'argile de préférence, ce qu'on appelle le bourrage.

L'amorçage des tirs sera réalisé au moyen d'une cartouche amorce et d'un cordeau détonant, ce dernier relié au Détonateurs à Micro Retard (DMR). Les DMR de chaque trou sont reliés en série. Ces différents détonateurs sont reliés à la ligne de tir, connecté (au moment du tir) à un exposeur, placé à un abri éloigné d'au moins 150 m de la zone de tir.

Il ne sera procédé au tir qu'une fois constaté l'absence de personnes dans le périmètre de sécurité et après avoir actionné l'alarme 15 mn avant le tir.

Le chargement et le tir s'effectuent sous la surveillance et la responsabilité immédiate de la personne chargée de la conduite des travaux.

Les paramètres principaux de tir sont illustrés dans le tableau (I.8) suivant :

Tableau I.8 : paramètres principaux de tir.

DESIGNATION	PARAMETRES
1-Diamètre du trou (d)	110 mm et 89 mm
2-Ligne de moindre résistance (W)	3 m
3-Inclinaison de trou (β)	15°
4-Profondeur du trou (L)	16 m
5-Profondeur de sous foration (J)	1 m
6-Distance entre les trous (b)	4 m
7-Distance entre les rangées (a)	3,4 m
8-Nombre de rangées	4
9-Maille de tir a × b	3,4m × 4m
10-Hauteur de colonne	5 m
11-Hauteur de pied	6,6 m
12-Hauteur de bourrage	3,4 m
9-quantité de charge par trou : - pour diamètre 110 mm - pour diamètre 89 mm	- Détonante 25 kg, Brisante 40 kg. - Détonante 12,5 kg, Brisante 25 kg.
10-Volume dégagé par trou : - pour diamètre 110 mm	200 tonnes
11-Consommation spécifique	400 g/m ³

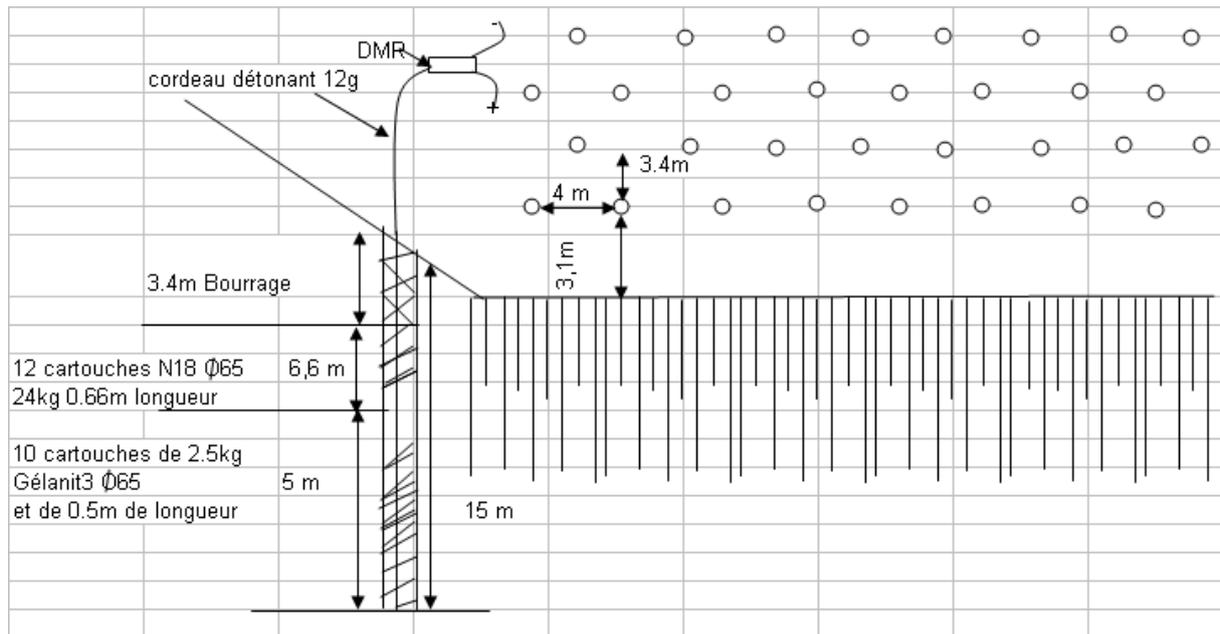


Figure I.2 : Schéma de chargement des trous.

I.8.2. Chargement et transport :

a) Chargement :

Après chaque tir, les matériaux abattus sont exploités en butte par un engin de chargement évoluant à leur pied.

Avant de choisir une chargeuse, il faut d'abord examiner la capacité de celle-ci en tenant compte de la production journalière. Pour assurer une meilleure productivité, l'unité de Keddara dispose de quatre pelles chargeuses sur pneus, trois KOMATSU WA600, avec une capacité de godet de 6m^3 et une pelle CATERPILLAR de 5m^2 .

Ces quatre engins assurent donc aisément le chargement dans les deux carrières de Keddara et d'Ifri.

b) Transport (Roulage):

Dans les carrières contemporaines, on applique largement le transport par camions ou dumpers. Il est répandu lors de l'exploitation des gisements compliqués, de la construction et de l'approfondissement des carrières. Ils ont une grande efficacité dans le transport des minéraux utiles et roches stériles. La simplicité dans la construction des engins de transport, la possibilité de surmonter la pente élevée, la simplicité d'organisation de travail caractérisent fort bien cette méthode de transport.

L'unité possède actuellement huit dumpers en état de marche, qui sont présentés dans le tableau (I.9) ci-après :

Tableau I.9 : Engins de transport.

Type d'engin	Capacité (tonnes)
PERLINI N°6	37,5 tonnes
KOMATSU N° 16	37,5 tonnes
KOMATSU N° 17	37,5 tonnes
ASTRA N° 22	28 tonnes
ASTRA N° 20	28 tonnes
ASTRA N° 21	28 tonnes
ASTRA N° 13	28 tonnes
ASTRA N° 24	28 tonnes

Cinq dumpers assurent le transport du tout-venant et trois transférés à Ifri. Ils assurent à l'unité en moyenne un transport de 33,3 tonnes par rotation et par camion.

I.8.3. Traitement :

L'installation de traitement se compose généralement de deux ensembles distincts, l'étage primaire réduisant les blocs d'abattage et permettant d'éliminer les produits terreux (argile) et les roches altérées, et l'usine d'élaboration fabriquant les produits finis. Les produits marchands sont ensuite stockés en trémies ou en tas, dans l'attente d'être expédiés et commercialisés.

La conception d'une chaîne de concassage-criblage est conditionnée par les objectifs que l'on veut atteindre et les propriétés de la roche, que l'on doit traiter. En outre, lorsque l'argilosité de la roche le nécessite, une unité de lavage est ajoutée à la chaîne de traitement.

Après les différentes opérations d'extraction (abattage, chargement, roulage), la matière première est transportée aux différents ateliers de traitement, qui, en plusieurs stades de réduction (concassage) et de classement (criblage), vont élaborer le véritable sable de concassage.

L'élaboration d'un sable de concassage commence par le poste primaire. Ce poste comporte constitué généralement les équipements suivants:

- Alimentateur
- Crible scalpeur (pré-cribleur)
- Concasseur

Ici, le crible scalpeur est considéré comme étant l'équipement le plus important pour assurer la qualité d'un sable.

Après le poste primaire, vient le secondaire considéré comme étant l'usine d'élaboration, constitué par une succession d'opérations de concassage et de criblage des matériaux.

Comme toutes les carrières, l'élaboration de produit fini au niveau de Keddara se fait ainsi :

I.8.3.1. Poste primaire : (figure I.3)

Le tout venant, avec une grosseur de 970 mm maximale, est déversé à l'aide de dumpers dans une trémie réceptrice.

La fraction inférieure à 200 mm, passant à travers la grille de l'alimentateur est soumise à un criblage préalable dans un crible à deux étages ; le premier étage du crible permet de séparer la fraction de 40 à 200 mm, en rejoignant le produit issu du concasseur à l'aide d'un by-pass dirigé vers le stock pile ; le second étage permet d'éliminer la fraction 0-40 mm, considérée comme stérile. Par contre, la fraction supérieure à 200 mm, sélectionnée par un alimentateur passe, par un concasseur giratoire, de marque BABBITLESS type BP 38, d'un débit théorique de 800 t/h, où elle subit une réduction à 200 mm, pour pouvoir être stockée dans le chapeau chinois, devant être de capacité 3000 tonnes, jouant 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.

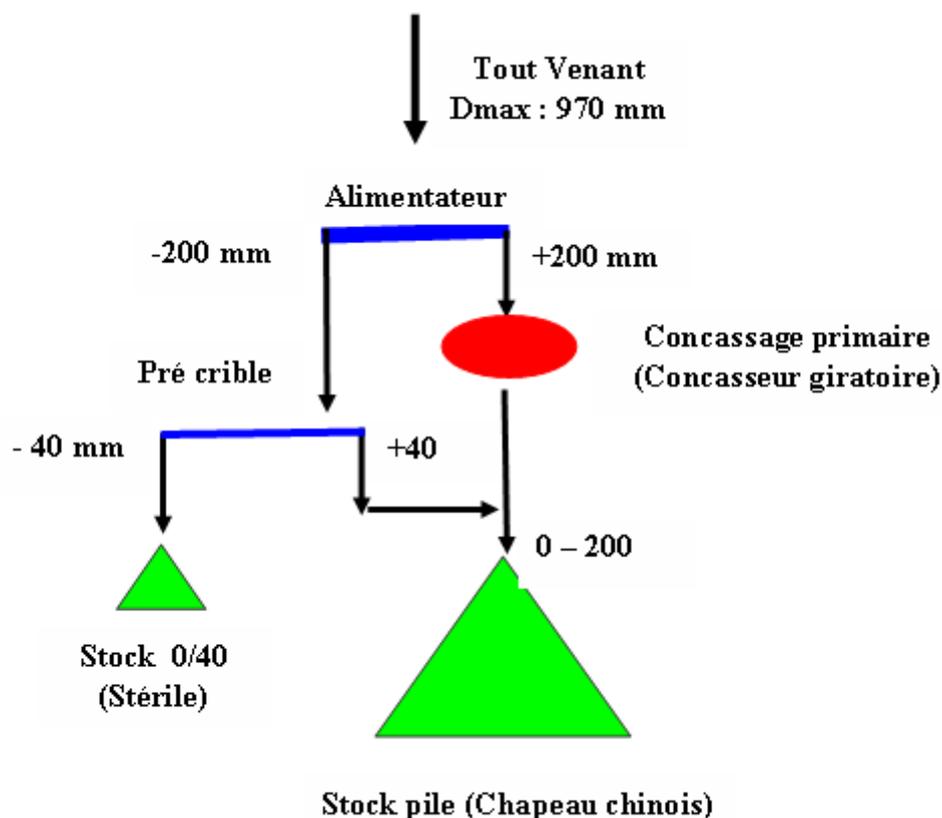


Figure I.3 : Schéma technologique de poste primaire.

I.8.3.2. Poste secondaire :

Le produit de pré-stock, avec une granulométrie [0 - 200 mm] est soutiré du chapeau chinois à l'aide d'un extracteur et envoyé sur des bandes transporteuses vers les deux stations BABBITLESS et ARJA.

I.8.3.2.1. Station BABBITLESS : (figure I.4)

Le produit du chapeau chinois, avec une granulométrie de [0-200 mm] est soumis dans un premier temps à un criblage dans un crible à deux étages, où la fraction inférieure à 40 mm est extraite du processus, comme produit marchand et la fraction supérieure à 40 mm passe par un concasseur à percussion, de marque KRUPP HAZMAG type APS 1313K, d'un débit de 300 t/h en 0/70 mm, dont 27% supérieur à 25 mm.

Le produit issu du percuteur subit des opérations de criblage sur trois cribles à deux étages travaillant en série, où les fractions sont mises en stock dans des silos appropriés.

↻ Fractions du premier crible :

- La fraction supérieure à 70 mm, retenue au niveau de la première grille du crible, sera mise en stock dans le silo ou recyclée, passera à nouveau dans le concasseur à percussion.
- La fraction 40/70 mm, retenue dans la deuxième grille, sera déversée dans le silo ou réduite à 25 mm dans un concasseur giratoire de marque BABBITLESS type BS 704N, avec un débit de 120 t/h, qui sera ensuite acheminée vers le premier crible.
- La fraction inférieure à 40 mm sera acheminée soit vers le silo ou vers le second crible.

↻ Fractions du second crible :

- La fraction 25/40, retenue dans la première grille du crible, sera mise en stock dans le silo, ou acheminée soit vers le concasseur BS 704N, soit vers un autre concasseur giratoire de même marque précédente, de type BS 704EG, avec un débit de 120 t/h, pour une réduction à 25 mm, qui sera dirigé vers le premier crible.
- La fraction 15/25 mm, retenue dans la seconde grille du crible, sera déversée dans le silo, ou acheminée soit vers le concasseur BS704 EG, soit vers un quatrième concasseur giratoire de marque BABBITLESS, de type BS 702, avec un débit de 30 t/h, pour une réduction à 15 mm, qui sera acheminée à son tour vers le premier crible.
- La fraction inférieure à 15 mm sera déversée soit vers le silo, soit vers le troisième crible.

↻ Fractions du troisième crible :

- La fraction 8/15 mm, retenue dans la première grille du crible, est directement stockée dans le silo 8-15.
- La fraction 3/8 mm, retenue dans la seconde grille du crible, est envoyée directement vers le silo 3-8.
- Le sable 0/3 sera directement déversé dans le silo 0-3.

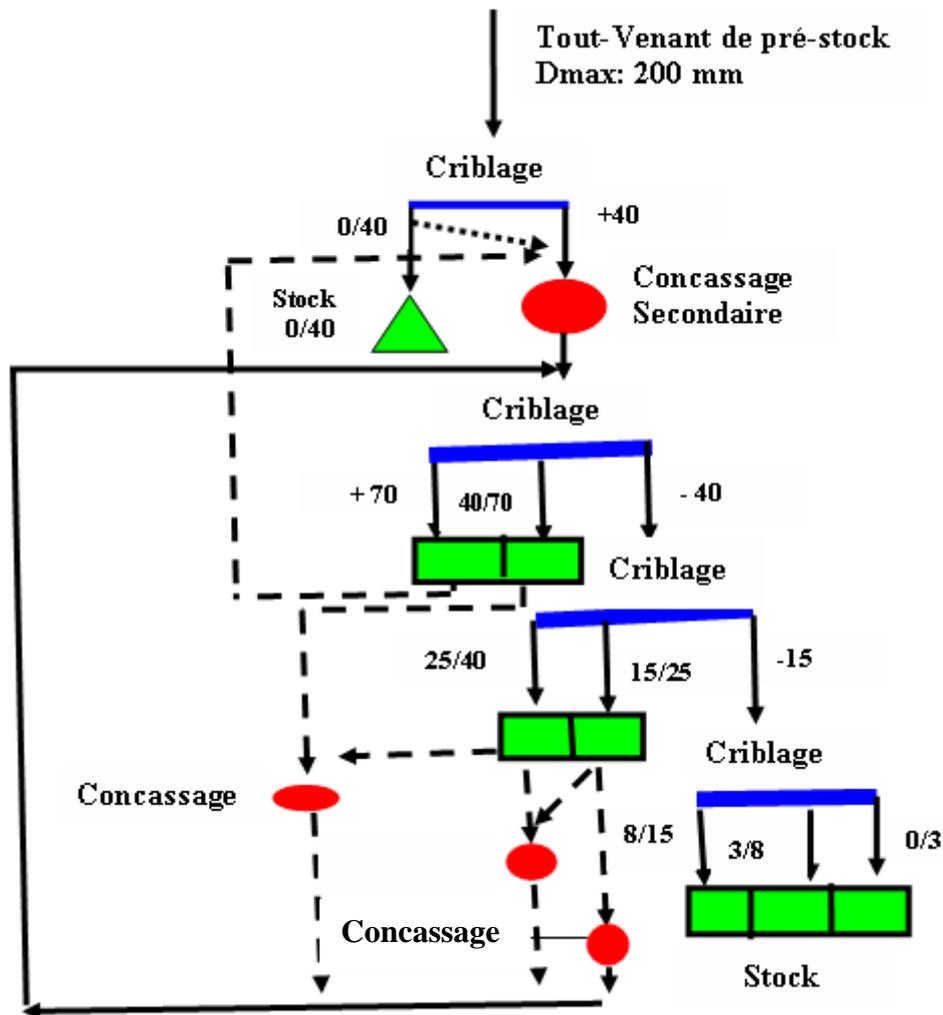


Figure I.4 : Schéma technologique de la station Babbittless.

I.8.3.2.2. Station ARJA : (figure I.5)

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

La fraction inférieure à 40 mm est mise en stock (en tas) par un convoyeur, par contre la fraction supérieure à 40 mm passe par un concasseur à percussion, de type TOROS 30 P, avec un débit de 200 t/h, pour une réduction à 25 mm avec un taux de refus de 12%.

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

Les fractions, issues du crible représentant des produits finis de l'installation sont stockées directement dans des silos appropriés, se répartissant ainsi :

- La fraction supérieure à 25 mm est retenue par la première grille ;

- La fraction 15/25 mm est retenue dans la seconde grille ;
- La fraction 8/15 mm est retenue dans la troisième grille ;
- La fraction 3/8 mm est retenue dans la quatrième grille ;
- Le sable 0/3 mm, issu de la quatrième grille.

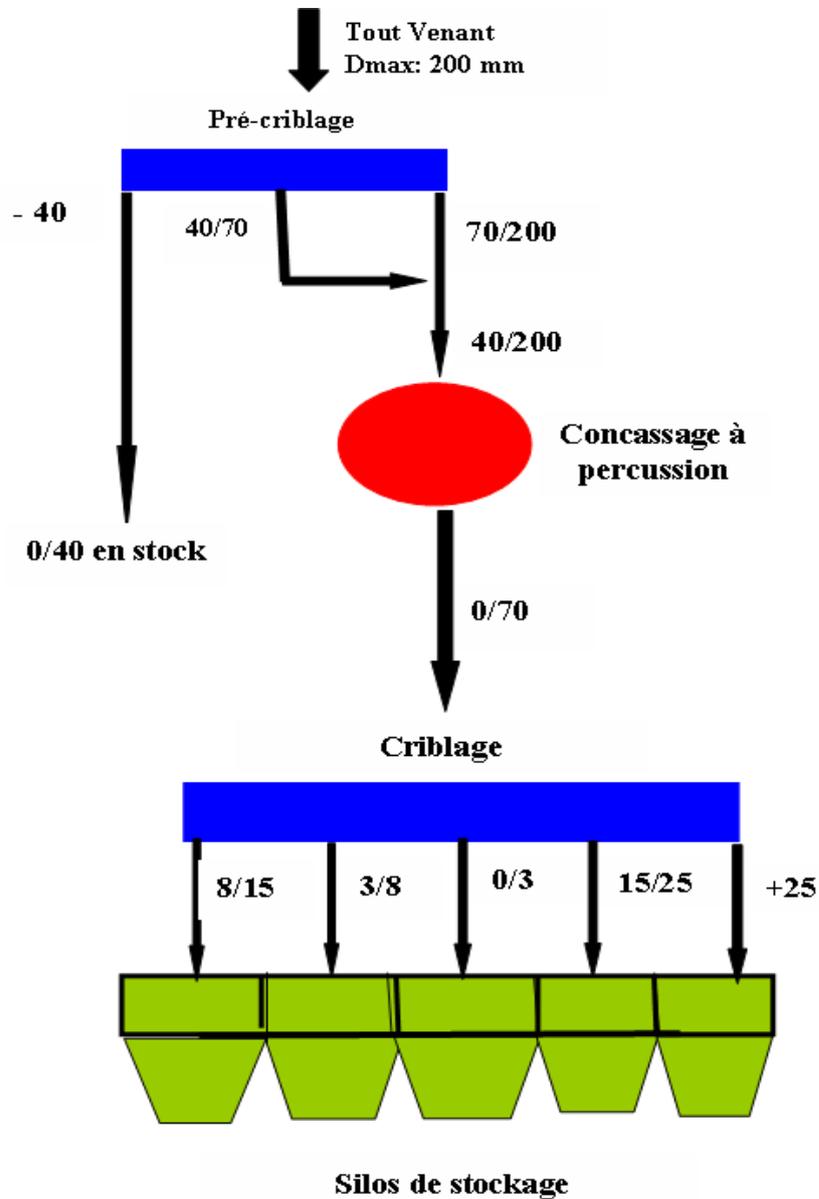


Figure I.5 : Schéma technologique de la station ARJA.

I.8.3.2.3. Station de sable ARJA : (figure I.6)

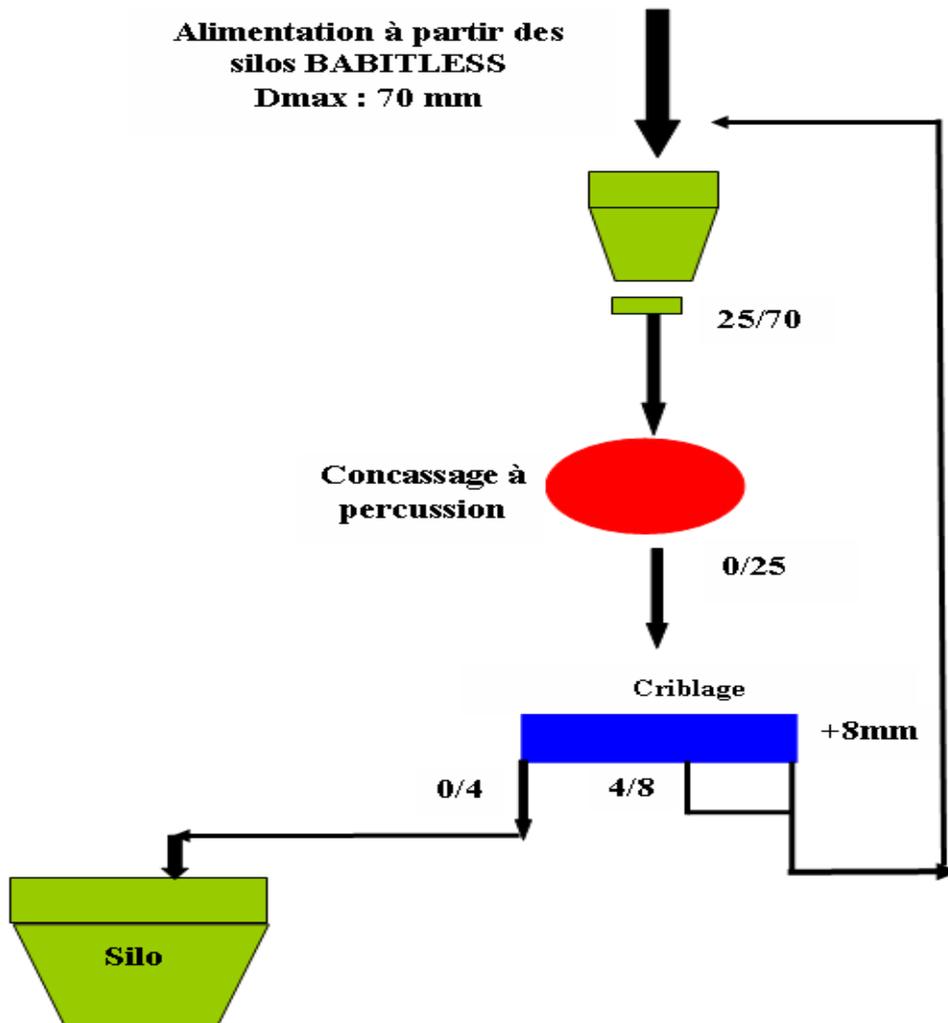
C'est une nouvelle station, destinée à la production de sable 0/4, qui n'est pas encore opérationnelle.

L'installation reçoit sa matière première, de 25 à 70 mm de grosseur, directement des silos de la station BABITLESS vers le silo de réception, avec une capacité de 25 m³.

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

Le produit issu du percuteur est dirigé vers deux cribles à deux étages, ou la fraction inférieure à 4 mm, avec un débit horaire de 108 t/h représentant le produit fini de l'installation, est stockée dans un silo de 90 m³.

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



I.9. Contrôle de qualité :

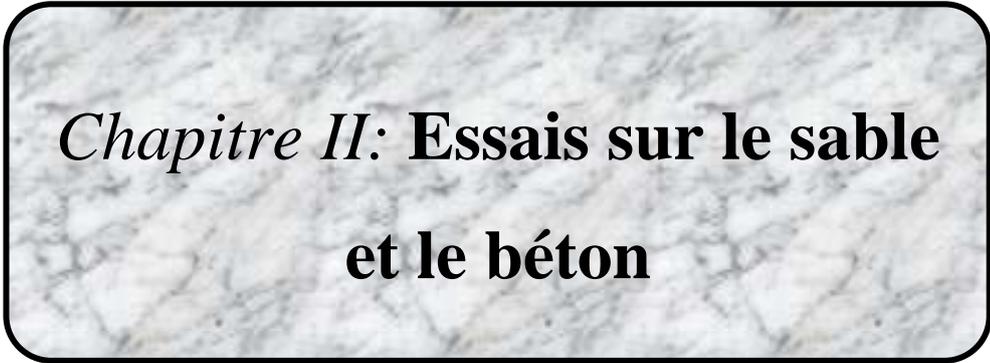
L'unité de Keddara possède un service de contrôle qualité et de développement de ses matériaux, doté d'un laboratoire et d'un personnel spécialisé. L'activité de ce service s'exerce de manière continue, en fonction des besoins du service de production.

La mission du contrôle qualitatif est de :

- ★ Compléter le contrôle spécifique, exercé par l'équipe de fabrication, par des essais de laboratoire, permettant de vérifier le réglage des concasseurs et des cribles de l'installation, ainsi que la régularité de la production.
- ★ Vérifier la conformité des matériaux par rapport aux normes.
- ★ Répondre aux conditions d'organisation du contrôle de la qualité, telles qu'elles sont spécifiées dans différents règlements généraux régissant la certification des granulats.

Le laboratoire se charge des opérations de prélèvement, de la préparation des échantillons, de la réalisation des principaux essais entrant dans le cadre de l'autocontrôle industriel sur la fabrication des granulats.

Pour le contrôle de ses produits, le laboratoire est équipé du matériel nécessaire à la réalisation des essais suivants : analyse granulométrique, teneur en fines, teneur en eau, coefficient d'aplatissement, équivalent de sable et essai au bleu de méthylène.



Chapitre II: Essais sur le sable
et le béton

Essais sur le sable et le béton

II.1. Echantillonnage :

Les essais effectués en laboratoire portent nécessairement sur des quantités réduites de matériaux, devant permettre de mesurer des paramètres caractéristiques de l'ensemble du matériau, dans lequel on a effectué le prélèvement. Il faut que l'échantillon utilisé au laboratoire soit représentatif de l'ensemble. Cette opération est généralement difficile, nécessitant du temps, et, parfois coûteuse, mais demeurant essentielle.

Pour que la caractéristique mesurée soit la plus représentative possible du lot, que l'on veut contrôler, il est nécessaire d'être extrêmement rigoureux dans la réalisation du prélèvement, qu'il soit sur camion, barge ou bien stocké.

Des règles précises sont à respecter, notamment :

- ★ Prélever l'échantillon à plusieurs endroits (haut ou pied, avant ou en arrière du stock, dessus de benne de camion ou de barge...)
- ★ Homogénéiser au préalable le lot à prélever avec un moyen approprié (pelle, godet de chargeur...).
- ★ Effectuer au minimum 10 prises élémentaires (500 g à 1 kg chacune), réparties régulièrement sur l'ensemble du stock.
- ★ Réunir ensuite l'ensemble des prises élémentaires pour homogénéisation et quartage avant toute réalisation d'essai.

En général, le prélèvement d'échantillons se fait en deux temps:

- a) Prélèvement sur chantier, en carrière ou à l'usine, d'une quantité de matériaux nettement plus grande que celle qui sera utilisée pour l'essai.
- b) Au laboratoire, prélèvement de la quantité nécessaire à l'essai et qui soit également représentative de l'échantillon de départ.

II.1.1. Prélèvement dans le stock (échantillon global) :

Lorsqu'un matériau granulaire est mis en stock, les gros éléments ont tendance à rouler en bas du tas, tandis que le haut est plus riche en éléments fins. On prélèvera donc les matériaux en haut, en bas, au milieu et à l'intérieur du tas de granulats, afin d'avoir un échantillon aussi représentatif que possible de l'ensemble. Ces diverses fractions seront ensuite mélangées avec soin. Et il faut prendre aussi en considération l'hétérogénéité des différents bancs rocheux exploités.

II.1.2. Prélèvement en laboratoire (échantillonnage en laboratoire) :

Le passage de l'échantillon global prélevé sur le tas de stock à l'échantillon, qui est la quantité de matériau nécessaire pour réaliser un essai, peut se réaliser par quartage ou à l'aide d'un échantillonneur.

II.1.2.1. Quartage :

Il s'agit d'une méthode manuelle, ne nécessitant que très peu de matériel. La figure (II.1) 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.

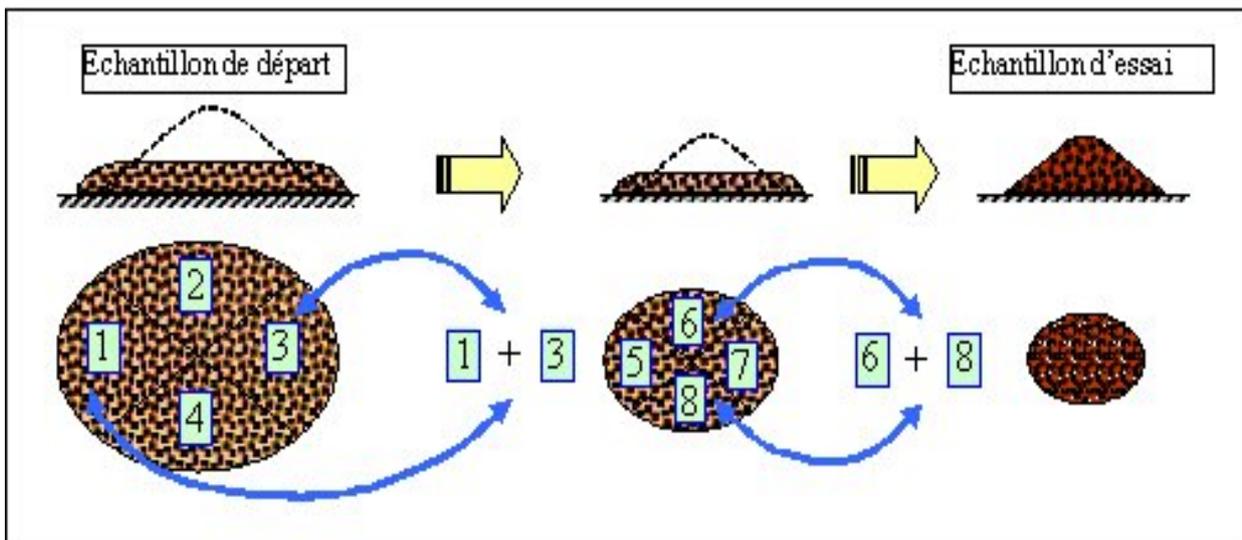


Figure II.1 : Opération de quartage.

II.1.2.2. Échantillonneur :

C'est un appareil de laboratoire, qui permet de diviser facilement en deux parties représentatives la totalité d'un échantillon initial, chaque moitié étant recueillie dans un bac de manière séparée.

La répétition en cascade de cette opération, en retenant à chaque opération le contenu de l'un des bacs, permet d'obtenir l'échantillon nécessaire, après trois ou quatre opérations identiques.

Le procédé peut être résumé par la figure (II.2). Celle-ci permet de sélectionner une masse (m) à partir d'un prélèvement de masse 3 m.

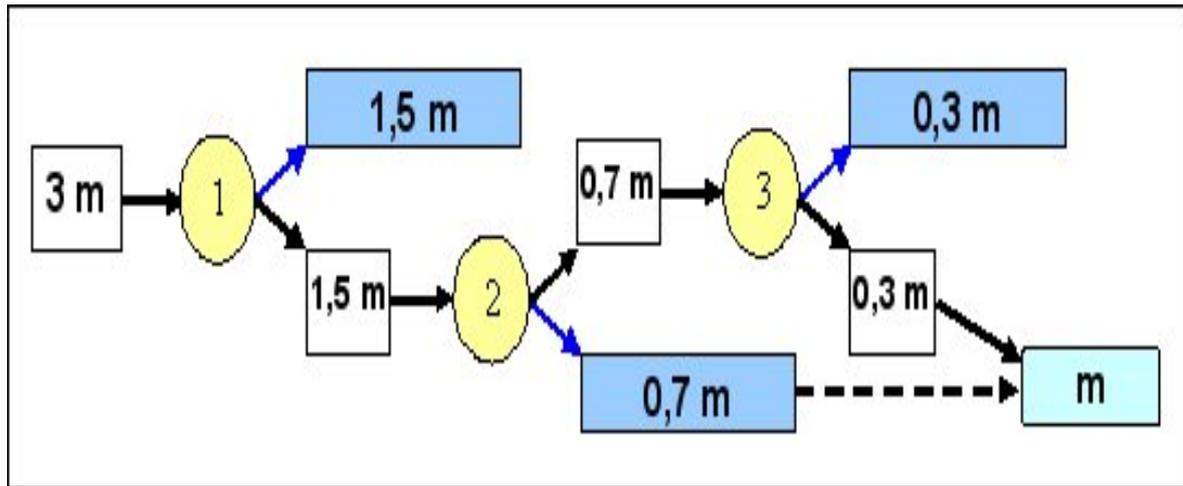


Figure II.2: Schéma d'une opération de division en utilisant un échantillonneur.

II.2. Importance de la composition granulométrique dans la fabrication du béton :

Les propriétés physico-mécaniques du béton dépendent de beaucoup de facteurs. Généralement on souhaite obtenir un béton résistant, étanche et durable. Pour atteindre ce but, il est important de remplir les conditions suivantes:

- Le béton à l'état frais soit facile à mettre en œuvre et à compacter, pour réduire la porosité.
- Un maximum de granulats par unité de volume de béton, pour réduire la quantité de pâte liante nécessaire pour remplir les vides, tous les vides devant être remplis de pâte liante.
- Un minimum de surface spécifique, pour réduire la quantité d'eau de gâchage et obtenir un rapport C/E plus élevé.
- La proportion de chaque dimension des grains doit être choisie, de façon à remplir les vides laissés par les grains de dimensions supérieures.
- Réduire la teneur en éléments fins au minimum requis pour obtenir une bonne maniabilité et une bonne compacité.

En effet, les courbes granulométriques apporteront quelques éléments de réponses à ces conditions.

La condition essentielle pour obtenir le moins de vides possibles, une meilleure compacité, dans un mélange de sable et gravillon est de: 35 % de sable de 0/5 et 65 % de gravillons 5/20 (Réf. figure II.3).

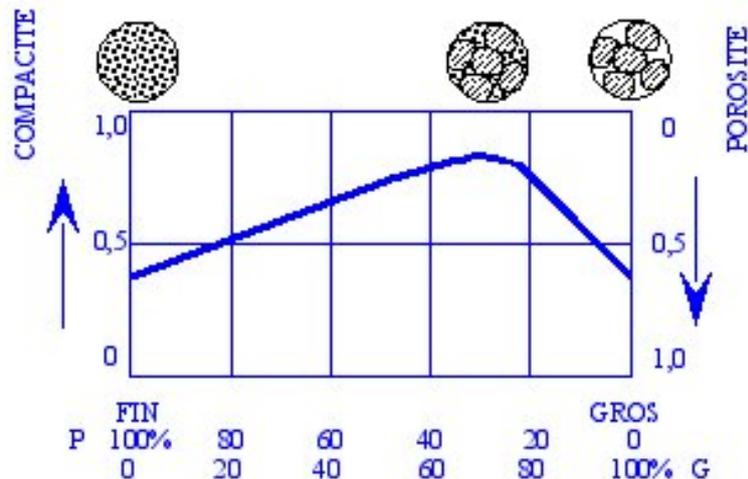


Figure II.3: Compacité d'un mélange de grains fins et de grains grossiers.

II.2.1. La correction :

Elle est nécessaire, lorsque la courbe granulométrique présente une discontinuité ou lorsqu'il y a un manque ou un excès de grains dans une zone de tamis. La correction consiste à compenser ces écarts par un apport d'un autre granulat, jusqu'à obtention d'un mélange présentant les qualités recherchées. Cette pratique est habituelle pour modifier le module de finesse (M_f) des sables de bétons hydrauliques.

II.3. Essai Los Angeles :

II.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.

II.3.2. Principe de l'essai :

L'essai consiste à appliquer un cycle de broyage à sec à un échantillon de 5 000 g, selon la norme NF P 18-573. Une charge abrasive des boulets d'acier est introduite avec l'échantillon de 5 000 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 1,6 mm.

Soient M la masse de matériau soumis à l'essai et m la masse des éléments inférieurs ou passants à 1,6 mm 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 II.1 : Charge de 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 %.

II.3.3. Matériels utilisés:

- La machine Los Angeles: C'est un broyeur de forme cylindrique en acier d'axe horizontal, de diamètre intérieur de 711 mm et une longueur interne de 508 mm, comportant une plaque fixée sur une génératrice.
- Une charge abrasive, constituée de boulets sphériques en acier de 47 mm de diamètre et pesants entre 420 et 445 g.
- 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.

II.3.4. Préparation de l'échantillon:

L'échantillon global doit être supérieur ou égale à 15 000 g. On réduit l'échantillon global avec un diviseur ou par quartage, jusqu'à obtenir un échantillon de 5 000 g, avec un seuil de tolérance de 2 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.

II.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 le pendant 24 heures.
- 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 pendant 24 heures.
- Peser le matériau après séchage (détermination de la masse finale).

II.4. Essai Micro-Deval :

II.4.1. But de l'essai :

Cet essai a pour but de déterminer la résistance à l'usure à sec ou à l'état humide.

II.4.2. Principe de l'essai :

L'essai consiste à appliquer un cycle d'usure par attrition à sec ou en présence d'eau à un échantillon de 500 g, selon la norme NF P 18-572.

On introduit les 500 g de matériau préparé, en ajoutant 2,5 litres d'eau si l'essai est réalisé en présence d'eau, et une charge abrasive correspondante à la classe choisie. Puis, un cycle de 12 000 rotations du cylindre autour de son axe est réalisé, avec une vitesse de rotation de 100 ± 5 tr/min durant de 2 heures.

Enfin, on récupère le matériau soigneusement en évitant les pertes. Ensuite, le matériau sera tamisé sur un tamis de 1.6 mm et la charge abrasive sur un tamis de 8 mm, en soumettant l'ensemble à un jet d'eau, jusqu'à ce que l'eau soit claire, puis on séchera le refus de tamis 1.6 mm à 105° .

La résistance à l'usure est donnée comme étant le coefficient Micro-Deval, exprimé par la formule suivante :

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

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 (%)

Et suivant la méthode utilisée, le coefficient Micro-Deval est défini par cette quantité sans dimension, tel que :

- MDS est le coefficient mesuré a sec.
- MDE est le coefficient mesuré en présence d'eau.

L'essai est appliqué aux classes granulaires suivantes:

4/6,3 ; 6,3/10 ; 10/14 mm.

Tableau II.2 : Charges abrasives pour chaque classe granulaire.

Classes granulaires (mm)	Charge abrasive (g)
4/6,3	2000 ± 5 g
6,3/10	4000 ± 5 g
10/14	5000 ± 5 g

Selon la norme, le coefficient Micro-Deval ne doit pas dépassé 35 %.

II.4.3. Matériels utilisés:

- Appareil Micro-Deval: C'est un broyeur de forme cylindrique en acier d'axe horizontal, de diamètre intérieur 200 mm et de longueur interne de 154 mm.
- Charge abrasive, constituée des billes sphériques de 10 mm de diamètre.
- Série de tamis de: 1,6 ; 4 ; 6,3 ; 10 ; 14 mm.

II.4.4. Préparation de l'échantillon:

L'échantillon de départ doit être supérieur ou égale à 2 000 g. On réduit l'échantillon global avec un diviseur, jusqu'à obtenir un échantillon de 500 g ± 2 g. Ce dernier est tamisé à sec sur chacun des tamis de classe granulaire choisie par ordre de croissance, ensuite lavé et puis séché à l'étuve à 105° ± 5°.

II.4.5. Mode opératoire :

- Effectuer une prise d'échantillon de 500 g (détermination de la masse initiale).
- Laver l'échantillon pour éliminer les particules fines.
- Sécher le pendant 24 heures.
- Introduire la masse abrasive dans la cocotte de Micro-Deval, puis ajouter les 500 g de l'échantillon séché pour éviter l'écrasement.
- Fixer la cocotte sur l'appareil de Micro-Deval.
- Laisser l'appareil tourner pendant 2 heures, puis enlever le matériau.
- Laver le matériau dans un tamis de 1,6 mm.
- Sécher le matériau pendant 24 heures.
- Peser le matériau après séchage (détermination de la masse finale).

II.5. Essais sur les sables :

II.5.1. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique, définie selon la norme EN 933-1, permet de distinguer les granulats suivant des classes granulaires, commercialisées par les fabricants. Elle rend observable et fournit un grand nombre d'informations sur les caractéristiques granulaires des granulats. L'élaboration d'une composition de béton nécessite une connaissance parfaite de la granulométrie et de la granularité, car la résistance et l'ouvrabilité du béton dépendent essentiellement du sable et gravier.

Cela permet d'observer et de quantifier sa granularité afin de déterminer la qualité granulaire et de répondre à la question de savoir si un granulat a une qualité granulaire suffisante pour produire du béton.

II.5.1.1. 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).

II.5.1.2. 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 II.4), un matériau en plusieurs classes granulaires de dimensions décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis, en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision requise.

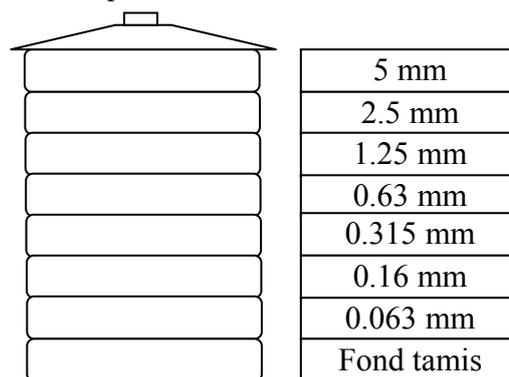


Figure II.4 : Colonne de tamis.

Le procédé adopté 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.

II.5.1.3. Matériel nécessaire :

- Tamiseuse;
- Etuve ventilée pour le séchage;
- Dispositif de lavage;
- Série de tamis selon la norme EN 933-1 (0,063 ; 0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,5 ; 4 ; 5 mm).
- Couvercle, évitant la perte de matériau pendant le tamisage et un réceptacle de fond pour recueillir le dernier tamisat.
- Bacs, brosses et pinceaux;
- Balance de précision à $\pm 0,1$ % de la masse de la prise d'essai;

II.5.1.4. 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 200 g, selon la norme EN 933-1.

II.5.1.5. Mode opératoire:

- détermination de la masse humide (M_1) de l'échantillon en le pesant.
- Sécher l'échantillon dans l'étuve ventilée à la température de $110^\circ \pm 5^\circ$.
- Déterminer la masse sèche totale (M_{S1}) de l'échantillon en le pesant.
- Laver l'échantillon jusqu'à ce que l'eau soit claire.
- Sécher à nouveau l'échantillon à 110° .
- Déterminer la masse sèche après lavage (M_{S2}) 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 tamisat 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.

II.5.1.6. fuseau de spécification :

Le fuseau de spécification (Tableau II.3) coïncide avec les limites de catégories définies dans les normes européennes des granulats, devant contenir le fuseau de régularité dans son intégralité.

C'est un ensemble de deux courbes granulométriques enveloppes 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 deux valeurs spécifiées, qui sont définies en pourcentage de tamisâts :

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

Tableau II.3 : 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

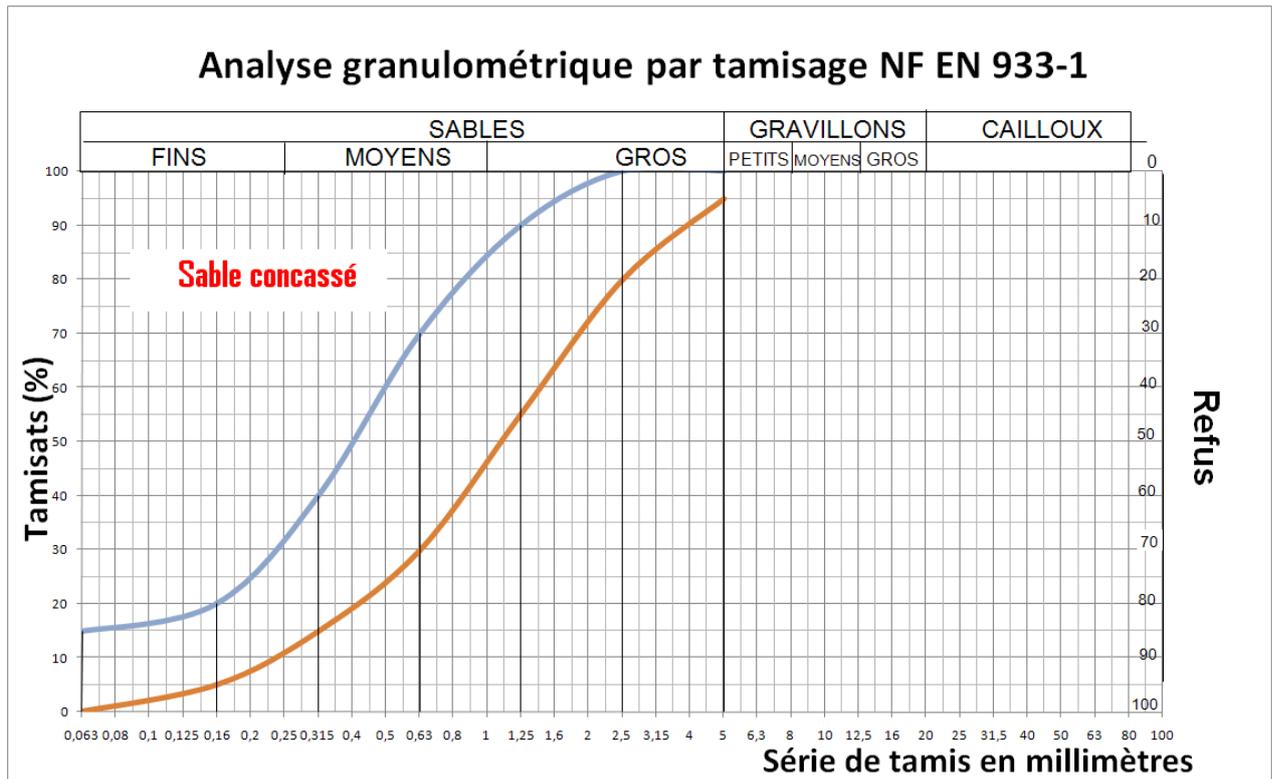


Figure II.5 : Fuseau pour un sable préférentiel.

II.5.1.7. Module de finesse :

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

II.5.1.8. 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 :

$$f = \frac{[(M_{S1} - M_{S2}) + P]}{M_{S1}} \times 100$$

Tel que :

P : matériau du fond de tamis.

II.5.2. Equivalent du sable:

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 μ m, 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, ségrégables et de faibles compacités.

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

Tableau II.4: Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX.

ES (%)	Nature et qualité de sable
Inférieur à 60	Sable argileux: risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité.
Compris entre 60 et 70	Sable légèrement argileux: de propreté admissible pour béton de qualité, quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
Compris entre 70 et 80	Sable propre: à faible pourcentage de fines argileuses, convenant parfaitement pour des bétons de haute qualité.
Supérieur à 80	Sable très propre: 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.

II.5.2.1. 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.

II.5.2.2. Principe de l'essai: (figure II.6)

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 $23 \pm 3^\circ\text{C}$. 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:

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

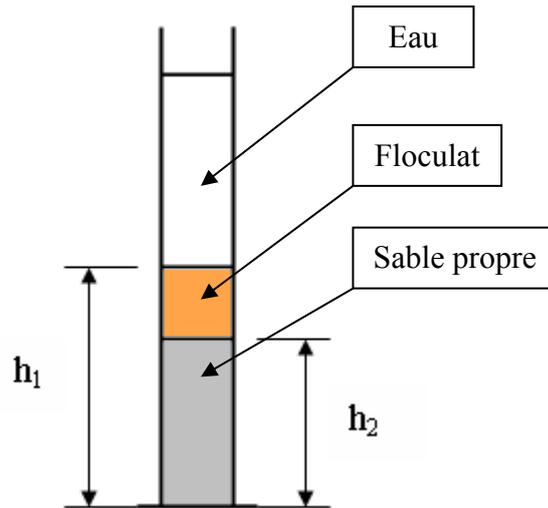


Figure II.6 : Détermination de l'équivalent de sable.

II.5.2.3. 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 2 mm, 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:

$$w = \text{Masse d'eau} / \text{Masse sèche}$$

II.5.2.4. 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 règle 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;

II.5.2.5. 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 règle, la hauteur h_1 du niveau supérieur du flocculat 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 règle 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

II.6. Essais sur les bétons :

II.6.1. Caractéristiques principales du béton durcissant :

La résistance mécanique est souvent déterminante, surtout la résistance à la compression qui est la caractéristique essentielle du béton durci, car sa résistance à la traction est beaucoup plus faible. Le béton est un matériau travaillant bien en compression, par

conséquent la connaissance de ses propriétés mécaniques est indispensable pour le calcul du dimensionnement des ouvrages.

La porosité, pourcentage de vides apportés au volume total, est essentielle, car elle conditionne les caractéristiques mécaniques et la durabilité du béton.

Cependant, la résistance du béton dépend d'un grand nombre de paramètres, comme le type et le dosage des matériaux utilisés, le degré et la condition de réalisation... etc.

Par ailleurs, la résistance du béton est fonction d'une quantité de facteurs autres que la classe de ciment, qui sont à contrôler, et à surveiller depuis le choix de la qualité des granulats jusqu'à la chaîne de bétonnage.

II.6.2. La résistance en compression :

La résistance maximale en compression du béton (f_c), donnée en MPa, est par conséquent une des propriétés les plus importantes ; l'évaluation de celle-ci est réalisée sur le béton à 28 jours d'âge, désignée par f_{c28} , tel que spécifié par la norme EN 12390-1 (NF P 18-406), afin de vérifier la qualité du béton produit. La résistance du béton en compression est une propriété qui continue d'augmenter plusieurs années après la production du béton. La contrainte maximale en compression est évaluée par un test de compression uniaxial sur des éprouvettes cylindriques, cubiques ou prismatiques.

En général, les bétons ordinaires ont une résistance en compression comprise entre 20 MPa et 35 MPa.

II.6.3. Confection des éprouvettes pour l'essai de compression :

La confection de l'éprouvette, selon la norme NF P 18-404, désigne deux choses :

- ❖ Il y a la quantité de béton nécessaire, la façon de remplir et de manipuler l'éprouvette afin de garantir la qualité de l'éprouvette en béton.
- ❖ Il y a la mise en place du béton dans l'éprouvette par vibration ou par piquage pour reproduire les conditions de mise en place du béton selon l'ouvrabilité désirée.

II.6.3.1. Composition de béton :

Le but d'une composition de béton est d'aboutir à définir le mélange optimal de granulats, de ciment et d'eau, afin de réaliser un béton, dont les qualités sont celles recherchées.

Une étude théorique ne conduit qu'à une approche du problème. La solution définitive n'est obtenue qu'après avoir réalisé quelques essais (essais sur béton frais et béton durci).

Toute méthode de composition doit être guidée selon deux critères essentiels, à savoir:

- La résistance,
- L'ouvrabilité (facilité de mise en œuvre).

Ferret et Bolomey ont montré que la résistance du béton croît avec la compacité (volume occupé par les matières solides dans 1m^3 de béton frais) et avec le rapport C/E. Néanmoins, une augmentation de C/E diminue l'ouvrabilité du béton.

Pour la résistance du béton en compression (σ'), Bolomey a proposé la formule suivante :

$$\sigma' = K \left(\frac{C}{E} - 0.6 \right)$$

K = coefficient fonction de la nature et de la classe vraie du ciment, de la qualité des granulats, des procédés de mise en œuvre.

Parmi les méthodes les plus couramment utilisées, on peut citer :

- Bolomey,
- Dreux,
- Faury,
- Joisel et Valette,
- Baron et Ollivier.

Les différences principales entre ces méthodes résident dans la définition de la courbe granulométrique de référence, selon que l'on inclue ou non le ciment dans les matières fines.

Mais toutes ont un point commun : elles dépendent des caractéristiques des matériaux utilisés (forme, nature et qualité des granulats, type de liant, etc.).

Pour notre étude on a choisi la méthode de Faury, car elle est plus simple et la plus couramment utilisée. Cette méthode repose essentiellement sur la granulométrie des constituants, et applicable à tout type de granulats après mesure des masses volumiques apparentes et absolues.

❖ Méthode de Faury :

Faury définit, par une relation appropriée, une courbe granulométrique de référence qui est une loi fonction de $\sqrt[5]{d}$ (figure II.8). C'est la raison pour laquelle, Faury adopte une échelle des abscisses graduées en $\sqrt[5]{d}$.

Avec les granulats, dont on dispose, on s'efforce de réaliser une composition granulaire totale (ciment compris), de manière à ce que la courbe soit aussi proche que possible de la courbe de référence théorique.

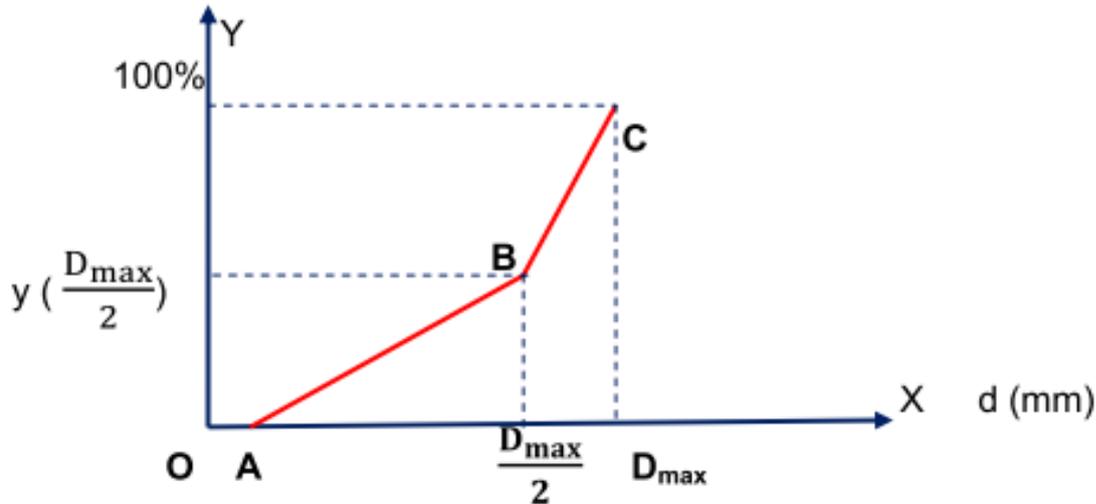


Figure II.8 : Tracé de la courbe granulométrique de référence.

La courbe de référence se définit comme suit :

$$\text{Point A } \left\{ \begin{array}{l} X = 0.0065 \text{ mm (à traduire en } \sqrt[5]{d} \text{)} \\ Y = 0 \end{array} \right.$$

$$\text{Point B } \left\{ \begin{array}{l} X = D/2 \\ Y = A + 17 \sqrt[5]{D} + \frac{B}{D-0.75} \end{array} \right.$$

$$\text{Point C } \left\{ \begin{array}{l} X = D_{\max} \\ Y = 100\% \end{array} \right.$$

Où :

- R = rayon moyen du moule et $R = \frac{V}{S}$
- S = surface totale des parois (coffrage + ferrailage + gaine)
- V = volume du moule (le volume à considérer n'est pas celui de la pièce complète à bétonner, mais celui de ses parties les plus ferrillées)
- $B = 1.5$ pour les bétons mis en place par piquage
- $B = 1$ dans tous les autres cas
- A = coefficient fonction de la nature des granulats et des moyens de serrage du béton.

Cette courbe conduit à la compacité maximale et se compose de deux tronçons de droites, dus au fait que cette méthode distingue les grains fins et moyens ($<D/2$) des gros grains ($>D/2$).

Elle donne le pourcentage en volumes absolus (ciment + granulats), en fonction des diamètres d des grains.

a. Courbe granulométrique de référence : (figure II.9)

Elle représente la courbe théorique du mélange ciment + sable + graviers.

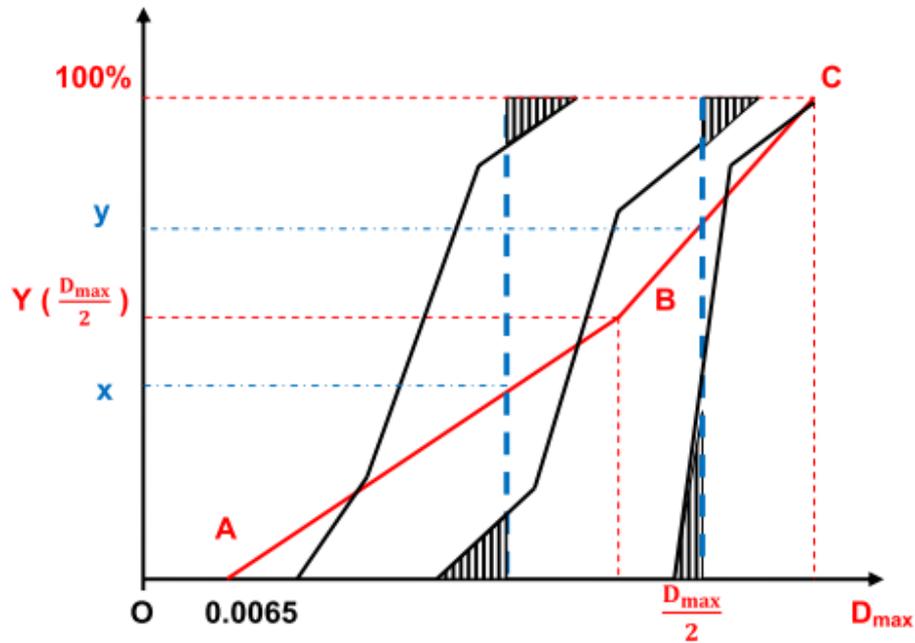


Figure II.9 : Tracé de la courbe théorique.

Les pourcentages des différents constituants du béton, à l'exception de l'eau, sont déterminés graphiquement à partir de la droite de Joisel.

Il s'agit de tracer des droites parallèles à l'axe des ordonnées, délimitant de part et d'autre de deux courbes granulo-métriques successives des aires approximativement égales. Les points d'intersection des droites avec la courbe de référence ont pour ordonnées x et y .

Avec :

- Y est l'ordonnée du point d'intersection des deux segments de droites de la courbe de référence.
- $x\%$ = pourcentage en volume absolu de sable et de ciment.
- $(y - x)$ = pourcentage en volume absolu de gravillon.
- $(100 - y)$ = pourcentage en volume absolu de gravier.

Pour évaluer les différents volumes absolus, il faut connaître le volume total des constituants solides dans un mètre cube de béton, par conséquent la quantité d'eau nécessaire.

b. Quantité d'eau de gâchage :

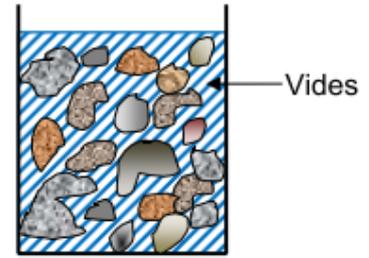
Faury estime la quantité d'eau de gâchage est égale au volume théorique des vides. Soit le volume des vides I , contenu dans un récipient d'un mètre cube de béton, où l'on a versé les constituants solides est :

$$I(\text{litre}) = \frac{1000k}{\sqrt[5]{D}} + \frac{1000k'}{\frac{R}{D} - 0.75}$$

Où :

- $k' = 0.004$ béton mou
- $k' = 0.003$ béton plastique
- $k' = 0.002$ béton ferme

La valeur de K est déterminée selon le moyen de mise en place du béton, soit par piquage ou par vibrations, et les matériaux utilisés.



En pratique, la quantité d'eau ainsi définie est insuffisante pour une bonne mise en œuvre ; il est souhaitable d'en rajouter 20 à 30% d'eau supplémentaire, en fonction de l'ouvrabilité désirée, autrement dit, utiliser une quantité d'eau équivalente à :

$$E(\text{litre}) = (1.2 \text{ à } 1.3)I$$

c. Composition pondérale des constituants solides :

Un mètre cube de béton réclame les volumes suivants :

$$V_c + V_s + V_g + V_G = 1 - E \quad , \text{ avec : } \quad V_c = \frac{C}{\rho_c}$$

$$V_s = \frac{x}{100} (1 - E) - V_c \quad , \text{ avec : } \quad P_s = \rho_s \times V_s$$

$$V_g = \frac{(y-x)}{100} (1 - E) \quad , \text{ avec : } \quad P_g = \rho_g \times V_g$$

$$V_G = \frac{(100-y)}{100} (1 - E) \quad , \text{ avec : } \quad P_G = \rho_G \times V_G$$

Avec : P_s , P_g et P_G ce sont les poids respectifs de sable, en gravillons et graviers dans leurs états secs.

II.6.3.2. Dimension des moules et la mise en place du béton :

Les résistances sont mesurées sur des éprouvettes cylindriques, cubiques ou prismatiques, dont les moules ont des caractéristiques définies par la norme NF P 18-400, pour laquelle les moules les plus utilisés sont ceux cylindriques. Leurs dimensions sont indiquées dans le tableau (II.5), devant être choisies en fonction du diamètre maximal des granulats entrant dans la composition du béton.

Tableau II.5 : format et la dimension des moules.

Format (cm)	Dimension (mm)		Section (cm ²) par un plan		D (mm) des granulats
	Diamètre (d)	Hauteur (h)	Orthogonal	Diamétral	
Cylindre 11×12	112.8	220	100	248	≤ 16
Cylindre 16×32	159.6	320	200	511	≤ 40
Cylindre 25×50	252.5	500	500	1262	≤ 80

La mise en place dans les moules SE PRODUIT par vibration ou par piquage, en fonction des résultats de l'essai d'affaissement et conformément aux normes NF P 18-421, NF P 18-422 et NF P 18- 423.

Les éprouvettes doivent être conservées sans être déplacées pendant 24 h dans un lieu maintenu à 20°C ± 2°C. Après démoulage, les éprouvettes doivent être conservées à LA même température dans l'eau ou dans une chambre humide (d'humidité relative supérieure ou égale à 95 %) pendant 28 jours.

II.6.2.3. Rectification des extrémités des éprouvettes :

Les extrémités des éprouvettes soumises à l'essai de compression doivent être préalablement rectifiées, conformément à la norme NF P 18-406, afin que les plateaux de la presse assurent un contact plan et perpendiculaire aux génératrices de l'éprouvette.

La rectification consiste donc à rendre ces surfaces planes et perpendiculaires aux génératrices de l'éprouvette. Pour parvenir à ce résultat deux méthodes peuvent être employées : le surfaçage au soufre et la rectification par usinage des extrémités.

Le surfaçage au soufre (figure II.10), qui est le plus utilisé, est décrit dans la norme NF P 18-416. Il consiste à munir chaque extrémité de l'éprouvette d'une galette à base de soufre respectant deux exigences : planéité et perpendicularité aux génératrices.

L'éprouvette maintenue par le dispositif de guidage est descendue sur le soufre liquéfié. Après refroidissement, le soufre se solidifie, et l'éprouvette, à laquelle adhère alors la galette de soufre, est désolidarisée de la platine et on procède au surfaçage de la seconde extrémité.

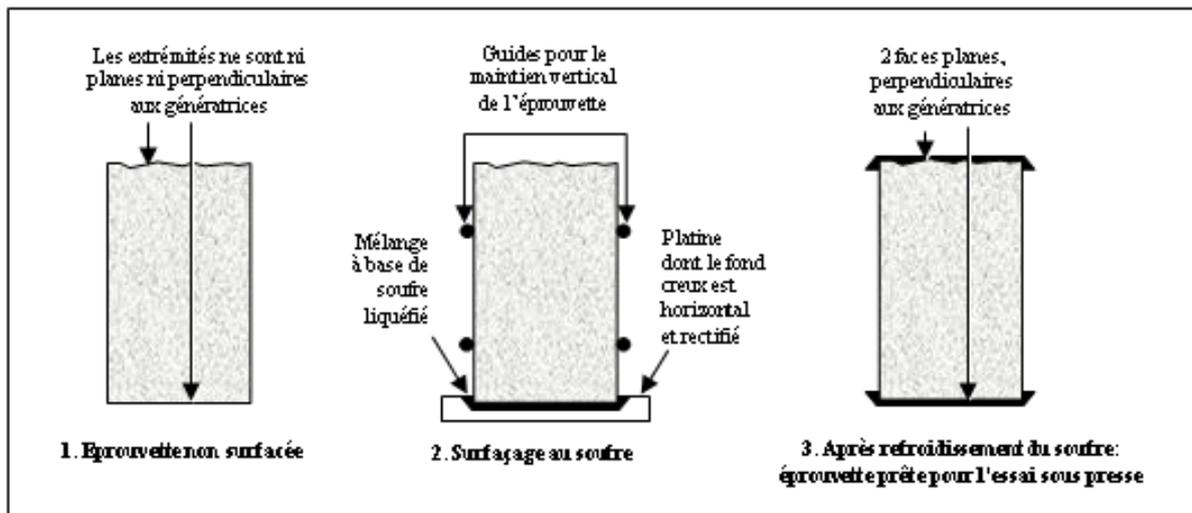


Figure II.10 : Principe du surfacage au soufre.

Pour les éprouvettes, dont la résistance à la compression ne dépasse pas 50 MPa, le surfacage peut se faire avec un mélange de 60% (en masse) de fleur de soufre et 40% de sable fin, de granularité inférieure à 0,5 mm.

II.6.3. Essai de compression :

II.6.3.1. But de l'essai :

L'essai a pour but de déterminer la résistance à la compression conduisant à l'écrasement d'une éprouvette de béton, pouvant être mesurée en laboratoire par une presse.

II.6.3.2. Principe de l'essai : (figure II.11)

L'essai mécanique le plus courant est celui de la résistance en compression uni-axiale. Celle-ci est mesurée sur éprouvette cylindrique, de diamètre 160 mm et d'élancement 2. La force appliquée doit croître régulièrement, de manière continue et sans choc, avec une vitesse correspondant à environ 10 kN/s, jusqu'à la rupture de l'éprouvette. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture P et la section transversale S de l'éprouvette.

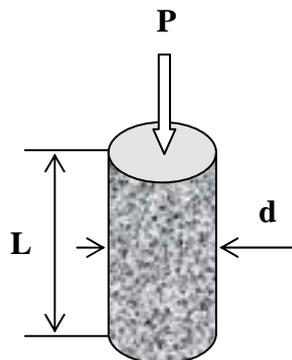


Figure II.11 : Eprouvette cylindrique pour mesurer la résistance en compression.

La résistance à la compression est donnée par la formule suivante :

$$f_c = \frac{P}{S}$$

Avec :

$$S = \frac{4}{\pi d^2}$$

Tel que : f_c : Résistance à la compression (MPa) ;

P : Charge à la rupture (N) ;

S : Section transversale de l'éprouvette ;

d : Diamètre de l'éprouvette (mm^2) ;

II.6.3.3. Matériel nécessaire :

- Une machine d'essai qui est une presse de force et des éprouvettes cylindriques de diamètre 16 cm et de longueur 32 cm.
- Le soufre pour rectifier les extrémités des éprouvettes.

II.6.3.4. Conduite de l'essai :

- ↯ Nettoyer les plateaux de la presse ;
- ↯ Mettre en place l'éprouvette verticalement et la centrer sur le plateau inférieur, avec une erreur inférieure à 1% de son diamètre;
- ↯ Amener le plateau supérieur au contact de l'éprouvette ;
- ↯ Remettre les captures à zéro et placer l'éprouvette sous la charge ;
- ↯ Relever la charge maximale P atteinte avant la rupture (en kN) ;

La résistance f_c est exprimée en MPa et a pour expression :

$$f_c = \frac{4P}{\pi d^2}$$



Chapitre III: Partie
expérimentale



Partie expérimentale

III.1. Préparation mécanique du sable :

Les granulats utilisés dans cette étude proviennent de la carrière de Keddara.

Les sables 0/4 utilisés dans cette étude sont obtenus selon deux opérations, à savoir :

1. Concassage de chacune des fractions 3/8, 8/15, 15/25 et 25/40, provenant de la carrière de Keddara, au moyen d'un concasseur giratoire du laboratoire Génie minier de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique.
Les fractions (3/8), (8/16) et (16/25) ont subi une seule passe, tandis que le concassage de la fraction (25/40) a été réalisé en deux passes.
2. Après le concassage, nous avons procédé au tamisage à l'aide d'un tamis de 4 mm, pour l'obtention du sable (0/4).

III.2. Caractéristiques des granulats : (Tableau III.1)

Les caractéristiques de sable et des graviers, provenant de la carrière Keddara, utilisés dans cette étude, indispensables pour la fabrication du béton de qualité, sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : caractéristiques du sable et graviers.

Granulats	Sable	Gravier (3/8)	Gravier (8/15)
Masse volumique réelle	2.736 t/m ³	2.589 t/m ³	2.613 t/m ³
Poids spécifiques	2.632 g/cm ³	2.632 g/cm ³	2.683 g/cm ³
Densité apparente	1.522 g/cm ³	1.364 g/cm ³	1.460 g/cm ³
Teneur en eau	0.200 %	0.176 %	0.176 %
Essai de friabilité de sable	26.80 %	/	/
Coefficient d'aplatissement	/	3 %	12 %
Coefficient d'absorption des granulats	2.506 %	1.937 %	1.820 %

III.4. Essais sur granulats :

III.4.1. Essai Los Angeles (Résistance à la fragmentation) :

La résistance à la fragmentation est donnée par la formule: $LA = 100 \frac{m}{M}$

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

Les résultats obtenus par l'essai sont représentés dans le tableau (III.2) suivant :

Tableau III.2 : Résistance à la fragmentation (LA).

Granulats	Masse initiale [M] (g)	Nombre de boulets	Masse finale (g)	Masse [m] (g)	Coefficient Los Angeles LA (%)
Gravier (3/8)	5000	7	3798	1202	24.04
Gravier (8/16)	5000	11	3674	1326	26.52
Gravier (16/25)	5000	11	3913	1087	21.74
Gravier (25/40)	10000	12	7181	2819	28.19

III.4.2. Essai Micro-Deval (Résistance à l'usure) :

La résistance à l'usure est donnée par la formule: $MD = 100 \frac{m}{M}$

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

Les résultats obtenus par l'essai sont représentés dans le tableau (III.3) ci-dessous :

Tableau III.3 : Résistance à l'usure (MD).

Granulats	Masse initiale [M] (g)	Masse finale (g)	Masse [m] (g)	Le coefficient Micro-Deval MD (%)
Gravier (3/8)	500	416	84	16.80
Gravier (8/16)	500	427	73	14.60
Gravier (15/26)	500	443	57	11.40
Gravier (25/40)	500	427	73	14.60

III.5. Essais sur sables :

III.5.1. Analyse granulométrique :

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

Les analyses granulométriques établies pour chaque sable sont représentées comme suite :

❖ **Le sable (0/4) obtenu à partir de la fraction (3/8) :**

Masse humide $M_h = 820,7$ g.

Masse sèche totale $M_{S1} = 819,4$ g.

Masse sèche après lavage $M_{S2} = 757,1$ g.

Tableau III.4 : analyse granulométrique du sable (0/4) obtenu à partir de la fraction (3/8).

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus cumulés R_i (g)	Pourcentage refus cumulés (%) $(R_i/M_{S1}) \times 100$	Pourcentage de tamisats cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_{S1}) \times 100$
5	0.0	0.00	100
4	2.3	0.28	99.72
2.5	192.0	23.43	76.57
1.25	493.7	60.25	39.75
0.63	615.9	75.16	24.4
0.315	687.5	83.90	17.00
0.16	730.1	89.10	10.90
0.063	762.4	93.04	6.96
Font du tamis	766.5	93.54	6.46

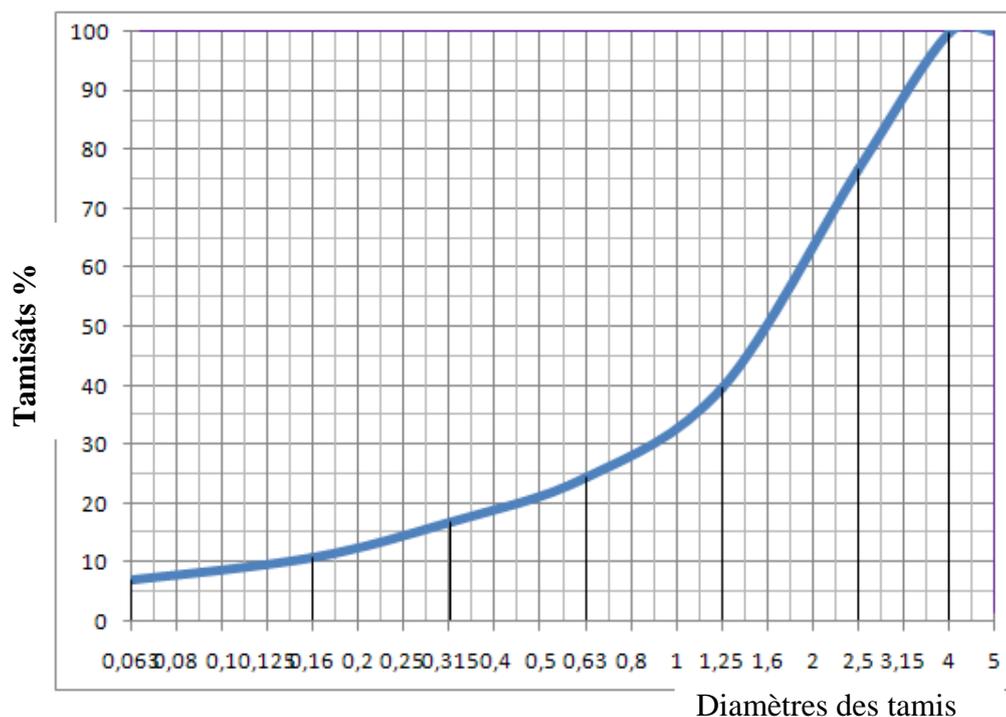


Figure III.1 : Courbe granulométrique du sable issu de la fraction (3/8).

❖ **Le sable (0/4) obtenu à partir de la fraction (8/16) :**

Masse humide $M_h = 479,5$ g.

Masse sèche totale $M_{S1} = 478,8$ g.

Masse sèche après lavage $M_{S2} = 457,4$ g.

Tableau III.5 : analyse granulométrique du sable (0/4) obtenu à partir de la fraction (8/16).

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus cumulés R_i (g)	Pourcentage refus cumulés (%) $(R_i/M_{S1}) \times 100$	Pourcentage de tamisats cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_{S1}) \times 100$
5	0.0	0.00	100
4	0.3	0.06	99.94
2.5	88.3	17.49	82.51
1.25	290.7	57.59	42.41
0.63	382.0	75.68	24.32
0.315	429.5	85.10	14.90
0.16	455.3	90.21	9.79
0.063	474.1	93.93	6.07
Font du tamis	479.1	94.92	5.08

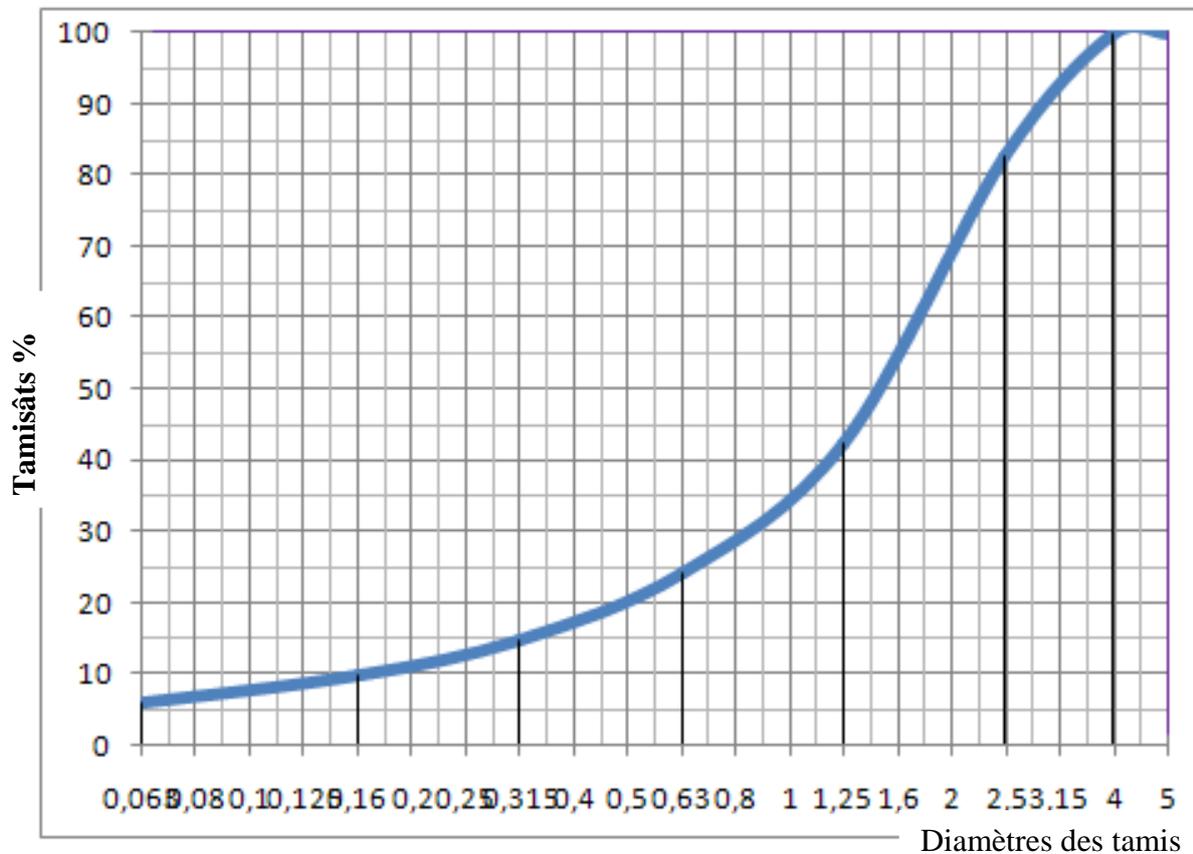


Figure III.1 : Courbe granulométrique du sable issu de la fraction (8/16).

❖ **Le sable (0/4) obtenu à partir de la fraction (16/25) :**

Masse humide $M_h = 978,9$ g.

Masse sèche totale $M_{S1} = 978,0$ g.

Masse sèche après lavage $M_{S2} = 920,7$ g.

Tableau III.6 : analyse granulométrique du sable (0/4) obtenu à partir de la fraction (16/25).

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus cumulés R_i (g)	Pourcentage refus cumulés (%) $(R_i/M_{S1}) \times 100$	Pourcentage de tamisâts cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_{S1}) \times 100$
5	0.0	0.00	100
4	0.4	0.04	99.96
2.5	222.3	21.76	78.24
1.25	580.4	56.81	43.19
0.63	748.4	73.26	26.74
0.315	847.2	82.93	17.07
0.16	905.0	88.59	11.41
0.063	949.7	92.97	7.03
Font du tamis	960.3	94.01	5.99

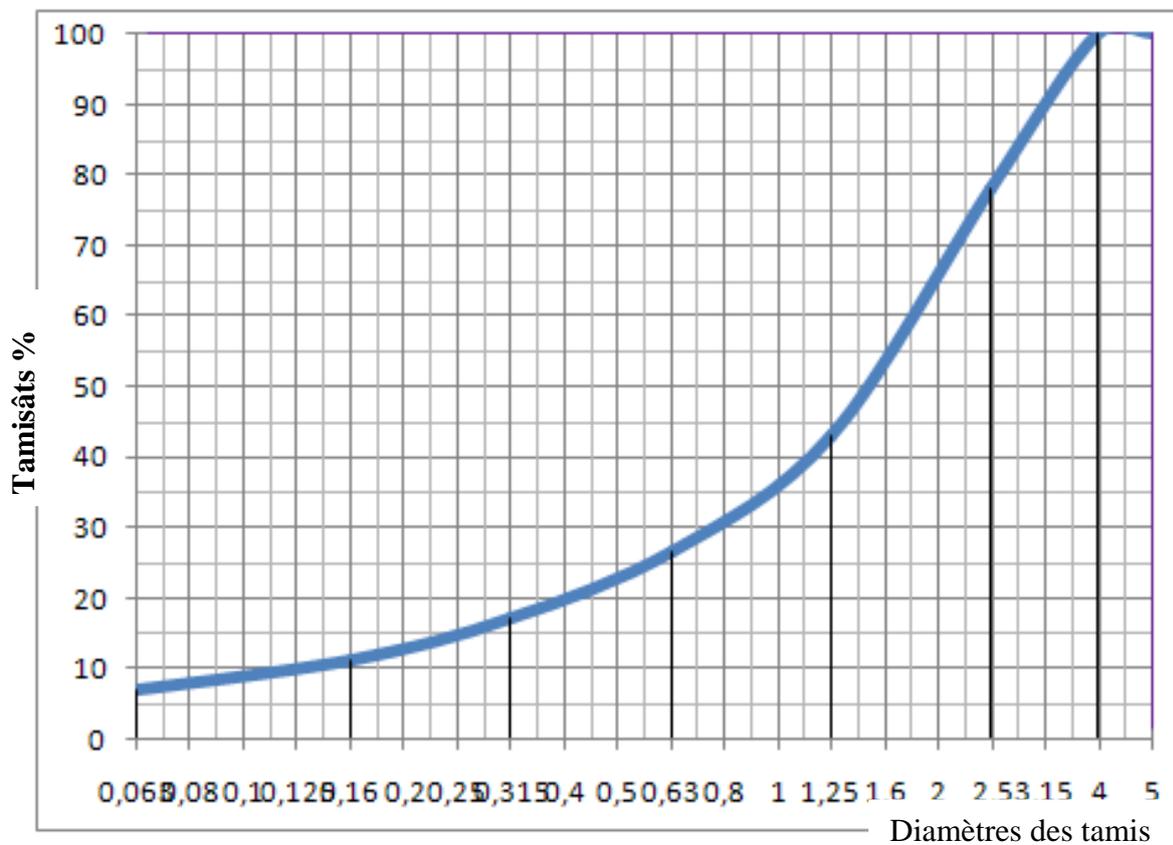


Figure III.1 : Courbe granulométrique du sable issu de la fraction (16/25).

❖ Le sable (0/4) obtenu à partir de la fraction (25/40) :

Masse humide $M_h = 870,6$ g.

Masse sèche totale $M_{S1} = 870,2$ g.

Masse sèche après lavage $M_{S2} = 837,8$ g.

Tableau III.7 : analyse granulométrique du sable (0/4) obtenu à partir de la fraction (25/40).

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus cumulés R_i (g)	Pourcentage refus cumulés (%) $(R_i/M_{S1}) \times 100$	Pourcentage de tamisats cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_{S1}) \times 100$
5	0.0	0.00	100
4	1.0	0.12	99.88
2.5	244.7	29.50	70.75
1.25	543.3	65.51	34.49
0.63	662.0	79.82	20.10
0.315	724.0	87.30	12.70
0.16	758.5	91.46	8.54
0.063	784.5	94.59	5.41
Font du tamis	788.9	95.12	4.88

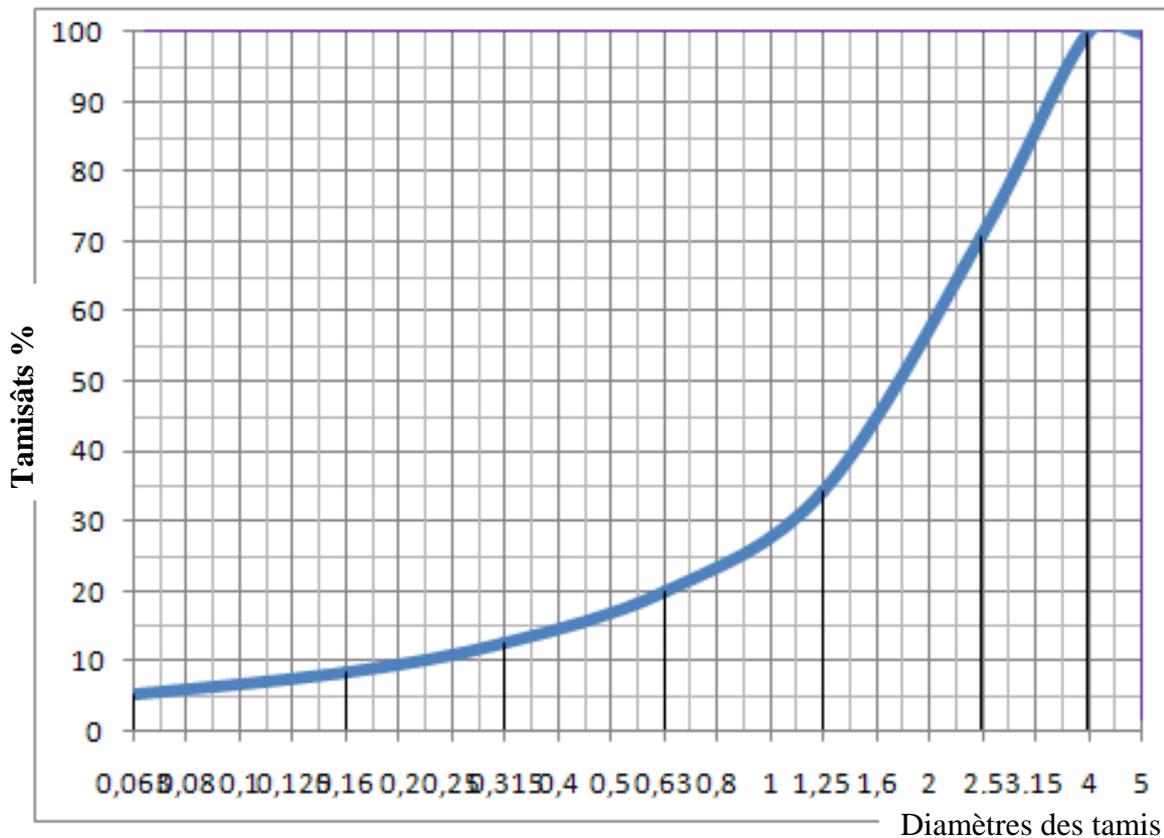


Figure III.1 : Courbe granulométrique du sable issu de la fraction (25/40).

❖ **Le sable (0/4) de rivière :**

Masse humide $M_h = 535,7$ g.

Masse sèche totale $M_{S1} = 534,2$ g.

Masse sèche après lavage $M_{S2} = 528,0$ g.

Tableau III.8 : analyse granulométrique du Sable (0/4) de rivière.

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus cumulés R_i (g)	Pourcentage refus cumulés (%) $(R_i/M_{S1}) \times 100$	Pourcentage de tamisats cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_{S1}) \times 100$
5	0.0	0.00	100
4	0.3	0.05	99.95
2.5	89.7	16.79	83.21
1.25	214.0	40.06	59.94
0.63	312.8	58.55	41.45
0.315	454.6	85.10	14.90
0.16	520.7	97.47	2.53
0.063	527.4	98.72	1.28
Font du tamis	528.0	98.84	1.16

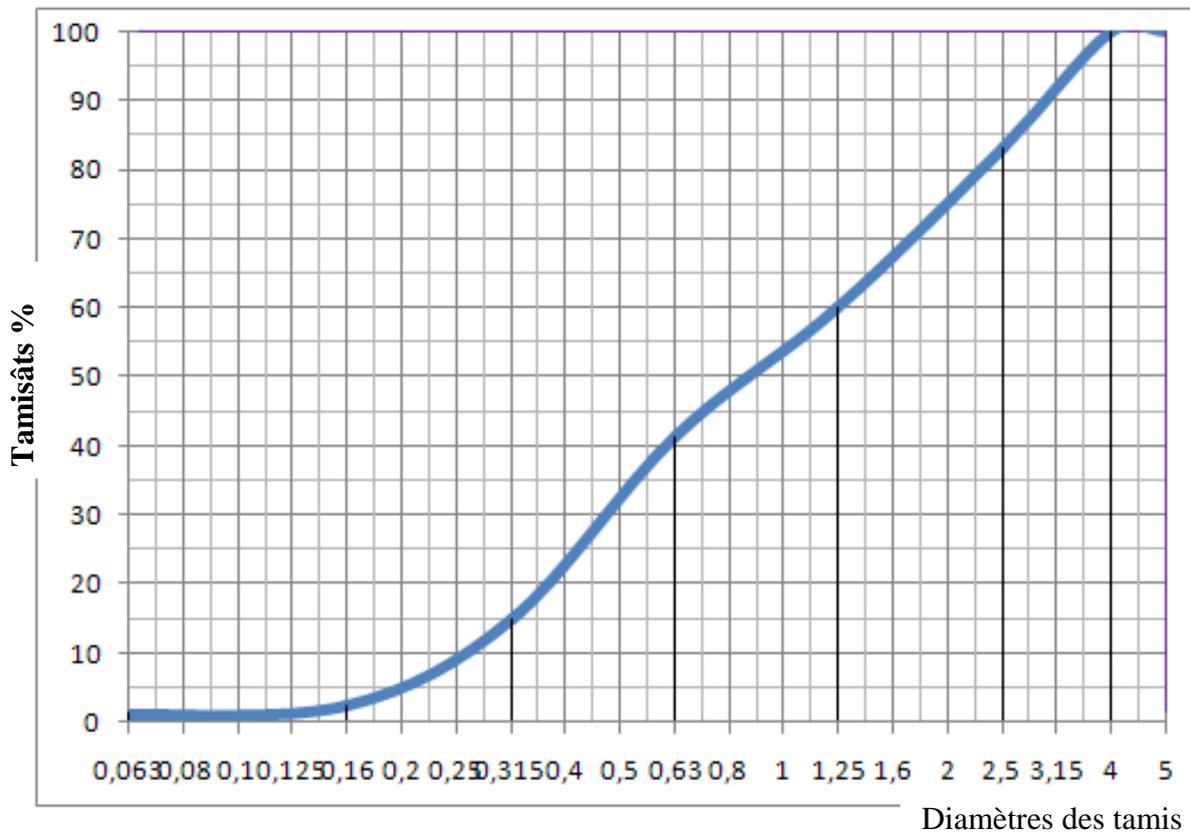


Figure III.1 : Courbe granulométrique du sable de rivière (S.R).

Après avoir réalisé l'analyse granulométrique de chaque type de sable, on peut déduire la teneur en fines, définie comme étant la fraction granulaire passant au travers du tamis de 0,063 mm, en utilisant la relation suivante :

$$f = \frac{[(M_{S1} - M_{S2}) + P]}{M_{S1}} \times 100$$

Les résultats des calculs sont représentés dans le tableau (III.9) suivant :

Tableau III.9 : Teneur en fines des sables.

Sables	3/8	8/16	15/26	25/40	Sable de rivière
Teneur en fines	6.88 %	5.92 %	6.92 %	5.27 %	1.27 %

III.5.2. Module de finesse :

Le module de finesse du sable est obtenu par la formule :

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

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau (III.10) suivant :

Tableau III.10 : Le module de finesse des sables.

Sables	3/8	8/16	16/25	25/40	Sable de rivière
Module de finesse	3.31	3.26	3.23	3.53	2.98

III.5.3. Équivalent de sable :

Les résultats de l'équivalent de sable (ES) pour chaque type de sable sont représentés dans les tableaux (III.11 à III.15) suivants :

Tableau III.11 : ES du sable (0/4) obtenu à partir de la fraction (3/8).

	1 ^{ère} éprouvette	2 ^{ème} éprouvette
Masse de l'éprouvette (g)	121.4	121.4
h ₁ (mm)	117	117
h ₂ (mm)	86	85
ES = 100 $\frac{h_2}{h_1}$ (%)	73.5	72.6
La Moyenne (%)	73	

Tableau III.12 : ES du sable (0/4) obtenu à partir de la fraction (8/16).

	1 ^{ère} éprouvette	2 ^{ème} éprouvette
Masse de l'éprouvette (g)	121.4	121.3
h_1 (mm)	120	123
h_2 (mm)	90	90
$ES = 100 \frac{h_2}{h_1}$ (%)	75.0	73.1
La Moyenne (%)	74	

Tableau III.13 : ES du sable (0/4) obtenu à partir de la fraction (16/25).

	1 ^{ère} éprouvette	2 ^{ème} éprouvette
Masse de l'éprouvette (g)	121.3	121.3
h_1 (mm)	116	117
h_2 (mm)	85	84
$ES = 100 \frac{h_2}{h_1}$ (%)	73.2	71.7
La Moyenne (%)	72	

Tableau III.14 : ES du sable (0/4) obtenu à partir de la fraction (25/40).

	1 ^{ère} éprouvette	2 ^{ème} éprouvette
Masse de l'éprouvette (g)	121.5	121.5
h_1 (mm)	123	121
h_2 (mm)	87	90
$ES = 100 \frac{h_2}{h_1}$ (%)	70.7	74.3
La Moyenne (%)	72	

Tableau III.15 : ES du Sable (0/4) de rivière.

	1 ^{ère} éprouvette	2 ^{ème} éprouvette
Masse de l'éprouvette (g)	121.4	121.4
h_1 (mm)	111	113
h_2 (mm)	91	89
$ES = 100 \frac{h_2}{h_1}$ (%)	81.9	78.7
La Moyenne (%)	80	

III.6. Essais sur les bétons :

Le ciment utilisé est un ciment portland composé (CPJ CEM II/A - classe de résistance 42,5) et de densité de 3.10, c'est un ciment conforme à la norme NA 442.

Pour réaliser l'essai de compression du béton, des éprouvettes sont confectionnées pour chaque fraction de sable, ainsi que pour le sable de rivière.

Il faut déterminer tout d'abord les proportions de chaque constituant du béton par la méthode de Faury, d'après :

III.6.1. Formulation du béton (Méthode de Faury) :

La courbe de référence est composée de deux segments de droites, tracés en joignant trois points :

- Premier point (Dmax, 100%)
- Deuxième point (Dmax/2, Y)
- Troisième point (0,0065, 0)

➤ Calcul de Y :

Sa valeur est donnée par la formule suivante :

$$Y = A + 17 \sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75}$$

En masse indéfinie, la relation devient :

$$Y = A + 17 \sqrt[5]{D}$$

Pour une consistance molle et des granulats concassés, on prend A = 34 et 30 pour les sables roulés.

On aura alors : $Y = 63.60 \implies$ Pour sable et gravier concassés.

$Y = 61.60 \implies$ Pour sable roulé et gravier concassé.

➤ Détermination des pourcentages des granulats : (Tableau III.16)

Les pourcentages des constituants du béton sont déterminés en volumes absolus par la détermination graphique à partir de la droite de Joisel (Ref. Annexe 03).

Tableau III.16 : Pourcentage des différentes fractions suivant la méthode de Faury.

Fraction	Formulation Sable concassé (3/8)	Formulation Sable concassé (8/16)	Formulation Sable concassé (16/25)	Formulation Sable concassé (25/40)	Formulation Sable de rivière
Sable+Ciment	51.50 %	51.50 %	51.50 %	52.00 %	50.00 %
Gravier (3/8)	11.10 %	11.10 %	11.10 %	10.60 %	10.65 %
Gravier (8/15)	37.40 %	37.40 %	37.40 %	37.40 %	39.35 %

➤ **Calcul de la quantité d'eau de gâchage :**

La quantité d'eau de gâchage dans un mètre cube de béton est donnée par la formule suivante :

$$I(\text{litre}) = \frac{1000k}{\sqrt[5]{D}} + \frac{1000k'}{\frac{R}{D} - 0.75}$$

Où : $k = 0,315 \implies$ Pour sable et gravier concassés.

$k = 0,300 \implies$ Pour sable roulé et gravier concassé.

$$E(\text{litre}) = 1.25 \times \frac{1000 \times 0.350}{\sqrt[5]{16}} = 226.15 \text{ l}$$

Pour sable et gravier concassés.

$$E(\text{litre}) = 1.25 \times \frac{1000 \times 0.345}{\sqrt[5]{16}} = 215.38 \text{ l}$$

Pour sable roulé et gravier concassé.

➤ **Calcul des proportions des granulats :**

Après détermination de la quantité d'eau nécessaire et les Pourcentage des différentes fractions (ciment, sable et graviers), on a déterminé le volume de chaque composant contenu dans 1 m^3 du béton, et cela, en utilisant les équations données dans le chapitre « essais sur le sable et béton ».

On a pris comme exemple le béton fabriqué à base de sable, provenant de la fraction (3/8) ; la composition du béton est déterminée de la manière suivante :

$$V_G = \frac{(100-y)}{100} (1 - E) \implies V_G = \mathbf{0.289420 \text{ m}^3}$$

$$V_g = \frac{(y-x)}{100} (1 - E) \implies V_g = \mathbf{0.085897 \text{ m}^3}$$

$$V_s = \frac{x}{100} (1 - E) - V_c \implies V_s = \mathbf{0.398532 - V_c = 0.285629 \text{ m}^3}$$

$$\text{Tel que: } V_c = \mathbf{0.112903 \text{ m}^3}$$

Ainsi la quantité de chaque constituant est obtenue en multipliant son volume par sa densité absolue, telles que :

Densité de sable est de 2.632 g/cm^3 , celle de gravier (3/8) est de 2.632 g/cm^3 et la densité de gravier (8/16) qui est de 2.683 g/cm^3 .

Le tableau (III.17) suivant résume le calcul des proportions de chaque constituant du béton.

Tableau III.17 : Composition du béton dans 1 m³.

Composant	Composants pour (3/8)	Composants pour (8/16)	Composants pour (16/25)	Composants pour (25/40)	Composants pour sable de rivière
Gravier 8/15	776.51 kg	776.51 kg	776.51 kg	776.51 kg	828.37 kg
Gravier 3/8	226.08 kg	226.08 kg	226.08 kg	215.90 kg	219.93 kg
Sable	751.77 kg	751.77 kg	751.77 kg	761.90 kg	735.40 kg
Ciment	350 kg	350 kg	350 kg	350 kg	350 kg
Eau	226.15 l	226.15 l	226.15 l	226.15 l	215.38 l

III.6.2. Essai de compression :

La résistance à la compression est considérée comme étant la propriété principale du béton durci. Pour pouvoir évaluer la résistance à la compression du béton, on doit avoir la valeur moyenne de trois échantillons au moins, dont l'écart des valeurs entre elles ne doit pas excéder les 15 %.

Après avoir confectionné les trois éprouvettes, de 16 × 32 de dimension, pour chaque sable de concassage, ainsi que pour le sable de rivière, nous avons exécuté l'essai de compression selon les réglementations de la norme concernée.

Les résultats sont donnés dans le tableau (III.18) suivant :

Tableau III.18 : Résistance à la compression.

Sables	Eprouvettes	Charge de rupture (kN)	Contrainte f_{c28} de rupture (MPa)	f_{c28} moyenne (MPa)
3/8	1 ^{ère} éprouvette	520	26	28
	2 ^{ème} éprouvette	580	29	
	3 ^{ème} éprouvette	580	29	
8/16	1 ^{ère} éprouvette	560	28	27,58
	2 ^{ème} éprouvette	520	26	
	3 ^{ème} éprouvette	575	28,75	
16/25	1 ^{ère} éprouvette	515	25,75	27,83
	2 ^{ème} éprouvette	575	28,75	
	3 ^{ème} éprouvette	580	29	
25/40	1 ^{ère} éprouvette	480	24	24
	2 ^{ème} éprouvette	480	24	
	3 ^{ème} éprouvette	480	24	
Sable de rivière	1 ^{ère} éprouvette	630	31,5	29,58
	2 ^{ème} éprouvette	565	28,25	
	3 ^{ème} éprouvette	580	29	

Chapitre IV: Analyse et
interprétation des résultats

Analyse et interprétation des résultats

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons analyser et commenter les résultats obtenus pour les différents essais réalisés à partir des sables de la carrière de KEDDARA, obtenus par concassage des fractions (3-8 ; 8-15 ; 15-25 ; 25-40) aux laboratoires du Génie Minier et du Génie civil à l'ENSP, en comparaison avec les sables des rivières.

IV.2. Analyse et interprétation des résultats :

Les granulats utilisés dans les travaux de bâtiment et de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage. Il est donc nécessaire de connaître les caractéristiques intrinsèques (Los Angeles, micro-Deval) qui sont liées en général à la qualité de la roche exploitée, et de fabrication (granularité et propreté des sables) qui résultent en général des conditions de fabrication. Ces caractéristiques jouent un rôle important dans la qualité du béton.

En effet, la norme XP P 18-540 précise les caractéristiques auxquelles doivent satisfaire les granulats utilisés pour la confection des bétons hydrauliques, des chaussées et des voies ferrées. Pour certaines de ces caractéristiques, la norme indique des valeurs spécifiées, inférieures et supérieures : V_{si} et V_{ss} . De cette façon un granulat est désigné de catégorie A, B, C ou D lorsque toutes ses caractéristiques sont de catégorie indiquée A, B, C ou D (Ref. Annexe 01).

Les analyses et les données recueillies au niveau de l'unité de Keddara ont montrées que les caractéristiques du sable, produit par la station de sable ARJA respectent les valeurs de spécifications de la catégorie B, présentées comme suit :

- Le sable analysé est de calibre 0/4 mm, il respecte le pourcentage des passants exigés par la norme (Ref. Annexe 02) ;
- Le module de finesse du sable analysé ($M_f = 3,2$), valeur d'un sable grossier non compris dans le seuil normalisé : 2,15 à 3.15 pour les sables de finesse préférentielle ($M_f = 2,8$) ; son fuseau de spécification ne s'intègre pas dans le fuseau de spécification défini par l'instruction interministérielle (Ref. Annexe 02) ;
- La propreté du sable est déterminée par l'essai d'équivalent de sable

($ES = 60 < 62 < 65$), valeur positive pour un sable de catégorie B, l'équivalent de sable à été complété par l'essai au bleu de méthylène ($V_b = 0,4 < 1$) de valeur positive, dont le taux de fines (9,29 %) d'origine argileuse est faible, le sable est donc propre.

- La friabilité du sable est de 26,8 %, inférieure à 40 % fixée par la norme pour les bétons hydrauliques de classes supérieures à 35 MPa et les enrobés bitumineux.
- Les analyses chimiques obtenues montrent que la teneur en sulfates totale (SO_3) est de 0,24 %, donc acceptable, car elle est inférieure à 0,7%, ainsi que la teneur en ions de chlorures Cl^- de 0,060 %, qui sont présents en faible quantité.
- L'essai colorimétrique a montré que la quantité en matières organiques est suffisamment faible (négatif).

Suite à ces résultats, il est impératif d'améliorer certaines caractéristiques de ce sable, surtout la teneur en fines et la propreté du sable, pour qu'il soit adapté à la fabrication des bétons de qualité.

IV.1. Essai Los Angeles :

Les résultats obtenus par l'essai Los Angeles (LA) sont résumés dans le tableau (IV.1) suivant :

Tableau IV.1 : Le coefficient Los Angeles (LA).

Granulats	3/8	8/15	15/25	25/40
LA (%)	24.04	26.52	21.74	28.19

D'après le tableau ci-dessus, on remarque que la fraction (15/25) a une résistance à la fragmentation la plus élevée, avec un coefficient LA de 21.74%, puis viennent les fractions (3/8) et (8/15) avec une valeur de 24.04 % et 26.52 % respectivement et en dernier la fraction (25/40) qui a la plus faible résistance à la fragmentation avec une valeur de 28.19%, puisque la résistance à la fragmentation augmente avec la diminution du coefficient LA.

Au fait, le coefficient LA pour les fractions 25/40 et 40/70 doivent être plus petites que celui de la fraction 15/25. Ces résultats s'expliquent par la procédure d'exécution des essais (11 boulets pour la fraction 15/25 et 12 boulets pour la fraction 25/40 et 40/70). Il est connu que la production de fines dans un broyeur augmente avec l'augmentation de la charge broyante.

La valeur maximale fixée par la norme étant de 40%, on peut dire alors que les produits de la carrière de Keddara répondent aux exigences de la norme et présentent une résistance à la fragmentation admissible pour la fabrication du béton.

IV.2. Essai Micro-Deval :

Les résultats obtenus par l'essai Micro-Deval (DM) sont résumés dans le tableau (IV.2) suivant :

Tableau IV.2 : Le coefficient Micro-Deval (DM).

Granulats	3/8	8/15	15/25	25/40
MD (%)	16.80	14.60	11.40	14.60

D'après le tableau IV.2, on remarque que la fraction (15/25) a une très bonne résistance à l'usure, avec une valeur de 11.40%, puis viennent les fractions (8/15) et (25/40) qui ont une valeur de 14.60% et en dernier la fraction (3/8) qui a la plus faible résistance à l'usure avec une valeur de 16.80% ; la résistance à l'usure augmente avec la diminution de coefficient MD. Comme pour le Los Angeles, Le Micro Deval est une fonction de la résistance de la roche et de la charge en boulets.

La valeur maximale fixée par la norme étant de 35%, on peut dire alors que les produits de la carrière de Keddara dépendent aux exigences de la norme et qu'ils présentent une résistance à l'usure admissible pour la fabrication du béton.

IV.3. Analyse granulométrique :

Les résultats obtenus, dans le chapitre « partie expérimentale », montrent que :

- Tous les sables de concassage étudiés dans notre travail ne respectent pas le pourcentage des passants exigés par la norme, car le pourcentage de tamisât est faible (en deçà de la norme). La courbe granulométrique montre que pour les ouvertures des tamis 2.5mm, 1.25mm et 0.63mm, le pourcentage des passants est inférieur à la norme, ce qui s'explique par l'obtention de sables grossiers.
- Les teneurs en fines de tous les sables étudiés, varient entre 5,27 et 6,92%. Elles sont nettement inférieures à celle fixée par la norme qui est de 15% ; mais elles sont un peu élevées en comparaison avec celle de sable de rivière qui est de 1.27%.
- Le sable issu de la fraction (25/40) présente une teneur en fines plus faible par rapport aux autres sables, par contre le sable issu de la fraction (15/25) présente une teneur en fines plus élevée. Les sables issus des fractions (3/8) et (8/15) présentent une teneur en fines de 6,88 et 5,92% respectivement.
- Le module de finesse des sables analysés, issus du concassage, varie entre 3,23 et 3.53. Il est supérieur à la norme du sable préférentiel qui se situe entre 2.2 et 2.8. Par conséquent, les sables utilisés dans cette étude sont des sables grossiers. Tandis que le module de finesse du sable de rivière est un peu proche de sable normal, qui est de

2,98 et sa courbe granulométrique rentre presque dans le fuseau de spécification. Ce module de finesse peut être modifié, car il dépend des caractéristiques de fabrication.

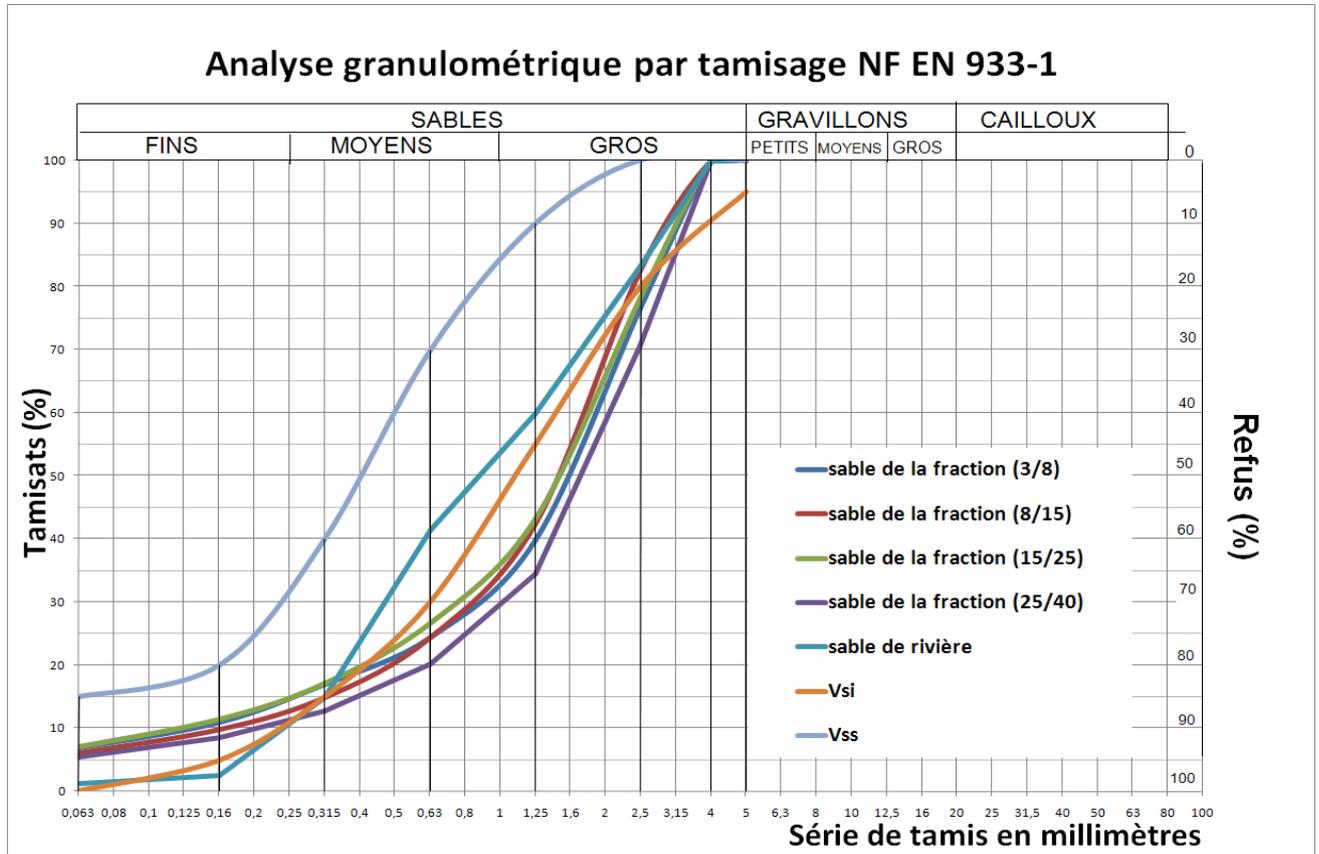


Figure IV.1 : Les courbes granulométriques.

D’après les résultats obtenus nous pouvons dire que les sables de concassage issus de différentes fractions sont des sables propres, car leur teneur en fines ne dépasse pas 7 %, en revanche, nécessitant un réglage minutieux des paramètres technologiques.

IV.4. Equivalent de sable :

Le tableau (IV.3) suivant résume les résultats obtenus à l’essai d’équivalent de sable.

Tableau IV.3 : équivalent de sable.

Sables	3/8	8/15	15/25	25/40	Sable de rivière
ES (%)	73	74	72	72	80

D'après le tableau ci-dessus, on remarque que le sable issu de la fraction (8/15) est le plus propre, avec un équivalent de sable de 74 %, par contre les sables issus des fractions (15/25) et (25/40) sont les moins propres par rapport aux deux autres sables, avec un équivalent de sable de 72 %, et le dernier sable provenant du concassage de la fraction (3/8) présente un équivalent de sable de 73 %.

On peut noter aussi, que le sable de rivière est le plus propre que les sables concassés utilisés dans cette étude, car son équivalent de sable est plus élevé. Mais néanmoins l'essai d'équivalent de sable (ES) a confirmé que les sables issus de différentes fractions sont des sables propres à faible pourcentage de fines argileuses, convenant parfaitement pour des bétons de haute qualité.

IV.4. Essai de compression :

Le tableau (IV.4) suivant résume les résultats trouvés par l'essai de résistance à la compression du béton confectionné à base de sable de concassage et de sable de rivière.

Tableau IV.4 : Résistance à la compression.

Sables	3/8	8/15	15/25	25/40	Sable de rivière
Résistance f_{c28} (MPa)	28	27.58	27.83	24	29.58

D'après le tableau ci-dessus, on remarque que le sable issu de la fraction (3/8) présente une résistance à la compression plus élevée avec une valeur de 28 MPa, puis viennent ceux issus des fractions (15/28) et (8/15) avec une résistance à la compression de 27.83 MPa et 27.58 MPa respectivement, et en dernier le sable issu de la fraction (25/40) avec une résistance à la compression de 24 MPa.

On peut noter aussi, que le sable de rivière présente une résistance à la compression plus élevée que les sables concassés ; cette différence se traduit par la mauvaise régularité des sables de concassage. Mais néanmoins, l'essai de compression a confirmé que les sables issus de différentes fractions donnent une bonne résistance à la compression du béton et qu'ils conviennent parfaitement pour la fabrication des bétons de qualité (entre 20 MPa et 35 MPa).

La résistance à la compression, la plus basse, 24 MPa, est observée pour le sable provenant de la fraction (25/40), cela peut s'expliquer par la mauvaise granularité de ce sable ayant un module de finesse égal à 3,53 (sable grossier).

Malgré la mauvaise préparation des éprouvettes qui présentent des cavités et surtout l'absence de surfacage, jouant un rôle très important dans la détermination de la résistance, nous avons obtenu des résistances assez importantes pour la fabrication des bétons hydrauliques.

A rectangular box with rounded corners and a black border, filled with a light-colored marbled pattern. The text is centered within this box.

**Conclusion générale et
recommandations**



Conclusion générale et recommandations

L'objectif principal de cette présente étude est de répondre objectivement aux questions et appréhensions des utilisateurs de sables des rivières, afin d'évacuer tous les doutes, quant à leur remplacement graduel par les sables de carrières et préserver ainsi l'environnement.

Les résultats obtenus par les différents essais, effectués aux laboratoires des départements Génie minier et Génie civil, nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- La présence de fines en faible quantité dans les sables de carrières améliore les résistances mécaniques du béton ; au contraire, si le nombre de fines augmentent, la résistance mécanique du béton diminue,
- Le matériel utilisé influe sur la qualité des sables : les concasseurs à percussion génèrent plus de fines en augmentant de la vitesse de rotation (les essais de concassage sur les concasseurs à percussions ont été réalisés au niveau de KEDDARA).
- La granularité du sable joue un rôle très important dans la qualité des bétons.
- Les sables obtenus par le concassage des fractions sont des sables propres, convenant parfaitement à la fabrication du béton.
- Il est possible de confectionner des bétons à base de sable de carrière, sans conséquences préjudiciables sur les caractéristiques mécaniques des bétons.
- Au vu des différents résultats déterminés sur les différents sables, ces derniers conviennent pour la fabrication des bétons hydrauliques courants, de classe inférieure à 35 MPa.

Pour produire un sable concassé, de meilleure qualité, il faut éliminer les contraintes suivantes :

- Améliorer la régularité du sable par les différents réglages possibles du concasseur.
- Retirer les fines des sables par des moyens appropriés, comme l'installation de dépoussiéreurs au niveau des cribles et les concasseurs, réduisant la teneur en fines et

jouant un rôle de sécurité en même temps ; un lavage peut réduire une proportion importante en particules ultra fines.

La généralisation de l'utilisation des sables de carrière, à condition de respecter les spécifications techniques, devra se faire avec la concertation de tous les partenaires de la construction. Et pour mettre en valeur les sables de carrière et la gestion des problèmes environnementaux, il faut, en particulier :

- Sensibiliser les différents acteurs et décideurs, impliqués dans la construction, sur les potentialités industrielles des sables de carrière et la possibilité de son utilisation dans la composition d'un béton.
- Il est nécessaire de mettre en évidence les avantages offerts par les sables de carrières par rapport aux sables de rivière, par toutes les voix de communication susceptibles d'atteindre tous les responsables et à tous les niveaux.
- Il faut que l'état algérien subventionne les sables de carrière en mettant en place des mécanismes incitatifs à la production et à l'utilisation de sable concassé dans l'industrie du bâtiment.

A l'échelle du laboratoire, La fraction (3/8) est la plus favorable pour la production de sables pour béton.

Il est vrai qu'à l'échelle industrielle, le choix de la fraction dans la production du gravier est aléatoire. Souvent les fractions 25/40 et 40/70 sont mélangées pour être vendues en une seule fraction, ce qui a poussé ALGRAN à investir dans l'acquisition d'une nouvelle station qui est au stade d'essais.

La charge circulante est un paramètre très important, qu'il faut absolument maîtriser. Il dépend de la quantité de tamisât (passant du crible – dans le cas des sables, l'ouverture étant de 4 mm). Elle est inversement proportionnelle à la quantité de tamisât. A son tour la quantité de passant est une fonction des réglages du concasseur. Pour le concasseur à percussion, elle dépend de la vitesse du rotor et du nombre des marteaux. De plus, réduire un granulat de 70 mm à moins 4 mm en une seule passe, soit un degré de réduction de plus de 18 n'est possible, mais difficile, que pour le concasseur à percussion. Il varie de 4 à 8 pour les concasseurs à mâchoires et giratoires. Afin d'éviter une charge circulaire importante, nous avons proposé le schéma (N° 1) de production des sables suivant :

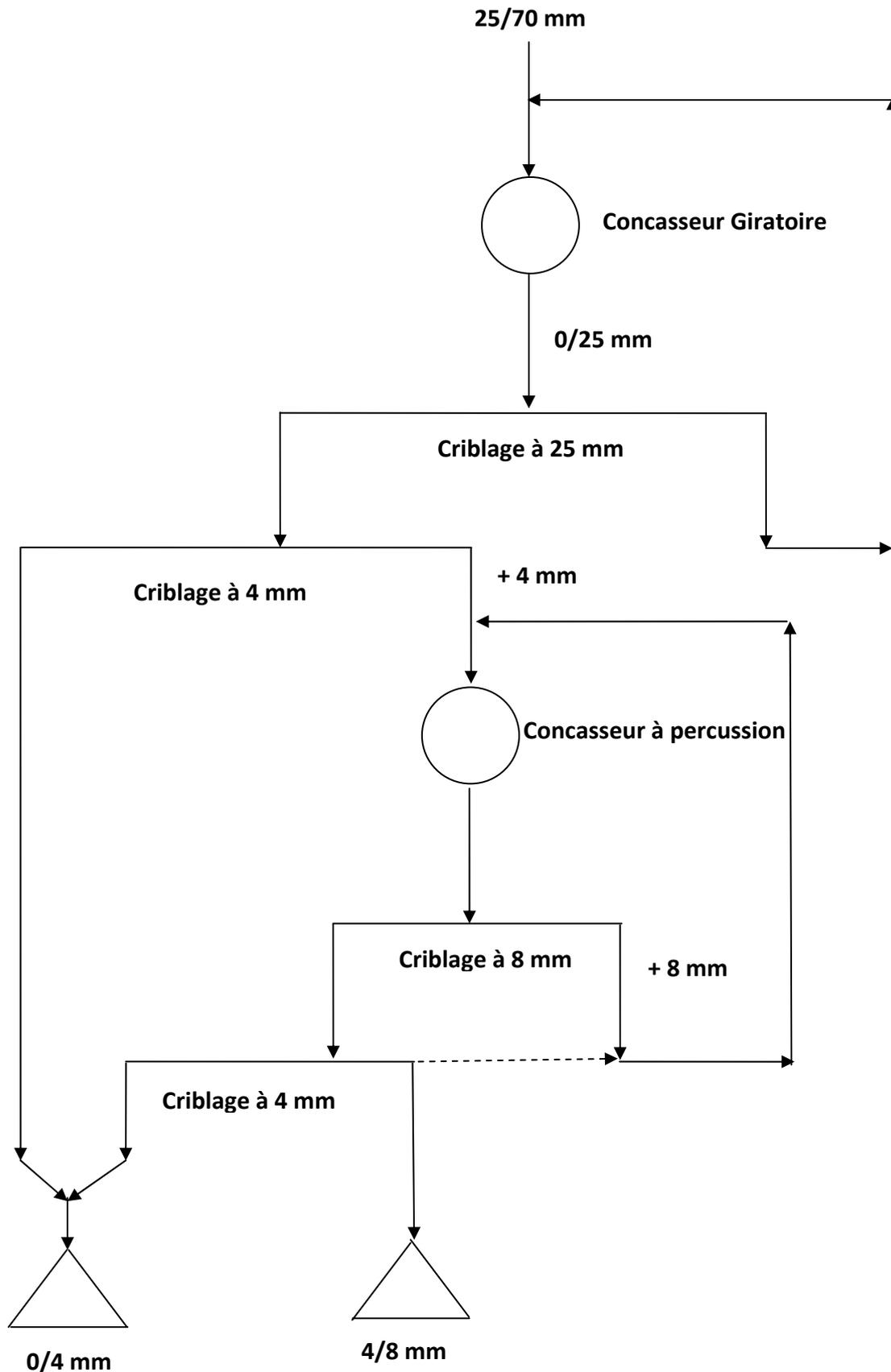


Schéma N° 1 : Production des sables de qualité

Le calcul du nombre de cribles et concasseurs pour chaque étage se fait par les méthodes de calcul standard ou par les données spécifiques de chaque fabricant.

Bibliographie

- [1]. Document interne unité de Keddara (ALGRAN), Service exploitation carrière.
- [2]. BELKBIR.M., « Plan d'exploitation 2009 », Documentation ALGRAN, 2009.
- [3]. MEKDOUR.T, Documentation service d'exploitation, Document ALGRAN, 2009.
- [4]. BELKBIR., « Plan de tir 2009 », Document ALGRAN, service exploitation, 2009.
- [5]. « plan traitement 2009 », Document ALGRAN, Service Traitement, 2009.
- [6]. Ismail KRAOUCHE, « Valorisation des stériles des tout-venants de carrières », mémoire de fin d'études de l'école nationale polytechnique, département Génie Minier, 2007.
- [7]. BOUZOUALEGH Malik, « élaboration et caractérisation d'un béton à base de sable de concassage », thèse de magister de l'école nationale supérieure polytechnique, département Génie Civil, 2009.
- [8]. <http://www.la.refer.org/materiaux.html>, Cours en ligne Matériaux de construction.
- [9]. Pierre DUPONT, Georges AUSSÉDAT, Yannick DESCANTES et Jeanne-Sylvine GUEDON, « Granulats. Origines et caractéristiques », Techniques de l'ingénieur, 2009.
- [10]. Pierre DUPONT, Georges AUSSÉDAT, Yannick DESCANTES et Jeanne-Sylvine GUEDON, « Granulats. Production et utilisations », Techniques de l'ingénieur, 2009.
- [11]. F.Gabrysiak, « Matériaux – les granulats », chapitre 2.
- [12]. Georges Arquié et Claude Tourenq, « granulats », presses de l'école nationale des ponts et chaussées, 1990.
- [13]. « TP°2 Application de la méthode de Faury », laboratoire de matériaux de constructions et de béton, département Génie Civil, Ecole Nationale Polytechnique, 2008/2009.
- [14]. « Journée d'études sur le béton local : Réalités et perspectives », Université Aboubekr Belkaid – Tlemcen : décembre 2007.
- [15]. LeaderBTP.net, « CESSA-TP°2 : les granulats », laboratoire S.T.S Bâtiment,
- [16]. LeaderBTP.net, « CESSA-TP°3 : Etude sur les granulats », laboratoire S.T.S Bâtiment,
- [17]. LeaderBTP.net, « CESSA-TP°6 : Analyse sur bétons hydrauliques durcis », laboratoire S.T.S Bâtiment,
- [18]. « Les bétons : Essais et contrôles », Bibliothèque SOGEA, 2000.

- [19]. « Rapport d'essai N° : 0658/09, ALGRAN CARRIERE D'AGREGATS (UNITE DE KEDDARA) », CETIM, 2009.
- [20]. Normes Françaises XP P18 540, Octobre 1997.
- [21]. Normes Françaises XP P18 545, février 2004.
- [22]. Norme Française : « Granulats – Analyse granulométrique par tamisage », AFNOR, Paris, Août 1997.
- [23]. Norme Française : « Granulats – Essai Los Angeles », AFNOR, Paris, septembre 1998.
- [24]. Norme Française : « Granulats – Essai d'usure Micro-Deval », AFNOR, Paris, septembre 1998.
- [25]. Norme Française : « Granulats – Equivalent de sable », AFNOR, Paris, Août 1999.
- [26]. Dr OULD HAMOU Malek., Cours de Minéralurgie : Préparation mécanique des substances utiles ; Année 2007/2008.
- [27]. M^{elle}. DERRICHE Karima, « simulation d'un circuit de traitement d'une matière minérale », thèse de magister de l'école nationale supérieure polytechnique, département Génie Minier, 2001.

The word "Annexes" is centered within a rounded rectangular frame. The background of this frame is a light-colored, marbled pattern with greyish veins. The text is in a bold, black, serif font.

Annexes

Annexe 01 : Sable pour bétons hydrauliques et enrobes bitumeux.

CARACTERISTIQUES SPECIFIEES	Catégorie granulat			
	A Classe >35 MPa	B Classe < 35 MPa	C Classe < 20 MPa	D

GRANULARITE DE SABLE

Passant à D (4 mm)	≥ 85 % et ≤ 99%			
Passant à 1,58 D (6,3 mm)	≥ 99 %			
Passant à 2D (8 mm)	≥ 100 %			
Passant à 0,080 mm.	information facultative			
Passant à 0,063 mm	≤ 12%	≤ 15%	≤ 18%	/
Module de finesse MF	2.15 < MF < 3,15		1,8 < MF < 3,2	/

FRIABILITE FS

FS	≤ 40%	≤ 60 %	/	/
----	-------	--------	---	---

ABSORPTION EAU

Ab	≤ 2,5%	≤ 5%	≤ 6%	/
----	--------	------	------	---

PROPRETE – IMPURETES

Impuretés prohibées	≤ 0,1 %			
---------------------	---------	--	--	--

PROPRETÉ À L'ÉQUIVALENT DE SABLE

PS (Es Piston sur 0/2 mm à 10% de fines ou E.S)	≥ 65%	≥ 60%	≥ 45%	/
---	-------	-------	-------	---

PROPRETÉ AU BLEU DE METHYLENE

Valeur au bleu Vb	≤ 1			
-------------------	-----	--	--	--

LA TENEUR EN SOUFRE TOTALE ET EN SULFATES

Soufre total S en S	≤ 0,3 %			
Sulfates SA en SO ₃	≤ 0,7 %			

MATIERES ORGANIQUES

Essai colorimétrique	négatif			
----------------------	---------	--	--	--

CHLORURES

Ions CL ⁻	À communiquer si ≥ 0,02% (**)			
----------------------	-------------------------------	--	--	--

AUTRES CARACTERISTIQUES

Masse volumique réelle	/			
Masse volumique imbibée	/			
Masse volumique en vrac	/			
Teneur en eau W	/			

(**) : La teneur spécifiée d'ions chlorure dans un sable de concassage apportée par l'ensemble des constituants des bétons est fixée aux valeurs suivantes :

Béton Hydraulique Non Armé	1%
Béton Hydraulique Armé	0,65%
Béton Précontraint	0,2%

**Annexe 02 : Analyse granulométrique de sable (0/4) et des graviers (3/8),
(8/16) de l'unité de Keddara.**

Tableau 01 : Analyse granulométrique.

Ouvertures des tamis (mm)	Masse des refus cumulés R_i (g)	Pourcentage refus cumulés (%) $(R_i/M_{S1}) \times 100$	Pourcentage de tamisats cumulés (%) $100 - \sum (R_i/M_{S1}) \times 100$
5	0.0	0.00	100
4	0.3	0.06	99.94
2.5	88.3	17.49	82.51
1.25	290.7	57.59	42.41
0.63	382.0	75.68	24.32
0.315	429.5	85.10	14.90
0.16	455.3	90.21	9.79
0.063	474.1	93.93	6.07
Font du tamis	479.1	94.92	5.08

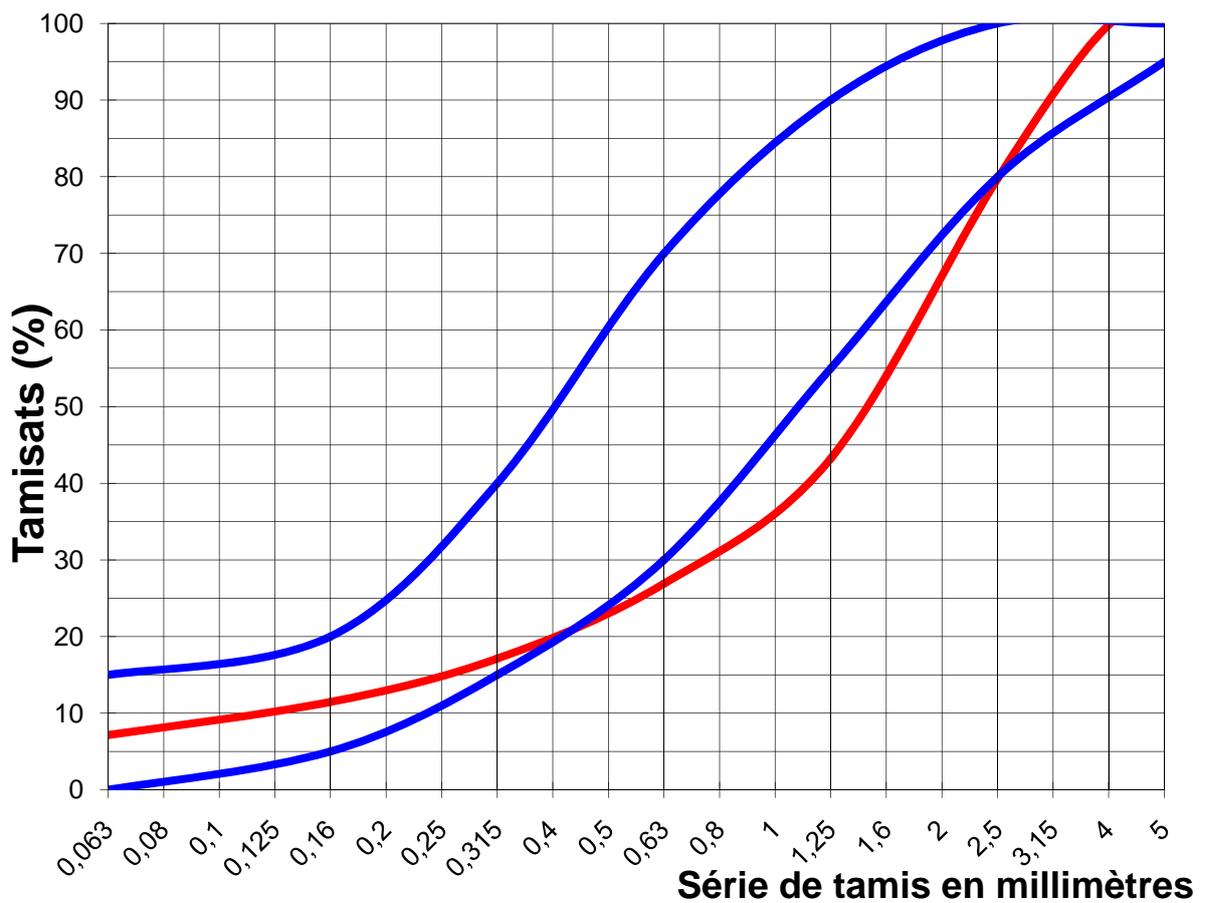


Figure III.1 : Courbe granulométrique de sable.

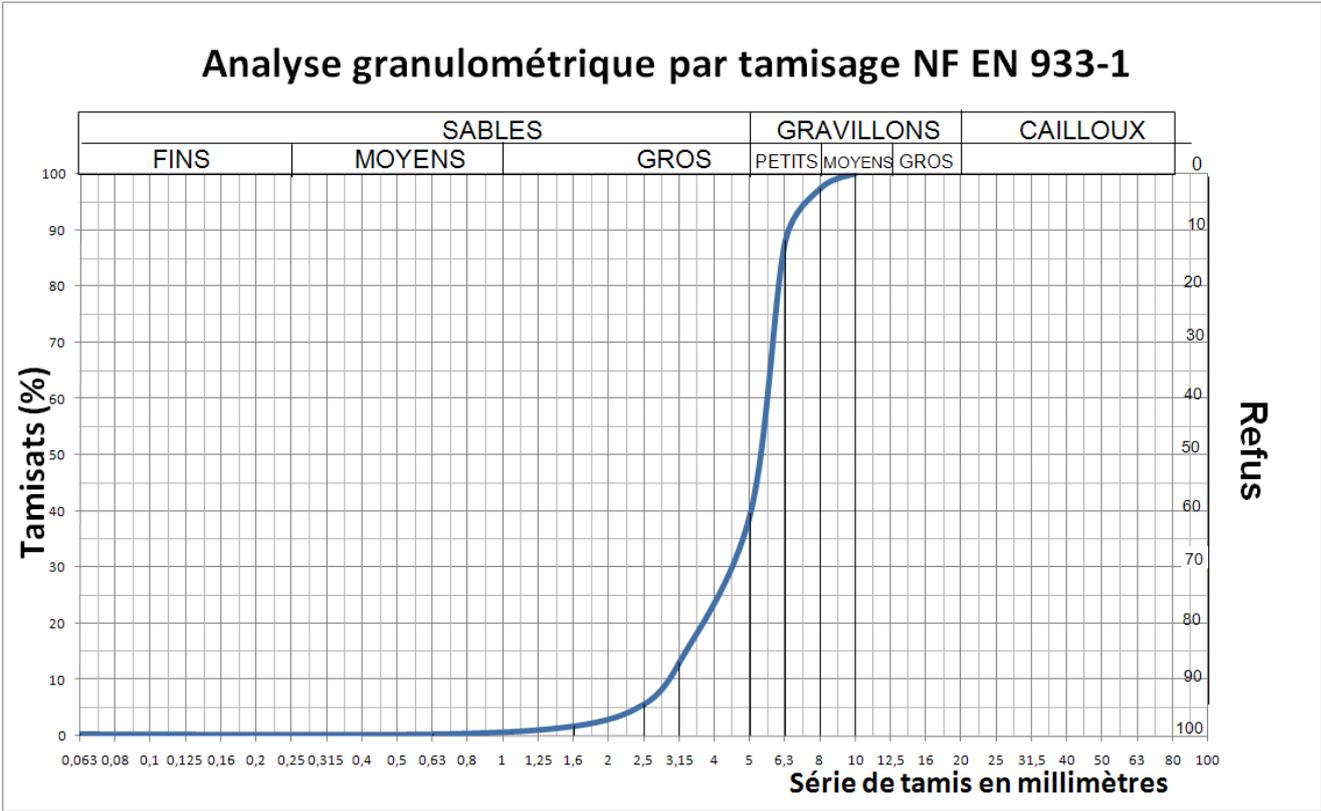


Figure 01 : Courbe granulométrique des graviers (3/8).

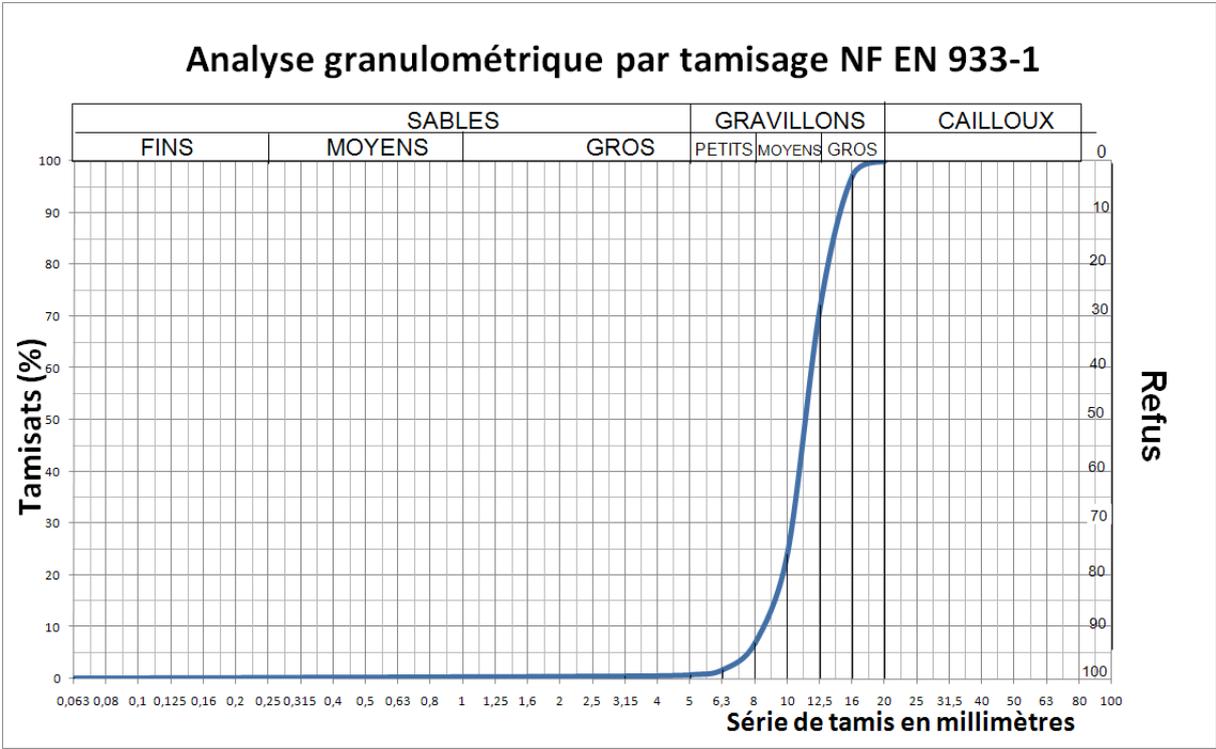


Figure 02: Courbe granulométrique de gravier (8/16).

Annexe 03 : Détermination des pourcentages des constituants du béton graphiquement à partir de la droite de Joisel.

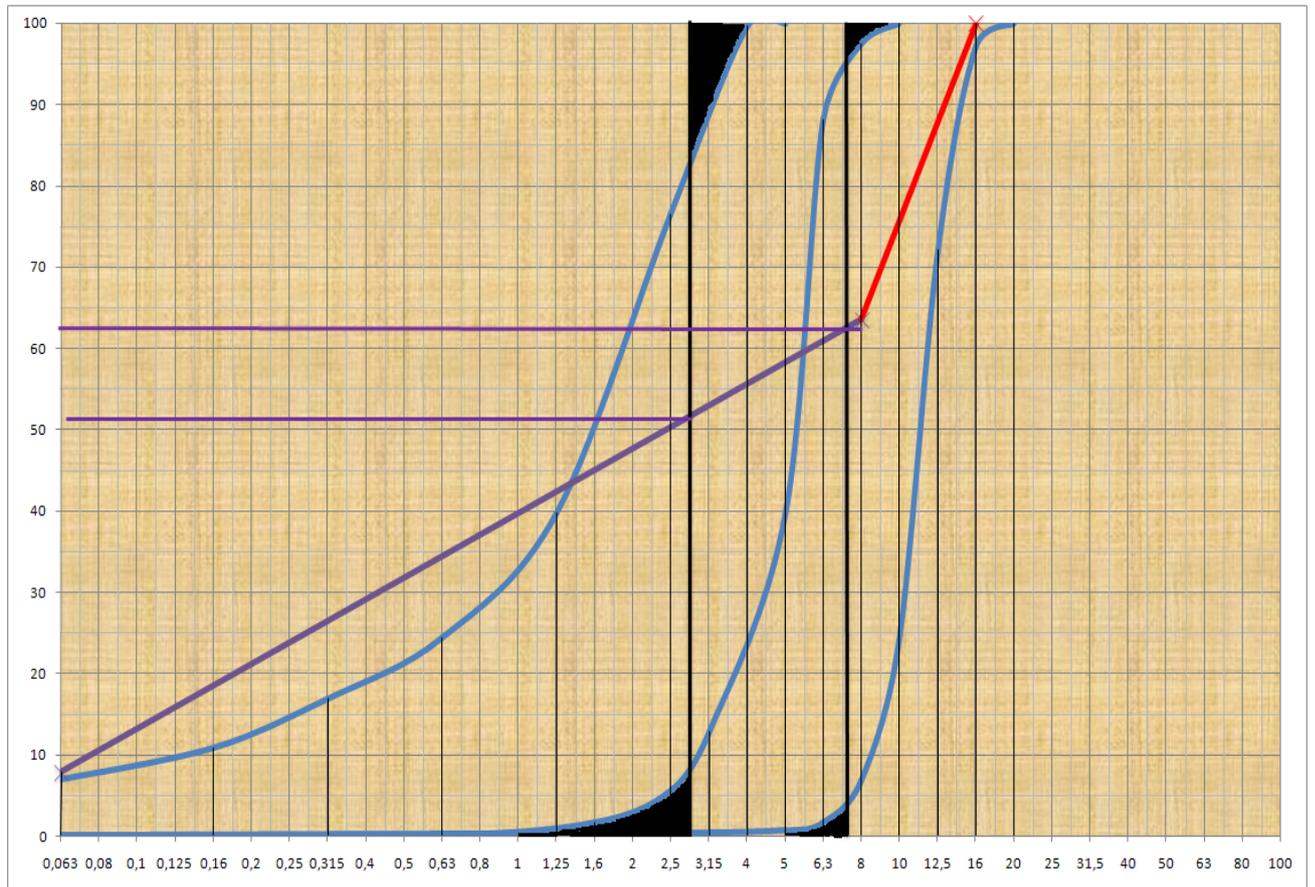


Figure 01 : Courbe de référence FAURY – sable issu de la fraction (3/8) –

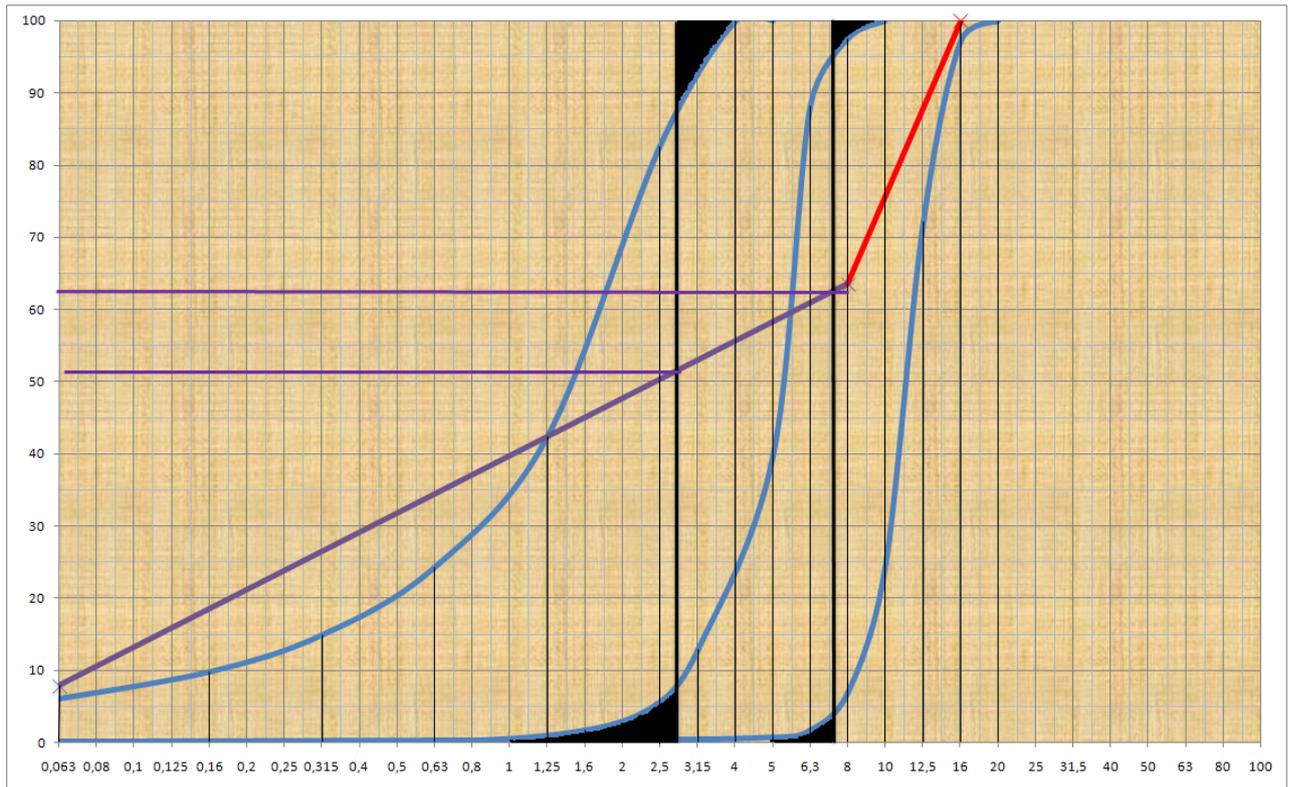


Figure 02 : Courbe de référence FAURY – sable issu de la fraction (8/15) –

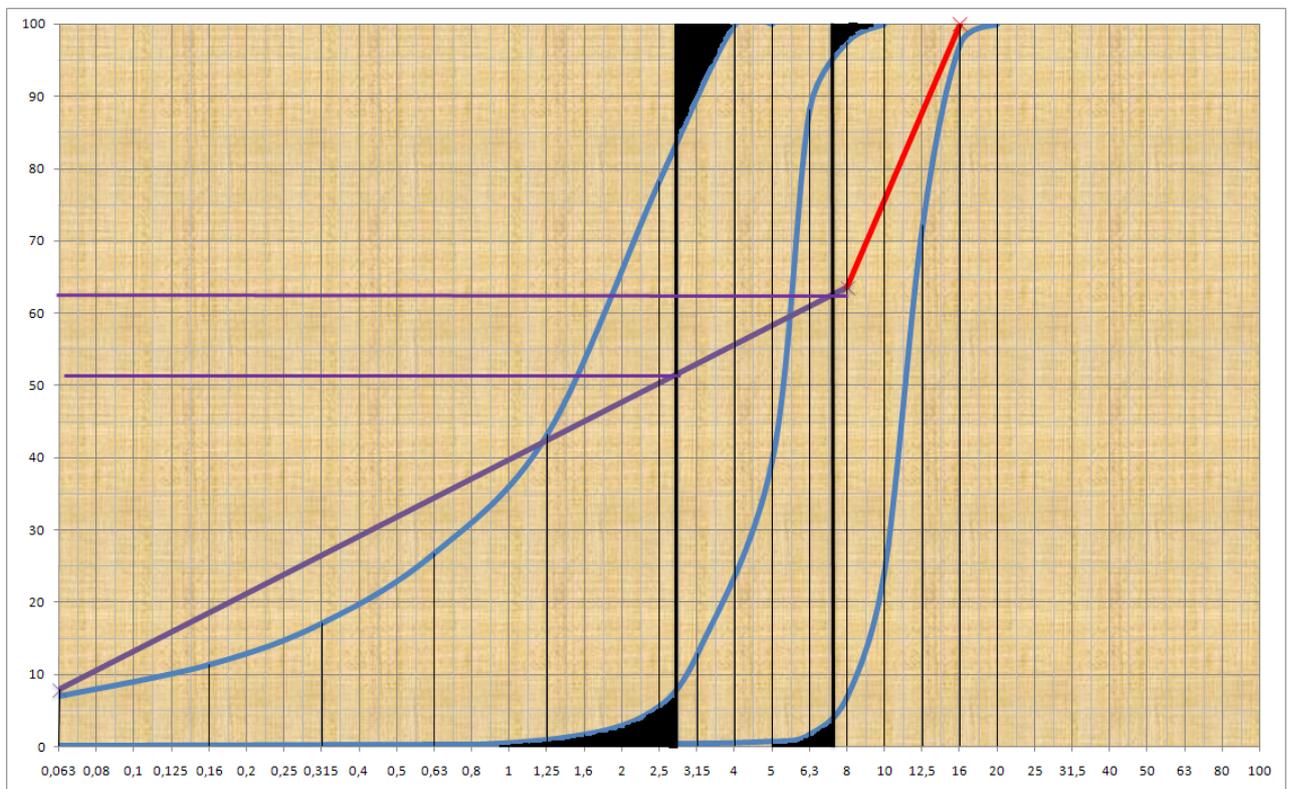


Figure 03 : Courbe de référence FAURY – sable issu de la fraction (15/25) –

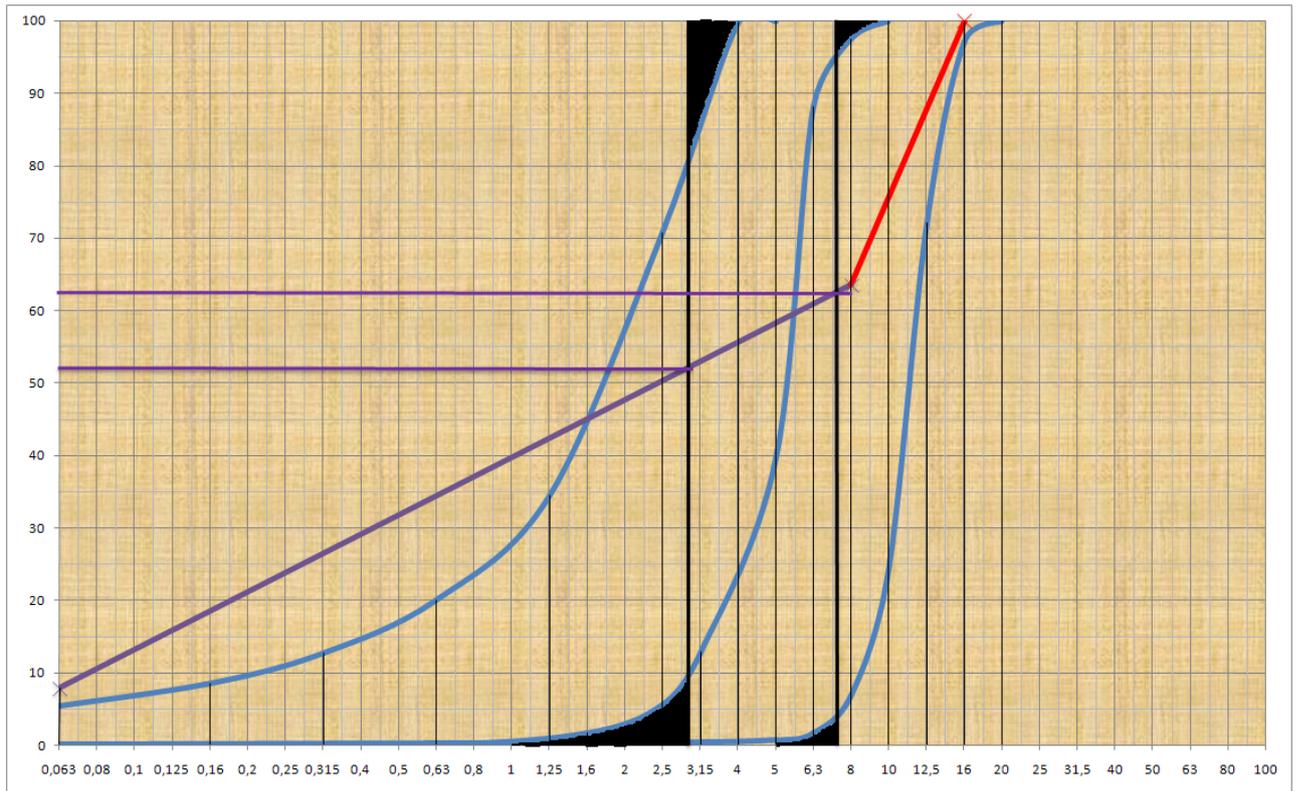


Figure 04 : Courbe de référence FAURY – sable issu de la fraction (25/40) –

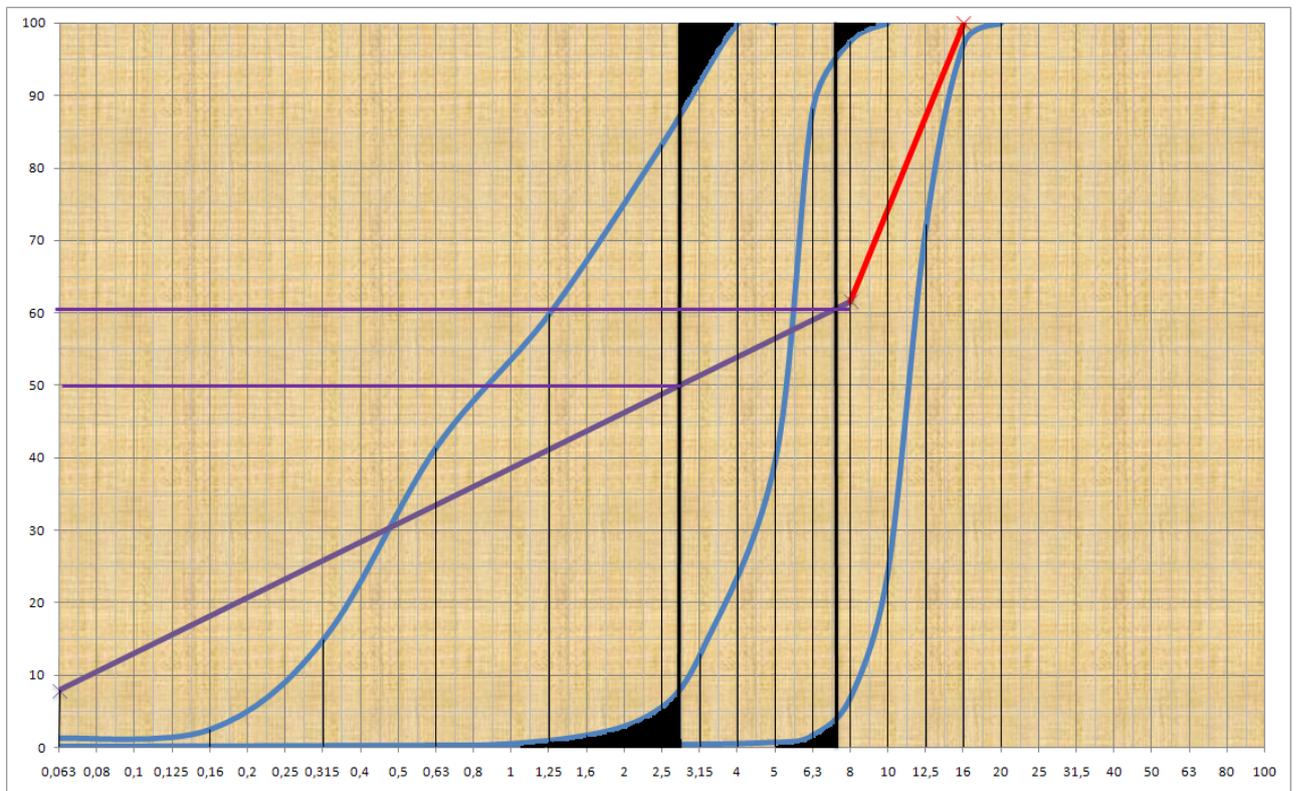


Figure 05 : Courbe de référence FAURY – sable de rivière –

Annexe 04 : Valeurs de k

Moyen de mise en place du béton	Matériaux utilisés		
	Sable roulé Gravier roulé	Sable roulé Gravier concassé	Sable concassé Gravier concassé
Mise en place par piquage	0.345 et plus	0.345 et plus	0.350 et plus
Vibrations moyennes			
Table vibrante 50c/sec	0.265 –0.285	0.285 –0.350	0.300 –0.335
Pervibrateur 200c/sec	0.270	0.280 –0.290	0.305 –0.315
Vibrations poussées			
Table vibrante 50c/sec	0.255 –0.280	0.260 –0.285	0.265 –0.295
Pervibrateur 200c/sec	0.255	0.280 –0.290	0.290 –0.305
Vibrations puissantes			
Table vibrante 100c/sec	0.245 –0.265	0.250 –0.280	0.255 –0.295
Vibrateur de coffrage 200c/sec	0.255 –0.265	0.265 –0.280	0.270 –0.295