République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de Recherche Scientifique

Université YAHIA FARES DE MEDEA

Institut des sciences et de la technologie

Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master 2

Filière : Génie Civil

Option : Construction & Matériaux

Thème :

Etude d'un mortier à base de Sable de Concassage

Réalisé par :

1- **Mr. TAIHI Abdouloualy EL-Hamid**
2- **Mr. OULD ROUIS Ayoub**
3- **Mr. MOBAREK Toufik**

Proposé et encadré par :

-Mr. ZEMIR Ismaïl

Promotion 2015/2016

Remerciements :

Au terme de ce travail, je remercie ALLAH le miséricordieux de nous avoir donnés la force et le courage à achever ce travail.

Nos remerciements s'adressent infiniment tout particulièrement à notre enseignant, promoteur Mr. Zemir Ismail pour nous avoir offert un cadre intellectuel idéal de travail et pour sa compréhension pendant les moments difficiles que nous avons parcourus.

On remercie aussi Mr. Skender, Mr. Irki pour leur aide pendant les essais.

On n'oubliera pas le personnel du laboratoire de Médéa qui, chacun avec sa façon, a contribué pour le développement de ce travail.

On remercie vivement Ayah et Lokmane pour leur soutien et amitié.

On remercie encore aux collègues de l'Entreprise de Concassage EL-Hamdania par leur sympathie pendant notre stage de découverte.

On ne peut pas oublier nos familles qui nous ont beaucoup supportés mêmede loin pour qu'on réussisse à faire la thèse.

On ne doit pas oublier non plus le Département de Génie Civil de l'UniversitéYahia Fares de Médéa, pour le soutien apporté à notre travail. On remercie notamment Mr. Safiddine Salim, pour sa confianceet son appui pendant les moments difficiles.

On remercie infinimentnos parents pour le soutien psychologique et financier depuis qu'on a commencé nos études.

DEDICACES

On dédie ce simple travail à :

- A nos parents que DIEU les bénisse.

- Nos mères, nos frères, nos sœurs en leur souhaitant une vie modeste.

- Nos amis, étudiants, en leur souhaitant un bon courage pendant leurs études, une longue vie, et pleins de bonheurs.

- Tous ceux qui nous ont apporté une aide et nous ont conseillé au long de nos travaux.

ملخــص:

الهدف من هذه الدراسة هو اختبار رمل المحاجر في صناعة الملاط، لهـذا الغرض أنجزنا خمس تركيبات من الملاط المكوّن من رمل المحـــاجر بنسب 0، 5، 10، 15، 20%المواد الناعمة مع إدماج مادة مساعدة لتخفيض الماء وتحسين المرونة.

خصائص ملاط رمل المحاجر في الحالة اللينة والصلبة تم تحليلا بالنسبة إلى ملاط شاهد.

النتائج التجريبية بينت إمكانية استعمال رمل المحاجر لصناعة الملاط بنسبة تصل إلى 20% من لمواد الناعمة بدون تأثيرات سلبية على الخصائص الفيزيكوميكانيكية الأخيرة لهذا الملاط مقارنةً مع الملاط المنجـــز بالرمال العادية : رمل البحر ورمال الوديان.

الكلمات الجوهـــريّة: رمل المحـــاجر، الملاط، مادة مســاعدة، المواد الناعمة، المقاومة الميكانيكية.

Résumé

Notre travail consiste a élaboré cinq compositions des mortiers adjuvantés à base de sable de concassage à différents teneurs en fines (0,5 – 10, 15 et 20%). Les propriétés des mortiers du sable de concassage à l'état frais et durci sont analysées et comparés à celle d'un mortier témoin.

Les résultats expérimentaux ont montré qu'il est possible d'utiliser le sable de concassage pour la confession des mortiers jusqu'à une teneur en fines de 20% sans conséquences préjudiciables sur les caractéristiques physico mécanique finales de ces mortiers, comparativement aux mortiers confectionnés avec des sables courants (Sable de Mer et de rivières…).

Mot clés : Sable de concassage, mortier, adjuvant, fines, résistance mécanique.

Abstract

The aim of this study is to test crushed sand in the making of mortar. At this purpose we elaborated five compositions of mortar based sand with different percentages of fines (0, 5, 10, 15 and 20%) and to which we added a supper plasticizer.

The properties of the fresh and hardened crushed sand mortar are analyzed and compared to a witness mortar. The results of the experiments show that it is possible to use crushed sand for the making of mortar until the rate of 20 % of fines without any danger or side effect on the final physico-mechanical features of these mortars compared to others made of traditional sands (that of the sea and the river)

Key words: Crushed sand, Mortar, super plasticizer, fines, Mechanical resistance.

LISTE DES FIGURES

N° Figure	Désignation	Page
Figure 1	Le cycle des roches	4
Figure 1.1	Extraction et élaboration des sables de concassage	11
Figure 1.2	Schéma général des opérations de lavage	12
Figure 2.1	Fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton	20
Figure 3.1	Lavage du sable (manuel)	39
Figure 3.2	Récupération des fines (voie humide)	39
Figure 3.3	Traitement des fines	39
Figure 3.4	Influence des fines calcaires sur maniabilité des bétons	42
Figure 3.5	Pesées des sables (balance électronique)	43
Figure 3.6	Prise des mesures pour l'équivalent de sable	44
Figure 3.7	Colonne de tamis	46
Figure 3.8	Analyse granulométrique	47
Figure 3.9	Malaxage du mortier (Malaxeur Hobart 5L)	50
Figure 3.10	Raclage du mortier	50
Figure 3.11	Moule prismatique (4x4x16) cm3 de mortier	51
Figure 3.11	Remplissage des moules	51
Figure 3.19	Appareil pour la flexion sur éprouvette (4x4x16) cm3	51
Figure 3.14	Essai de flexion	57
Figure 3.15	Presse hydraulique pour essais de compression (ADR 200)	57
Figure 3.16	Eprouvettes (4x4x16) cm3 pour les essais mécaniques	57
Figure 3.17	Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion	58
Figure 3.18	Dispositif de rupture en compression	59
Figure 3.19	Principe de fonctionnement du maniabilimètre LCPC à mortier	53
Figure 3.20	Essais sur la consistance du mortier (Maniabilimètre LCPC)	53
Figure 3.21	Essais du retrait par rétractomètre digital	61
Figure 3.22	Essais du retrait par comparateur	61
Figure 3.23	Moule de retrait	61
Figure 3.24	Appareillage pour la mesure du retrait	62
Figure4.1	Courbes granulométriques des sables utilisés (0, 10, 15 et 20% de fines)	69
Figure 4.2	Variation de la masse volumique absolue en fonction des teneurs en fines	69
Figure 4.3	Consistance en fonction du % des fines	70
Figure 4.4	Influence du dosage d'adjuvant sur le temps d'écoulement du mortier à base de sable de concassage à différents pourcentages de fines	71
Figure 4.5	Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage des fines	72
Figure 4.6	Résistance à la compression des mortiers à 2 ; 7 et 28 jours	72
Figure 4.7	Variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage des fines	73
Figure 4.8	Résistance à la flexion des mortiers à 2 ; 7 ; et 28 jours	75
Figure4.9	Evolution du retrait en fonction du temps	75

Liste des Tableaux

N° Tableau	Désignation	Page
Tableau 1	Classification des minéraux selon l'échelle de dureté de F.Mohs	6
Tableau 2.2	Application des granulats pour béton hydraulique	17
Tableau 3.3	Analyse chimique du ciment	35
Tableau 3.4	Analyse minéralogique du ciment	36
Tableau 3.5	Analyses physiques du ciment	36
Tableau 3.6	Essais mécaniques sur le mortier	37
Tableau 3.1	Caractéristiques mécaniques Mf du sable normalisé	37
Tableau 3.2	Caractéristiques du sable utilisé	40
Tableau 3.3	Analyses chimiques du sable utilisé	49
Tableau 3.7	Essai de l'équivalent de sable	45
Tableau 3.8	Masse volumique du sable utilisé	45
Tableau 3.9	Module de finesse	52
Tableau 3.10	Valeurs du module Mf de différents sables	52
Tableau 3.11	Analyses chimiques du sable utilisé	53
Tableau 3.12	Composition du mortier à base de sable de concassage	49
Tableau 3.13	Opérations du malaxage	57
Tableau 3.14	Résistance expérimenté du mortier adjuvent à base de sable de concassage à différents pourcentage de fines	54
Tableau 3.15	Influence du dosage d'adjuvant sur le temps d'écoulement du mortier à base de sable de concassage	55
Tableau 3.16	Variation dimensionnelle du retrait du matériau mise en œuvre	63
Tableau 4.1	Analyses granulométrique du sable avec 0% des fines	66
Tableau 4.2	Analyses granulométrique du sable avec 10% des fines	66
Tableau 4.3	Analyses granulométrique du sable avec 15% des fines	67
Tableau 4.4	Analyses granulométrique du sable avec 20% des fines	67
Tableau 4.1	Courbe granulométrique du sable utilisé	68

Notations :

Symbole	Désignation	Unité
A.C.C	Algerian Cement Company	-
B	Côté de l'éprouvette	Cm
C.A	Coefficient d'activité	-
Cc	Coefficient de courbure	-
Cu	Coefficient d'uniformité	-
C.P.A	Ciment portland artificiel	-
d/D	d et D diamètre respectivement de la plus petite et la plus grande dimension	mm
E/C	Eau / Ciment	-
E.S.P	Equivalent de sable à piston	Cm
E.S.V	Equivalent de sable à vue	Cm
Fc	Charge de rupture de l'éprouvette en compression	N
Ff	Charge de rupture de l'éprouvette en flexion	N
L	Longueur entre les appuis l = 100mm	mm
M	Masse sèche d'un corps	Kg
Mf	Module de finesse	-
Rc	Résistance à la compression	MPa
Rf	Résistance à la flexion	MPa
V	Volume d'un corps	m3
P	Masse volumique du matériau	t/m3

Sommaire :

REMERCIEMENTS

RESUME

LISTE DES ABREVIATIONS ET NOTATIONS, LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE……..... 1
GENERALITES ……. 2
OBJECTIF DE L'ETUDE …….
PLAN DE TRAVAIL……..... 3

Chapitre I

IDENTIFICATION GEOLOGIQUE DES ROCHES DE CONCASSAGE

I.1 Introduction……. 4
I.2 CLASSIFICATION DES MINERAUX..... 4
I.3 PROPRIETES DES ROCHES…….…. 6
I.4 CLASSIFICATION DES ROCHES……..…… 7
I.4.1 Les roches magmatiques ……... 7
I.4.2 Les roches sédimentaires ……... 7
I.4.3 Les roches métamorphiques ……..….. 7
I.5 ROCHES CALCAIRES……... 7
I.5.1 Principe physico-chimique de l'érosion calcaire ……..…….. 7
I.5.2 Classification des roches calcaires ……...… 8
I.6 ELABORATION DE SABLE DE CONCASSAGE……..…. 8
I.6.1 L'extraction ……..... 9
I.6.2 Le chargement et le transport …….. 9
I.6.3 Le concassage et le broyage ……..… 9
I.6.4 Le criblage …… 11
I.6.5 Le lavage, le definage ……..... 12
I.7 CONCLUSION……... 13

Chapitre II

SABLE POUR BETON

II. SABLE POUR BETON…… ….……..…. 14
II.1 INTRODUCTION……..… 14
II.2 CLASSIFICATION DES SABLES……..… 14
II.2.1 Selon la grosseur des grains……...…. 14
II.2.2 Selon leur masse volumique……..…. 14
II.2.3 Parmi les variétés des sables……..…. 15
II.3 APPELLATION DES GRANULATS……..…. 15
II.4 LES FUSEAUX……..…. 17

II.5 SABLE POUR BETON……..…. 19
II.6 LES SABLES DE CALCAIRES D CONCASSAGE ……..…. 21
II.6.1 La classification ……...….. 21
II.6.2 Le lavage (dépoussiérage)…….…..…. 22
II.6.3 Désignation d'un sable …….…… 22
II.6.3.1 Ancienne norme NF P18-101……..…… 23
II.6.3.2 Nouvelle norme NF XP18-540 ……...… 23
II.6.4 Contrôle des sables…….……... 23
II.7 Propreté ……...….. 24
II.7.1 Les sulfate ……...….. 24
II.7.2 Teneur en soufre ……..……... 24
II.7.3 Matières organiques …….…….. 24
II.7.4 Les chlorures……..……... 25
II.8 POROSITE……..…….. 25
II.9 LES FINES……...… 26
II.9.1 Additions normalisées ……...…… 26
II.9.2 Propriété des additions dans le béton …….……..... 27
II.9.2.1 L'effet filler …….….. 27
II.9.2.2 La réaction pouzzolanique ……..…… 27
II.9.2.3 Activité d'origine physique des poudres chimiquement internes (Les additions calcaires)…….… 27
II.10 LES ETUDES ET LES UTILISATIONS EN ALGERIE ET DANS LES PAYS MEDITERRANEENS…….. 28
II.10.1 Les études dans les pays méditerranéens …….. 28
II.10.2 Les études menées par le CNERIB …….…… 29
II.10.3 Présentation de l'activité granulats en Algérie…….…. 29
II.10.4 L'offre et la demande 2006/2016…….…. 30
II.10.5 Conclusion et recommandations……..……...… 31
Sur le plan quantitatif ……..……...… 32
Sur le plan qualitatif ……..…… 32
II.11 CONCLUSION……...……...……..… 33

Chapitre III

Mode opératoire : MATERIELS ET MATERIAUX& PROTOCOLE EXPERIMENTAL……..…….. 34
III.1 PROGRAMME EXPERIMENTAL..... 34
III.2 Matériels..... 35
III.2.1 Moules prismatiques pour la fabrication des éprouvettes de mortier …….……. 35
III.2.2 Plongeur …….…… 35
III.2.3 Malaxeur ……...…… 35
III.2.4 Etuve……..…….... 35
III.2.5 Table à secousse ……...…. 35
III.2.6 Maniabilimètre LCPC ……...…. 35
III.3 Matériaux……..…. 35
III.3.1 Le ciment ……..…..…. 35
III.3.2 Sable normalisé (Sable témoin)……...……. 37

III.3.3 Les sables de concassage……..……..…… 38
III.3.4 Eau de gâchage ……..……..……... 38
III.3.5 Prélèvement d'échantillon sur stock et enlèvement des impuretés sur le sable de concassage en (Lavage) …… 39
III.3.6 Fines de sable……..…... 39
III.3.6.1 Influence des fines sur le mortier …….. 42
III.3.6.2 Définition des fines ……... 40
III.3.6.3 Effet des fines sur le béton frais …… 41
III.3.7 Adjuvant ……..… 43
III.3.8 Pesée de matériau ……... 43
III.4 ESSAIS EFFECTUES SUR LES MATERIAUX…….….. 47
III.4.1 Essais physiques …….. 43
III.4.2 Essai chimique sur le sable……..……... 48
III.5 ESSAIS SUR LE MORTIER…….….. 49
III.5.1 Essais sur le mortier frais……..… 49
III.5.1.1Fabrication du matériau ……..….. 49
III.5.1.2Confection et conservation des éprouvettes……..…..… 50
III.5.1.3 Mesure de consistance des mortiers ……..…….. 51
III.5.1.3.1 Essai au maniabilimètre LCPC (NF 18-452 et NF P 15-437). 52
III.5.1.3.2 Consistance du mortier ……..…….. 53
III.5.2 Conclusions sur les mortiers frais……...… . 55
III.6 Essais sur le mortier durci et variation dimensionnelles ……..… 56
III.6.1 Essai de compression simple et traction par flexion ……...…… 56
III.6.1.1 Objectif des deux essais ……..…. 56
III.6.1.2 Principe des deux essais ……..…… 56
III.6.1.3 Equipements nécessaire pour les deux essais ……..……..... 56
III.6.1.4Conduite pour ces essais……..……..… 58
III.6.2Retrait ……..… 60
III.6.2.1 Le retrait ……...……...…… 60
III.6.2.2 Mesure du retrait sur éprouvettes de mortier (NF P 15-433) ... 62
III.6.3 Conclusions sur les mortiers durcis ……..……..…… 64

CHAPITRE IV 65

ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS ...…

65
IV.1 INTRODUCTION ……..
IV.2 ETUDE PRELIMINAIRE SUR LES SABLE EN FONCTION DU POURCENTAGE DE FINES……..…. 65
IV.3 ESSAIS PHYSIQUES…….…… 65
IV.3.1 Courbes granulométriques ……. 65
IV.3.2 Propreté du sable……..……...…… 68
IV.3.3 Masse volumique…….……..…… 68
IV.4 CONSISTANCE DU MORTIER…… 70
IV.5 ESSAIS MECANIQUES……. 71
IV.5.1 Résistance à la compression ……..…… 73
IV.5.2 Résistance à traction par flexion …….. 74
IV.6 LA VARIATION DIMENSIONNELLE……... 75

IV.7 INTERPRETATION GLOBALE DES RESULTATS……..…….. 76

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS…….……. 78
1- **CONCLUSIONS**……..…….. 78
2- **RECOMMANDATIONS**……..…… 79

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES……..…….. 80

ANNEXES

INTRODUCTION GENERALE

GENERALITES :

Le sable qui présentait jusqu'à peu de nombreuses contraintes empêchant son utilisation d'une façon généralisée à cause de l'ignorance de ses propriétés « académique », présente aujourd'hui un panorama différent. Nous observons une tendance mondiale vers les technologies qui permettent à l'homme d'accéder à un développement durable. Mise à part du cout (social et financier) des technologies conventionnelles, il y a aussi des dommages causés à l'environnement, comme la pollution et la dévastation des forets lors de l'extraction et l'utilisation de l'énergie et des matières premières.

L'application des technologies du sable de concassage peut d'un côté ou d'un autre se substituer aux matériaux conventionnels, comme le béton, parce que celui-ci a des propriétés minéralogiques que le matériau sable. Le propos de l'application du sable dans les constructions est d'être alternatif, protégeant la nature et l'environnement de la pollution.

Aujourd'hui, l'emploi de granulats d'origine alluvionnaire est de plus en plus difficile, et parfois interdit. La diminution des ressources en granulats roulés nécessite donc le recours à d'autres types de granulats : les granulats issus du concassage de roches.

Parallèlement à cette situation en Algérie, des carrières de granulats, le plus souvent d'origine Calcaire ou Andésite produisent du sable résultant des opérations de concassage. Ces sable étaient utilisés par le secteur des travaux publics et non pas pour la confection des bétons, ils étaient rejetés par habitude de consommation ; La limitation du taux de fines des sables pour bétons hydrauliques pénalisait fortement les sables Calcaires ou Andésites. Il était très difficile de concilier en même temps la limitation du taux de fines et le module de finesse.

D'autre part, le gouvernement a décidé de la mise en œuvre sur la période 2005 – 2015, d'un important programme d'investissement (55milliard de dollars) comprenant essentiellement des travaux d'infrastructures de base et de logement [1], grands consommateurs de sables, de graves et de gravillons. Le problème de sable est de nouveau posé d'une manière plus accrue et l'utilisation des sables issus de roches de carrière généralement en Algérie, calcaire ou andésite, constitue aujourd'hui une action d'intérêt général et de portée nationale. A partie de 1995, le CNERIB (Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment) a engagé des études techniques portant sur l'utilisation généralisée des sables de concassage fillérisés pour la confection du béton hydraulique pour la confection du béton hydraulique de construction d'éléments porteurs qui doit répondre à des exigences réglementaires précises. Dans cette optique, on envisage de procéder aux mesures normalisées des deux propriétés généralement exigées pour les mortiers et bétons hydrauliques : la maniabilité et les résistances mécaniques sur du mortier à base de sable de concassage de substance minérale. Compte tenu des caractéristiques intrinsèques de ces granulats concassés, de nouvelles approches doivent être développées pour la formulation, la fabrication et la mise en œuvre des bétons, et une meilleure connaissance devrait permettre de sélectionner des voies de valorisation adaptées à leurs spécificités.

OBJECTIF DE L'ETUDE

Les sables pouvant être utilisé de plusieurs façons dans la construction, la terre offre un grand éventail de possibilités architecturales. Même si ce n'est pas tous types de sable qui peut être utilisé pour la construction, il y a quand même une disponibilité énorme de gisement de sable adaptée à une certaine technologie, nécessitant parfois un amendement sur chantier.

De nombreuses constructions ont été bâties partout dans le monde avec ma technologie de l'extraction de roches, qui sera transformé en sable après des siècles, ils présentent parfois encore un bon état d'utilisation.

Après la stabilisation de leur poids à l'air libre, ils sont prêts pour la construction de maçonneries. Bien sûr, pour n'importe quelle technique utilisée, il faut ensuite entretenir les bâtiments, comme pour n'importe quel autre matériau.

Si l'utilisation des sables de concassage dans le béton est courante dans le monde, ce qui est le cas pour l'Algérie. De nombreuses études ont été faites et beaucoup de travaux lui ont été consacrés. Après des résultats obtenus, elles sont restées au stade d'étude aux laboratoires, pour améliorer la recherche sur ce type de sable.

La vulgarisation de ce matériau par des études approfondies, son bas prix et sa disponibilité sont des facteurs qui pourraient inciter les constructeurs à s'intéresser à ce granulat et l'intégrer dans des bétons.

Le but de ce travail a pour objet de définir les sables de concassage et de fixer les spécifications auxquelles doivent répondre ces sables lorsqu'ils sont utilisés pour confection des bétons hydrauliques.

Par conséquent notre travail sera concentré surtout sur l'influence de la proportion des fines sur les deux propriétés généralement exigées pour les mortiers et bétons hydrauliques : la maniabilité et le comportement mécanique.

PLAN DE TRAVAIL

Après une introduction générale et une présentation des objectifs, nous avons structuré notre thèse de la manière suivante :

- Au premier chapitre on présente une identification géologique des roches de concassage ;
- Le deuxième chapitre sera consacré à une revue bibliographique donnant un aperçu sur le sable à béton.
- Au troisième chapitre on expose le programme expérimental adopté pour le matériel et les matériaux utilisés dans les essais
- Au quatrième chapitre, on donne les résultats des essais avec interprétation.

A la fin, nous clôturons ce travail par une conclusion générale et des recommandations sont proposées pour un éventuel approfondissement ciblé de cette étude.

CHAPITRE I

IDENTIFICATION GEOLOGIQUE DES ROCHES DE CONCASSAGE

I .1 INTRODUCTION :

On appelle une « *roche* » un matériau formé par un agrégat naturel de minéraux, de fossiles (végétaux, coquillages, et cœtera ...) , et/ou d'éléments d'autre(s) roche(s) consolidés - ou pas - .
Elles résultent de processus géologiques variés, qui se produisent à l'intérieur et à la surface de la Terre ou dans d'autres endroits de l'Univers (cas des météorites).
Les roches sont classées et étudiées d'après leur aspect, leur composition, et les processus naturels responsables de leur formation.
Les processus dynamiques affectant la croûte terrestre permettent le recyclage des roches. A la surface de la Terre, l'altération chimique et l'érosion réduisent les roches préexistantes en sédiments, qui forment de nouvelles roches. Celles-ci peuvent être enfouies sous la surface de la Terre. Sous l'effet de la chaleur, de la pression, et des mouvements tectoniques, elles se fracturent, se déforment, ou même fondent. C'est le cycle des roches**.**

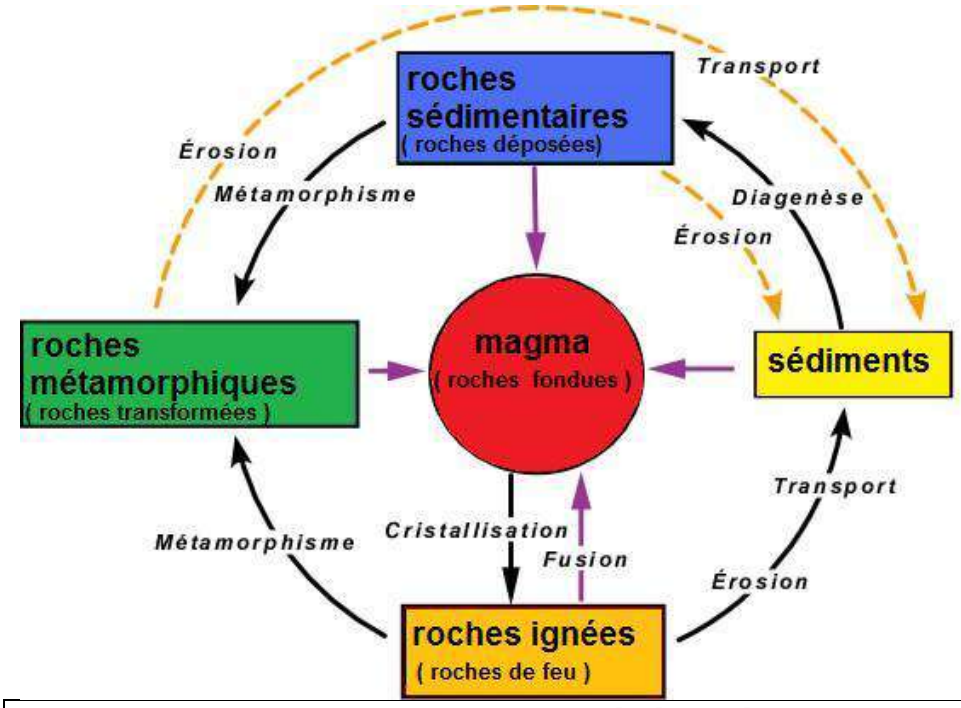


Figure -1- : Le cycle des roches

I.2 CLASSIFICATION DES MINERAUX :

Le classement des minéraux est basé sur leur composition chimique depuis le 18ème siècle. Il y a huit classes suivant la nature de l'anion dominant, par exemple : les oxydes, les sulfates, les carbonates etc. Les classes sont divisées en sous classes si nécessaire on y regroupe les minéraux dont la chimie ou la structure sont proches, de même dans les sous classes on trouve des groupes où là aussi le regroupement est lié à la chimie et à la structure.
Enfin il y a une neuvième classe pour les minéraux d'origine organique :

1- Éléments

2- Sulfures

- Séléniures
- Tellurures
- Arséniures
- Antimoniures
- Sulfosels

3- Halogénures

4- Oxydes et Hydroxydes

- Oxydes
- Hydroxydes

5- Carbonates, Nitrates, Borates et Iodates

- Carbonates
- Nitrates
- Borates

6- Sulfates, Chromates, Molybdates et Tungstates

- Sulfates
- Chromates
- Molybdates
- Tungstates

7- Phosphates, Arséniates et Vanadates

- Phosphates
- Arséniates
- Vanadates

8- Silicates

- Nésosilicates
- Sorosilicates
- Cyclosilicates
- Inosilicates
- Phyllosilicates
- Tectosilicates

9- Composés organiques

Les minéraux sont classés selon une échelle de dureté qui varie de 1 à 10 (échelle F.Mohs).

Le chiffre 1 est attribué aux minéraux très tendres, le chiffre 10 minéraux très durs.

1- Talc : se laisse décaper à l'ongle.
2- Gypse : rayable à l'ongle.
3- Calcite : rayable à l'aide d'une pièce en cuivre.
4- Fluorine : facilement rayée au canif.
5- Apatite : rayable au canif.
6- Fledspath : rayable à l'aide d'une lime en acier.
7- Quartz : raye le verre à vitre (mais est rayable par d'autres minéraux).
8- Topaze : raye le quartz.
9- Corindon : raye la topaze.
10- Diamant : non rayable, mais peut rayer tous les autres.

Dureté	Minéral	Test
1	Talc	Friable sous l'ongle
2	Gypse	Rayé par l'ongle
3	Calcite	Rayé par une pièce de monnaie
4	Fluorite	Facilement rayable avec un couteau
5	Apatite	Rayé au couteau
6	Orthose	Rayé avec une lime
7	Quartz	Raye une vitre
8	Topaze	Rayé par des outils au tungstène
9	Corindon	Rayé par le carbure de silicium
10	Diamant	Rayé par un autre diamant

Tableau -1- : Classification des minéraux selon l'échelle de dureté de F.Mohs

I.3 PROPRIETES DES ROCHES :

Pour étudier une roche, on doit prélever un échantillon et le casser. En observant la cassure, on peut classer la roche selon ses différentes propriétés :

Sa couleur, sa cohérence (cohérente, fiable ou meuble), sa ténacité (fragile ou tenace), son aspect (formée : de grains, de feuillets superposés ou cristaux), sa malléabilité, sa porosité (poreuse ou imperméable), sa solubilité dans l'eau, sa réaction à l'acide, la roche contient-elle des fossiles ? La roche brule-t-elle

(comme le charbon, ou les minéraux inflammables)

I.4 CLASSIFICATION DES ROCHES :

I.4 .1 Les roches magmatiques :

Les roches magmatiques se forment par solidification et cristallisation plus ou moins rapide du magma. Il s'agit de roches en fusion en profondeur, qui ont pour origine soit des roches du manteau soit des roches métamorphiques ou sédimentaires s'enfonçant dans le manteau à cause des mouvements des plaques tectoniques.

I.4.2 Les roches sédimentaires : Les roches sédimentaires sont issues de l'accumulation et de la cimentation de sédiments de diverses origines. En particulier, les sédiments d'origine détritique proviennent de l'érosion de roches magmatiques ou métamorphiques, apparues en surface grâce aux mouvements géologiques tels que la formation des montagnes ou le volcanisme.

I.4.3 Les roches métamorphiques :

Les roches métamorphiques se forment par transformation d'autres roches préexistantes de type magmatique ou sédimentaire. Par exemple, ces roches s'enfoncent en profondeur à cause des mouvements des plaques tectoniques. Ces roches subissent alors des modifications de conditions de température et de pression telles que leur structure est réorganisée sans entrer en fusion (il n'y a pas formation de magma).

I.5ROCHES CALCAIRES :

Le calcaire est une roche grise, matte, effervescente avec HCl, quelquefois massive, souvent stratifiée, et contenant fréquemment des fossiles. Le calcaire peut être fissile lorsqu'il est formé de lits carbonatés qui alternent avec des lits argileux.

Le calcaire est principalement formé par précipitation de minéraux carbonatés (principalement la calcite, mais peut inclure dolomite, aragonite et sidérite) dans un environnement marin tropical d'eau peu profonde. La précipitation de $CaCO3$ a deux causes principales, l'une physico-chimique lié à l'équilibre bicarbonates-carbonates et le $CO2$ dissous dans l'eau de mer et l'autre biochimique. les mollusques et les coraux qui forment leurs coquilles. La précipitation du carbonate s'accompagne d'une sédimentation argileuse plus ou moins importante et le mélange qui formera la roche peut avoir toutes les compositions intermédiaires entre celle de la calcite pure et de l'argile pure

I.5.1 Principe physico-chimique de l’érosion calcaire :

Au cours de sa traversée du sol, l’eau de pluie voit sa composition chimique évoluer sensiblement. Elle entraine des acides contenus dans le sol, des minéraux qui contiennent eux même de la pollution. Toute une série d’acides peut donc se

mêler à l'eau : acide carbonique, humique, chlorhydrique, sulfurique, nitrique ou fluorhydrique.

L'eau va se charger plus ou moins du Co2 de l'aide (il contient naturellement environ 0,03 %). Ce CO2 dissous va rendre l'eau acide selon la formule :

CO2 + H2O = H2CO3 (acide carbonique)

Si cette eau était neutre (non acide PH = 7), elle ne pourrait dissoudre que 13mg de carbonate de calcium (composé principal des calcaires) par litre d'eau. Mais une fois acidifiée, elle devient agressive et peut dissoudre en traversant la roche calcaire, de 50 à acidifiée, elle devient agressive et peut dissoudre en traversant la roche calcaire, de 50 à plusieurs centaines de mg de carbonate de calcium par litre (500mg/l en moyenne en climat tempéré). Cette dissolution du calcaire donnera un composé relativement instable : le bicarbonate de calcium. La formation de bicarbonate se décrit selon la formule suivante :

H2CO3 + CaCO3 = Ca (HCO3)2

Les calcaires se forment par précipitation de carbonate de calcium à partir du bicarbonate ((CO3)2 CaH2) dissous dans l'eau ; cette précipitation est favorisée par certains facteurs physiqco-chimiques : augmentation de la température de l'eau ou de la teneur en dioxyde de carbone, chute de pression…etc. Ainsi les dépôts marins calcaires ne s'effectuent que dans les régions chaudes et jusqu'à une profondeur limite au-dessous de laquelle la calcite est remise en solution. Les calcaires issus directement de la précipitation du carbonate de calcium sont relativement rares : ce sont les stalactites, les travertins, les travertins, les calcaires oolithiques formées de globule milliméttriques de calcite précipitée autour d'un noyau en mouvement. Le plus souvent, les calcaires proviennent de l'accumulation,

sur place ou après transport, de débris d'organismes calcaires noyés dans un ciment calcaire.

I.5.2 Classification des roches calcaires :

- Lumachelle : roches sédimentaire carbonatée principalement composés de fossiles faiblement cimentés.
- Calcaire oolithique: calcaire formé de sphérule de 0,5-2 mm en calcite et d'aragonite. Les sphérules >2mm se nomment pisolithes.
- Confusion possible: La réactivité avec HCl, et la faible dureté sont des caractères distinctifs des roches calcaires.

I.6 ELABORATION DU SABLE DE CONCASSAGE :

Les sables de concassage présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, degré de concassage…

La valorisation des sables de concassage dans l'emploi des bétons constitue une action d'intérêt général de portée nationale.

Actuellement en Algérie, les sables de concassage, par le méconnaissance, ils sont les moins recherchés que les sable d'oued ou de mer : absence de normes ou de règles qui définissent leurs caractéristiques ainsi que leurs limite d'emploi.

Devant ce constat, le Centre National d'Etude et de Recherche Intégrées du Bâtiment (CNERIB) a été chargé par la Commission Technique Permanente du ministère de l'habitat et de l'urbanisme (CTP), de mener des travaux de recherche permettant la valorisation des sable de concassage, fabriqués par le potentiel national de production pour la confection des mortiers et bétons.

Ces types de sables sont les résidus de la production des graviers et gravillons, ils contiennent souvent une quantité exagérée en fines.

L'élaboration de sable de concassage à partir de roches meubles ou massives nécessite un certain nombre d'opérations …… Les caractéristiques géométriques (granularité) et de propreté des sable dépendent du processus d'élaboration dans les installations de traitement.

I.6.1 L'extraction

L'ensemble des opérations d'extraction de la roche dans le gisement peut être défini dans un plan d'exploitation incluant principalement :

. La reconnaissance du gisement ;

. L'enlèvement de la découverte ;

. Le processus d'extraction ;

. L'organisation des fronts ;

. L'homogénéisation des produits extraient et, s'il y a lieu, de la dilution

Dans les roches massives, l'extraction se fait par minage suivant des plans de définis permettant d'obtenir un produit de blocométrie de l'ordre de 0/1000mm.

I.6.2 Le chargement et le transport :

Un premier tri est réalisé par le chauffeur de la chargeuse pour élimination de l'argile et séparation des blocs trop gros qui devront être cassés par un brise roche. Les matériaux sont chargés dans les dumpers ou sur des camions spéciaux avec des bennes de carrière, puis acheminés vers la trémie de production.

I.6.3 Le concassage et le broyage :

Ce sont les plus grandes étapes du traitement de la roche, qui comprend :

- Roche déversée au primaire
- Séparation des matériaux dit Nobles ou Stériles
- Concassage des matériaux nobles par un concasseur primaire
- Séparation des matériaux 0/90 et >90
- Concassage secondaire du >90 pour obtenir du 0/90
- Concassage des matériaux 0/100 destinés aux granulats en 0/31.5

- Séparation et alimentation des silos en fonction de leurs granulométries
- Le > 31.5 est envoyé dans un concasseur de recyclage pour obtenir un 0/31.5

La fragmentation des matériaux se fait par concassage et broyage, les producteurs de granulats appellent par concassage la fragmentation grossière et par broyage l'élaboration de sables, petits gravillons et fillers. Leur rôle est de réduire le dimensions des éléments pour obtenir la granularité souhaitée et pour améliorer leur forme.

Les appareils utilisés se divisent en trois grandes catégories :

1- Les appareils travaillant par écrasement lent ;
2- Les appareils travaillant par chocs ;
3- Les appareils à effets multiples, travaillant éventuellement par gravité.

I.6.4 Le criblage

C'est l'opération qui permet de séparer et de classer un ensemble de grains 0/Dn provenant de l'extraction et /ou de concassage en sous-ensembles 0/Di ou di/Di. Elle se fait au moyen de cribles vibrants inclinés, constitués par un caisson équipé de grilles mis en vibration, le plus souvent, par un arbre balourde, le tout étant supporté par une suspension souple (ressorts, tampons en caoutchouc).

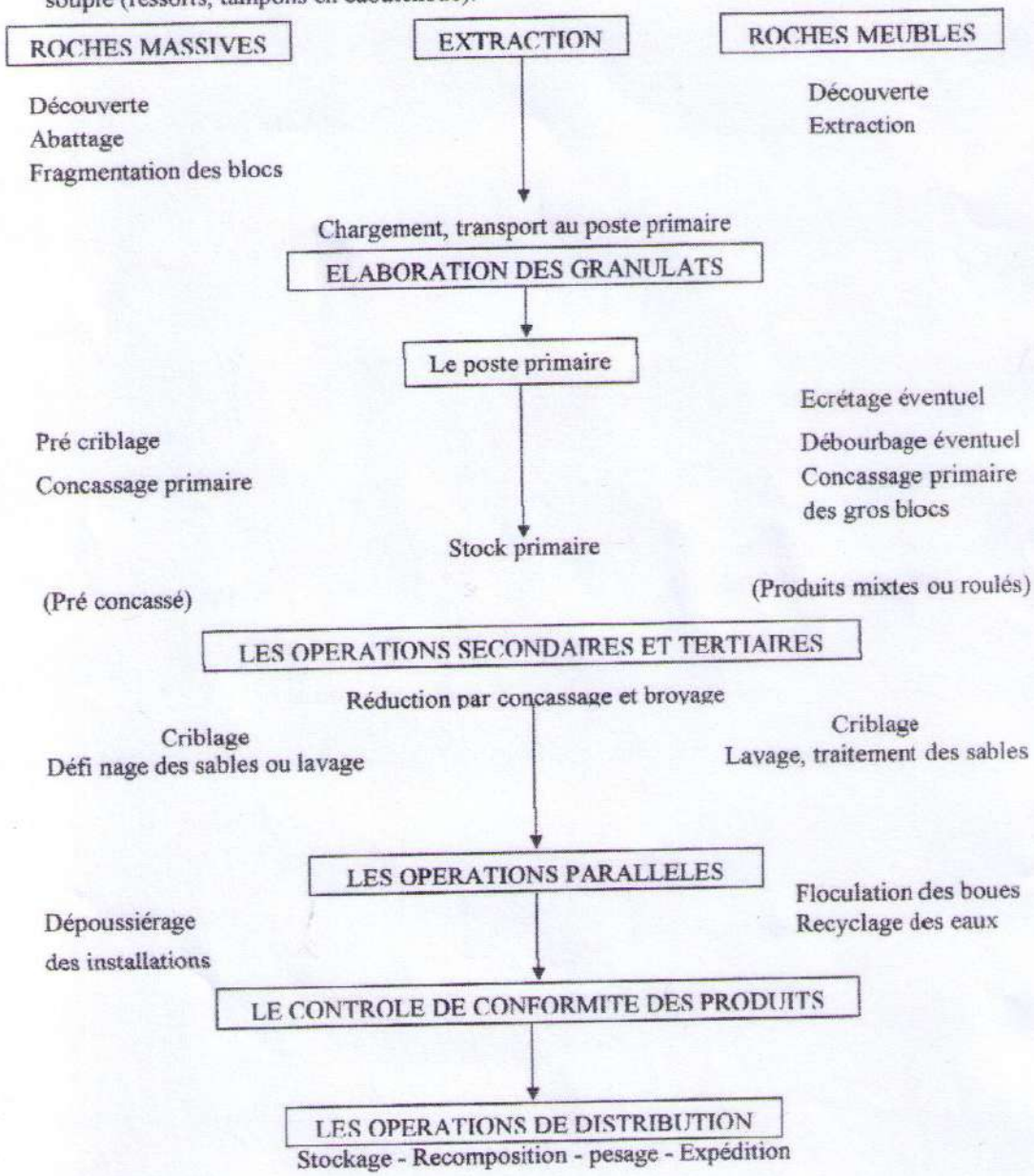


Fig 1.1 : Extraction et élaboration des sables de concassage [4].

I.6.5 Le lavage et le definage

Le lavage des granulats

Il a pour but d'éliminer les éléments de pollution (argiles) et l'excès des fines (figure I.2). On peut suivant le degré et le type de pollution faire :

- Un lavage après extraction (sur gros appareil débourbeur) ;
- Un lavage sur crible sur le tout venant et/ou les gravillons ;
- Un lavage du sable en fin de parcours.

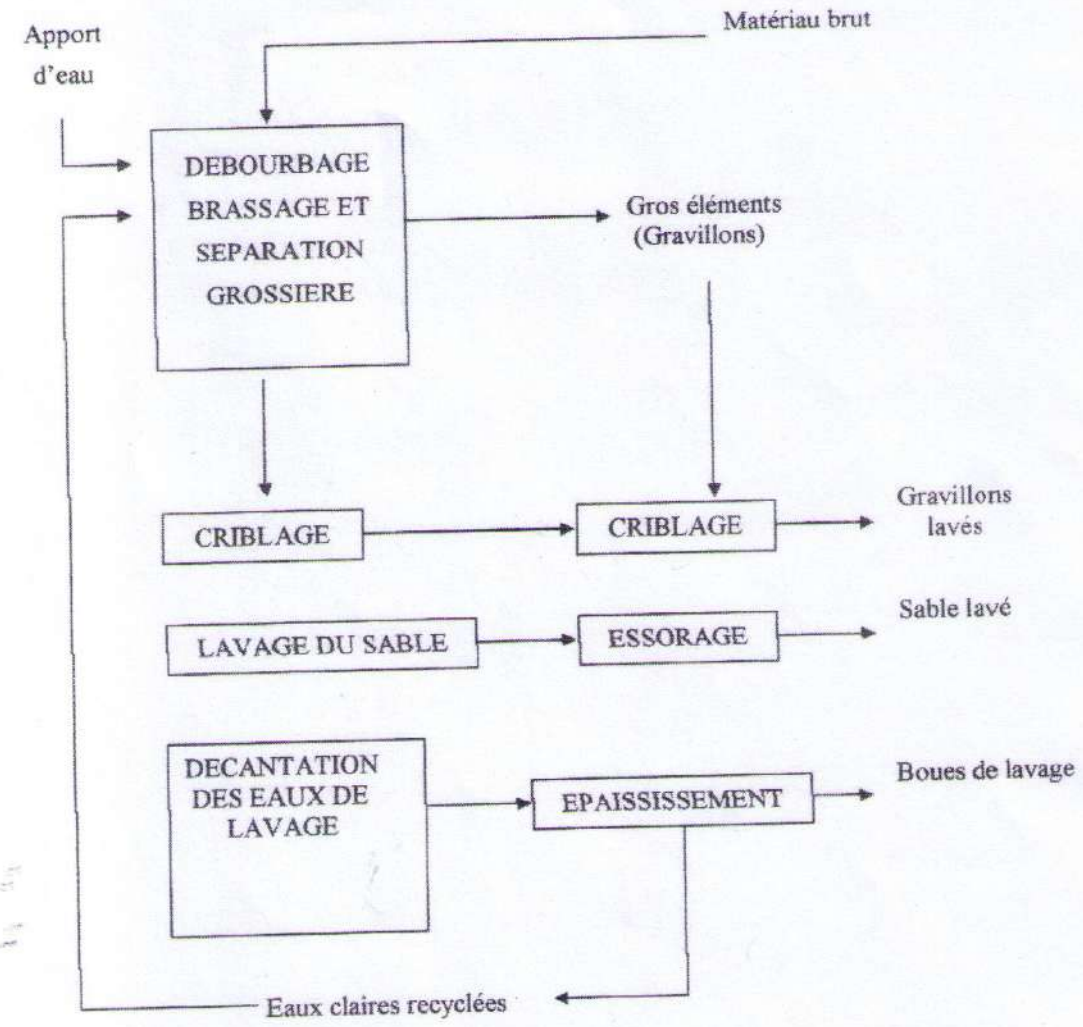


Fig. 1.2 : Schéma général des opérations de lavage [4].

I.7 CONCLUSION :

L'observation de la nature actuelle, et celle des phénomènes géologiques anciens, conduit à classer les roches, d'après leurs caractères origines, en 3 grands groupes :

- Les roches endogènes ou magmatiques engendrées par les forces internes (hautes température et pression etc…)
- Les roches exogènes ou sédimentaires, engendrées par les forces externes (fleuves, mer, vent, glacier etc…)
- Les roches métamorphiques, primitivement endogènes ou sédimentaires, ensuite transformées à température de pression assez élevée, le plus souvent en profondeur.

CHAPITRE II

LE SABLE A BETON

II. LE SABLE A BETON :

II.1 INTRODUCTION :

Le sable est un matériau granulaire constitué de petites particules provenant de la déségrégation d'autres roches, dont la dimension est composée entre 0,063 mm (limon) et 2 mm (gravier), selon la définition des matériaux granulaires en géologie.

On appelle sable le mélange de grains de 0,08 à 5,00 (4,00mm), désigné par 0/D et peut résulter de l'altération naturelle des roches massives ou meubles et/ou de leur concassage ou de traitement thermique des roches ou par recyclage des matériaux. Le sable constitue de l'agrégat essentiel dans la composition des mortiers, et bétons ou il assure la continuité granulaire entre le ciment et le gravier d'une part et une meilleure cohésion d'autre part, de plus il participe à la résistance de l'écrasement.

Le sable est **naturel** s'il est issu des roches meubles ou massives d'origine minérale, n'ayant subi aucun traitement ou transformation autre que mécanique. Parmi les granulats naturels les plus utilisés pour le béton, on trouve les granulats qui proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartzites ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites les porphyres.

Le sable est dit **artificiel** : s'il provient de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou minerais, exemple : schiste expansé, argile expansée.

Le sable est dit recyclé : s'il provient de la démolition (matière inorganique) d'ouvrage ou lorsqu'il est réutilisé.

II.2 CLASSIFICATION DES SABLES :

On classe les sables selon : leur grosseur, leur masse volumique, leur origine.

II.2.1 Selon leur grosseur des grains : On distingue :

- Sable fin : 0.08 à 0.315 mm
- Sable moyen : 0.315 à 1.25 mm
- Sable grossier : 1.2 à 5 mm

II.2.2 Selon leur masse volumique : On classe les sables en 3 catégories :

- Sables légers : masse volumique inférieure à 2000 Kg/m3

Exemple : perlite, vermiculite, argile expansée, laitier granulé.

- Sables courants : masse volumique comprise entre 2000 et 3000 Kg/m3

Exemple : Silice, quartz, calcaire, dolomie etc.

- Sables lourds : masse volumique supérieure à 3000 Kg/m3

Exemple : Limonite, Corindon, baryte, pyrite, grenailles et riblons.

II.2.3 Parmi les variétés des sables : On distingue :

- Les sables de mer.
- Les sables d'oued ou de rivière.
- Les sables de dunes.
- Les sables laitier granulé ou concassé.
- Les sables d'argile expansée.
- Les sables de tuileau ou de brique.
- Les sables de recyclage.

II.3 APPELLATION DES GRANULATS :

Les règles d'appellation sont propres à chaque norme (NFP 18 – 545, EN 12620, etc).

Les critères d'appartenance à une famille de granulats, bien qu'essentiellement basés sur la granularité, font également intervenir :

La destination des granulats (pour béton, pour chaussées, pour voie ferrées, etc…)
Le respect d'appartenance à une catégorie et de pourcentage de passant à certains tamis.

Les définitions données par les nouvelles normes européennes (EN 12620, 13139 et 13242) sur les granulats sont les suivantes :

- **Sable :** Appellation donnée aux plus petits granulats de dimension d'égale à 0 et d'inférieur ou égal à 4 mm .
- **Fines :** Fraction d'une classe granulaire passant au tamis de 0,063 mm .
- **Filler :** Granulats dans la majeure partie est constituée pas des fines, et qui font l'objet d'exigences spécifiques.
- **Filler mixte :** Filler d'origine minérale auquel a été ajouté de l'hydroxyde de calcium.

- **Filler d'apport :** Filler d'origine minérale produit en usine suivant un processus contrôlé, par opposition au filler présent à l'état d'effraction ou dans toute autre classe granulaire.

Fillers	0/D	Avec	D < 2 mm et avec au moins 70% de passant à 63 µm
Sablons	0/D	Avec	D < 1 mm et avec au moins 70% de passant à 63 µm
Sables	0/D	Avec	1 mm < D < 6 ,3 mm
Graves	0/D	Avec	D > 6 ,3 mm
Gravillons	d/D	Avec	d > 1 mm et D < 125 mm
Ballast	d/D	Avec	D > 25 mm et D < 50 mm

Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D, d et D étant respectivement la plus petit et la plus grande dimension des grains. Lorsque d est inférieur à 2 mm, le granulat est désigné 0/D.

En pratique, on recherche d et D tels que les tamisas et les refus soient respectivement les plus proches de 8% et 92% ou (5% et 95%). [7]

Tableau 2.2 Appellations pour des granulats pour béton hydraulique EN 12620

Granulats	Dimensions	Pourcentage en masse du passant					Catégorie $G^{d)}$
		2 D	1,4 D a) b)	D c)	d b)	d/2 a) b)	
Gravillons	D/d≤2 ou D≤11.2 mm	100	98 à 100	85 à 99	0 à 20	0 à 5	G_c85/20
		100	98 à 100	80 à 99	0 à 20	0 à 5	G_c80/20
	D/d≤2 et D≤11.2 mm	100	98 à 100	90 à 99	0 à 15	0 à 5	G_c90/15
Sable	D = 4 mm et d=0	100	95 à 100	85 à 99	—	—	G_F 85
Granulat de Classe naturelle 0/8	D ≤ 8 mm et d = 0	100	98 à 100	90 à 99	—	—	G_{NO} 90
Grave	D ≤ 45 mm et d = 0	100	98 à 100	90 à 99	—	—	G_A90
		100	98 à 100	85 à 99	—	—	G_A85

a) Lorsque la dimension calculée ne correspond pas à une dimension exacte de la série de tamis R 20 ISO 565 :1990, il faut utiliser le tamis ayant la dimension la plus proche.

b) Des exigences supplémentaires peuvent être spécifiées pour les bétons à granularité discontinue et pour des emplois spécifiques.

c) Le pourcentage en masse de passant à D peut être supérieur à 99 %, mais, dans de tels cas, le fournisseur doit documenter et déclarer la granularité type aux tamis D, d, d/2, et aux tamis intermédiaires entre d et D de la série principale plus ceux de la série 2. Pour le choix des tamis intermédiaires, il convient de veiller à ce que le rapport de deux tamis consécutifs soit supérieur ou égal à 1,4.

d) Les normes relatives à d'autres produits de granulats fixent des spécifications différentes.

II.4 LES FUSEAUX [7]

La notion de fuseau, bien qu'elle soit appliquée dans ce paragraphe à la granulométrie, doit être étendue à l'ensemble des propriétés des granulats (ES,...).

- **Fuseau enveloppe :** Il indique l'étendue maximale de variation de la valeur.
- **Fuseau de spécification :** Il indique l'étendue dans lequel doit se trouver la valeur moyenne. Il est propre à une technique considérée (règles de l'art ou d'usage, norme XPP 18-540, expérience acquise, exigences particulières,...).

- **Fuseau de fabrication :** Il est caractéristique d'une production donnée, et est défini, par exemple, sur chaque tamis testé par : $\overline{Xf} \pm 1.25 \times Sf$

  $\overline{Xf}$: Valeur moyenne et Sf : Ecart type.

Un fuseau de fabrication est entièrement inclus dans le fuseau de régularité. Sa définition requiert au moins 15 valeurs afin d'être suffisamment représentatif et soit établi par le producteur de granulats.

- **Fuseau de régularité :** (dit également fuseau de contrôle de régularité) : Il précise les tolérances acceptables de variation de la valeur autour de la valeur moyenne, en tenant compte des incertitudes sur les mesures (Vss et/ou Vsi).

C'est ce fuseau qui conditionne le domaine d'acceptation de livraison d'une fourniture.

Vss : valeur spécifiée supérieure et **Vsi** valeur spécifiée inférieure.

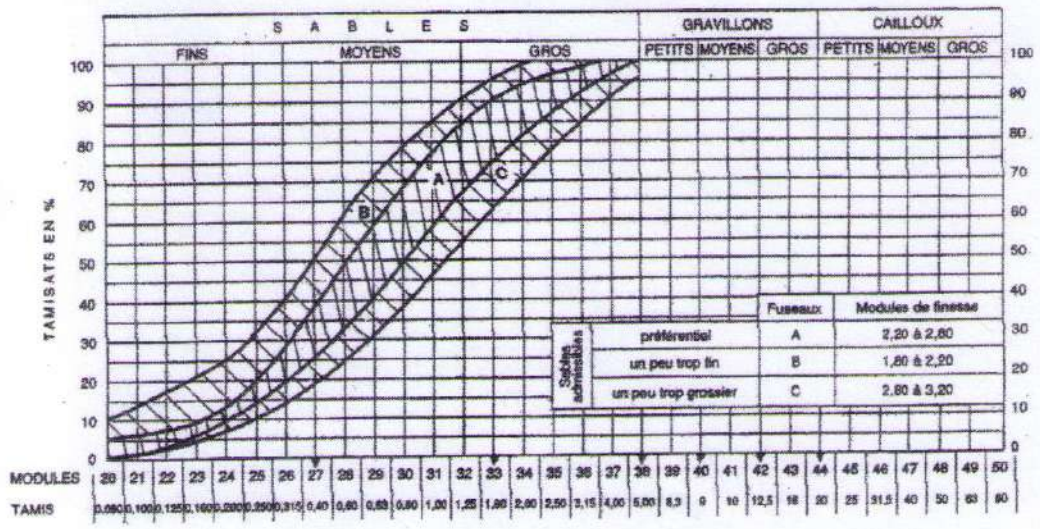


Figure 2.1: Fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton [5]

II.5 SABLE À BETON :

Les granulats pour béton (norme de définition XP P 18-540) sont des grains minéraux classés en fillers, sablons, sables, gravillons, graves ou ballasts, suivant leurs dimensions comprises entre 0 et 125 mm [5].

Selon un concept traditionnel, les granulats constituent le squelette du béton. Le mélange ciment/eau forme la pâte de ciment durcie. La pâte de ciment et le sable forment le mortier, celui-ci se lie avec les gros granulats pour former un conglomérat solide appelé béton.

Les granulats, qui sont généralement moins déformables que la matrice de ciment, s'opposent à la propagation des microfissures provoquées dans la pâte par le retrait. Ils améliorent ainsi la résistance de la matrice.

Le choix d'un granulat est donc un facteur important de la composition du béton, qui doit toujours être étudiée en fonction des performances attendues.

Le sable est l'élément qui a une influence prépondérante sur le béton, il participe à la résistance, il donne la cohésion du mélange, du mortier ou du béton. Il doit être :

- dense provenant des roches chimiquement inertes ou du calcaire dur.

- stable, c'est-à-dire inaltérable à l'air, à l'eau et au gel.

- dépourvu d'éléments nuisibles (matières organiques, argiles, sels solubles etc…) qui pourraient porter préjudice à la durabilité du béton.

La propreté des granulats influe sur la qualité du béton, sur sa mise en œuvre et sur ses performances finales.

En général, il faut éviter les sables provenant de certaines roches tendres, friables et altérables sous l'action de l'eau et de l'air ; exemple :

- certaines roches trop **micacées** qui s'effritent.

- sables contenants des **sulfates de calcium** sous forme de gypse qui altère les ciments CPA (formation de l'ettringite).

- il faut se méfier de certains sables provenant des roches amorphes (siex, chert, calcédone, opale, calcaires dolomitiques) susceptibles être attaquées par des alcalis (Na_2O et K_2O) provenant du ciment ou d'autres sources (eau, adjuvant).

Les sables et les granulats utilisés doivent être classés comme étant non réactifs vis-à-vis de la réaction d'expansion (formation d'un gel silico-calco-alcalin qui fixe un grand nombre de molécules d'eau) pouvant provoquer la détérioration du béton, d'où il faut prendre les précautions suivantes :

- limiter la teneur totale en alcali du béton.
- les sables naturels issus en particulier de roches feldspathiques ou de schistes sont interdits, de même les laitiers de haut fourneau présentant des défauts dus à la chaux ou au fer sont prohibés.
- utiliser un ciment ayant une faible teneur en alcali.
- changer le sable et limiter le degré de saturation de sable.

Les spécification auxquelles doivent satisfaire les sables à béton sont précisées dans la nouvelle norme XP P 19-540 (Octobre 1997) qui remplace les normes P18-101 (décembre 1990) et la P 18-541 (Mai 1994).

La valeur d'un sable s'estime par sa courbe granulométrique, par la forme et la propreté des grains, par sa nature chimique et par l'altérabilité, la dureté et la fragilité des grains.

Les facteurs de spécification des sables à béton sont :

- une courbe granulométrique régulière ne présentant ni bosse ni creux et s'inscrivant dans un fuseau de référence,
- un module de finesse entre 1.8 et 3.2,
- un taux de fines contrôlé,
- un état de propreté satisfaisant et l'absence d'éléments nocifs.

II.6 LES SABLES CALCAIRES DE CONCASSAGE

Les sables de carrière (concassage) sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de précriblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées.

Les sables de concassage présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage.

La valorisation des sables de concassage dans l'emploi des bétons constitue une action d'intérêt général de portée nationale.

Ces types de sables sont les résidus de la production des graviers et gravillons, ils contiennent souvent une quantité exagérée de fines, dans la forme de grains est irrégulière généralement de forme anguleuse. La fragmentation des roches notamment des calcaires s'accompagne de la production d'éléments très fins.

Remarque :

La nature et la dureté de la roche influent sur la forme des grains pour un même mode de concassage.

La fragmentation d'une roche dépend surtout de ses caractéristiques mécaniques, ainsi que des caractéristiques physiques et minéralogiques.

La production des sables de concassage dans une chaîne de traitement de matériaux revêt un caractère particulier dans leur classification et leur lavage.

II.6.1 La classification :

Pour séparer les classes granulaires des sables on dispose de plusieurs types de classificateurs, travaillant sur des principes différents :

- cribles classiques et cribles à tamis verticaux (grains de 1 à 2 mm)
- tamiseurs statiques (grains de 0 à 3 mm et de 0 à 6 mm)
- classificateur à courant de surface (grains de 0.4 à 0.08 mm)

- classificateur à courant ascendant
- classificateur à courant centrifuge (grains au dessous de 0.15 mm)

II.6.2 Le lavage (dépoussiérage) :

Le lavage des sables consiste à l'élimination des particules argileuses et les fines selon les tolérances exigées. Cette opération s'effectue dans des appareils sélectifs à air soit par des appareils de séparation hydraulique :

- appareils de séparation par courants centrifuges (hydro-cyclone avec régulateur sous-verse, cyclone avec extracteur automatique)
- appareils de décantation statique (hydro-séparateur)
- appareils de séparation par décantation statique avec extracteur mécanique :
  - l'égouttage à raclettes
  - le classificateur râteaux
  - le décanteur à vis
  - la roue essoreuse

II.6.3 Désignation d'un sable :

La désignation d'un sable doit faire apparaître les éléments suivants :

II.6.3.1 Ancienne norme NF P18-101

- raison sociale
- site de production
- nature du produit : sable nature courant
- classe granulaire : 0-5 mm
- catégorie et/ou usage : béton hydraulique

- fuseau de production : <0.08 : 1/3 %, <0.63 : 40/60 %, <4.0: 95/100 %,<6.3 :98/100%
- désignation complémentaire : sable lavé – Mf 2.2 à 3.0 – SO_3 < 0.2 %

II.6.3.2 Nouvelle norme NF XP18-540

- granularité :
- origine :
- mode de préparation :
- référence de la présente norme NF XP18-540
- nature pétrographique selon la norme P18-557 :

Exemple de désignation : sable de carrière de ....., alluvion concassée, XP18-540, article 8, catégorie a-IC, alluvion siliceuse marin.

II.6.4 Contrôle des sables :

Le contrôle des granulats en carrière permet de donner une confiance tant qu'à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'entreprise.

Le contrôle de base doit comprendre les tâches suivantes :

- suivre avec soins l'exploitation et l'évolution du gisement
- constater les conditions de fonctionnement des installations et de stockage
- politique en matière d'éliminations et la conduite de concasseur et des cribles
- fabrication des sables avec un pourcentage de fines bien définis
- méthode éventuelle de recomposition
- faire un contrôle statique des produits finis, ce contrôle portera sur la granularité, la dureté, la forme et la propreté.

II.7 PROPRETE :

Le sable ne peut contenir des impuretés pouvant nuire aux propriétés essentielles des produits confectionnés car la nocivité de ces composés réside sur l'action retardatrice, et pouvant nuire au durcissement du béton ou susceptibles d'altérer les armatures. Leur teneur est déterminée par un triage manuel, le résultat est exprimé en pourcentage de la masse sèche de la prise d'essai. Le seuil généralement requis est inférieur à 0,1 %.

II.7.1 Les sulfates :

La présence de sulfates dans les granulats est à l'origine de réactions expansives dues à la formation d'ettringite d'où gonflement susceptible dans les cas extrêmes de disloquer des maçonneries. Les sulfates solubles (gypse ou plâtre) en faibles proportions peuvent perturber la prise et modifier les effets des adjuvants. Les anciens documents limitaient à 0,15 % la teneur maximale admise de sulfates exprimés en SO_3.

II.7.2 Teneur en soufre :

Les sulfures (pyrites) présents dans certains granulats calcaires primaires peuvent s'oxyder et se transformer en sulfates pouvant donner lieu à des réactions expansives (formation de l'ettringite) avec le ciment. Cette oxydation s'accompagne souvent de production de taches sur les parements et lorsque les grains de pyrites sont assez grossiers (d'ordre millimétrique), de pustules et d'éclatements. La précédente norme limitait à **0.4 %** la teneur exprimée en soufre total ou à **1 %** lorsqu'elle était exprimée en SO_3.

II.7.3 Matières organiques:

Les matières organiques ne doivent exister qu'en proportions suffisamment faibles, leur présence peut perturber la prise, faire chuter la résistance du béton et donner lieu à des taches sur les parements. Ils sont essentiellement d'origine végétale ou de résidus divers.

Leur présence dans le sable se vérifie au moyen de l'essai colorimétrique selon la norme NA 5017 qui consiste à s'assurer que la coloration de la solution à base de soude (NaOH à 3 %) dans laquelle on a plongé le sable à tester, est moins intense que celle d'une solution du type servant de témoin. Il ne doit pas donner une coloration rougeâtre à noire.

On peut utiliser un sable non conforme pour des raisons d'approvisionnement en vérifiant son innocuité par des essais normalisés sur mortier. La norme NF P18-540 autorise son emploi à la double condition :

- que la résistance à la compression à **2** jours, mesurée sur un mortier constitué d'une part de ciment pour 3 parties de sable avec **E/C** de **0.50**, soit au moins égale à 90 % de celle obtenue sur le même mortier réalisé avec du sable traité (après élimination des matières organiques).

- que le début de prise ne soit pas retardé de plus de **1** heure (Le même échantillon de ciment est utilisé pour les sables).

En cas de doute, un essai de perte au feu (PF) est à effectuer afin de déterminer la quantité de matières organiques qui doit être inférieure à 0.1 % en poids.

II.7.4 Les chlorures :

Les chlorures modifient la cinétique d'hydratation du liant (Elles facilitent également l'hydrolyse des aluminates et silicates du ciment) et favorisent la corrosion des armatures ou des câbles précontraints. On admet que le risque est nul pour le béton armé si les granulats renferment moins de **0.06 %** d'ions Cl^-.

II.8 POROSITE :

C'est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage. C'est une mesure des pores accessible à l'eau. Une valeur élevée est défavorable pour la durabilité des bétons, car elle facilite la carbonatation, la pénétration de l'eau et des chlorures, la dégradation par le gel. Elle nuit aussi au maintien de la maniabilité du béton frais, ce qui peut se compenser par un pré mouillage des granulats.

Une absorption d'eau élevée diminue le module d'élasticité et accroît le fluage, par contre, une faible absorption d'eau favorise le ressuage, **Ab ≤ 2.5 %**.

II.9 LES FINES :

Les fines désignent l'ensemble des grains passant au tamis de 63 micromètres, qu'il s'agisse des grains de ciment, d'additions, de fillers ou fines contenues dans le sable. Ce matériau est traité de telle sorte qu'au moins 70 % des éléments soient inférieurs 0,063 mm.

Les fines confèrent au béton frais un pouvoir de rétention d'eau qui permet de s'opposer au ressuage et une cohésion qui maintient de l'homogénéité (absence de ségrégation) ; leur excès devient défavorable car il augmente le rapport E/C, fait chuter les résistances, surtout au jeune âge, augmente les retraits et nuit à la durabilité des bétons. Leur absence ne permet pas d'obtenir un béton suffisamment compact et réduit les résistances mécaniques. Les proportions admissibles sont évaluées par l'essai au bleu de méthylène et les limites sont spécifiées [8].

II.9.1 Additions normalisées :

Une addition est un matériau minéral finement broyé et pouvant être ajouté au béton pour améliorer certaines de ses propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières. Elles sont de deux types :

- les additions quasiment inertes : type I
- les additions à caractère hydraulique latent ou pouzzolanique : type II; Elles jouent un rôle dans le processus de durcissement et sont prises en compte dans le calcul de la teneur minimale en ciment utilisée et du rapport Eau/Ciment (Liant) grâce à un facteur k.

Il existe aujourd'hui cinq additions normalisées : les additions calcaires, les additions siliceuses, les cendres volantes, le laitier vitrifié moulu et la fumée de silice.

Toutes ces additions sont de type II ; sauf les calcaires qui ne sont ni de type I, ni de type II.

II.9.2 Propriété des additions dans le béton :

On distingue trois propriétés des additions dans le béton :

II.9.2.1 L'effet filler :

Une caractéristique importante du béton frais est sa porosité (**e** + **v** : somme du dosage en eau e nécessaire pour viser une consistance et de la teneur en air occlus v dans le béton frais, après mise en place). Si l'on fait varier le dosage en éléments fins du béton, on observe l'existence d'un dosage optimal pour lequel la porosité du béton frais est minimale, ce qui implique que le filler rentre dans la granularité optimale des bétons, c'est l'effet filler.

II.9.2.2 La réaction pouzzolanique :

On appelle réaction pouzzolanique la réaction chimique en solution entre la silice (SiO_2) provenant de la dissolution d'une poudre siliceuse et l'hydroxyde de calcium $Ca(OH)_2$ produit par l'hydratation de ciment. Ces additions d'origine pouzzolanique peuvent jouer le rôle d'un effet filler.

II.9.2.3 Activité d'origine physique des poudres chimiquement inertes (Les additions calcaires) :

D'après les normes, l'indice d'activité d'une addition qui serait absolument inerte vaut 0,67. Nonat en 1994 a montré, par calorimétrie, que l'hydratation du minéral essentiel dans la résistance du béton qui est le silicate tricalcique est plus rapide en présence de fines calcaires (les fines agissent comme catalyseur de l'hydratation de $3CaO.SiO_2$).

Les réactions entre le ciment et l'eau sont plus rapides en présence de poudre calcaire, elles favorisent la réaction d'hydratation du silicate tricalcique.

II.10 LES ETUDES ET LES UTILISATIONS EN ALGERIE ET DANS LES PAYS MEDITERRANEENS :

II.10.1 Les études dans les pays méditerranéens

Des études de valorisation des sables de concassage ont été menées dans plusieurs pays et ont été publiées (France, Espagne, Maroc). Les résultats de ces études sont tous concordants :

- les sables calcaires de concassage sont utilisables pour la confection des bétons sans danger,
- les fines calcaires amélioraient les performances mécaniques des bétons sans nuire à leur durabilité jusqu'à des taux de 20 %,
- l'action nocive des argiles et l'importance de la propreté pour la qualité des bétons ont été soulignées.

Ces études ont eu pour conséquence la révision des normes en vigueur dans ces pays.

Pour la France : Le taux de fines limité à 10 % par la norme NPP 18-301 décembre 1983 peut atteindre 18 %, selon la norme XPP 18540 octobre 1997.

Pour l'Espagne et le Maroc, les nouvelles normes fixent la limite du taux de fines à 15 %. La valeur du bleu de méthylène qui représente le degré de propreté a été maintenue aux valeurs des anciennes normes ($Vb \leq 1$).

La norme européenne : EN 12620 août 2003 est obligatoire en Europe depuis juin 2004. Le taux de fines peut atteindre 22 %, la valeur du bleu de méthylène est toujours limitée à 1.

Le point de l'utilisation des granulats calcaires dans les bétons hydrauliques dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) en France a fait l'objet d'une communication de M. Gentilini au Congrès de l'industrie minérale à Marseille, en 2003. Il est fait état que:

- 68 % des sites de production sont de nature calcaire.
- 24 % des sables calcaires étaient conformes, selon la norme 18-301 de décembre 1983 : seuil de 10 % du taux de fines.

- 46 % selon la norme P 18540 de mai 1994 : seuil limité à 12 %.
- Selon la norme XPP 18540 d'octobre 1997 100 % des sables sont conformes selon les seuils :

  – catégorie A (seuil limité à 12 %) : 46 %

  – catégorie B (seuil limité à 15 %) : 85 %

  – catégorie C (seuil limité à 18 %) : 100 %

Les études et l'évolution des normes ont contribué à l'utilisation de la totalité des sables calcaires de la région PACA à partir de la publication de la norme de 1997 alors que seulement 24 % des sables calcaires étaient conformes selon la norme de 1983.

II.10.2 Les études menées par le CNERIB

Les études menées par le CNERIB à partir de 1995 avec la collaboration de l'Université de Blida, de l'Ecole Nationale des Travaux Publics, plusieurs Laboratoires et l'ENG ont montré que l'utilisation du sable calcaire présentant des taux de fines jusqu'à 25% est possible sans conséquences préjudiciables sur les caractéristiques physico-mécaniques finales des bétons [1]

En avril et juillet 1999, la Commission Technique Permanente pour le contrôle technique de la construction a recommandé de limiter le taux de fines à 15 % [9]

II.10.3 Présentation de l'activité granulats en Algérie

La géologie de l'Algérie est caractérisée par la prédominance des roches calcaires, particulièrement les régions du nord du pays les plus peuplées. Les carrières en exploitation se trouvent naturellement sur des sites calcaires en grande majorité. L'activité granulats est très dispersée. Les sites en exploitation sont au nombre de 937 unités dont :

- 795 carrières
- 142 sablières

717 carrières et sablières relèvent du secteur privé, soit 77 %, le plus souvent de faible capacité, tandis que 220 unités sont de statuts publics, soit 23 % [1]

La production annuelle estimée est de 56 millions de tonnes dont :

- 16 millions de sables
- 40 millions de gravillons

La production de sables de concassage est destinée exclusivement aux Travaux Publics.

La production du secteur privé représente 64,5 % du total et celle du secteur public 35,5%. Sur la base de la corrélation consommation ciments-granulats, l'offre devrait être corrigée et se situer autour de 80 millions de tonnes par an.

La répartition géographique est la suivante [9]:

49 % pour l'Est	24 % pour l'Ouest
17 % pour le Centre	10 % pour le Sud

II.10.4 L'offre et la demande 2015/2019 :

L'engagement par le Gouvernement dans le cadre du plan de relance 2015/2019 d'un important programme d'investissement de 55 milliards de dollars va engendrer une demande accrue en gravillons et sables.

Ce programme comprend essentiellement des travaux d'infrastructures de base [1] :

- la construction de 1 million de logements,
- la réalisation de l'autoroute Est-ouest,
- l'entretien, la consolidation et l'extension du réseau routier,
- le renouvellement et l'extension du réseau ferroviaire,
- les barrages et les réseaux de transfert,
- la modernisation et l'extension des ports et aéroports.

La demande globale en période 2015-2019 est estimée à 660 millions de tonnes dont 240 millions de sables. La demande globale annuelle de granulats passera progressivement de 90 millions de tonnes à 160 millions de tonnes. Les besoins en sables

seront de l'ordre de 50 millions de tonnes par an. L'offre pourra être améliorée par une meilleure utilisation des capacités disponibles des carrières en exploitation et la mise en production des installations qui sont en cours de réalisation suite à l'octroi de titres miniers dans le cadre de la loi minière de juillet 2011.

Pour répondre à tous ces besoins, des investissements pour la réalisation d'une capacité supplémentaire de 60 millions de tonnes par an dont 20 à 25 millions de tonnes de sables seront nécessaires.

II.10.5 Conclusion et recommandations :

Les études et les utilisations des sables de concassage de roches calcaires dans plusieurs pays méditerranéens et particulièrement dans la région PACA en France ont montré que :

- ce matériau est utilisable dans la confection des bétons hydrauliques sans conséquences préjudiciables aux caractéristiques physico-mécaniques,

- les fines calcaires (à la condition qu'elles ne soient pas polluées par de l'argile) présentes dans les proportions limitées jusqu'à 20 % ont des effets plutôt d'amélioration des performances.

La recommandation de la Commission Technique Permanente pour le contrôle de la construction de fixer le taux de fines à 15 % encourage l'utilisation de ce matériau en Algérie à la condition qu'il ne soit pas pollué. Les besoins en granulats, particulièrement ceux nécessaires pour la mise en oeuvre de la décision du gouvernement d'engager des travaux d'infrastructures de base de grande envergure sur la période 2015-2019, obligent les opérateurs à investir pour une augmentation de capacité de l'ordre de 60 millions de tonnes par an dont 20 à 25 millions de tonnes de sable.

Pour réaliser cette augmentation de capacité, il serait judicieux d'agir :

Sur le plan quantitatif :

La contrainte des délais oblige à proposer dans l'ordre :

- l'extension des capacités sur les sites existants,
- l'investissement dans la fabrication de sables de concassage dans les sites existants ou sur des sites indépendants des carrières et alimentés par des granulats propres,
- l'investissement sur les nouveaux sites.

L'augmentation des quantités peut être obtenue par les actions suivantes :

- renouvellement et complément d'équipements de carrière,
- facilitation de l'obtention et de la bonne utilisation des explosifs,
- réhabilitation des installations de concassage,
- augmentation du temps de travail,
- formation du personnel technique,
- favoriser et encourager la réalisation d'installations de sables : sur les sites actuels, mais aussi, et surtout, sur des sites indépendants alimentés par des produits propres en provenance des carrières.
- favoriser et encourager l'utilisation des sables de concassage pour la fabrication des bétons,
- favoriser et encourager l'utilisation des mélanges de concassage et de sables de dunes.

Sur le plan qualitatif :

L'amélioration sensible de la qualité des produits nécessite :

- une maîtrise rigoureuse des différentes étapes du processus d'élaboration des granulats et particulièrement :

- une bonne exploitation de la carrière en réduisant au minimum la présence d'argile dans les tout-venants,
- mettre en oeuvre les méthodes actuelles de scalpage (scalpeuses à doigts, à disque, à haute énergie...),
- fixer les règles techniques de cette qualité,
- exiger des producteurs de granulats, un contrôle de qualité et d'élaboration de fiches techniques des produits,
- responsabiliser les entreprises de réalisation, clientes des producteurs de granulats pour :
  - exiger les fiches techniques des produits
  - procéder au contrôle des produits.

II. 11 CONCLUSION

La qualité et l'homogénéité des sables à une forte influence sur le bon fonctionnement des matériaux mise en œuvre dans les ouvrages en Génie Civil et des Travaux Publics.

Les fines de nature siliceuse ou calcaire provenant de broyage ou concassage améliorent les performances mécaniques et n'ont pas d'effets sensibles sur le retrait et la durabilité des mortiers et des bétons, donc, elles ne présentent pas ou peu d'effets néfastes pour les qualités finales du béton, à condition qu'elles ne soient pas polluées et non actives et présentes en proportion limitée (si leur quantité est bien entendu limitée). De telles fines sont dites « fines inertes ».

Par contre des fines de nature argileuse, de par leur surface spécifique interne élevée, peuvent entraîner des effets secondaires importants même lorsque leur teneur dans les sables est faible. Les activités de surface de ces fines font qu'elles sont appelées « fines actives ».

CHAPITRE III

MATERIELS ET MATERIAUX

&

PROTOCOLE EXPERIMENTAL

III.1 Programme expérimental :

Le programme expérimental adopté consiste à étudier un mortier composé de ciment, du sable du concassage et d'une eau de gâchage.

Le principe des essais repose sur le fait que les sables de concassage pris isolément et sans traitement ne peuvent constituer des granulats de bonne qualité d'où la nécessité de les mélanger avec d'autres composants : fines et adjuvants.

Le protocole d'essais mis en œuvre s'intéresse surtout à vérifier les deux propriétés généralement exigées pour les mortiers et bétons hydrauliques : la maniabilité et les résistances mécaniques.

Pour ce faire, le protocole d'essais comprend les séquences suivantes :

- Un lavage de sable jusqu'à l'élimination complète des fines ;
- Une incorporation de différents pourcentages de fines allant de 5 jusqu'à 20% pour accroitre la compacité par remplissage des vides inter granulaires ;
- Une incorporation d'un adjuvant superplastifiant haut réducteur d'eau pour améliorer la maniabilité tout en gardant la qualité d'eau de gâchage constante.

Pour chacune des compositions de mortier, il a été procédé à :

- Une caractérisation de la consistance au maniabilimètre L.C.P.C ;
- Des épreuves mécaniques : résistance à la compression uni axiale (Rc) et résistance à la traction par flexion (Rt) ;
- Une épreuve physique ; caractérisation du retrait.

Afin de minimiser de nombre de variables, les dispositions communes suivantes ont été arrêtées :

- Toutes les caractéristiques relevées sont comparées à celle d'un matériau témoin confectionné avec un sable associé à un ciment CPA de classe de résistance 42,5.
- La composition-type est similaire au mortier 1/3 normalisé soit 1350g de fraction sableuse, 450g de ciment et 225g d'eau. On entend par fractionsableuse soit l'utilisation d'un sable unique soit avec d'autres substitutions (fines calcaires).

III.2 Matériels :

III.2.1 Moules prismatiques pour fabrication de mortier : Moule de qualité, en acier comportant 3 compartiments séparés pour la préparation d'éprouvettes prismatiques 40*40*160mm pour les essais de compression ou flexion selon la norme NF EN 196-1.

II.2.2 Plongeur : C'est un bac en acier ou en plastique, conçu pour mettre les différents mélangés ou matériaux avant malaxage.

III.2.3 Malaxeur : C'est une machine électrique, qui consiste à préparer un mélange en mortier.

III.2.4 Etuve : Chambre de bains dont on élève la température pour faire transpirer. Local où la température est très élevée et la chaleur humide, qui a pour but de sécher un mélangé ou différents matériaux.

III.2.5 Table à secousse :appareil d'évaluation de la plasticité des bétons ou mortiers, par leur vitesse d'étalement.

III.2.6 Maniabilimètre LCPC : Appareil de mesure de l'ouvrabilité du béton. Le maniabilimètre du L.C.P.C. est formé d'un caisson de métal parallélépipédique, divisé en deux parties séparées par une trappe amovible. Le béton est mis en place dans l'un des compartiments et après par relèvement de la séparation, on mesure la durée nécessaire au béton pour remplir l'autre compartiment jusqu'à un niveau donné (10 à 30 s).

III.3Matériaux :

III.3.1 Le ciment : On a choisi le ciment « Matine », de production locale Algérienne, produit par la grande société LAFARGE. C'est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de ta mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine ($Al2O_3$) et le fer ($Fe2O_3$). C'est un ciment portland au laitier ou au calcaire **CPJ – CEM II/B 42,5 R NA 442**, composé de :

- 65% à 79% de clinker pour les CEM II/B
- 21% à 35% de laitier de haut fourneau ou de calcaire pour les CEM II/B
- 0% à 5% de constituants secondaires

La présence d'une faible quantité de sulfate de calcium assure la régularité de la prise.

Un ciment résistant aux sulfates **CPJ – CEM II/B 42,5 R** provenant de la cimenterie ACC LAFARGE de M'Sila a été utilisé ; ses caractéristiques sont regroupées dans les tableaux suivants :

Tableau 3.3 : analyse chimiques du ciment [10]

Composition chimique (%)	
Teneur en anhydride sulfurique SO_3	1.80 – 2.00
Teneur en magnésie MgO	1.60- 1.80
Teneur en chlorures	0.01 – 0.03
Résidus insolubles	<0.7
Perte au feu	<1.5

Tableau 3.4 : analyses minéralogiques du ciment [10]

Composition minéralogique (%)	
Silicates tricalciques C3S	55.00 – 59.00
Silicates bi calciques C2S	17.00 – 21.00
aluminates tricalciques C3A	2.80 – 3.20
Aluminoferritestetracalciques C3S	13.00 – 15.00

Tableau 3.5 : analyses physiques du ciment [10]

Consistance normale de pate de ciment (%)	25.50 – 26.50
Finesse suivant la méthode de Blaine	3000 – 3200
Chaleur d'hydratation (J/G)	< 310
Retrait à 28 jours (µm/m)	<1000
Expansion (mm)	< 5
Temps de début de prise (heure : min) a 20°C	3 :00
Temps de fin de prise (heure : min) a 20°C	4 :20

Tableau 3.6 : essais mécanique sur mortier [10]

Type d'essais (EN 196/mortier)	CPA – CEMI – 42,5
Résistance a la compression a 02 jours (MPa)	16.00 – 20.00
Résistance a la compression a 28 jours (MPa)	>42,5

III.3.2 Sable normalisé :

Le sable normalisé CEN (sable normalisé ISO) est un sable naturel, siliceux notamment dans ses fractions les plus fines. Il est propre, les grains sont de forme généralement isométrique et arrondie. Il est séché, criblé et préparé dans un atelier moderne offrant toutes garanties de qualité et de régularité.
Le sable est conditionné en sachets de polyéthylène contenant chacun 1 350 ± 5 g.

La composition granulométrique déterminée par tamisage est conforme aux exigences de la norme EN 196-1 et de la norme ISO 679 : 2009.

Tableau3.1 : Caractéristique mécanique MF du sable normalisé

Tamis ouverture des mailles (mm)	Refus cumulés (%)
0.08	**99 ± 1**
0.16	**87 ± 5**
0.50	**67 ± 5**
1.00	**33 ± 5**
1.60	**7 ± 5**
2.00	**0**

Ces analyses sont complétées par des contrôles de masse des sachets, des mesures du taux d'humidité et des contrôles de résistances mécaniques, selon les exigences des normes EN 196-1 et ISO 679 : 2009

III.3.3 Les sables de concassage :

Le sable est le composant principal du béton de sable puisqu'il constitue son squelette, dans notre cas le sable est un sable de concassage en provenance de la station de concassage d'EL-HAMDANIA, carrière appelé (Kef EL KERIA).

Le choix de ce sable a été fait vu sa disponibilité et s'inscrit dans le fuseau proposé pour la granularité des sables à béton.

Tableau 3.2 : caractéristiques du sable utilisé

Origine du sable	0/D	MF	Masse volumique réelle ($kg/m^{3)}$	Absorption d'eau %	Porosité %	ES	MO	Sulfates %	Chlorures %
EL HAMDANIA (Médéa)	0/3	2,52	2815	4,3	44	78.52	-	-	-

MF : Module de Finesse. ES : Equivalent de Sable. MO : Matières Organiques.

Tableau 3.3 : analyse chimique du sable utilisé [20]

Constituant (%)	SiO_2	$Al_2 O_3$	$Fe_2 O_3$	Ca O	$K_2 O$	SO_3	P.F
Sable de concassage	2,43	2,58	0,62	74,56	-	traces	18,71

Le tableau 3.2 résume les résultats des analyses chimiques effectués au laboratoire du CETIM Boumerdes, ces résultats montrent que les sables de concassage contiennent une quantité importante de calcaire 74,56% ce qui confirme que ces sables sont de nature calcaire.

III.3.4 Eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisée pour la confection du mortier est une eau potable de robinet, exemptée d'impuretés. Conforme à la norme NFP 18-303.

III.3.5 Prélèvement d'échantillon sur stock et enlèvement des impuretés sur le sable de concassage :

Les prélèvements d'échantillon ont été faits en deux étapes [12] [13].

La première consiste à prendre des échantillons des sables en gros lot au niveau de la station de concassage et sur les stocks des revendeurs des matériaux de construction.

En deuxième étape l'échantillon est réduit au niveau du laboratoire après tamisage, lavage et étuvage.

Enlèvement des impuretés sur le sable de concassage Lavage) [11] :

Le lavage du sable doit se faire afin d'obtenir un constituant propre exempte d'élément nocifs et de fines (figure 3.1).

Le lavage a été effectué grave à une roue laveuse et un bac et une pompe à boue sur site (station de concassage) et un crible vibrant en procédant au tamisage du sable avec un tamis de maille Ø= 0,063 mm.



Figure 3.1 lavage du sable (Station de lavage)



Figure 3.2 : lavage et récupération des fines (voie humide)

III.3.3 Fines :

Les fines sont récupérées par tamisage sous l'eau sur un tamis de maille 0 ;063mm.

Ensuite elles sont séchées et broyées pour les ajouter au sable lavé avec des pourcentages bien déterminés. L'ajout de fines a pour but la diminution du volume des vides et l'amélioration de la compacité et de la résistance mécanique des sables [15].



Figure 3.3 : traitement des fines



Figure 3.3 : traitement des fines

III.3.3.1 Influence des fines sur le mortier :

Après une définition des fines, nous allons relater les résultats de certains études faites sur le mortier et traitant de l'influence des fines sur les diverses propriétés du béton.

L'objectif de ces études est de rechercher l'influence de la présence de fines dans le sable en fonction de leur activité sur le béton.

III.3.3.2 Définition des fines :

Selon la norme NF P18-501 :

Les fines ou fillers sont définis comme étant les éléments passants par un tamis de maillage d'environ 80 microns ou 0.08mm. on adopte aussi le terme fillers pour désigner les éléments brutes de concassage inférieurs à 80 microns.

On définira deux sortes de fines, les fines inertes et les fines actives [15] :

a) Les fines inertes :

Ce sont des fines qui adhèrent peu à la surface du grain, ce qui permet de se débarrasser d'eux plus facilement.

Ces fines augmentent par leur finesse l'eau de gachage et contribuent ai maintien de l'homogénéité du béton et s'opposent à la ségrégation.

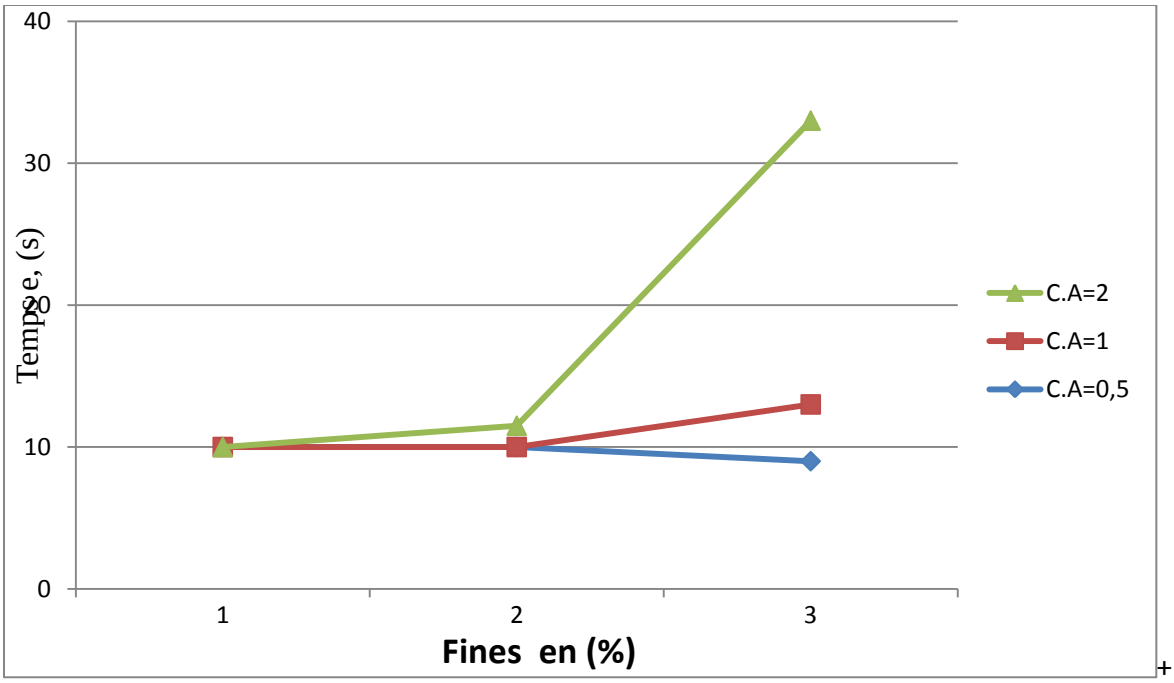
Ces fines ont aussi des effets physico-chimiques favorables tel que :

- Création de liaisons épi taxiques : accolement continu par liaisons entre les réseaux cristallins du ciment et de la calcite.
- Activité Pouzzolanique : combinaison de la chaux du ciment avec les fines siliceuses.
- Dispersion de la pâte de ciment par des fines de meme dimension, ce qui accélère la réaction.

b) les fines actives :

Ce sont des fines qui présentent des propriétés que les chimistes appellent colloïdales, c'est-à-dire qui ont des propriétés de surface dues à la fois à :

- Leur petite dimension ;
- Leur microstructure ;
- Leur charge électrique.



Dans cette catégorie rentrent essentiellement les argiles, qui avec leur structure complexe en fibres ou feuillets de silicate d'alumine hydratés, créant, ce que les chimistes appellent des substitutions isomorphiques c'est-à-dire des substitutions de cations à la surface des feuillets non équilibrés électriquement entrainant un déficit de charge au niveau de ces feuillets.

Ceci confère à ces fines une grande capacité d'absorption d'eau, des forces attractives et un phénomène de gonflement.

Il en résulte des effets le béton, parmi eux :

- Une grande absorption d'eau.
- Une très grande surface d'adhérence au grain de sable et une très grande surface spécifique, elles forment une pellicule autour des grains et nuisent à leur adhésivité donc à la résistance mécanique.
- Une grande aptitude au gonflement qui accroit les déformations (retrait).

III.3.3.3 Effet des fines sur le béton frais :

Un des problèmes qui se posent pour les bétons à base de granulas entièrement concassés, est l'obtention d'une ouvrabilité satisfaisante qui permet leur bonne mise en place dans les coffrages.

La consistance du béton à base des granulats concassés (selon le pourcentage de fines), demande beaucoup plus d'eau de gâchage que celui des bétons à granulats naturels.

Cependant, de nombreuses études [15], ont monté que l'incorporation des fines à un pourcentage toléré améliore l'ouvrabilité.

R.Bertandy, a réalisé des essais sur trois bétons confectionnés avec trois type de fines avec un coefficient d'activité (CA) égale à 0.5-1 et 2 et des teneurs en fines de 0-4 et 8 % [15] - [16].

Les trois types de fines utilisés, caractérisés par leur coefficient d'activité (CA) sont :

- Fines K : CA = 0.5 : fines de calcaire dont 35 % passant à 5 microns ;
- Fines L : CA = 1 : mélange de fines K et de calcaire marneux dont 56 % passant à 5 microns ;
- Fines M : CA = 2 : produit de broyage de roches marno-calcaires dont 35 % passant à 5 microns ;
- La maniabilité a été mesurée au maniabilimètre LCPC. Une amélioration de la maniabilité du béton a été observée pour les fines avec CA = 0.5 – CA = 1 jusqu'à un taux de fine 0 % - 4 % respectivement. Tandis que pour les fines avec CA = 2, il a été observé un diminution systématique de maniabilité avec l'augmentation du pourcentage de fines.

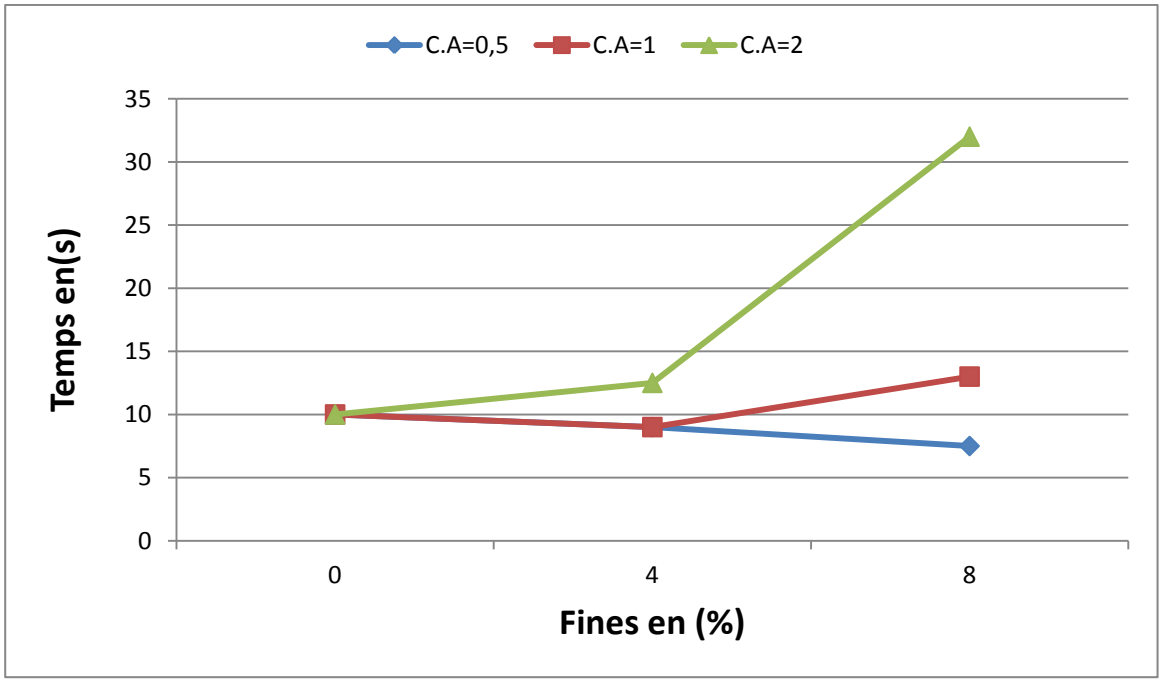


Figure3.4 : influence des fines calcaires sur la maniabilité des bétons

La figure 3.4 montre la variation de la maniabilité pour les différents types de fines.

III.3.7 L'adjuvant :

L'adjuvant utilisé est le SP40 fourni par la société GRANITEX [17]. C'est un super plastifiant haut réducteur d'eau. Il se présente sous forme liquide, de couleur marron et est compatible avec le type de ciment utilisé. (voir annexe).

III.3.8 Pesée de matériau :

Les sables ainsi que les ciments et les fines ont été pesée et mis dans des sacs de 1350g pour les sables et de 450g pour les ciments. Les fines ont été pesées à différents pourcentage du poids du sable : 5 – 10 – 15 et 20%.



Figure 3.5 : Pesées des sables (balance électronique)

III.4 essais effectués sur les matériaux :

Les essais réalisés sur le matériau sont les essais physiques, chimiques et mécaniques. Ces essais ont été réalisés dans laboratoire du hall technologique de l'université « Yahia Fares de Médéa »,au laboratoire CETIM Centre d'Etudes et de services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de construction,Boumerdes.

III.4.1 Essais physiques :

a) équivalent de sable

le procédé de l'essai consiste a mettre en évidence la propreté du sable, l'essai à été effectué a 10% de fine suivant la norme NA456 [18]



Figure 3.6 : prise des mesures pour l'équivalent de sable

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 3.7

Tableau 3.7 essai d'équivalent de sable

Hauteurs	Echant 1	Echant 2
Hauteurs de la colonne H1 (cm)	17.44	19.50
Hauteurs de la colonne H2 (cm)	11.50	12.34
Hauteurs ES piston (cm)	10.43	8.52
Hauteur équivalent de sable ES= (H2 / H1) x 100	64.63	79.07
Hauteur équivalent de sable a piston ES= (H2/H1) x 100 (%)	57.32	47.83
ES moyen(%)	78.52	
ES moyen à piston (%)	62.56	

b) Masse volumique :

Les masses volumiques apparentes et absolues du sablé utilisé de différent pourcentage de fine ont été déterminées d'après le norme NA 451/1989 [19]. Cet essai permet

de déterminer la masse volumique du sable servant dans l'élaboration d'une composition du béton

Tableau 3.8 masse volumique du sable utilisé

Constituant	Sable 0/3				
% des fines	0	5	10	15	20
Masse volumique apparente (t/m3)	1,430	1,434	1,452	1,456	1,459
Masse volumique absolue (t/m3)	2,715	2,820	2,825	2,830	2,815

On conclut que la masse volumique (apparente et absolue) du sable est proportionnellement à l'augmentation du pourcentage des fines.

c) Analyse granulométrique (EN 933-1 et EN 933-2) :

L'analyse granulométrique consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en analysant une série de tamis, emboiter les un sur les autres dans les dimensions des ouvertures son décroissantes du haut vers le bas.

Le matériau étudie est placé à la partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis (fig. 3.7).

	4 mm
	2 mm
	1 mm
	0,500 mm
	0,250 mm
	0,125 mm
	0,063 mm
	Fond étanche



Figure 3.7 : colonne de tamis

L'essai a été réalisé selon la norme actuelle EN (mai 1996) [13].

- La présente norme a pour objet de définir les granulats et leur classification d'après la dimension de leurs grains et de fixer la méthode a suivre pour l'analyse et le tracé de la courbe granulométrique.
- La présente norme s'applique aux granulats utilisés dans le bâtiment et les travaux publics, destinés notamment aux usages routiers ou à la confection des bétons de construction et dont le granularité est déterminée par tamisage.

On trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des tamisât sous les tamis dont les mailles D sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique.

La forme de la courbe granulométrique représente la distribution de la dimension de la particule. Cette distribution peut être qualifiée d'uniforme si les dimensions des particules sont voisines. La courbe granulométrique est caractérisée par deux coefficients [5] :

- Le coefficient d'uniformité Cu : Cu= $\frac{d60}{d10}$
- Le coefficient de courbure Cc : Cc= $\frac{(d30)^2}{d10.d60}$

Avec :

d10 : diamètre moyen des grains correspondant à 10% passant par poids.

d30 : diamètre moyen des grains correspondant à 30% passant par poids.

d60 : diamètre moyen des grains correspondant à 60% passant par poids.

La distribution des dimensions des particules est dite :

- Bien graduée si :Cu>10
- Etalée si : Cu > 2
- Uniforme ou serrée si : Cu>2

D'une courbe granulométrique on peut tirer les renseignements suivants :

- Les limites de d à D du granulat considéré ;
- La proposition d'éléments fins ;
- La continuité ou la discontinuité de la granularité.

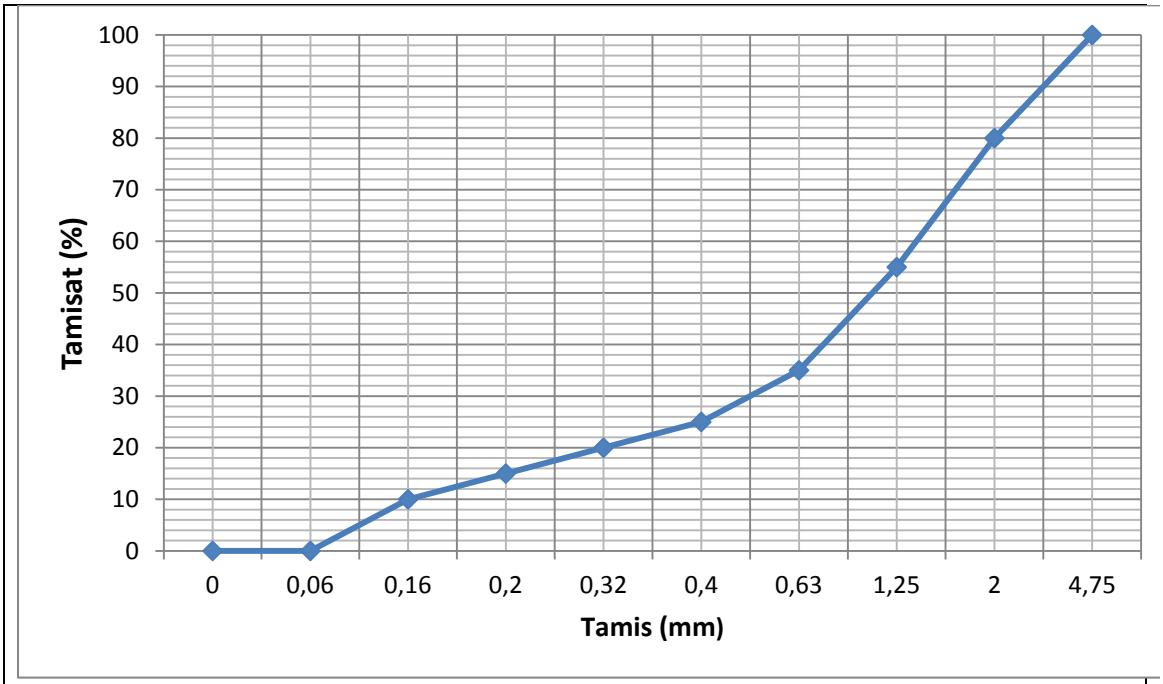


Figure 3.8 : Courbe granulométrique du sable de concassage

d) module de finesse

Le module de finesse M*f* d'un granulat est égal au 1/100 de la somme des refus, exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série suivante : 0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5-10-20-40 et 80mm.

Le module de finesse étant presque exclusivement vérifié sur les sables, les tamis concernés sont : 0.16-0.315-0.63-1.25-2.5- et 5 mm. [5]

Tableau 3.9 Module de finesse

Tamis	refus
0.16	89.78
0.316	52.43
0.63	69.00
1.25	34.11
2.5	8
5	0.00
M*f*	2.52

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 3.10 valeurs du module M*f* des différents sables

Pourcentage de fines (%)	5	10	15	20
Module de finesse (MF)	3.0	2.92	2.52	2.43
Observation	3.0<M*f*<3.2			2.43<M*f*<2.8

On remarque que les sables dont le pourcentage des fines est modéré correspondent à des sables un peu trop grossier à utiliser pour la recherche de résistances élevées, mais on aura en général, une ouvrabilité juste satisfaisante et des risque de ségrégations limités avec une faible compacité[5].

Le sable dont le pourcentage des fines est important convient pour une ouvrabilité satisfaisante et avec des risques de ségrégation.

III.4.2 essai chimique sur sables

Le tableau 3.11 résume les résultats des analyses chimiques du sable concassé et le sable témoin (d'oued) réalisés au laboratoire CETIM de Boumerdes. Ces résultats montrent que les sables d'oued : contiennent des quantités importantes de silice qui est de l'ordre de 83.65%, ces sables sont siliceux. En ce qui concerne le sable de concassage le pourcentage de silice est de2.50%, alors que celui du calcaire est de 70,69% ce qui confirme que les sables sont de nature calcaire [20]. Les sulfates pour tous les sables sont à l'état de traces.

Tableau 3.11 analyse chimique des sables utilisés

Constituants	Sable concassé	Sable d'oued
Si O2	2.50	83.65
AI2 O3	2.63	4.50
Fe2 O3	0.58	0.53
Ca O	70.69	5.17
K2 O	/	2.28
SO3	Traces	Traces
P.F	24.77	4.85

III.5 ESSAIS SUR LE MORTIER :

III.5.1 Essais sur e mortier frais :

III.5.1.1 Fabrication du matériau :

Suivant l'incorporation de différent pourcentage en fines dans le sable, cinq compositions données par le tableau (3.12) ci-dessous ont été préparées pour des tests mécaniques. Une moyennes de trois échantillons est calculée pour chaque

essai, les éprouvettes sont de dimensions (4x4x16) cm^3. Les mortiers ont été confectionnés avec un ciment C.P.A-CEM- 42,5 provenant de la cimenterie ACC de M'Sila.

Tableau 3.12 Composition des mortiers à base de concassage

Constituants (g)	Témoin (g)	Teneurs en fines (%)			
		5	10	15	20
fines	/	67,5	135	202,5	207
Sable de Concassage	1350	1282,5	1215	1147,5	1080
Ciment	450	450	450	450	450
Eau	225	225	225	225	225

Le mortier normal se compose en masse d'une partie de liant, de trois parties de sable normal et d'une demi partie d'eau (E/C = 0,5). La mise en œuvre des constituants nécessaire aux essais est déterminée en fonction des éprouvettes à préparer, avec une précision de 0,5 %.

Dans le cas de la préparation de trois éprouvettes (4x4x16) cm^3, les quantités sont respectivement les suivantes [21] :

Sable normal sec 1350 ± 5g

Liant 450 ± 2 g

Eau 225 ± 1g

Le mélange doit être effectué par malaxage, au moyen de malaxeur spécifié par la norme NF P 15-411 [22], selon la procédure suivante :

- Verser l'eau dans le récipient, lui ajouter le liant
- Mettre le malaxeur à la vitesse lente pendant une minute.
- Dans les 30 dernières secondes, introduire le sable
- Mettre le malaxeur à la vitesse rapide pendant 2 minutes.
- Arrêter le mouvement, le batteur démonté de son axe, racler les parois et le fond du récipient de façon qu'aucune partie du mortier n'échappe au malaxage.
- Après le remontage du batteur, reprendre la malaxage pendant 2 minutes à vitesse rapide.



Figure 3.9 : Malaxage du mortier (Malaxeur Hobart 5L



Figure 3.10 : Raclage du mortier

III.5.1.2 Confection et conservation des éprouvettes :

Les moules utilisés pour l'élaboration du matériau sont de forme prismatique de dimension (4x4x16) cm^3. Avant la pose du mortier les moules sont huilés et moulés immédiatement après préparation.

Le compactage du matériau dans le moule est obtenu en remplissant le moule en deux étapes et en appliquant au moule 60 chocs à chaque fois.

Ensuite les moules sont arasés, et entreposés pendant 24 h dans le laboratoire à une température de 20°C ± 1°C. Les éprouvettes couvertes par un film plastique sont conservées à l'air libre du laboratoire. Après 24h le démoulage s'effectue et les échantillons sont immergées dans l'eau à une température de 20 °C ± 1°C jusqu'à l'âge de l'essai.

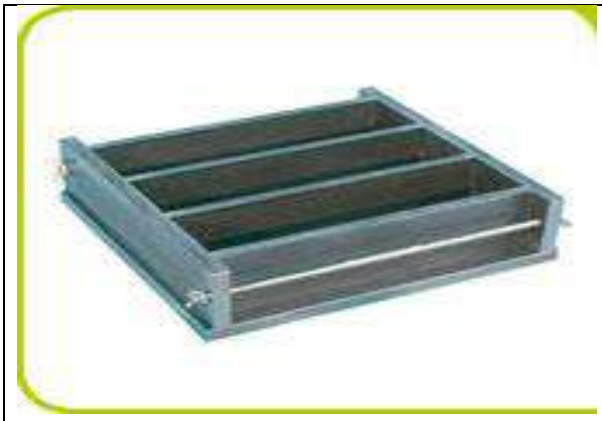


Figure 3.11 : Moule prismatique (4x4x16) cm^3 du mortier



Figure 3.12 : Remplissage des moules

III.5.1.3 Mesure de la consistance des mortiers [13] :

Avant d'être utilisé pour les différents essais de maniabilité, de prise, de résistance ou de retrait, ce mortier est malaxé pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme (EN 196-1) :

- Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur ; y verser ensuite le ciment ; aussitôt après, mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.
- Après 30 s de malaxage introduire régulièrement le sable pendant les 30 s suivantes. Mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30 s supplémentaires.
- Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. pendant les 15 premières secondes enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- Répondre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.

Ces opérations de malaxage sont récapitulées dans le tableau ci-dessous

Tableau 3.13 Opération de malaxage [13].

Introduction	Introduction du l'eau	Introduction du ciment		Introduction du sable		Raclage de lacuve		
Durée			30 s	30 s	30 s	15 s	1 min 15s	60 s
Etat de malaxeur	arrêt		Vitesse lente		Vitesse rapide	arrêt		Vitesse rapide

III.5.1.3.1 Essai au maniabilimètre LCPC (NF 18-452 et NF P 15-437) :

Objectif de l'essai

C'est une mesure qui est utile pour apprécier l'efficacité d'un adjuvant plastifiant, ou super plastifiant, sur la fluidité d'un mortier ou sur la réduction d'eau qu'il permet de réaliser à consistance égale. Il convient donc de définir un mode opératoire susceptible d'apprécier cette consistance ; c'est l'objet des essais définis par les normes NF 18-452 et NF 15-437 [13].

Principe de l'essai

Dans ces essais la consistance est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration donnée.

Equipement nécessaire

L'appareil utilisé est appelé « maniabilimètre LCPC » et est schématisé sur la figure 3.19. il consiste en un boitier parallélépipédique métallique (18cm x 10,2cm x 9cm), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible.

Un malaxeur normalisé est également requis pour la réalisation du mortier.

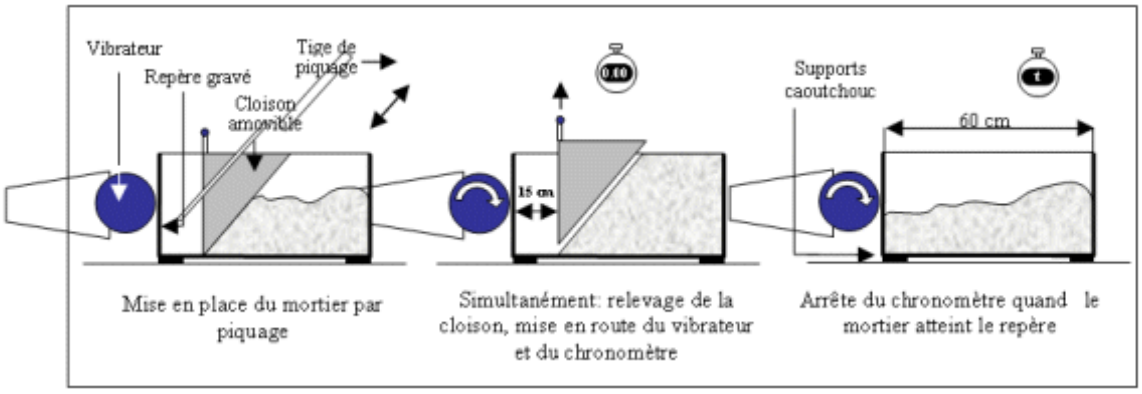


Figure 3.19 : principe de fonctionnement du maniabilimètre LCPC a mortier [13]

Conduite de l'essai

Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison et mis en places en 4 couches. Chaque étant soumise à 6 coups au moyen de tige de piquage. 4 minutes après la fin de malaxage la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibreur et le déclanchement d'un chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de vibration le mortier s'écoule. Le chronomètre est arrêté quand le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boitier. Le temps t mis par le mortier pour s'écouler caractérise sa consistance. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide (ou plus maniable, d'où le nom de l'appareil).



Figure 3.20 : Essais sur la consistance du mortier (maniabilimètre LCPC)

III.5.1.3.2 Consistance du mortier :

L'adjuvant utilisé est un super plastifiant haut réducteur d'eau de type SP40 en provenance de la société GRANITES (Ouessmar-Alger)[17].

Tous les mortiers mis en œuvre ont été confectionnés avec un rapport E/C constant en faisant varier la teneur en fines. Pour chaque mélange granulaire, il a été mesuré le temps d'écoulement pour un dosage constant en adjuvant.

Les résultats enregistrés du tableau 3.14 montrent que les mortiers referment jusqu'à 5% de fines offrent des consistances assez proches, voire meilleures, que celles du mortier témoin. Entre 5% et 20% de fines, la consistance devient mauvaise.

Ceci nous a conduit à chercher pour chaque teneur en fines un dosage adéquat en adjuvant, afin d'obtenir une consistance égale pour l'ensemble des teneurs en fines et comparable a celle du témoin comme indiquée sur le tableau 3.15.

On conclut que variations du temps sont fonction de la teneur en fines du sable de concassage.

Remarque : les mortiers à base de sable de concassage à différents pourcentage en fines pris isolément (sans adjuvant) sont non mesurables. Ceci estdû à l'importance de la surface spécifique des fines qui demandent une eau supplémentaire pour l'obtention d'une bonne maniabilité.

Tableau 3.14 Compositions des mortiers adjuvantés à base de sable de concassage à différents pourcentages de fines.

Constituants (g)	Témoin (g)	Teneurs en fines				
		0	5	10	15	20
Fines	/	/	67,5	135	202,5	270
Sable de concassage	1350	1350	1282,5	1215	1147,5	1080
Ciment	450	450	450	450	450	450
Eau	225	225	225	225	225	225
Super plastifiant %	/	1	1	1	1	1
Consistance (s) (Maniabilimètre) LCPC	12	7	9	59	243	352

Tableau 3.15 : Influence du dosage d'adjuvant sur le temps d'écoulement des mortiers à base de sable de concassage à différents pourcentage de fines.

Constituants (g)	Témoin (g)	Teneurs en fines				
		0	5	10	15	20
Fines	/	/	67,5	135	202,5	270
Sable de concassage	1350	1350	1282,5	1215	1147,5	1080
Ciment	450	450	450	450	450	450
Eau	225	225	225	225	225	225
Super plastifiant	/	0.8	0.9	1.2	1.9	2
Consistance (s) (Maniabilimètre) LCPC	12	12	12	12	12	12

III.5.2 Conclusions sur le mortier frais :

D'après les résultats qu'on a eu, on conclut que :

- A cause de l'existence d'une quantité non négligeable de mortier inerte les agrégats (10 à 25 %), la masse volumique du sable concassé est environ 10% plus faible et l'absorption d'eau est beaucoup plus grande que ceux du sable normalisé..--La confection, la mise en œuvre et l'aspect du mortier (surtout ceux d'agrégats de béton concassé) sont très comparables à ceux du mortier ordinaire à base de sable naturels.

-Le phénomène de ségrégation est beaucoup plus important pour les mortiers à base de sable groscar augmente avec le pourcentage de substitution en sables normalϖ-Les densités des mortiers frais sont plus faibles que celles mortier ordinaire.

- A 28 jours, la chute de résistance est de l'ordre de 8 à 27 % pour les mortiers à base de sable de concassage.

-La méthode d'estimation de la résistance à la compression du mortier ordinaire par les essais indirects semble d'être fiable pour le sable concassé.

-Comme pour la compression, la résistance à la flexion des mortiers à base de sable de concassage, chute au cours du temps et en fonction du pourcentage de substitution en sable.

-Une amélioration favorable tant sur la maniabilité que sur la résistance a été observé sur les mélanges de mortiers conçu avec les agrégats de concassage avec un dosage de 1% du (superplastifiant MEDAFLAW 30- GRANITEX ET).

III.6 ESSAIS SUR LE MORTIER DURCI ET VARIATIONS DIMENSIONNELLES

III.6.1 Essai de compression simple et traction par flexion:

Mesure des résistances à la compression et à la traction (EN 196-1) :

III.6.1.1 Objectif des deux essais :

Il s'agit de définir les qualités de résistance d'un mortier à base de sable de concassage avec un ciment CPA de classe de résistance de 42,5

III.6.1.2 Principe des deux essais :

L'essai consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier normal dans un tel mortier la seule variable est la nature du sable de concassage ; la résistance du mortier est alors considérée comme significative de la qualité du sable utilisé.

III.6.1.3 Equipement nécessaire :

L'ensemble est décrit de manière détaillée par la norme EN 196-1. Il est énuméré ci-dessous [13] :

- Une salle maintenue à une température de 20°C ± 2 °C et à une humidité relative supérieure ou égale à 50%.
- Une chambre ou une armoire humide maintenue à une température de 20°C ± 1°C et à une humidité relative supérieure à 90%.
- Un malaxeur normalisé (figure 3.9)
- Des moules normalisés (figure 3.12) permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée 4 cm x 4 cm et de longueur 16 cm (ces éprouvettes sont appelées « éprouvettes 4x4x16 ».

- Un appareil à chocs permettant d'appliquer 60 chocs aux moules en les faisant chuter d'une hauteur de 15mm ± .,3 mm à la fréquence d'une chute par seconde pendant 60s.
- Une machine d'essais de résistance à flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10 KN avec une vitesse de mise en charge de 50 N/s ± 10 N/s. la machine doit être pourvue d'un dispositif de flexion tel que schématisé sur la figure 3.17
- Une machine d'essais à la compression permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150 KN (ou lus si les essais l'exigent) avec une vitesse de mise en charge de 2400 N/s ± 200N/s. Cette machine est équipée d'un dispositif de compression tel que schématisé sur la figure 3.18.



Figure 3.13 : Appareil pour la flexion sur éprouvette (4x4x16) cm^3



Figure 3.14 : Essai de flexion



Figure 3.15 : Presse hydraulique pour essais de compression (ADR 200)



Figure 3.16 : Eprouvettes (4x4x16) cm^3 pour les essais mécaniques

III.6.1.4 Conduite de l'essai :

La norme EN 196-1 décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai.

On remplit un moule 4 x 4x 16. Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux couches et en appliquant au moule 60 chocs à chaque fois. Après le moule est arasé, recouvert d'un film de plastique et entreposé dans la salle ou dans l'armoire humide.

Entre 20h et 24h après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans de l'eau à 20°C ± 1°C jusqu'au moment de l'essai de rupture. Au jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression.

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif décrit sur la figure 3.17.

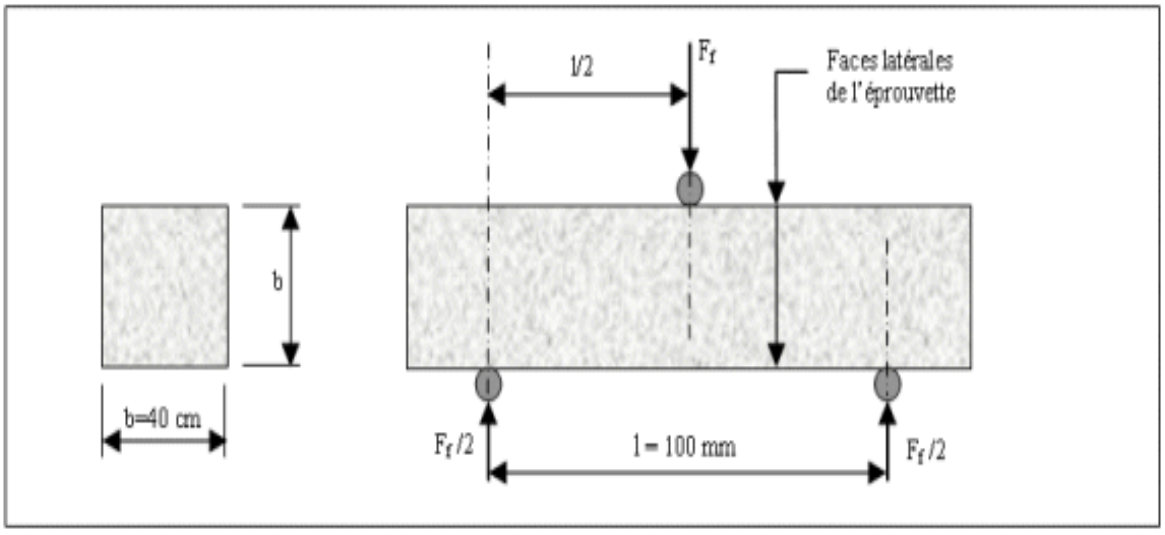


Figure 3.17 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion [13]

Si Ff est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut F$f\ell$/4 et la contrainte de traction correspondant sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$R_f = \frac{1{,}5\ Ff\mathrm{l}}{b^3}$$

Cette contrainte est appelée la résistance à la flexion. Compte tenu des dimensions b et ℓ, si Ff est exprimé en newtons (N), cette résistance exprimée en méga pascals (MPa) vaut :

$$R_f\ (\mathrm{MPa}) = 2{,}34 \times 10^{-3}\ (\mathrm{N})$$



Figure 3.18 : Dispositif de rupture en compression [13]

Ces demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression comme indiquée sur la figure 3.18. Si F_c est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si $F_c$est exprimée en newtons, cette résistance exprimée en méga pascals vaut :

$$R_c(MPa) = \frac{F_c(N)}{1600}$$

Les résultats obtenus pour chacun des 6 demi prismes sont arrondis à 0,1 MPa après et on en fait la moyenne. Si l'un des 6 résultats diffère de ± 10% de cette moyenne, il est écarté et la moyenne est alors calculée à partir des 5 résultats restants. Si à nouveau un des 5 résultats s'écarte de ± 10% de cette nouvelle moyenne, la série de 6 mesures est écartée.

Auquel cas il convient de chercher les raisons de cette dispersion : malaxage, mise en place, conservation

En général, les composites à base de ciment manifestent des variations dimensionnelles en l'absence de chargement, comme c'est le cas pour les mortiers et les bétons, ces variations sont surtout en relation avec sa dessiccation par évaporation de l'eau libre et sa structuration progressive par hydratation. Les dimensions des pièces augmentent ou diminuent ; on distingue alors respectivement le gonflement ou le retrait [23].

III.6.2 : Le retrait :

Le retrait peut être défini comme la déformation d'un élément libre de toute sollicitation mécanique extérieure dans une ambiance thermodynamique constante, ainsi on distingue le retrait dans une ambiance sèche et le gonflement dans une ambiance saturée. Il existe plusieurs types de retrait :

- Le retrait plastique qui se produit avant laprise du ciment, à un moment où la pâte est encore déformable. Il se produit lorsque le flux d'eau évaporée au niveau de la surface est supérieur au flux d'eau ressuée [23].
- Le retrait thermique qui résulte de l'augmentation de la température due aux réactions chimiques d'hydratation pendant que le béton est encore déformable. Lorsque le refroidissement début, le béton se contracte, alors que laprise a déjà eu lieu [23].

- Le retrait de dessiccation ou de séchage, se produit par la diffusion de l'eau vers les faces exposées en présence d'un gradient hydrique entre le béton et l'air ambiant, ce retrait se produit très lentement et durant plusieurs années [24].
- Le retrait endogène ou d'auto-dessiccation qui est une conséquence de la consommation interne d'eau lors de l'hydratation du ciment, il ne devient important que lorsque le rapport eau/ciment est petit [24].

Parmi les appareillages utilisés dans le domaine du bâtiment pour la mesure durerait des bétons et mortiers, on trouve le réfractomètre digital avec barre étalon et plots laiton (voir figure 3.21).



Figure 3.21 : Essais du retrait par Rétractométre digital



Figure 3.22 : Essais du retrait par comparateur



Figure 3.23 : Moule du retrait

Mesure du retrait sur éprouvettes de mortier (NF P 15-433) [13]

- Objectif de l'essai :

Il s'agit d'évaluer le retrait, que provoque le ciment étudié sur des éprouvettes de mortiers normal.

- Principe de l'essai :

On compare, à différents temps *t*, la variation de longueur d'une éprouvette 4 x 4 x 16, par rapport à sa longueur à un temps *t*0 pris pour origine.

- Equipement nécessaire

Il est décrit dans la norme NF P 15-433.

- Une salle dont la température est maintenue à 20^0 C ± 2^0C et l'humidité à 50% ± 5%
- Eventuellement deux bains d'eau dont la température est maintenueà 20^0 C ± 1^0C et 5^0 C ± 1^0C.
- Un malaxeur normalisé (cf. figure.3.9).

- Des moules équipés de plots de retrait en laiton. Les plots sont vissés au moule au moment de la mise en place du mortier puis désolidarisés dumoule au moment de la mise en place du mortier puis désolidarisés du moule avant le démoulage. Après durcissement, les éprouvettes 4 x 4 x16 sont donc munies à leurs deux extrémités de plots comme indiqués sur les figures 3.23, 3.24.
- Un déformètre (tel que celui schématisé sur la figure 3.24) équipé d'un comparateur permettant de réaliser des mesures avec une exactitude inférieure ou égale à 0.005 mm. Une tige de 160 mm de longueur doit permettre de régler le zéro du déformètre. Cette tige est en Invar de façon à ce que les variations de température qu'elle peut connaître au cours de la manipulation n'entraînent pas de modification appréciable de sa longueur.

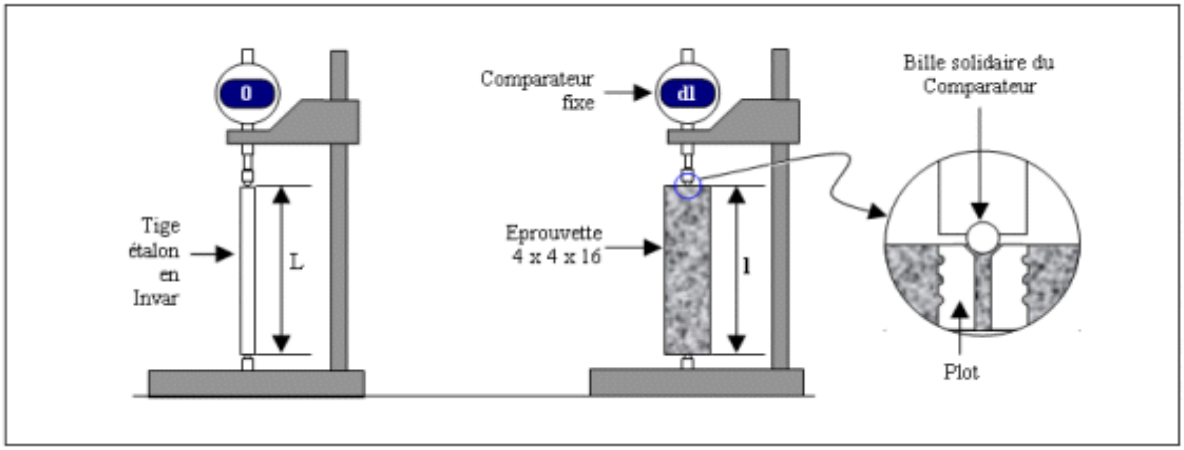


Figure 3.24 : appareillage pour la mesure du retrait [13].

● Equipement nécessaire

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en invar de longueur *L= 160mm* soit *dℓ (t)* la valeur lue sur le comparateur au temps *t* ; l'éprouvette a une longueur au temps considéré :

$$\ell = L + d\ell\,(t)$$

soit *ℓ(t0)* la longueur de l'éprouvette au temps *t0* choisi pour origine. En général cette origine est prise au moment du démoulage, soit 24h après la confection des éprouvettes.

La variation de longueur au temps *t* sera :

$$\Delta\ell(t) = \ell\,(t) - \ell\,(t0) = d\ell\,(t) - d\ell\,(t_0)$$

La variation relative de longueur est généralement désignée par ε et a pour expression :

$$E(t) = \frac{\Delta\, l(t)}{L} = \frac{dl\,(t) - dl\,(t0)}{L}$$

Δℓ(t) Est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule.

Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air *Δℓ(t)* est généralement négatif et l'on parle alors de retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau, *Δℓ(t)* peut etre positif : il y a alors gonflement.

Pour notre cas, on a mesuré le retrait à 20% de fines des éprouvettes de (4x4x16) conservées à l'air à l'aide d'un comparateur, et cela pour différents âges : 1, 4, 5, 6, 7, 28 jours. Les différentes variations dimensionnelles concernant le retrait de notre matériau en fonction des différents âges sont résumées sur le tableau suivant :

Tableau 3.16 : Variation dimensionnelle (retrait) du matériau mis en œuvre.

		Retrait (µm/m)					
Ages (jours)		1er	4ème	5ème	6ème	7ème	28ème
N° d'éprouvettes	1	73	159	176	217	263	523
	2	71	156	175	211	261	517
	3	75	162	187	225	268	520
	4	78	152	182	208	260	529
	5	69	158	181	212	252	517
	6	70	159	182	211	256	534

III.6.3 Conclusion sur les mortiers durcis :

Le mode opératoire choisi pour la réalisation des essais de compression est celui de montrer dans la figure 3.24. Nous avons décidé la continuation de l'utilisation des capteurs de proximité pour la mesure des déformations homogènes au sein du matériau. Des efforts ont été faites dans le sens de diminuer les défauts géométriques des éprouvettes causés par exemple par le moulage. Donc, la géométrie prismatique a remplacé la cylindrique. Pour diminuer le phénomène de flexion des éprouvettes lors des essais, nous avons créé une rotule avec les mêmes dimensions que la section transversale de l'éprouvette, parce cela améliore considérablement le centrage du chargement, en éliminant ainsi l'effet de flexion parasite et les déformations de traction.
Par rapport à la bille qui servait de rotule, nous avons aussi décidé de la graisser pour améliorer son fonctionnement.
Pour les éprouvettes stabilisées au sable, nous avons observé que l'essai pouvait se faire d'une façon homogène, parce que ces éprouvettes présentent une stabilité dimensionnelle assez importante et donc le retrait n'est pas suffisant pour causer des défauts de planéité aux éprouvettes. Ces défauts de planéité causent le mouvement des éprouvettes lorsque on réalise un essai homogène, à cause de la présence de la graisse de silicone.

Nous n'avons pas eu des problèmes majeurs par rapport aux modes opératoires liées à la détermination de la résistance àla traction du mortier à base de sable de concassage durci à différents dosage en fines, lorsque les éprouvettes étaient vierges, que ce soit lors de la traction par flexion ou par compression simple, les essais ont été bien réalisés. Par contre, nous avons remarqué que les mortiers des éprouvettes cassées lors des essais de flexion ne doivent pas être retestées ni en compression ni en traction par simple. La diminution de la résistance a été très nette quand nous avons suivi ce mode opératoire là.

CHAPITRE IV

ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

IV.1 : INTRODUCTION :

Dans ce chapitre nous cherchons à étudier l'influence du sable du concassage sur la résistancedu mortier et sa mise en œuvre.

Il s'agit de définir les qualités de résistances d'un mortier à base de sable de concassage avec un ciment C.P.A de classe de résistance de 42,5.

- La première étape de l'étude expérimentale porte sur les essais physiques du sable, à savoir : l'essai de propreté (E.S), l'analyse granulométrique et la détermination des masses volumiques apparentes et absolues.
- La deuxième étape est consacrée aux mesures des caractéristiques mécaniques du mortier en fonction du pourcentage des fines et l'influence de ces fines sur l'ouvrabilité.
- La dernière étape de l'étude a porté sur la variation dimensionnelle (retrait) du matériau composite à base de ciment, cette variation est surtout en relation avec sa dessiccation par évaporation de l'eau libre.

La composition des mortiers a été faite avec des proportions définies par la norme CEN EN 196-1. La quantité d'eau du gâchage est constante (E/C = 0,5), l'incorporation d'un adjuvant super plastifiant était nécessaire pour avoir une pate maniable similaire à celle du mortier témoin et une mise en œuvre correcte de cette dernière.

IV.2 : ETUDE PRELIMINAIRE SUR LES SABLE EN FONCTION DU POURCENTAGE DE FINES/

Avant procéder aux essais mécaniques sur les éprouvettes de mortier, nous avons effectué le mélange en appliquant la composition du mortier normalisé. Lors du malaxage et après avoir mis les mortiers dans les moules, nous avons constaté que le mortier était trop sec en fonction de l'augmentation de pourcentage de fines dans le sable et ne présentait pas une pate maniable. A cet effet nous avons procédé à l'essai de maniabilité et choisi une consistance égale à tous les mortiers permettant de nous donner une pate maniable et ouvrable (voir tableau 3.15).

IV.3 : ESSAIS PHYSIQUES :

IV.3.1 : courbes granulométriques :

Dans cette étude est utilisé un sable de concassage de classe granulaire 0/3, issu de roche naturelle calcaire d'origine locale, provenant de la station de concassage de concassage d'EL HAMDANIA, de la carrière KEF EL KERIA.

L'analyse granulométriques du sable à différents teneurs en fines est représentée dans les tableaux 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, et la figure 4.1 respectivement.

- **Sable de concassage à 0% de fines**

Tableau 4.1 : analyse granulométrique du sable avec 0% de fines

Diamètre (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
4.75	5	5	0.5	99.5
2.00	208	213	21.3	78.7
1.25	255	468	46.8	53.2
0.630	275	743	74.3	25.7
0.400	112	855	85.5	14.5
0.315	44	899	89.9	10.1
0.200	51	950	95.0	5.0
0.160	27	977	97.7	2.3
0.063	12	989	98.9	1.1
reste	7	996	99.6	0.4

$\begin{cases} Cu = 4.76 \\ Cc = 1.08 \end{cases}$ → Sable étalé

- **Sable de concassage à 10% de fines**

Tableau 4.2 : analyse granulométrique du sable avec 10% de fines

Diamètre (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
4.75	7	7	0.7	99.3
2.00	207	214	21.4	78.6
1.25	213	427	42.7	57.3
0.630	256	683	68.3	31.7
0.400	106	789	78.9	21.1
0.315	43	832	83.2	16.8
0.200	77	909	90.9	9.1
0.160	34	943	94.3	5.7
0.063	41	984	98.4	1.6
reste	11	995	99.5	0.5

$\begin{cases} Cu = 6.43 \\ Cc = 1.13 \end{cases}$ → Sable étalé

- **Sable de concassage à 15% de fines**

Tableau 4.3 : analyse granulométrique du sable avec 15% de fines

Diamètre (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
4.75	4	4	0.4	99.6
2.00	193	197	19.7	80.3
1.25	221	418	41.8	58.2
0.630	243	661	66.1	33.9
0.400	123	784	78.4	21.6
0.315	50	834	83.4	16.6
0.200	74	908	90.8	9.2
0.160	44	952	95.2	4.8
0.063	17	969	96.9	3.1
reste	27	996	99.6	0.4

$\begin{cases} Cu = 6.25 \\ Cc = 0.96 \end{cases}$ → Sable étalé

- **Sable de concassage à 20% de fines**

Tableau 4.4 : analyse granulométrique du sable avec 20% de fines

Diamètre (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
4.75	4	4	0.4	99.6
2.00	156	160	16.0	84
1.25	185	345	34.5	65.5
0.630	234	579	57.9	42.1
0.400	119	698	69.8	30.2
0.315	52	750	75.0	25
0.200	67	817	81.7	18.3
0.160	42	859	85.9	14.1
0.063	71	930	93.0	7
reste	64	994	99.4	0.6

$\begin{cases} Cu = 11 \\ Cc = 1.53 \end{cases}$ → Sable étalé

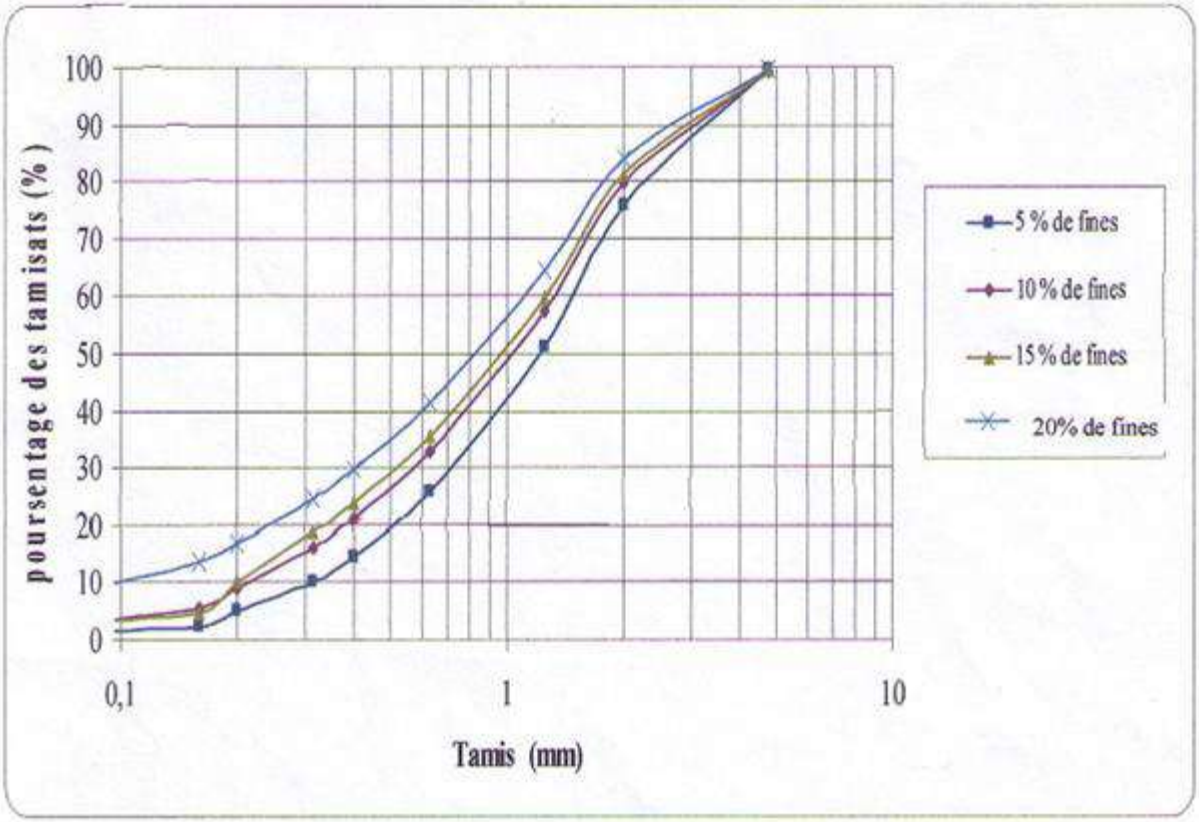


Figure 4.1 : courbes granulométriques des sables utilisés (5, 10, 15, 20% de fines).

On remarque que les courbes granulométriques des différents mélanges prennent une allure étalée au fur et à mesure que la proportion en teneur de fines augmente. Nous remarquons que la majorité des courbes granulométriques des sables de concassage à teneurs en fines de 0 à 20% s'inscrivent dans le fuseau proposé pour la granularité des sables de béton [5].

IV.3.2 : propreté de sable :

Elle est déterminée par la mesure de l'équivalent de sable à 10% de fines conformément à la Norme NA 46. La valeur spécifiée pour l'équivalent de sable à 10% se fines est E.S.P ≥60.

Les essais physiques ont donné un équivalent de sable (E.S.P) égale à 52.57 ce qui est du probablement à la présence d'impuretés argileuses dans les fines. Les valeurs de l'équivalent de sable diminuent avec l'augmentation du taux de fines.

IV.3.3 : masse volumique :

La masse volumique « ρ » est définie comme le rapport de la masse sèche « M » d'un corps par unité de volume « V », elle est donnée par la formule suivante :

$$\rho = \frac{M}{V}$$

ρ s'exprime en : t/m^3 ; Kg/dm^3 ; g/cm^3.

On distingue deux volumes : le volume apparent et le volume absolu. On est donc conduit à définir des masses volumiques :

1. La masse volumique apparente :
   Qui est la masse de l'unité de volume apparent (y compris les vides) d'un corps.

2. La masse volumique absolue :
   Qui est la masse de l'unité de volume absolu (volume de matière leine sans aucun vide entre les grains) d'un corps.

   La connaissance de la masse et de volume permet de calculer :

   - Le dosage volumique de composants (sable, gravier, ciment) du mortier, pate et bétons.
   - Le volume des matériaux pulvérulents à transporter et des dimensions des silos et entrepôts destinés au stockage de ces derniers.

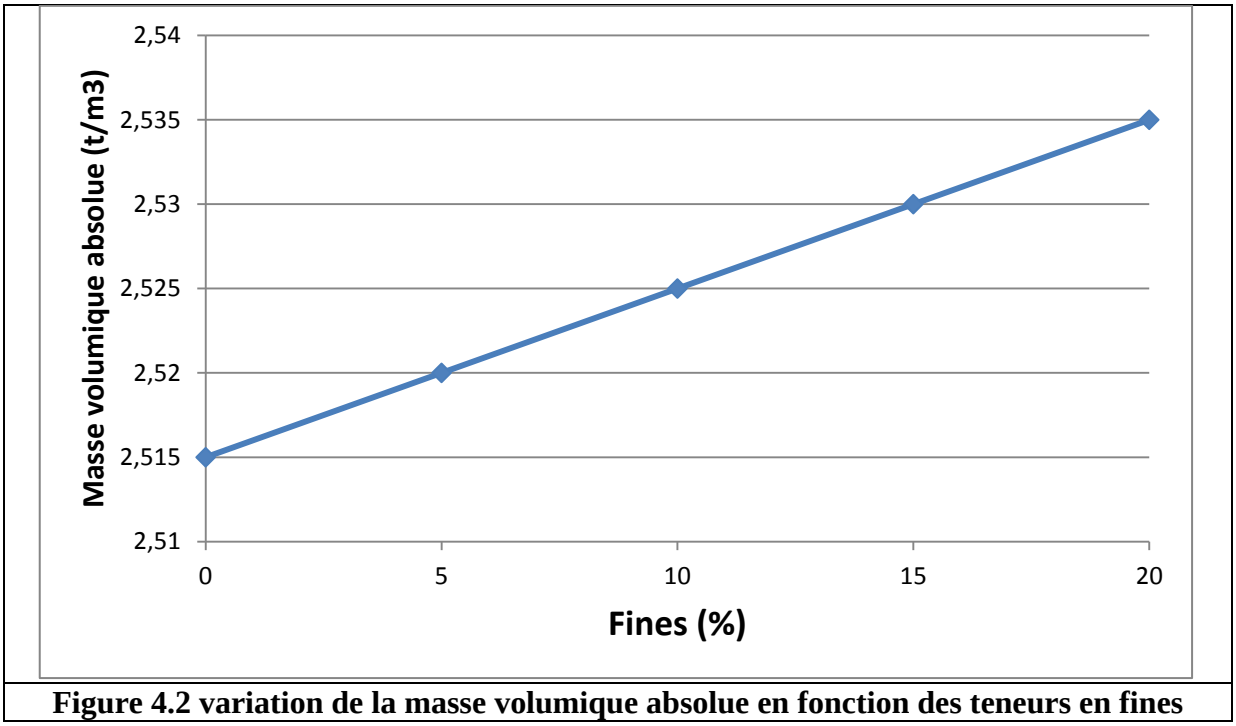


Figure 4.2 variation de la masse volumique absolue en fonction des teneurs en fines

En remarque que les fines ont rempli les vides inters granulaires qui existent dans le sable de concassage laissés par les granulats.

La masse volumique absolue augmente avec l'ajout des fines tout en restant dans la gamme des sables courants (environ 2, 5 à 2,65 t/m^3).

IV.4 : CONSISTANCE DU MORTIER :

Tous les mortiers mis en œuvre ont été confectionnés avec un rapport E/C constant en faisant varier la teneur en adjuvant, pour chaque mélange granulaire, il a été mesuré le temps d'écoulement en fonction de la teneur en fines.

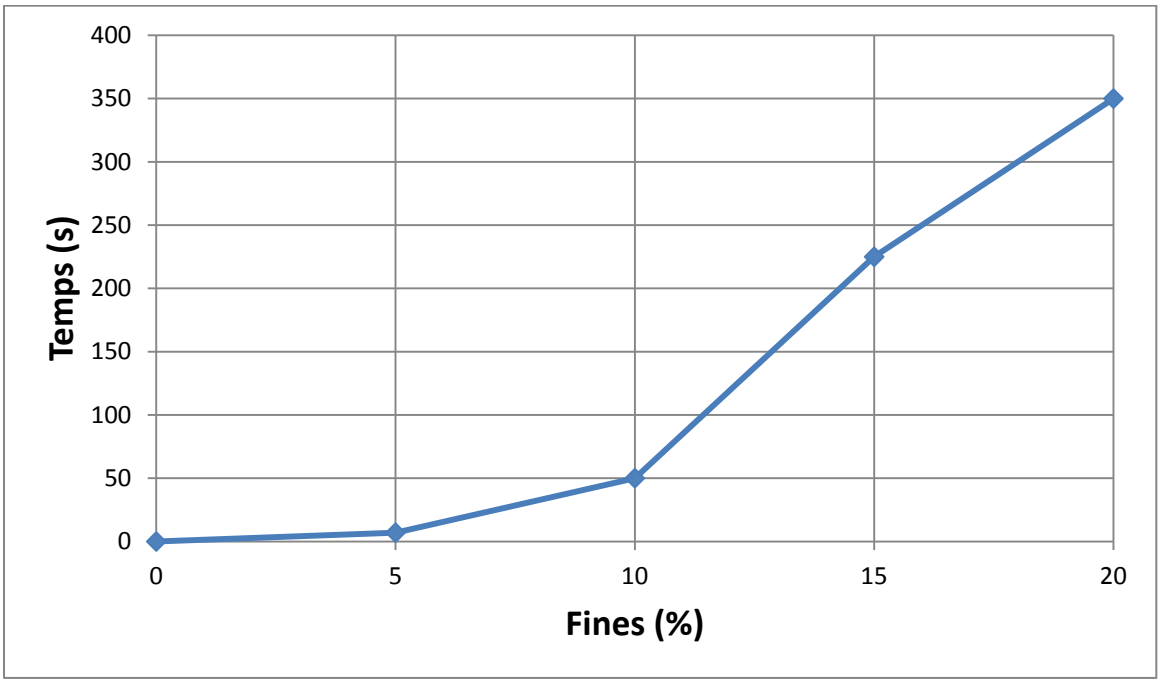


Figure 4.3 Consistance en fonction du pourcentage de fines.

La figure 4.3 nous montre l'augmentation sensible de la quantité d'eau de mouillage exigée par la présence des fines du fait que ces dernières présent une surface spécifique.

Au-delà de 5% de fines, en fonction du temps, les valeurs de la maniabilité augment et deviennent mauvaises.

Le résultat du taux d'absorption nous confirme également que les mortiers à base de sables calcaires nécessiteront un taux de gâchage plus élevé que le mortier normalisé pour la mise en place.

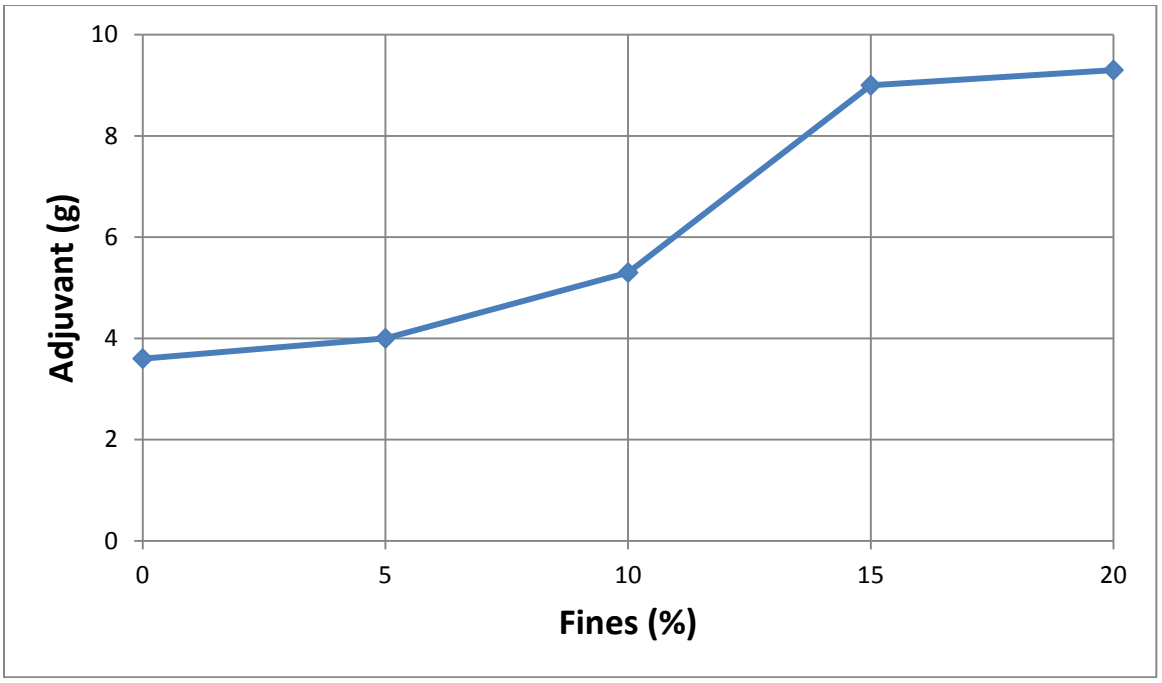


Figure 4.4 : Influence du dosage d'adjuvant sur le mortier à base de sable de concassage

Les résultats de la figure 4.4 obtenus montrent que la maniabilité s'améliore avec l'ajout du super plastifiant.

Elle nous indique également que le dosage du super plastifiant haut réducteur d'eau est proportionnel à l'augmentation du pourcentage de fines.

A titre indicatif et pour des données quantitatives on constate que les taus en adjuvants 3.4, 4.04, 5.40, 8.55 et 9 g correspondent respectivement pour les taux de fines 0, 5, 10, 15, 20%. Ceci permet d'obtenir une consistance égale, une réduction du dosage en eau et une amélioration de la consistance dans le sens d'une meilleure maniabilité.

IV.5 : ESSAIS MECANIQUES :

Les résistances enregistrées sur les mortiers à base de sable de concassage et à différents teneurs en fines sont résumés dans le tableau 4.5 et les figures 4.5, 4.6, 4.7 et 4.8.

Tableau 4.5 : Résistances mécaniques moyennes des mortiers à base de sable de concassage à différents pourcentage de fines.

Teneurs en fines	Essai	2 jours	7 jours	28 jours
0	Flexion (MPa)	5,6	6,84	8,15
	Compression (MPa)	25,16	34,11	41,07
5	Flexion (MPa)	4,51	4,39	8,51
	Compression (MPa)	23,56	34,92	43,34
10	Flexion (MPa)	3,52	6,15	6,93
	Compression (MPa)	21,50	33,15	38,09
15	Flexion (MPa)	3,41	5,56	6,75
	Compression (MPa)	23,56	31,80	37,70
20	Flexion (MPa)	4,15	5,12	6,66
	Compression (MPa)	18,51	29,34	34,1

IV.5.1 : Résistance à la compression :

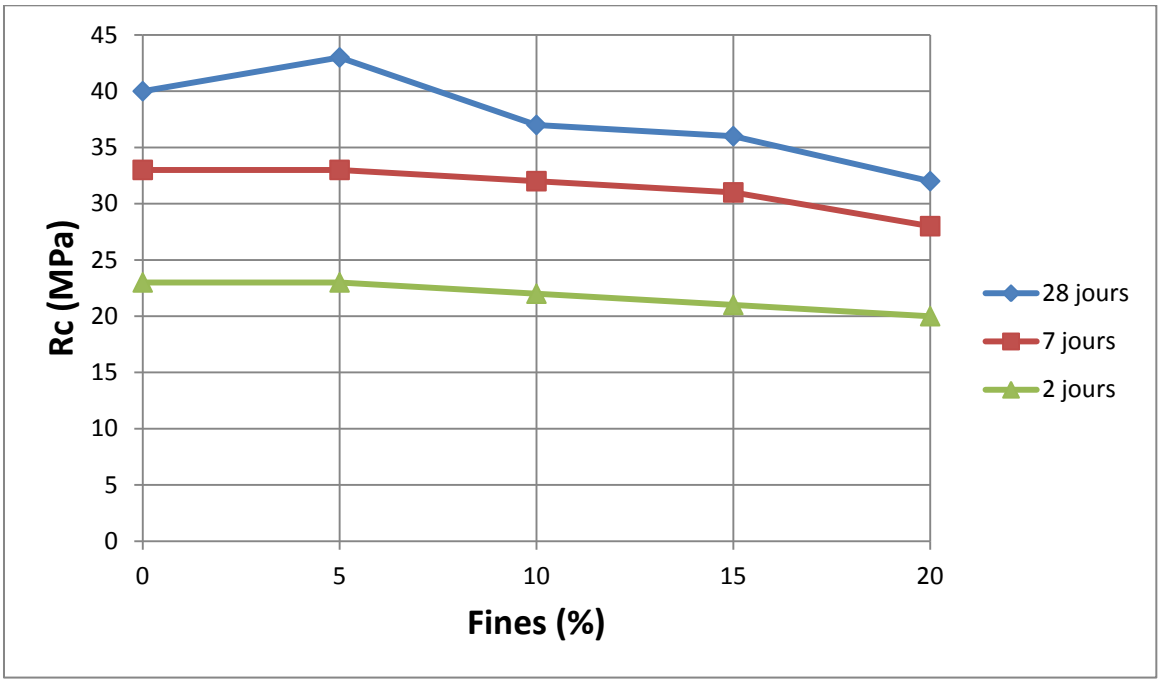


Figure 4.5 : Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage des fines

L'examen des résultats montre que les résistances en compression des mortiers formulés à la base de sable calcaire dont le pourcentage de fines est à 5%, a marqué la résistance optimum, par contre la résistance à la compression a été assez proche pour les sables dont les % de fines sont entre 10 et 20% fines, mais à partir de 20%, une baisse remarquable est constatée.

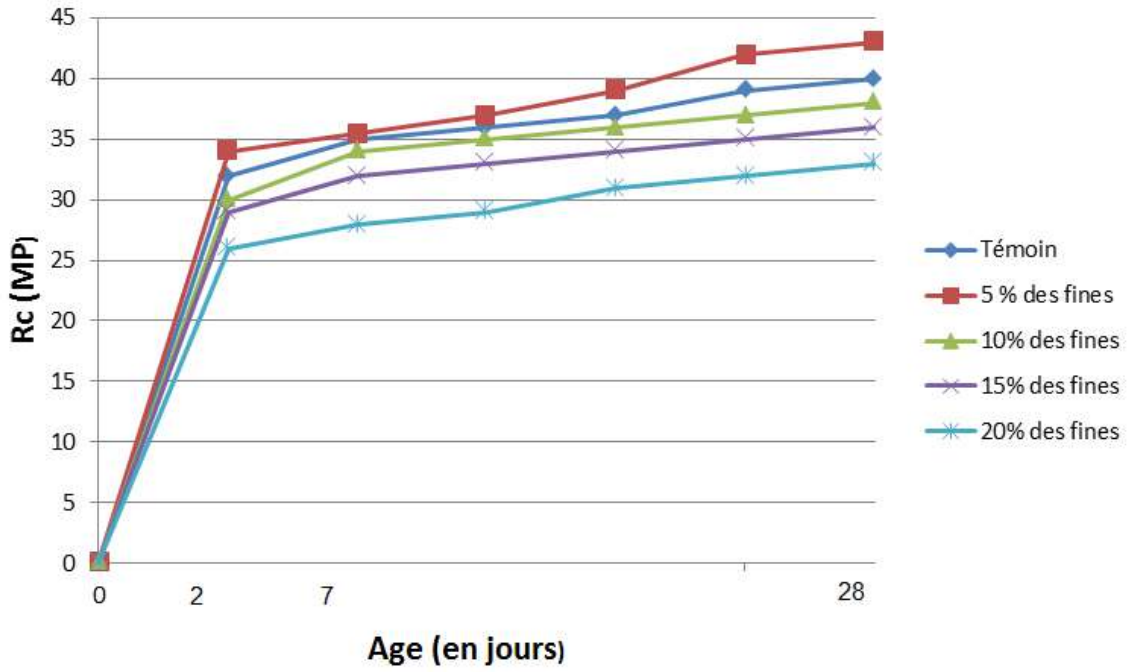


Figure 4.6 : Résistance à la compression des mortiers à 2 ; 7 et 28 jours

La résistance à la compression augmente avec l'âge des éprouvettes comme prévue et de manière analogue à celle d'un mortier classique sans fillers.

Cette augmentation est due au développement de l'hydratation contenue du ciment dans le temps ce qui provoque le durcissement par la suite.

Avec un rapport E/C constant, les résistances mécaniques à la compression des mortiers à différents pourcentage de fines ne sont pas identiques. Les raisons les plus probables sont la granulométrie des sables qui n'est pas la même et les impuretés qui se trouvent dans les fines.

Le mortier fabriqué avec un sable refermant un pourcentage en fines de 5 % a donné la résistance à la compression la plus élevée à 2, 7 et 28 jours suivi du mortier témoin avec un pourcentage en fine de 0 %. Les mortiers renfermant 10, 15 et 20 % de fines ont donné les résistances, à 28 jours, inférieures à la résistance du mortier témoin.

On remarque que les résistances des mortiers à différents pourcentage en fines enregistrées à 28 jours fluctuent entre 32,03 MPa et 42,46MPa et elles sont comparables à celles de celui confectionné avec du sable témoin qui est de 40,12 MPa. L'optimum pour la teneur en fines se suite environs de 5 %.

IV.5.2 : Résistance à la traction par flexion:

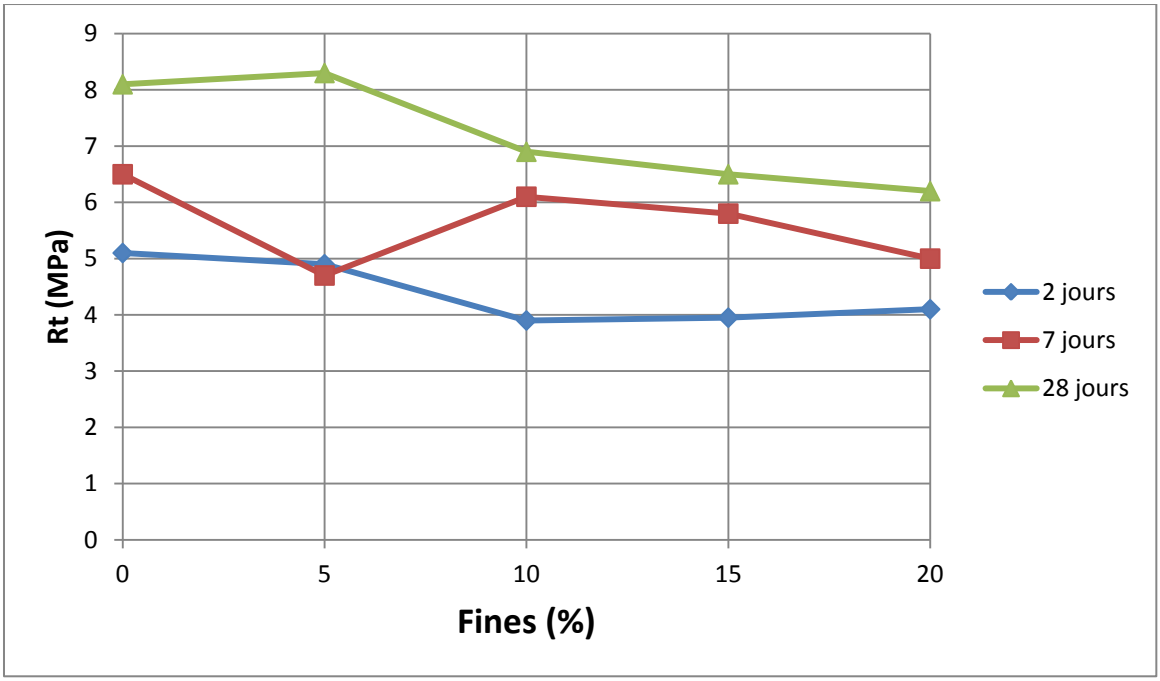


Figure 4.7 : Variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage des fines

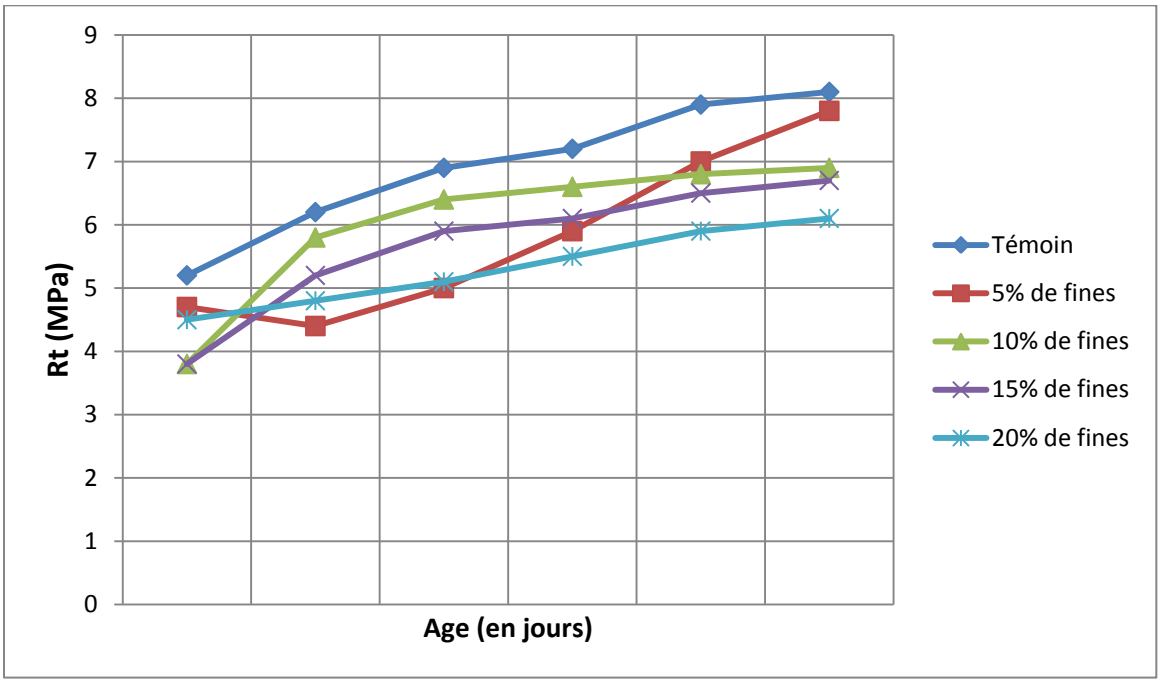


Figure 4.8 : Résistance à la flexion des mortiers à 2 ; 7 et 28 jours

En flexion, une tendance similaire à la compression est constatée à 2, 14 et 28 jours. Les résultats de la résistance à la flexion montrent un développement en fonction de l'âge similaire que celui observée avec la résistance à la compression. Ceci est dû à l'évolution de l'hydratation avec le temps et la teneur en fines qui est optimisée.

La combinaison d'un adjuvant super plastifiant haut réducteur d'eau permet d'améliorer les propriétés des mortiers à base de sable de concassage. Ainsi, les valeurs des résistances mécaniques sont proches et voire supérieures à celles du mortier témoin. Elles sont exprimées en valeur relatives à celles du témoin dans le tableau 4.6.

Tableau 4.6 : Résistance mécaniques moyennes à 28 jours : valeurs relatives par rapport au témoin – mortiers adjuvantes à différents pourcentage en fines.

Pourcentages des fines	5		10		15		20	
Sable de concassage	Rc %	Rt %	Rc %	Rt %	Rc %	Rt %	Rc %	Rt %
	105.83	101.56	94.41	82.43	88.98	78.82	79.83	77.13

Les fines améliorent les caractéristiques mécaniques des mortiers. Les mortiers renfermant jusqu'à 15 % de fines offrent des performances assez proches, voire meilleures, que celles du mortier témoin (cas de 5 %).

IV.6 : LA VARIATION DIMENTIONNELLE :

Les mesures du retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16 cm) conformément à la norme NF P18-432 [10], conservées à l'air. Les résultats de cet essai sont représentés sur la figure 4.9.

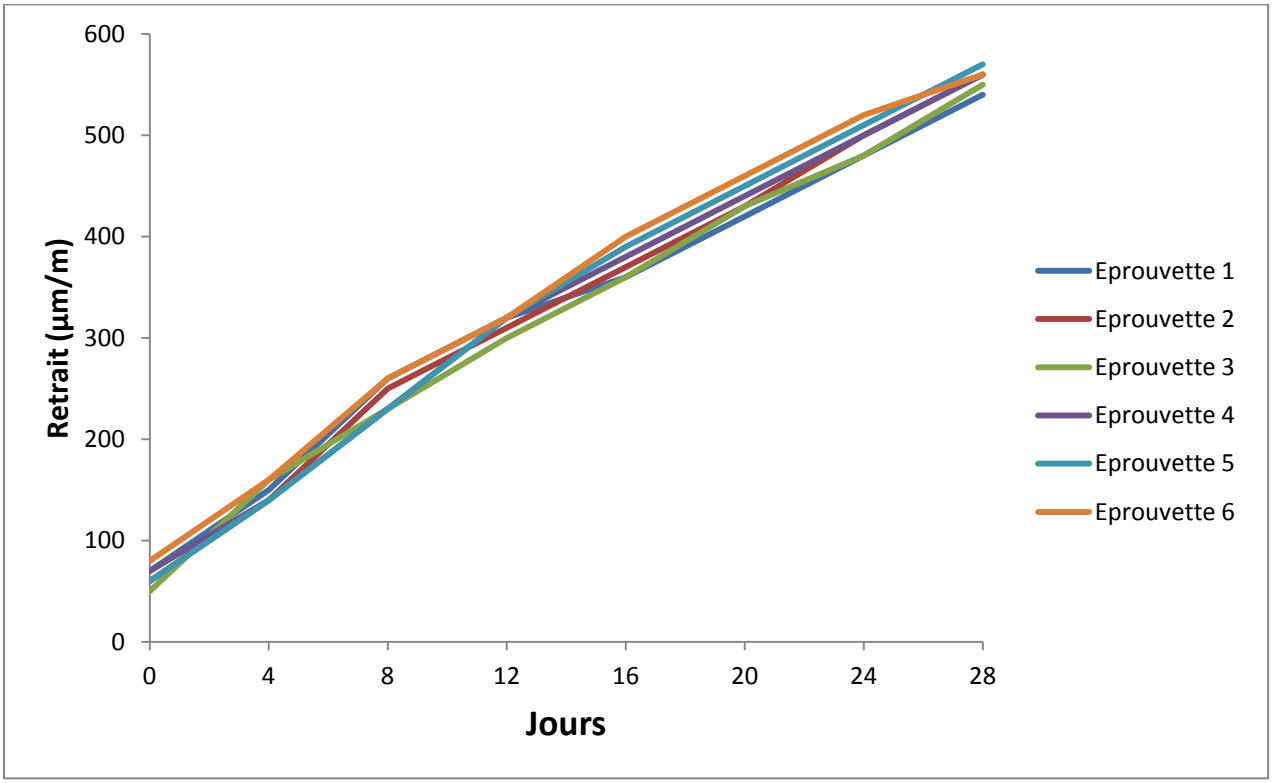


Figure 4.9 : Evolution du retrait en fonction du temps

Nous remarquons que le retrait est comparable à celui d'un mortier ordinaire de même classe, in commence par faibles valeurs pour terminer avec des valeurs supérieures.

Le retrait est dû essentiellement au comportement du ciment lors de son hydratation. Cependant, le squelette granulaire s'oppose par sa rigidité au retrait de la pâte du ciment ce phénomène est conditionné par deux facteurs :

- L'eau de gâchage
- La rigidité du squelette.

Les teneurs en fines, améliorent la compacité du mortier et défavorisent le retrait. Par contre lorsqu'elles sont très abondantes, elles augmentent le retrait.

IV.7 : INTERPRETATION GLOBALE DES RESULTATS :

Les résultats obtenus sur les différents essais, nous montrent que les teneurs en fines jusqu'à 20% dans le sable de concassage influent sur les résistances mécaniques d'une façon dite négligeable, si celles-ci sont propres et ne dépassent pas la valeur de 20%.

Par contre, l'obtention d'une bonne maniabilité pour l'ensemble des teneurs en fines nécessite l'incorporation d'un adjuvant super plastifiant haut réducteur d'eau, à dosage variable pour assurer une consistance égale et une mise en œuvre correcte.

On conclut que les sables de concassage peuvent être utilisés dans les bétons de structure si les fines ont un coefficient CA ≤ 1, un équivalent de sable à 5% de fines (valeur optimum) E.S.P ≥ 60 et un module de finesse compris dans l'intervalle suivant : $1{,}8 \leq M_f \leq 3.2$.

CONCLUSION
ET
RECOMMANDATIONS

1. CONCLUSIONS :

L'objectif de cette étude consiste à chercher l'influence du sable de concassage sur la résistance du mortier et sa mise en œuvre (ouvrabilité).

Ce mortier à été soumis à des essais de caractérisation mécanique et dimensionnelle afin d'étudier son influence sur la faisabilité et la mise en œuvre dans le secteur du bâtiment.

Les résultats enregistrés montrent que l'utilisation de ce type de sable, renferment une quantité de fines allant jusqu'à 20%, est possible en ayant des conséquences préjudiciables sur les caractéristiques physico-mécaniques finales de ces mortiers comparativement aux mortiers fabriqués avec des sables courants. Les résistances à la compression à l'âge de 28 jours pour les différents teneurs en fines utilisés varie de 0,79 à 1,05 de la résistance du mortier témoin. Par contre ces fines de natures calcaires ne doivent pas présenter d'effets néfastes sur la qualité finale du mortier par leurs impuretés et activité polluante. Elles doivent être inertes pour améliorer les performances mécaniques et ne pas avoir d'effets sensibles sur le retrait et la durabilité des mortiers.

D'après les résultats expérimentaux ainsi obtenus dans les essais de consistance, on peut dire que plus on introduit les fines dans notre sable de concassage, on remarque une augmentation des temps de consistance qui est traduite par une mauvaise ouvrabilité du matériau. Ceci nous a amené à choisir un dosage adéquat en adjuvant, en fonction de pourcentage de fines introduites. Ce pourcentage varie de 0,8% à 2% pour une teneur en fines allant de 0 à 20%.

Le dosage de 5% en fines était le dosage optimum, qui nous a présenté les meilleurs valeurs en ce qui concerne la consistance, résistance et retrait, pour ce type de sable utilisé, en tenant compte de la nature de la roche, qui se diffère de selon nature géologique de la carrière et ses propriétés physiques et chimiques.

L'incorporation d'un adjuvant spécifique, un super plastifiant haut réducteur d'eau permet de réduire la quantité d'eau de mouillage, engendrant une faible porosité et une bonne ouvrabilité du mortier.

La synthèse des résultats obtenue par l'expérimentation nous a permis de conclure que les sables de concassage issus de roches calcaires avec une granularité, une teneur en fines et une propreté satisfaisante donnent un mortier de qualité comparable a celui du témoin.

La maitrise des procédures d'élaboration de mortiers et bétons avec utilisation des sables de concassage, qui comprend la préparation des consistances, la formulation adéquate, la fabrication, le transport, les essais de

La consistance, le serrage du mélange frais et une mise en œuvre répondant aux besoins de chaque type d'ouvrage, permet d'obtenir des mortiers de qualité.

La généralisation de l'utilisation des sables de concassage, à condition de respecter les spécifications techniques, devra se faire avec le concours et la concertation de tous les partenaires de la construction :

- Les maitres d'ouvrages, par leur volonté d'introduire l'utilisation du sable de concassage dans les marchés publics et privés ;

- Les maitres d'ouvrages, par la transcription dans les pièces du marché de cette exigence ;
- Les producteurs de granulats par leur respect des spécifications techniques ;
- Les entreprises, par leur savoir faire dans la fabrication et la mise en œuvre du mortier et bétons et leurs modalités d'organisation des chantiers.

Les technologies actuelles permettent aux producteurs de sable de maitriser la teneur et la propreté des fines de leurs produits. Ils peuvent produire en quantité des sables de qualité qui permettront la confection des mortiers et bétons répondant aux critères de performances et de durabilité.

Ce type de sable dont les intérêts sur le plan économique et écologique sont évidents mérite une attention particulière en tant que sujet de recherche et en tant que constituant essentiel dans les mortiers et béton hydrauliques, vu sa propreté à l'état brute (avant lavage) et le changement des résultats vers le positif (après lavage), qu'on a considéré comme sable propre.

2. RECOMMANDATIONS :

Notre travail a permis de faire ressortir quelques recommandations bien ciblées :

- Réaliser le maximum d'essai sur un même sable car les caractérisations physiques et chimiques différent d'un site à un autre.
- Analyser et étendre l'étude sur les sables de concassage pour différentes stations de concassage.
- Etudier le mélange de sable de concassage avec d'autre sable (dune, mer, oued).
- Etudier l'influence des fines calcaires sur facteur durabilité des bétons hydrauliques.
- Etudier la substitution des ajouts cimentaires par des fines calcaires.
- Etudier le comportement du béton à long terme avec des différents taux de fines (effet du retrait, fluage, durabilité,….,etc).
- Elaborer une étude technico-économique en comparaison avec les sables courants.
- La mise en place d'une réglementation spécifique et normative pour l'utilisation de ce type de sable.

Ce complément d'étude vivement attendu, sera d'un grand intérêt pour la valorisation des sables de concassage et le développement du béton en tant que matériau essentiel et important dans la réalisation des ouvrages d'art et de construction.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1]. Ministère de l'habitat et de l'urbanisme, «journée d'étude sur les sables de concassage », juin 2015.

[2]. Yves la gabrielle, René Maury, Maurice Renard. « Mémo visuel de géologie », Editions ,2015.

[3]. Nicola Cipriani, Minéraux et roches, Edition, 1996.

[4]. Christian lemaitre : « propriétés mécaniques et durabilité du béton à base de sable de concassage », Edition, 2009.

[5]. Georges Dreux et Jean Festa : « Nouveau guide du béton et de ses constituants », Huitième édition, Eyrolles, France, 1998.

[6]. G. Daniel gay « Notion sur les matériaux de construction et la pratique des travaux ». Edition 2013

[7]. F-Gabrysiak –Matériaux- Les granulats-Chapitre 2.

[8]. G.Dreux, F.Gorisse : « Contribution à l'étude de l'influence de la finesse des sables sur diveres qualités des bétons », annales de L'institut Technique du Batiment et des Travaux Publique, N°361, France, 1969.

[9]. Centre National d'Etude et de Recherches Intégrées du Batiment (C.N.E.R.I.B) : « Les Sables de concassage », ministère de l'Habitat, Alger, Mai 2005.

[10]. Fiche Technique CPA-CEMI-42 .5 NA 433 ACC M'SILA.

[11]. Nasr-Eddine Kedjour : « Le laboratoire du béton », Office des publications universitaires, Alger, 2003.

[12]. Norme Algérienne, NA 453 1990, « Granulats : Préparation d'un échantillon pour essai » IANOR, Alger, 1990.

[13]. Dupain. R, Lanchon. R, Saint Arroman, J.C « Granulats, sols, ciments et bétons », Edition CASTEILLA, Paris, 2006.

[14]. Norme Algérienne, NA 451 1990 : « Granulats : Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables », IANOR,Alger, 1998.

[15]. R.Bertrandy : « Etude de l'influence des fines calcaires sur le facteur durabilité des bétons hydrauliques », Revue travaux, France, 1976.

[16]. R.Bertrandy : « influence des fillers calcaire sur la maniabilité des bétons », annales de L'institut Technique du batiment et des Travaux publiques, N° 147, France, 1975.

[17]. GRANITEX Nouveau produits Z-I Oued-Smar – B.P.85 –16270 Alger

[18]. Norme Algérienne, NA 456 ; « Granulats-Détermination de la propreté des Sables-Equivalent de sable à 10% de fines », Norme enregistrée, 1990.
[19]. Norme Algérienne, NA 451 ; « Granulats-Mesure des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables », Norme enregistrée, 1990.
[20]. SAIDI Mohamed Mouloud : « Recherche d'un sable de substitution au sable normalise de leucat », Thèse de Magister, C.U.Y.F. Médea, 2007.
[21]. Norme Française, C E N E N 196-1, « Méthodes d'essais des ciment, partie I : « Détermination des résistances mécaniques », AFNOR, Paris, Aout 1995.
[22]. Norme Française, N F P 15-411, « Béton- caractéristiques commun des machines hydrauliques pour essais de compressions- flexion et de traction des matériaux durs », AFNOR, Paris, 1981.
[23]. Laetitia D'Aloia-Schwartzentruber, et jean Michel Torrenti Le grand livre du béton « Variations volumiques des matrices cimentaires aux très jeunes âges.
[24]. A. Muttoni – O. Burdit « Effets différés » - Ponts et bétons – Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne – 2003 – 2004.
[25]. RETRACTOMETRES – Appareils d'essai – PERRIER LABOTEST – France – 2002.