



Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE : **MASTER**

Filière : Génie Civil
Option : Matériaux

THÈME :

Contribution à l'étude des bétons à base des sables des carrières
de la région de Bordj Bou Arreridj

Préparé par : -RIGHI Lamis

-LEZIAR Khalida

Soutenu le : 01/07/2018

Devant le jury :

Encadreur : BENAICHI Elhadj

Président : DJELOUL Chafia

Examineur : TABET Souad

Examineur : AMRIOU Abderachid

Année Universitaire : 2017/2018

Remerciement :

Au terme de ce travail, nous tiens à remercier en premier lieu DIEU Miséricordieux qui nous a donné la volonté et la patience pour achever ce mémoire.

Nous tenions à exprimer nos gratitude à Monsieur BENAICHI Lhadj, encadreur de mémoire pour nos avoir guidée tout au long de ce travail, et la proposition de ce sujet de recherche nous le remercie vivement pour sa disponibilité, pour ces conseils avisés et son aide précieuse pour la rédaction de ce mémoire. Sa grande patience, tous les encouragements qu'il n'a cessé de me prodiguer, pour la confiance qu'ils ma accordée. Nous le remercie pour l'aide qu'il a su m'apporter.

Mes remerciement vont ensuite aux membres de jury : DJELOUL Chafia, TABET Souad, AMRIOU Abderachid, qui bien voulu examiner ce travail.

Nous adresse nos remerciement à tous les responsables de laboratoire de génie civil : ZOBIR, FARID, ABDE RAHIM, qui ont toujours été disponibles pour nous donner un petitt coup de main et beaucoup d'encouragement.

Dédicace

C'est grâce à Allah seul que j'ai pu achever ce travail

Je le dédie à :

Ma très chère **mère**, qui a toujours été présente pour moi, dans les moments les plus difficiles et qui sont cesse vielle pour moi avec ses prières, pour ses grande sacrifice et tout

L'amour qu'elle me porte.

Ma très cher **père**, pour tus ses conseil et pour toute la confiance qu'il a mise en moi et pour son dévouement pour mon bonheur.

Que dieu me le garde.

Ma chère seour : Rania

Mon fiancé : Maamer

Toute ma famille

Mon binôme **Khalida** et tout sa famille

Tous mes amis de promos master 2 génie civil.

Lamis

Dédicace

C'est grâce à Allah seul que j'ai pu achever ce travail

Je le dédie à :

Ma très chère **mère**, qui a toujours été présente pour moi, dans les moments les plus difficiles et qui sont cesse vielle pour moi avec ses prières, pour ses grande sacrifice et tout

L'amour qu'elle me porte.

Ma très cher **père**, pour tus ses conseil et pour toute la confiance qu'il a mise en moi et pour son dévouement pour mon bonheur.

Que dieu me le garde.

Mes chères seours

Mes chers frères

Mon marie : Abde Rrahim

Ma petite fille : Takwa

Toute ma famille

Mon binôme **Lamis** et tout sa famille

Tous mes amis de promos master 2 génie civil.

Khalida

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION

Plan du travail

CHAPITRE I REVU DE DOCUMENTATION

I.1 Introduction :	1
I.2 Historicité du béton :	2
I.2.1 Définition du béton.....	2
I.2.2. Classification des bétons :	3
I.2.2.1. Selon la classe de consistance :	3
I.2.1.2. Selon la masse volumique :	3
I.2.1.3. Selon la résistance caractéristique à la compression :	4
I.3 Les ajouts minéraux :	4
I.3.1. Classification des ajouts minéraux dans le ciment Portland :	5
I.3.2 Principaux ajouts minéraux inertes :	6
I.3.3 Principaux ajouts minéraux actifs :	7
I.3.4 Intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux lors de la fabrication des ciments Portland:.....	8
I.3.6 Rôle de l'ajout cimentaire :	9
I.4 Les granulats :	11
I.4.1 Les principes de fabrication des granulats :	11
I.4.2 Types des granulats :	13
I.4.2.1 Les granulats des carrières :	13
I.4.2.2 Les granulats alluvionnaires :	13
I.4.3 Procédure de fabrication des granulats.....	13
I.4.3.1 L'extraction :	13
I.4.3.1.1 Granulats alluvionnaires :	13
I.4.3.1.2 Granulats concassés :	15
I.4.3.2 Le chargement et le transport :	15
I.4.3.3 Le traitement :	16
I.4.3.3.1 L'élimination des impuretés :	16
I.4.3.3.2 Le concassage /broyage :	16

SOMMAIRE

I.4.3.3.3 Le criblage :.....	19
I.4.3.3.4 Le lavage :.....	20
I.4.3.3.5 Stockage et expédition:	20
I.4.3.3.6 Suivi et contrôle de qualité:.....	21
I.4.4 Les caractéristiques des granulats :	21
I.4.4.1 Les caractéristiques géométriques :.....	21
I.5 Le sable :.....	23
I.5.1 Sable de carrière	23
I.5.1.1 Emploi du sable de carrières dans le béton	24
I.6 Le ciment :.....	25
I.6.1 Processus de fabrication du ciment :.....	25
I.6.2 Hydratation du ciment :.....	26
I.6.3 Classification des ciments :.....	27
I.6.3.1 Classification des ciments en fonction de leur composition :.....	27
I.6.3.2 Classification des ciments en fonction de leur résistance normale :.....	27
I.6.3.3 Classification des ciments suivant le type d'environnement :.....	28
I.7 L'eau :.....	29
I.7.1 Classification des types d'eau :.....	29
I.8 Les méthodes de composition des bétons :	30
I.9 Propriétés principales des bétons :.....	30
I.9.1 Propriétés Physiques :	30
I.9.1.1 Ouvrabilité :.....	30
I.9.1.2 Le Retrait :.....	31
I.9.1.3 La compacité et la porosité :	31
I.9.1.4 Perméabilité et diffusivité :	32
I.9.2 Propriétés mécaniques :.....	32
I.9.2.1 Résistance mécanique :	32
I.9.2.2 Résistance à la compression :.....	32
I.9.2.3 Résistance à la traction :.....	33
I.9.3 Durabilité :.....	33
I.10 Conclusion :	33

CHAPITRE II : Méthodes et matériaux utilisés

II.1 Introduction :.....	35
---------------------------------	-----------

SOMMAIRE

II.2 Matériaux utilisés :	35
II. 3 Caractéristiques des matériaux	35
II. 3.1 Caractéristiques du gravier :	35
II.3.1.1 Analyse granulométrique par tamisage.....	35
II.3.1.2 La masse volumique :	37
II.3.1.3 La porosité :	39
II.3.1.4 La compacité :	40
II.3.1.5 L'indice des vides :	40
II. 3.1.6 Degré d'absorption d'eau :	41
II.3.1.7 La résistance à la fragmentation par chocs (Essai Los Angeles) :	41
II.3.2 Caractéristique du sable :	44
II.3.2.1 Analyse granulométrique.....	44
II.3.2.2 Modules de finesse	48
II.3.2.3 Equivalent de sable :	49
II.3.2.4 Masse volumique :	52
II.3.3 Les ajouts minéraux.....	53
II.3.3.1 Les caractéristiques chimiques	53
II.3.3.2 Les caractéristiques physiques :	53
III.3.4 Caractéristiques de ciment :	53
II.3.4.1 Les caractéristiques chimiques	54
II.3.4.2 Caractéristiques mécaniques :	55
II.3.4.3 Caractéristiques physiques :	55
II.3.4.3.1 Masse volumique apparent	55
III.3.4.3.2 Masse volumique absolue :	56
III.3.3 L'eau de gâchage :	57
II.4 Etudes des mortiers	58
II.4.1 Confection des éprouvettes :	58
II.4.2 Programme d'essais	58
II.4.2.1 Résistance à la traction par flexion	58
II.4.2.2 Résistance à la compression	59
II.5 Formulations des bétons étudiés :	60
II.5.1 Méthode de SCRAMTAIEV :	61
II.5.2 Présentation de la méthode SCRAMTAIEV :	62
II.4.3 Calculs les composants :	64
II.6 Matériels et essais :	66

SOMMAIRE

II.6 .1 Les essais sur le béton à l'état frais :	66
II.6.1.1 Le malaxage :.....	66
III.6.1.2 Affaissement au cône d'abrams (slump test) :	67
II.6.1.3 Vibration :.....	68
II.6.2 Les essais sur béton durci :	69
II.6.2.1Durcissement de béton :.....	69
II.6.2.2Mode de conservation de béton :	69
II.6.3.1 Détermination de la résistance par les essais non destructifs :	69
II.6.3.1.1 Ultrason :	70
II.6.3.1.2Essai de dureté par rebondissement (scléromètre) :.....	72
II.6.3.2 La résistance à la compression (essai d'écrasement) :.....	74
II.6.3.2.1La presse hydraulique :.....	74
II.6.3.3Essai d'écrasement.....	75
II.6.3.4 Essais De Traction Par Flexion :	75
II.6.3.5 Essais de traction par fendage :	76
II.6.3.6 Essai d'absorption d'eau par immersion :.....	77
II.7 Mode d'action des environnements agressifs :	77
II.8 Conclusion :	78

CHAPITRE III : Analyse et discussion des résultats

III.1 Introduction	79
III.2 Etude des mortiers.....	79
III.2.1 Comportement du mortier à l'état frais	79
III.2.2 Comportement des mortiers à l'état durci :	79
III.2.2.1 Résistance à la compression :.....	80
III.2.2.1.1 Effet des ajouts minéraux sur la résistance à la compression des mortiers	81
III.2.2.2 Résistance à la traction par flexion des mortiers.....	83
III.2.2.2.1 Effets d'ajouts minéraux sur la résistance à la traction par flexion.....	85
III. 3 Etude des bétons	86
III. 3.1Comportement de béton à l'état durci	86
III. 3.1.1La résistance à la compression	86
III.3.2.1.1 Effets d'ajouts minéraux sur la résistance à la compression	88
III.3.2.2Résistance à la traction par flexion des bétons.....	89
III.2.3.3 Absorption d'eau par immersion.....	90
III.3.2.4.1 Résistance aux milieux agressifs.....	91

SOMMAIRE

III.3.2.4.2 La perte de masse	94
III.3.2.5 La résistance en traction par fendage	95
III. 3.2.6 comportement de béton à l'état frais	99
III. 3.2.7 LA perte de masse	96
III-3-2-8 Contrôle non destructif (scléromètre e, auscultation dynamique)	97
III.6 Conclusion.....	100

CHAPITRE IV : CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE	101
RECOMMANDATION	102

Résumé

Résumé

l'Algérie connaît une évolution dans le domaine du génie civil. Cette évolution a engendré une surexploitation des granulats, en particulier des sables.

Malgré les timides résolutions adoptées par les grandes entreprises nationales pour tenter de limiter le pillage des sables alluvionnaires et d'utiliser les sables de carrière comme substitut, l'écosystème a déjà été déséquilibré. S'il n'est pas trop tard pour agir, une dynamique nationale valorisant les matériaux locaux, doit voir le jour.

Le but de ce travail est l'étude du comportement des bétons à base de sable de carrière, qui dans la plupart des cas n'est pas exploité en raison du taux élevé de particules fines qu'il contient.

De ce fait, les expérimentations ont été réalisées sur trois sables de carrière sans modification (état initial), avec sable naturel, et additions minérales (pouzzolane, laitier). Les résultats montrent la possibilité d'utiliser les sables de carrière même avec un grand pourcentage de fines dans la fabrication des mortiers et des bétons.

Mots-clés:

Béton, mortier, sable de carrière, , sable naturel, pouzzolane, laitier.

Abstract:

Under development Algeria experiencing an evolution of civil engineering. This evolution resulted a greater consumption of aggregates and particularly sand.

However, multinational companies adopted resolutions to limit the depletion of alluvial sand and use sand quarries in substitutes, the ecosystem has been disrupted. If it is not too late to act an international dynamics of valuating local materials, should emerge.

The aim of this work is to study the behaviour of fresh and hardened concrete with crushed sands, which is not used sufficiently often due to the high rate of fine particles that it contains.

However, there is no way to predict the impact of crushed sand on the performance of concrete because the properties of crushed sand vary according to the source and the extraction method

Résumé

Therefore, the experiments have been performed on five crushed sand without modification (initial state), and natural sand, and mineral additions (pozzolan and slag). The results indicate that the possibility of using crushed sand with a large percentage of fine particles in the manufacture of concrete and mortar.

Keywords:

Concrete, mortar, crushed sand, fresh concrete, hardened concrete, natural sand, pozzolan, slag.

الملخص:

الجزائر من البلدان النامية وتشهد تطورا في مجال الهندسة المدنية. وقد أدى ذلك إلى الإفراط في استغلال الركام، وخاصة الرمال.

وعلى الرغم من القرارات الخجولة التي اعتمدها الشركات الكبيرة في محاولة للحد من نهب الرمال الطبيعية واستخدام الرمال المحاجر (رمال الحجارة المكسرة) لقد أصبح النظام البيئي أصبح غير متوازن. ولهذا، يجب تشجيع ديناميكية دولية من الآن لاستخدام المواد المحلية .

إن الغرض من هذا العمل هو تشجيع استخدام رمال المحاجر، والتي لا تستعمل في معظم الحالات نظرا للنسبة العالية من الجسيمات الدقيقة الموجودة فيها، وهذا بدراسة أداء الخرسانة الطازجة والمتصلدة .

ورغم الدراسات المنجزة، لا يمكن الخروج بأي قاعدة لتحديد آثار رمال المحاجر على الخرسانة وهذا لاختلاف مصدر الرمال وطريقة استخراجها.

لذلك، أجريت التجارب على ثلاثة رمال المحاجر دون تعديل (على حالتها الأولى)، ورمال المحاجر المعدلة بالرمال الطبيعي والإضافات المعدنية (البوزولان، خبث الأفران) . النتائج أظهرت إمكانية استخدام رمال المحاجر في صناعة الخرسانة والهاون على الرغم من وجود نسبة كبيرة من المواد الناعمة.

الكلمات المفتاحية :

الخرسانة، الهاون، رمال المحاجر، الخرسانة الطرية، الخرسانة المتصلدة، الرمل الطبيعي، البوزولان، خبث الأفران.

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I: Revue de documentation

Tableau I.1 : Classes de consistance.....	3
Tableau I.2 : Classes de résistance du béton.....	5
Tableau I.3 : Classification des ajouts minéraux selon leur réactivité.....	6
Tableau I.4 : Les principaux concasseurs utilisés.....	17
Tableau I.5 : Spécification et valeurs garanties en fonction de la classe.....	28

Chapitre II: Méthodes et matériaux utilisés

Tableau II.1 : Analyse granulométrique du gravier concassé (8/15) et (15/20).....	36
Tableau II.2 : Masse volumique apparente du gravier concassé (8/15) et (15/20).....	38
Tableau II.3 : Masse volumique absolue du gravier concassé (8/15) et (15/20).....	39
Tableau II.4 : Porosité, compacité et indice des vides du gravier concassé.....	41
Tableau II.5 : Degré d'absorption d'eau des agrégats (8/15) et (15/20).....	41
Tableau II.6 : Adaptation des charges des boulets correspondant à la classe granulaire choisie.....	42
Tableau II.7 : Estimation de la dureté des agrégats en fonction du coefficient L_A	43
Tableau II. 8 : Analyse granulométrique du sable Natural.....	45
Tableau II.9: Analyse granulométrique du sable concassé(1).....	46
Tableau II.10: Analyse granulométrique du sable concassé(2).....	47
Tableau II.11: Analyse granulométrique du sable concassé(3).....	48
Tableau II.12 : Module de finesse du sable.....	49
Tableau II.13 : Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable ESV et ESP.....	51
Tableau II.14 : Les résultats de l'équivalent de sable.....	51
Tableau II.15:Les résultats de la masse volumique absolu du sable naturel.....	52
Tableau II.16:Les résultats de la masse volumique absolu du sable concassé(1).....	52
Tableau II.17:Les résultats de la masse volumique absolu du sable concassé(2).....	52
Tableau II.18:Les résultats de la masse volumique absolu du sable concassé(3).....	52
Tableau II.19 : Analyse chimique des ajouts.....	53
Tableau II.20 : Les caractéristiques physiques des ajouts.....	53
Tableau II.21 : Analyse chimique du ciment utilisé.....	54
Tableau II.22 : Composition minéralogique du clinker.....	54
Tableau II.23 Caractéristiques Mécaniques du Ciment CRS-CEM I 42,5.....	55
Tableau II .24 Caractéristiques Physiques du Ciment CRS-CEM I 42,5.....	55
Tableau II. 25 Caractéristique physique du ciment-CRS.....	57
Tableau II.26 : Analyses physico-chimiques de l'eau de gâchage.....	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.27 : Les valeurs des coefficients A et A' en fonction du liant et agrégat.....	62
Tableau II.28 : Quantité d'eau nécessaire à la préparation du béton.....	63
Tableau II.29 : Valeurs du coefficient (α) en fonction du E/C et dosage en ciment.....	64
Tableau II.30 : Proportions et composition des mélanges.....	66

Chapitre III : Analyse et discussion des résultats

Tableau III.1 : Quantité utilisé pour le mortier.....	79
Tableau III.2 : Résistance à la compression des mortiers.....	80
Tableau III.3 : Effet des ajouts minéraux sur la résistance à la compression des mortiers.....	82
Tableau III.4 : Résistance à la traction par flexion du mortier étudié.....	83
Tableau III.5 : L'effet des ajouts minéraux sur la résistance à la traction par flexion des mortiers.....	85
Tableau III.6 : La résistance à la compression du béton.....	87
Tableau III.7 : L'effet des ajouts minéraux sur la résistance à la compression de béton.....	88
Tableau III.8 : Résistance à la traction par flexion.....	89
Tableau III.9 : Effets d'ajouts minéraux sur la résistance à la traction par flexion.....	90
Tableau III.10 : Absorption d'eau par immersion à l'état durci des bétons.....	91
Tableau III.11 : PH des différents milieux agressifs.....	92
Tableau III.12 : Effets des milieux agressifs sur la résistance à la compression.....	93
Tableau III.13 : Perte de masse des bétons conservée dans les milieux agressifs.....	95
Tableau III.14 : La résistance à la traction des bétons testés.....	96
Tableau III.16 : Perte de masse des bétons	97
Tableau III-17 : Résistance à la compression par essais indirects (Scléromètre et Auscultation).....	98

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

Chapitre I: Revue de documentation

Figure I.1 : Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire.	3
Figure I.2 : Hydratation d'un ciment (a) Hydratation d'un ciment sans ajout cimentaire. (b) Hydratation d'un ciment avec ajout cimentaire.	5
Figure I.3 : Différentes types des ajouts minéraux.	10
Figure I.4 : Gisement au-dessus de la nappe phréatique.	14
Figure I.5 : Gisement sous la nappe phréatique.	14
Figure I.6 : Localisation de la roche exploitable.	15
Figure I.7 : Forme d'un granulats.	23
Figure I.8 : Les étapes de fabrication des ciments.	26

Chapitre II: Méthodes et matériaux utilisés

Figure II.1 : Courbe granulométrique des graviers concassés (15/20).	37
Figure II 2 : Courbe granulométrique des graviers concassés (8/15) .	37
Figure II.3 : Courbe granulométrique de Sable Natural.	45
Figure II.4 : Courbe granulométrique de Sable concassé(1).	46
Figure II.5 : Courbe granulométrique de Sable concassé(2).	47
Figure II.6 : Courbe granulométrique de Sable concassé(3).	48
Figure II.7 : Essai d'équivalent de sable.	50
Figure II.8 : Relation approximative entre la vitesse ultrason(en m/s) et la résistance en compression R_c (en MPa).	72
Figure II.9 :Etalonnage contrôle du fonctionnement de l'appareil sur éprouvettes	73
Figure II.10 : Essais de traction par flexion.	75
Figure II. 11 : Essai de traction par fendage.	77

Chapitre III : Analyse et discussion des résultats

Figure III.1 : Résistance à la compression 28jours des mortiers.	80
Figure III.2 : Résistance à la compression 60jours des mortiers.	81
Figure III.3 : Résistance à la compression 28jours des mortiers.	82
Figure III.4 : Résistance à la compression 60jours des mortiers.	83
Figure III.5 : Résistance à la traction par flexion du mortier étudié.	84
Figure III.7 : Résistance à la traction par flexion du mortier étudié 28j.	84
Figure III.8 : Résistance à la traction par flexion du mortier étudié 60 j.	85
Figure III.9 : Résistance à la compression du béton.	87
Figure III.10 : L'effet des ajouts minéraux sur la résistance à la compression de béton.	88
Figure III.11 : Résistance à la traction par flexion.	89
Figure III.12 : Résistance à la traction par flexion.	90
Figure III.13 : Absorption d'eau par immersion à l'état durci des bétons.	91
Figure III.14 : PH des différents milieux agressifs.	92
Figure III.15 : Effets des milieux agressifs sur la résistance à la compression.	93
Figure III.16 : Perte de masse des bétons conservée dans les milieux agressifs.	95

LISTE DES FIGURES

Figure III.17 : résistance à la traction des bétons testés.....	96
Figure III.19 : Perte de masse des bétons avec retriér.....	97
Figure III.20 : Vitesse de propagation.....	98
Figure III.21 : Résistance à la compression par essais indirects scléromètre.....	99

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES PHOTOS Chapitre I: Revue de documentation

Photo I.1 : Convoyeurs à bandes.....	16
Photo I.2 : Engins roulants.....	16
Photo I.3 : Opération de concassage.....	19
Photo I.4 : Aires de stockage.....	21

Chapitre II: Méthodes et matériaux utilisés

Photo II.1 : Appareille de Los Angeles.....	43
Photo II.2 : L'échantillon et les boules.....	43
Photo II.3 : Ciment utilisé CEMII/42,5(CRS).....	54
Photo II.4 : Essai de flexion.....	59
Photo II.5 : Essai de compression.....	60
Photo II.6 : Le malaxage de béton.....	67
Photo II.7 : Affaissement au cône d'abrams.....	68
Photo II.8 : La Vibration.....	69
Photo II.9 : Essai l'ultrason.....	71
Photo II.10 : Mesurer la dureté superficielle du béton.....	73
Photo II.11 : Presse hydraulique capacité 3000 KN.....	74
Photo II.12 : Appareil de traction par flexion.....	76

Chapitre III : Analyse et discussion des résultats

Photo III 1 : Essai de compression.....	93
--	-----------

Liste des symboles et abréviations

Liste des symboles et abréviations

C : Dosage en ciment du béton.	C ₃ S : Silicate tricalcique (3CaO.SiO ₂).
Es : Equivalent de sable.	C ₂ S : Silicate bicalcique (2CaO.SiO ₂).
E _{Sv} : Equivalent de sable visuel.	C ₃ A : Aluminate tricalcique (3CaO.Al ₂ O ₃).
E _{Sp} : Equivalent de sable au piston.	C S : Anhydrite (CaSO ₄).
Ms : Masse des grains solides, masse à l'état sec.	CSH : Gypse (CaSO ₄ .2H ₂ O).
M _h : Masse à l'état humide après imbibition.	C-S-H : Silicates de calcium hydratés.
Mf : Module de finesse du sable.	CH : Hydroxyde de calcium (portlandite) (Ca(OH) ₂).
PF : Perte au feu.	C ₄ AF : Aluminoferrite tétracalcique (4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃).
RI : Résidu insoluble (non combinée).	CaCO ₃ : Carbonate de calcium.
Z : Pouzzolane naturelle.	sc
L : Calcaire.	
D : Laitier granulé de haut fourneau.	
R _f : Résistance à la flexion.	
R _c : Résistance à la compression.	
γ : Masse volumique absolue.	
ρ : Masse volumique apparent.	
P _c (%) : Porosité.	
C _c (%) : Compacité.	
e _c (%) : Indice des vides.	
A (%) : Degré d'absorption.	
R _c : Classe de ciment.	
R _b : Classe du béton.	
A, A' : Coefficients de la qualité des granulats et des liants.	
A : Coefficient d'écartement.	
CaO : Oxyde de calcium.	
SiO ₂ : Oxyde de silicium.	
Al ₂ O ₃ : Oxyde d'alumine.	
MgO : Oxyde de magnésie.	
K ₂ O : Na ₂ O : Les Oxydes alcalins.	
SO ₃ : L'anhydride sulfurique.	
Na ₂ O : Oxyde de sodium.	
Cl : Clore.	

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La demande croissante envers l'utilisation des granulats s'est accentuée ces dernières années vu les progrès que connaît le domaine du génie civil.

Cette demande a ouvert de nouvelles perspectives pour une dynamique internationale envers l'utilisation des sables de carrière (sable concassé), qui étaient rarement utilisés en raison du taux élevé en fines qu'ils contiennent. Pour cela les normes européennes (EN- 206) ainsi que Algériennes (NA455) ont été révisées afin d'augmenter le taux de fines admissible. Le ministère algérien de l'habitat et de l'urbanisme en collaboration avec le Centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment / C.N.E.I.B recommande de ne pas dépasser un taux de fines de 18 % pour les bétons hydrauliques de classe inférieure à 20 MPa et 15 % pour des bétons de classe comprise entre 20 et 35 MPa enfin un taux de 12 % pour un béton de classe supérieure à 35 MPa.

En Algérie, la production annuelle est estimée à 68 millions de tonnes produites annuellement par près de 200 carrières. Malheureusement, plus de 16 millions de tonnes sont considérés impropres à l'utilisation comme sable de construction. La plupart, des carrières produisant des sables à forte teneur en particule fine (>25 %) se localise dans l'Est Algérien.

De plus, les stations de concassage ne sont pas équipées d'installation permettant de maîtriser la teneur en fines quand systématiquement la fragmentation de roches engendre une production de particules de taille < 100 µm.

Ainsi, à l'heure où la préservation de l'environnement est devenue une exigence, refuser l'utilisation des sables de carrière à cause de leur forte teneur en fine n'est pas vraiment réaliste. Par conséquent, plusieurs questions se posent.

La plupart des études ont été faites sur un ou deux sables de concassage il n'existe pas ce jour une étude comparative faite sur plusieurs types de sable de concassage de différente source minéralogique, ce qui engendre une démarche différente pour aborder le sujet.

Par conséquent, est-ce qu'une grande teneur en fines signifie-t-elle forcément que le sable est inutilisable ? Pourrait-t-elle avoir un effet bénéfique ? Un sable avec une faible teneur en fines donne-t-il forcément de meilleures performances

qu'un autre sable ?

Est-ce que la teneur en fines est le paramètre le plus important à prendre en considération dans le choix des sables ?

Est-ce que la substitution du sable de carrière par du sable d'oued ou du sable de dune est-t-elle vraiment une solution afin de remédier aux problèmes rencontrés avec les sables de carrière (teneur en fines, distribution granulaire, nature minéralogique) ?

Enfin, l'ajout d'additions minérales dans le béton à base de différent sable de carrière pourra-t-elle donner le mélange qui permettra d'avoir des performances optimales?

Notre travail de recherche a pour objectif de contribuer à apporter des solutions concrètes aux problèmes des particules fines dans les sables de carrière. Un programme expérimental a été établi dans le but d'obtenir des résultats qui traduisent et améliore l'état de connaissance sur ce sujet. D'abord, on a procédé à la caractérisation des différents matériaux entrant dans la composition des différents mélanges de béton. On a utilisé trois variantes de sable de carrière sans modification (état naturel) afin d'étudier leurs effets sur les performances et le comportement à l'état frais et durci des bétons.

D'autre part, notre travail s'est intéressé à l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons à base de sable de carrière par leur substitution par du sable naturel, ou encore par l'utilisation des additions minérales (Pouzzolane, laitier).

Plan de travail

Pour bien cerner le sujet et arriver aux objectifs fixés précédemment. Nous avons donc mené un plan de travail qui se compose des parties suivantes.

- Une introduction générale qui fait définir la problématique du sujet ainsi que les objectifs visés.
- Une revue de la documentation qui porte sur les travaux antérieurs concernant les sables et leur utilisation à travers le niveau national et évidemment leur influence dans la fabrication de béton.
- Une étude expérimentale a été réalisée afin d'établir en premier lieu les caractéristiques des différents sables étudiés et ensuite étudier l'effet

INTRODUCTION GÉNÉRALE

l'influence des ajouts minéraux actifs (laitier ; pouzzolane) sur le comportement rhéologique de béton.

- Effet des conservations des bétons dans différents milieux agressifs
 - Une analyse et une discussion des résultats obtenus tout en faisant des observations sur le béton témoin composé à 100% des sables naturels .Finalement une conclusion générale sur cette étude avec des recommandations qui porte sur les particularités des sables des carrières ainsi que les mesures à prendre en compte lors de l'utilisation de ces sables dans la fabrication du béton.

Revue de documentation

I.1 Introduction :

Le béton est un matériau hétérogène constitué d'une matrice cimentaire, fabriqué à partir d'eau et de ciment, et des granulats. Il crée un réseau poreux dans lequel les mouvements d'eau et les transferts de gaz sont possible. Ainsi, les capacités de transfert du matériau sont fonction des propriétés microstructurales (porosité, distribution, tortuosité...) [1].

Au fil des années l'étendue des performances des bétons physiques, mécaniques esthétiques s'élargit sans cesse. Les caractéristiques du béton ont progressé pour répondre aux demande des concepteurs afin d'avoir des résistances toujours plus importantes, des exigences de durabilité plus fortes, des contraintes de mise en œuvre (maitrise de la rhéologie, maniabilité, etc.) ainsi qu'à de nouvelles exigences environnementales (épuisement des ressources naturelles, ré exploitation des déchets de démolitions, etc.).

Les carrières génèrent des milliers de tonnes de sables rarement utilisé dans la fabrication des mortiers et bétons et ceux à cause de leurs taux élevés en particules fines (plus de 30%), qui peut avoir des effets défavorables sur les propriétés du béton fait et durc.son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire entre le ciment et le gravier pour une meilleure cohésion du béton [2].

C'est cette polémique collective envers l'épuisement des ressources naturelles qui fait de l'utilisation de sable de carrière un sujet d'actualité. Des programmes de recherches ont vu le jour envers l'amélioration de l'utilisation des sables de carrière dans la confection des mortiers et béton.

D'autre part, ces matériaux sont très évolutifs et complexes.ils subissent lors de leur préparation de grandes transformations physico-chimiques et structurales (réactions d'hydratation du ciment) et ces transformation se suivent, avec une cinétique qui décline au cours du temps, tout au long de leur vie(vieillessement ou maturation) et qui peut effectuer la durabilité et conduire à la dégradation de ce dernier [3] .

Il est donc indispensable de maitriser parfaitement tous les paramètres pour comprendre le comportement expérimental ou « in situ » du béton ; et ce, à partir de leur fabrication dans

la suite de notre travail, des relations pertinentes entre ces propriétés est le comportement des bétons.

I.2 Historicité du béton :

L'histoire du béton montre que sa technique, bien fixée empiriquement par les Romains, avec la chaux grasse et la pouzzolane, a évolué seulement au 19^{ème} siècle, après l'apparition des chaux hydrauliques et des ciments.

L'invention de la chaux hydraulique par Louis Vicat en 1817, celle du ciment portland par Aspdin en Ecosse en 1824 et l'installation des premiers fours par Pavin de Lafarge au Teil en France en 1830 préparent l'avènement du béton [Cimbéton, 2006] .

A l'origine, le béton était constitué d'un mélange de trois matériaux : le ciment, les granulats et l'eau. Dans la plupart des cas, le ciment était du ciment Portland obtenu par mélange homogène d'argile et de calcaire, ou d'autres matériaux contenant de la chaux, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer, cuit à la température de clinkérisation puis broyé. Par la suite, de petites quantités d'adjuvants chimiques ont été ajoutées au mélange afin d'améliorer certaines des propriétés du béton à l'état frais ou durci. [4]

I.2.1 Définition du béton :

Le béton est actuellement l'un des matériaux de construction les plus utilisés à travers le monde (7 milliards de m^3 sont consommés chaque année dans le monde). Il répond au mieux aux différentes contraintes et exigences imposées aux bâtiments et aux ouvrages de génie civil : stabilité mécanique, étanchéité, tenue au feu, isolation acoustique et thermique, durabilité, aspect de surface, et bien entendu respect de l'environnement [5].

En outre, il représente l'un des systèmes les plus complexes parmi les matériaux manufacturés de point de vue comportement, et cela malgré la simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, ainsi que son faible coût de revient.

D'autre part, le comportement du béton est lié à la variété des constituants et à leur nature : ciment, granulats, adjuvant additions, ainsi qu'aux différents rapports entre les constituants (Eau/Ciments).

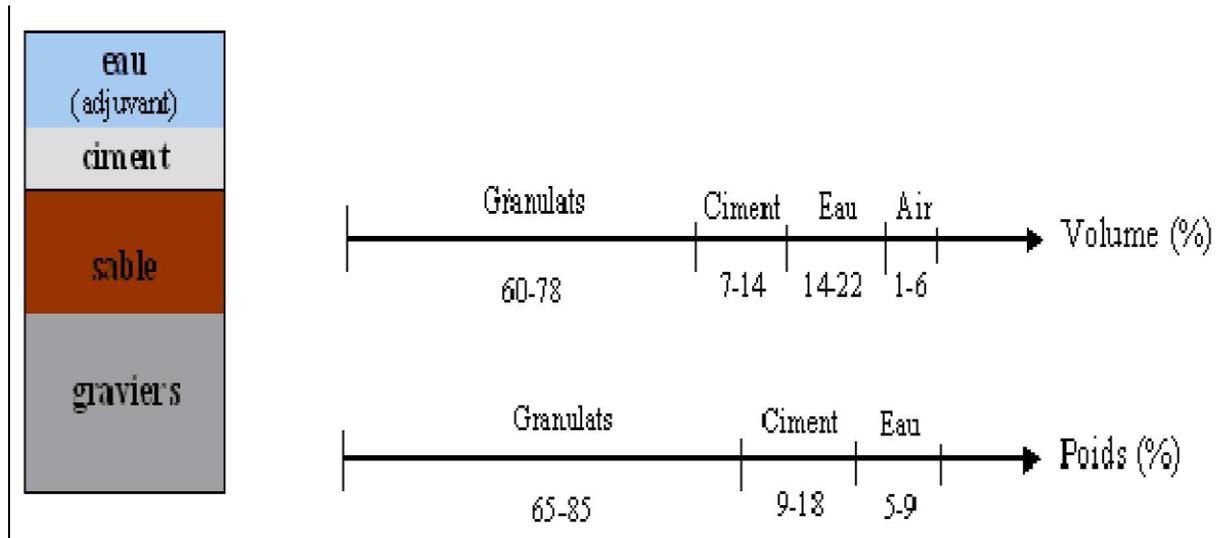


Figure I.1 : Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire.

I.2.2. Classification des bétons :

I.2.2.1. Selon la classe de consistance :

Il existe 5 classes de consistance des bétons (S1 à S5). La mesure de l'affaissement est réalisée à l'aide du cône d'Abrams (Slump test). [6].

Tableau I.1 : Classes de consistance. [7]

Classe de consistance	S1	S2	S3	S4	S5
Affaissement (mm)	10-40	50-90	100-150	160-210	>220

Les consistances peuvent également être spécifiées par d'autres essais, temps VEBE, indice de serrage ou diamètre d'étalement.

I.2.1.2. Selon la masse volumique :

En général le béton peut être classé en quatre groupes, selon la masse volumique [8] :

- ✓ Béton très lourd : $\rho > 2500 \text{ Kg/m}^3$.
- ✓ Béton lourd (béton courant) : ρ entre : 1800 - 2500 Kg/m^3 .
- ✓ Béton léger : ρ entre : 500 - 1800 Kg/m^3 .
- ✓ Béton très léger : $\rho < 500 \text{ Kg/m}^3$.

Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants :

- ✓ Béton de ciment (le ciment).

- ✓ Béton silicate (la chaux).
- ✓ Béton de gypse (le gypse).
- ✓ Béton asphalte.

I.2.1.3. Selon la résistance caractéristique à la compression :

La norme EN 206 classe les bétons en fonction de leur résistance caractéristique à la compression conformément au tableau (I.2), Dans ce tableau f_{ckcyl} est la résistance caractéristique mesurée sur cylindres (c'est cette résistance qui correspond à la résistance caractéristique à laquelle il est fait référence dans l'Euro code 2), f_{ck} cube est la résistance caractéristique mesurée sur cubes. Les valeurs soulignées sont les valeurs recommandées [9].

Tableau I.2 : Classes de résistance du béton [7].

Classe de résistance à la compression	Résistance caractéristique minimale sur cylindres (Mpa)	Résistance caractéristique minimale sur cubes (Mpa)
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60

I.3 Les ajouts minéraux :

Différentes additions peuvent être mélangées au ciment pour modifier les propriétés du béton frais et durci [Nguyen, 2007]. Les principales sont les fillers calcaires, la fumée de silice, la pouzzolane naturelle le laitier de haut fourneau et les cendres volantes. Ces additions

minérales confèrent aux bétons frais de meilleures qualités de maniabilité, augmenter la cohésion et entraînent une diminution du ressuage et de la ségrégation du béton [El Barrak, 2005]. D'un autre côté, les additions minérales améliorent aussi l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques [Lapointe, 1997] [10].

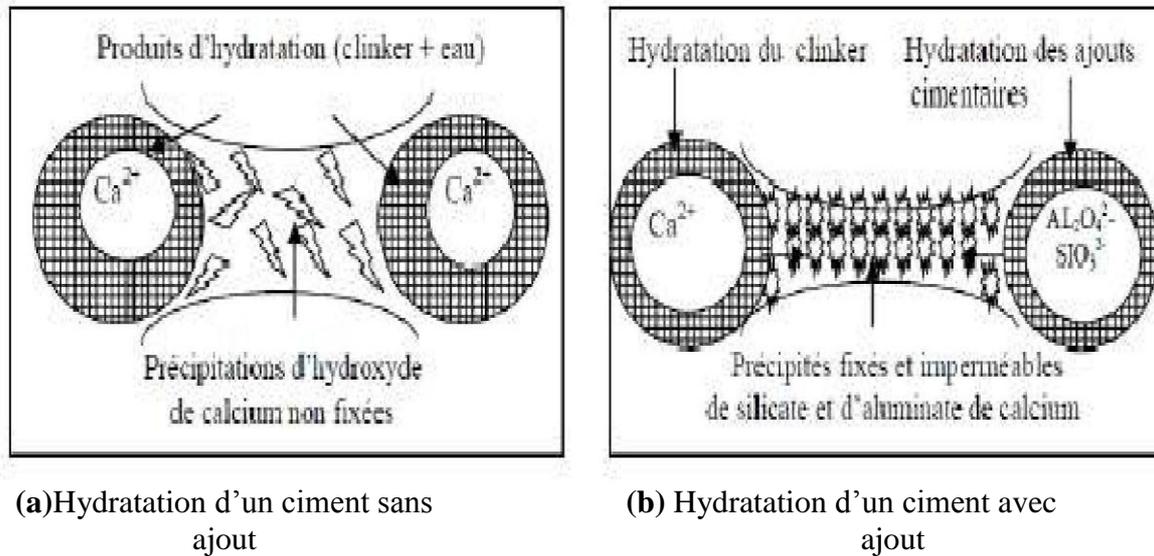


Figure I.2 : Hydratation d'un ciment [10]

I.3.1. Classification des ajouts minéraux dans le ciment Portland :

Ces matériaux proviennent principalement des sous-produits de l'industrie métallurgique, des centrales thermiques à charbon, de la nature et sont classés selon la norme NF EN 197 1 en ajouts minéraux inertes et actifs [10].

Tableau I.3 : Classification des ajouts minéraux selon leur réactivité.

Type	Réactivité	Matériau
Hydraulique		Ciments spéciaux-chaux hydraulique
Hydraulique Latent		Laitier granulé-cendres volantes riche en calcium (calciques)
Pouzzolanique	Fortement réactif	Fumée de silice
	Moyennement Réactif	Cendres volantes pauvre en calcium, pouzzolanes naturelles (verre volcanique, tufs volcanique, terres a diatomées)
	Faiblement réactif	Scories cristallines
Inerte	Non réactif	Fillers (farine calcaire,...) fibres, pigments colorants, matières expansives, dispersions synthétique

I.3.2 Principaux ajouts minéraux inertes :

Ce sont des matériaux quasiment inertes, naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés et qui par leur composition granulométrique, améliorent les propriétés physiques du ciment Portland : ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau. Parmi ces additifs on distingue les fillers calcaires et les schistes calcinés [10].

❖ Fillers Calcaires :

Les fillers calcaires sont des produits obtenus par broyage fin de roches naturelles (calcaires, basalte, bentonite, etc.) présentant une teneur en carbonate de calcium CaCO_3 supérieure à 75%. Ces produits désignés dans le commerce comme fillers sont des poudres fines à granulométries contrôlées et dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns [10].

Les fillers se différencient les uns des autres par :

- ✓ Leur origine, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs défaut de structure, les impuretés qui ils contiennent.
- ✓ leur finesse, la forme des grains, leur état de surface.
- ✓ leur dureté, leur porosité.

Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine.

❖ **Schistes calcinés :**

Les schistes acquièrent des propriétés hydrauliques et pouzzolaniques lorsqu'ils sont thermiquement activés. C'est en particulier le cas des schistes houillers brûlés dans les chaudières [10].

❖ **Sable de dune :**

Le sable est un produit de la désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie...etc. Ce matériau se trouve en grande quantité dans les régions sahariennes. Le sable de dune était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblais, de fondations et les travaux routiers.

Le sable de dunes est un matériau d'une grande disponibilité en Algérie. Ce matériau est pratiquement non exploité, malgré les éventuelles caractéristiques qu'il peut présenter.

L'introduction de ce nouveau matériau dans la construction, peut soulager d'avantage le domaine d'habitat, et contribuer au développement des régions du sud algérien, très riches en sable de dune [10].

I. 3.3 Principaux ajouts minéraux actifs :

❖ **Le laitier granulé de haut fourneau :**

Les laitiers sont des sous-produits de l'industrie métallurgique. Leur composition chimique comporte de l'oxyde de calcium (40 à 50 %), silice (25 à 35 %), l'alumine (12 à 30 %) ainsi que la magnésie et d'autres oxydes en très faible quantité. La norme distingue deux classes de laitier A et B selon la manière de traitement à la sortie du haut fourneau [NF P 18-506] [3]:

- Le refroidissement lent à l'air, qui donne un matériau cristallisé sans aucun pouvoir liant et qui peut contenir des éléments nuisibles aux bétons, ce qui amène leur utilisation comme granulats pour les travaux routiers.
- le refroidissement brusque dans l'eau ou dans l'air qui empêche la cristallisation, ce qui la rend plus réactive et permet son utilisation dans les ciments et les bétons.
- Demirboga [11] a montré en étudiant l'effet du laitier granulé de hauts fourneaux (10 %), qu'il engendrait une augmentation de la densité et une diminution de la résistance en compression à 28 jours et une amélioration à 120 jours.

D'autre part Öner et al. [12] ont étudié l'effet de la finesse sur la variation de résistance des ciments avec du laitier de haut fourneau. Les résultats ont montré que les meilleures valeurs de résistance ont été données pour une grande finesse.

Jianping et al. [13] ont étudié aussi l'effet de la granulométrie du laitier sur les résistances mécaniques et la demande en eau. Les résultats ont montré que les résistances à la flexion et à la compression augmentent avec la diminution de la taille des particules du laitier de haut fourneau. D'autre part, les particules fines du laitier augmentent les besoins en eau. De ce fait, il y'aura une augmentation du temps de prise.

I.3.5.2.1 La pouzzolane:

Les pouzzolanes sont un sous-produit composé essentiellement de silice et d'alumine (entre 70 et 80 %). Elles peuvent être d'origine naturelle ou artificielle. Les pouzzolanes sont formées surtout d'éléments vitreux elles peuvent être substituées au ciment à un pourcentage qui peut aller jusqu'à 25 % [14].

Les pouzzolanes forment des hydrates stables en présence d'eau. Elles jouent un rôle de remplissage des pores et de correcteurs granulaires. Elles modifient aussi le produit interne de la phase alite [15].

Çolak [16] a étudié plusieurs caractéristiques des pâtes de ciment Portland contenant de la pouzzolane naturelle. Il a abouti au fait que :

- La substitution de 40 % de ciment Portland par la pouzzolane naturelle augmente le temps de prise (4 à 5 h).
- L'incorporation de la pouzzolane naturelle en remplacement du ciment Portland a engendré une augmentation de la teneur en eau et de la porosité. De ce fait l'utilisation de superplastifiant est recommandée.
- La pouzzolane agit à long terme à cause des réactions avec l'hydroxyde de calcium.
- La substitution d'un grand pourcentage de pouzzolane naturelle dans le ciment a un effet néfaste sur la résistance au cycle gel-dégel et aux sulfates.

I.3.4 Intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux lors de la fabrication des ciments

Portland :

L'utilisation d'ajouts minéraux dans les industries du ciment et du béton présente des avantages techniques, économiques et écologiques [10].

❖ Intérêt du point de vue technique :

L'incorporation des particules très fines dans un mélange de béton permet d'améliorer sa maniabilité et de réduire le besoin en eau à une consistance donnée (sauf pour les matériaux de très grande surface active, comme les fumées de silice). Les ajouts cimentaires améliorent généralement la résistance mécanique, l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques. Enfin, parce qu'ils permettent une faible chaleur d'hydratation des ciments composés, les ajouts minéraux améliorent la résistance à la fissuration [10].

❖ Intérêt du point de vue économique :

Le ciment portland est le composant le plus onéreux au cours de la production du béton, puisqu'il est un matériau à forte intensité d'énergie. La plus part des ajouts susceptibles de remplacer le ciment dans le mortier ou le béton sont des sous-produits, et à ce titre, nécessite relativement moins d'énergie, sinon aucune, et sont moins coûteux que le ciment portland [10].

❖ Intérêt du point de vue environnemental :

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique (CO₂). En effet, la substitution d'une fraction de clinker permet d'obtenir des ciments aux propriétés mécaniques exploitables, ce qui permet une diminution de rejets de CO₂. Le taux de substitution de clinker est du même ordre que la diminution de rejet de CO₂ [10].

I. 3.5 Les inconvénients d'utilisation des ajouts minéraux :

- ✓ Retard de prise.
- ✓ Résistance à la compression à jeune âge plus faible.
- ✓ Mûrissement plus long.
- ✓ Résistance à l'écaillage controversée.
- ✓ Le broyage et le transport plus cher [17].

I. 3.6 Rôle de l'ajout cimentaire :

❖ Rôle de la granulométrie de l'ajout :

Les ajouts cimentaires finement broyés combler les interstices granulaires inaccessibles aux grains de ciment et rendent le mélange plus fluide ce qui permet de diminuer la quantité d'eau [17].

❖ **Rôle pouzzolanique des ajouts cimentaire :**

L'hydratation du ciment portland libère une grande quantité de chaux à la suite de la réaction de l'hydratation du C3S et C2S (30% de la masse du ciment). Cette chaux contribue peu où la résistance de la pâte cimentaire hydratée. Elle peut même être responsable de problème de durabilité puisqu'elle peut être assez facilement lessivée par de l'eau ; ce lessivage augmente alors la porosité dans le bétonné qui augmente la perméabilité de lessivage.

Les ajouts cimentaires (actifs) réagissent avec cette chaux libérée par l'hydratation du ciment pour donner des C-S-H, véritable liant contribuant à l'augmentation des résistances mécaniques du matériau. L'idéal est d'avoir une ultrafine à grande cinétique de réaction, avec des grains lisses (à défloculation facile) et à très forte activité pouzzolanique [17].

Les réactions pouzzolanique sont les suivantes :

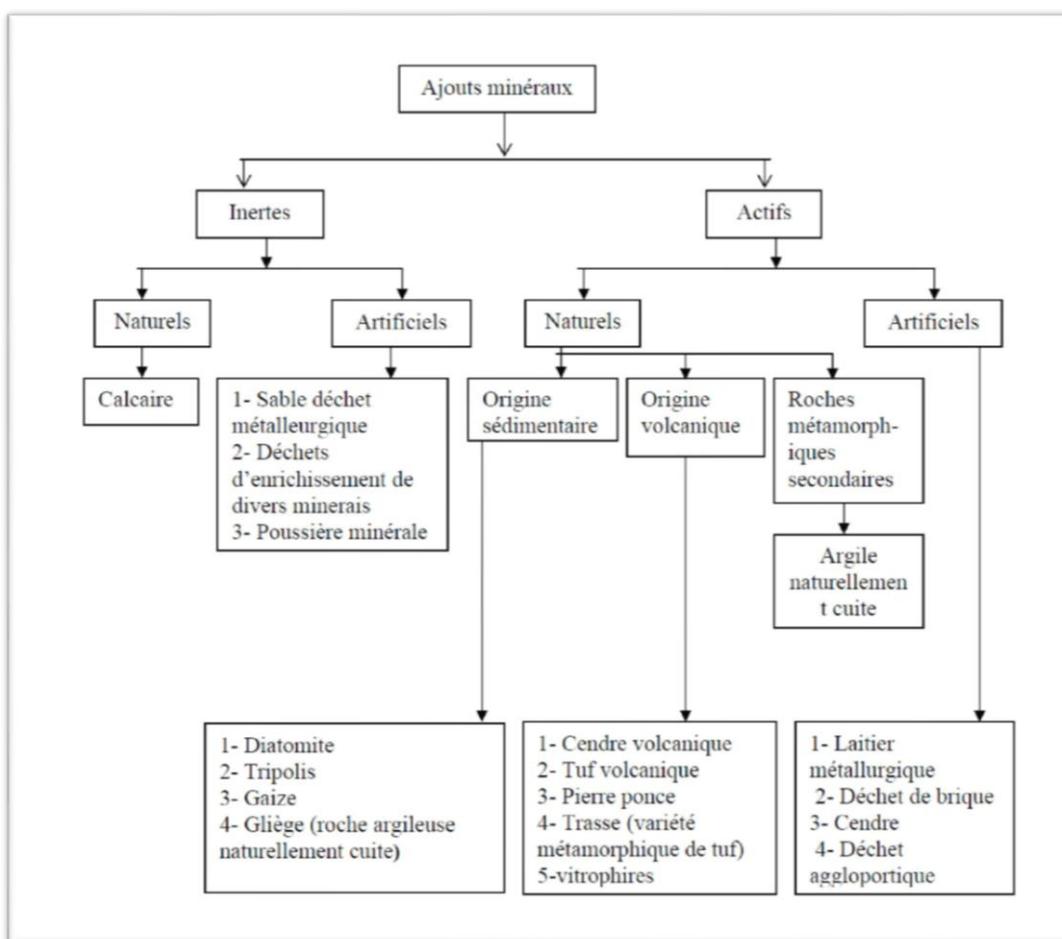


Figure I.3 : Différentes types des ajouts minéraux. [17]

I.4 Les granulats :

La définition de granulat est donnée par la norme XP-P 18.540 : « ensemble de grains de dimensions comprises entre 0 et 125mm destiné notamment à la confection des mortiers et des bétons ». Les sables sont des granulats dont le diamètre du plus gros grain doit être inférieur à 2mm. Les granulats ont une influence importante sur les performances mécaniques et sur les déformations différées du béton obtenu. En effet ils ont, en règle générale, de meilleures performances mécaniques que la pâte de ciment. L'origine du granulat doit être prise en compte pour l'explication du comportement différé du béton en conditions séchantes à température ambiante, et à hautes températures.

Les granulats peuvent également contribuer à la dégradation d'une structure en béton. En effet les granulats ne subissent pas de déformations différées à l'échelle de la durée de vie des structures. Les déformations différées de la pâte de ciment sont donc empêchées ce qui se traduit par :

- Des déformations différées à l'échelle du béton bien plus faibles que celles observées sur pâte de ciment.
- L'apparition de contraintes internes auto induites (sans chargement mécanique extérieur) dans la pâte de ciment et les granulats.

La forme et la rugosité des granulats ont une grande influence sur la compacité du mélange granulaire, qui est également sensible à la granulométrie (distribution de taille des granulats utilisés dans un béton donné). La granulométrie a pour but d'optimiser la réduction du volume des vides afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques du béton [18]. La forme et la nature (calcaire, siliceuse, silico-calcaire) des granulats choisie joue également sur l'adhérence avec la matrice cimentaire. Les granulats utilisés pour le béton sont d'origine soit naturelle, soit artificielle, soit recyclée.

I. 4.1 Les principes de fabrication des granulats :

Il n'est pas toujours possible de trouver dans la nature des gisements de granulats qui ont exactement les caractéristiques techniques désirées leur permettant de remplir sans traitement les fonctions auxquelles on les destine. Il faut impérativement les transformer dans des installations de production, ou bien les fabriquer en concassant et en tamisant des morceaux de roches abattus par dynamitage sur le front de taille d'une carrière. [19]

Les granulats sont donc produits suite aux quatre opérations suivantes:

- l'extraction de la matière première;
- le concassage;

- le criblage;
- le stockage avant expédition.

Parfois, une opération complète, remplace un de ces quatre traitements, par exemple ; la cuisson des nodules d'argile de schiste expansé prend place entre le concassage et le criblage et lorsque les nodules sont moulés, le concassage est supprimé.

Le concassage est une opération primordiale dans le cas des granulats de carrière ; intéressant généralement que les classes granulaires.

Il faut donc distinguer les sources pour décrire les particularités de la fabrication, mais on se bornera aux principes généraux car l'équipement nécessaire est extrêmement divers suivant le site, la nature des matériaux, les qualités à produire, les conditions économiques. [20]

Les granulats concassés présentant des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres :

- Origine de la roche
- Régularité du banc
- Degré de concassage

La sélection de ce type de granulats devra être faite avec soin.

Enfin, les granulats concassés sont issus généralement de deux familles de roches massives : les roches massives éruptives et les roches massives sédimentaires.

a) Roche massive éruptive :

L'origine de ces roches résulte du refroidissement d'un magma (granite, diorites, basaltes,...), ou de la transformation des roches plus superficielles sous l'effet d'une élévation de la température ou de phénomènes multiples et complexes (roches métamorphique : quartzites,...).

Ces roches, d'aspect massif sont dures et difficile travailler, leur extraction et concassage (réduction granulométrique) nécessite l'emploi de moyens importants.

De ce fait l'exploitation de ces matériaux est moins répandue que les granulats alluvionnaires, malgré qu'ils conviennent bien à la confection des bétons vu leur excellentes performances.

b) Roches massives sédimentaires :

Les roches massives sédimentaires se sont formées à la surface des continents et au fond océans. Elles englobent notamment les roches siliceuses, les roches de calcaires, et les roches carbonatées (accumulation de débris de coquilles ou de

coraux). Ces roches se distinguent des précédentes par leurs conditions de gisement et à leur difficulté d'accès vu leur répartition géographique.

Ainsi, il s'agit donc aussi d'une ressource moins répandue que les granulats alluvionnaires [20].

I.4.2 Types des granulats :

I.4.2.1 Les granulats des carrières :

Ils sont produits à partir de bancs rocheux. Pour le carrier, la connaissance approfondie des bancs de son gisement est évidemment primordial puisque les caractéristiques des granulats produits dépendent de la roche et de la structure des bancs, par exemple, si un banc calcaire dur est très fissuré, étant rempli d'argile, le sable de concassage contiendra beaucoup de fines argileuses.

L'extraction se fait par abattage à l'explosif après que la découverte (terre végétale et roche altérée surplombant le front de taille) ait été éliminée au buteur, l'abattage doit se faire selon les règles de l'art, l'usage de l'explosif étant très réglementé pour des raisons de sécurité et de nuisances à l'égard de la collectivité [20].

I.4.2.2 Les granulats alluvionnaires :

L'extraction se fait classiquement par une pelle mécanique en site terrestre et par dragage en site aquatique.

Ce sont essentiellement les conditions économiques de l'installation et du marché qui déterminent le choix du matériel à utiliser.

Contrairement au cas de l'exploitation en carrière, le concassage est une opération auxiliaire puisqu'on concasse les classes granulaires non demandées pour augmenter la production des classes déficitaires, le matériel de concassage est donc choisi en conséquence [20].

I.4.3 Procédure de fabrication des granulats :

Les granulats proviennent de l'exploitation des gisements naturels qu'ils soient d'origine alluvionnaire ou marine, ou issue de concassage des roches massives (calcaires ou éruptives). leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production [21].

On outre, quelque soit le type de granulats, leurs productions peuvent se décomposer en trois opérations : l'extraction, le traitement, le chargement et le transport.

I.4.3.1 L'extraction :

I.4.3.1.1 Granulats alluvionnaires :

Les granulats alluvionnaires sont issus de l'érosion par les eaux de rivières, fleuves, oued des différentes roches.

De ce fait, il existe deux méthodes principales d'extraction reposant sur la présence ou non d'eau ou sein du gisement.

En premier lieu lorsque le gisement à exploiter se situe au-dessus de la nappe phréatique (figure II.4). L'extraction s'effectue directement à la surface du gisement à d'engins de travaux publics (pelleteuse ou chargeurs) [22].

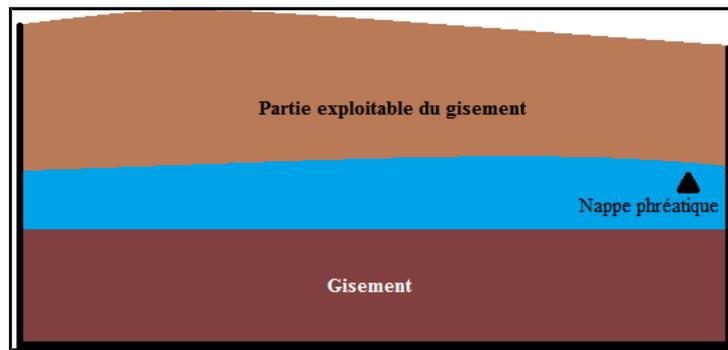


Figure II.4 : Gisement au-dessus de la nappe phréatique

En second lieu, lorsqu'une partie de gisement est situé sous le niveau d'eau (figure II.5) dans ce cas l'extraction ce fait à l'aide d'engins qui peuvent s'adapter a la situation : dragues à godets, drague à benne, drague suceuses, drague à pelle [22].

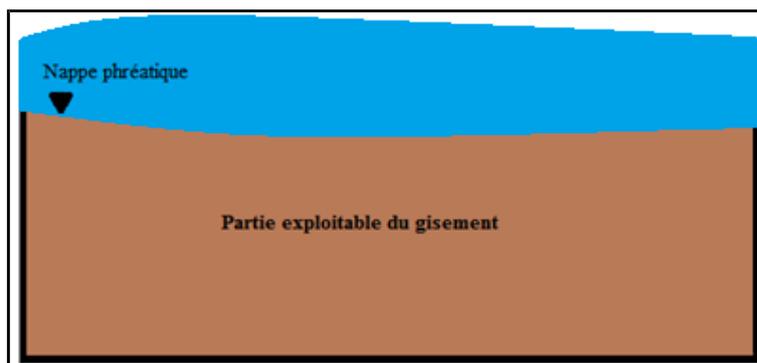


Figure I.5 : Gisement sous la nappe phréatique

I.4.3.1.2 Granulats concassés :

a. La découverte :

La roche saine (exploitable) d'un site peut être accessible qu'après décapage de la couche de terre végétale et des roches altérées (figure II.6). Ces deux derniers seront stockés sous forme merlon, pour être réutilisés lors du réaménagement du site [22].

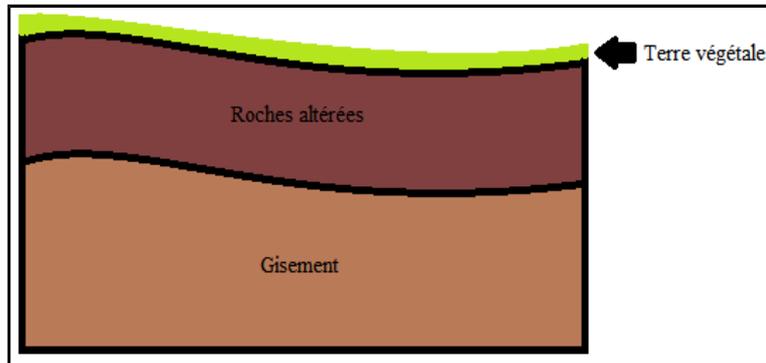


Figure I.6 : Localisation de la roche exploitable

b. L'abattage :

L'abattage consiste à défragmenter la matière première par l'utilisation d'explosifs. Les tirs de mine provoquent l'abattage d'une grande quantité de matériaux éclatés, dont la taille pouvant dépasser 1 mètre dans leur plus grande dimension.

Le montant des fines générées au cours de l'abattage peut être aussi élevé que 20% [22].

L'opération d'abattage se fait en trois étapes :

- **Implantation et forage des trous :** des forages sont effectués minutieusement dans les roches massives et dans diamètre varie en fonction du volume à abattre.
- **Chargement d'explosif :** les explosifs sont chargés par des artificiers dans les forages méthodiquement.
- **Tir :** la réduction dimensionnelle se fait dans cette dernière étape. il est exécuté de façon limité vu les nuisances (nuisances sonores, vibration et projection) qu'il engendre.

I.4.3.2 Le chargement et le transport :

Cette opération intermédiaire entre l'extraction et le traitement doit se faire de la meilleure façon qui soit pour des optimisations économiques (réduction de la distance entre l'installation d'extraction et l'installation de traitement).

Le transfert des matériaux (tout-venant), qu'ils soient concassés alluvionnaires, peut s'effectuer par des convoyeurs à bandes (photo II.1), ou moyen d'engins roulants.



Photo I.1 : Convoyeurs à bandes



Photo I.2 : Engins roulants

D'autre part, le transport des matériaux alluvionnaire dans le cas des exploitations immergées, peut s'étendre à d'autres moyens tels que l'emploi de bateaux ou de barges. L'utilisation couplée de plusieurs moyens de transport s'avère très souvent la solution la plus efficace [23].

I.4.3.3 Le traitement :

Les granulats sont produits au cours de cette dernière étape à partir de roches ou d'alluvions extrait et ayant des caractéristiques physiques et chimiques normalisées. Le traitement s'effectue au sein de la carrière, par des installations automatisées et contrôlées, et s'étale sur 5phases :

- L'élimination des impuretés
- Le concassage/broyage
- Le criblage
- Le lavage
- Le stockage et expédition

I. 4.3. 3.1 L'élimination des impuretés :

Cette opération consiste à éliminer les matériaux terreux qui sont collés à la surface des grains à l'aide d'un pré-cribleur vibrant (tamisage), ou dans cas pré-lavage.

Les matériaux traités sont ensuite pré-stockés près du poste primaire, afin d'assurer l'approvisionnement de l'installation pour étape suivante.

I.4.3.3.2 Le concassage /broyage :

Le concassage et le broyage sont des opérations mécaniques qui consistent à réduire la taille de la matière première. Ces opérations se font en plusieurs étapes, dans des appareils communément appelés concasseurs, afin d’obtenir une série de granulats. Cette phase est considérée comme étant un facteur clé dans la production réussie de sable et de graviers[24].

Le processus de concassage passe par différentes phases :

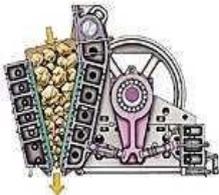
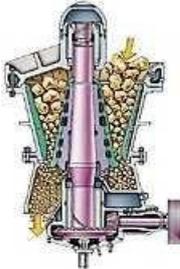
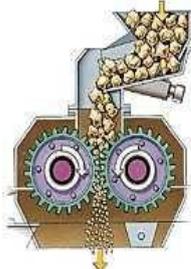
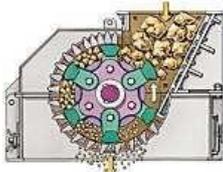
- Phase primaire : la roche extraite est fragmentée et passe de l’état de blocs à l’état de pierres (<250mm).
- Phase secondaire et phase tertiaire : au cours de ces étapes, les matériaux trop gros sont dirigés vers des concassages dits secondaire, puis tertiaire, ou des matériaux de plus en plus fins sont obtenus (0 /14mm).
- Phase quaternaire : les blocs de roches massives, issus des tirs de mines, peuvent subir jusqu’à quatre phase de concassage et de broyage avant que les dimensions des granulats recherchés ne soient obtenus.

Une sélection des grains (pré-criblage), s’effectue entre chacun de ces concassages successifs afin de ne faire passer que les éléments inférieurs à la taille voulue entre les mailles.

Dans le cas des granulats alluvionnaires, le processus de concassage est rarement effectué. Sauf en cas de présence d’éléments de taille importante (galets, gros graviers) [23].

D’autres parts, chaque étape de concassage des granulats (primaire, secondaire, tertiaire voir quaternaire) passe par un concasseur. Les principaux types de concasseurs utilisés dans les carrières sont présentés dans le tableau.

Tableau II.4 : Les principaux concasseurs utilisés [25]

	Concasseur à mâchoire	Concasseur giratoire	Concasseur à cylindre	Concasseur à percussion
Phénomène	Compression	Compression	Écrasement	Projection
Étape de concassage	Primaire	Primaire Secondaire Tertiaire	Secondaire Tertiaire Quaternaire	Secondaire Tertiaire Quaternaire
Illustration				

- **Concasseur à mâchoire** : Le matériau est comprimé entre une pièce broyante fixe et une pièce mobile.
- **Concasseurs giratoires (concasser a cône)** : Il se compose d'une large ouverture permettant d'accueillir les plus gros blocs. La base compose d'une pièce broyante, appelée « le cône », qui oscille a l'intérieur d'une pièce fixe appelée anneau de broyage ou « bol » [2].
- **Concasseur à cylindre** : c'est un appareil constitué de deux pièces broyantes mobiles, tournant dans le même sens pour obtenir des éléments de granulométrie affinés.
- **Concasseur a percussion** : C'est un nouveau type de concasseurs. L'élément central de l'appareil tourne à très grande vitesse, tout en projetant les matériaux entre eux ou sur des enclumes.

❖ **Choix du type de concasseurs :**

Le choix de broyeurs est une opération délicate, elle dépend du type de roche qui doit être traitée et du produit final exigé. D'autre part, les concasseurs représentent un investissement important. La productivité de l'installation, et le prix du produit final en dépendent énormément. En outre, la qualité du produit est un paramètre de la plus haute importance.

En effet, la plupart des fines de carrière sont produits au cours du processus de concassage, et pré-criblage de la roche. Le pourcentage de fines augmente avec l'augmentation des d'étapes de concassage.

De plus, le broyeur utilisé contrôle aussi le montant des fines produites. A titre d'exemple : Les broyeurs à percussion ont tendance à produire 25 à 30% plus de fines que les concasseurs de compression, tels que les concasseurs à mâchoires et concasseurs giratoires.

En fin, d'un point de vue énergétique et afin de satisfaire la demande, il faut souligner que l'obtention du sable de carrière nécessite plus de temps de broyage que les graviers. Il faut noter que la quantité d'énergie utilisée est proportionnelle à la taille des granulats ; on consommera 1000 fois plus d'énergie pour obtenir des granulats de 1cm que des granulats de 10 cm [25].

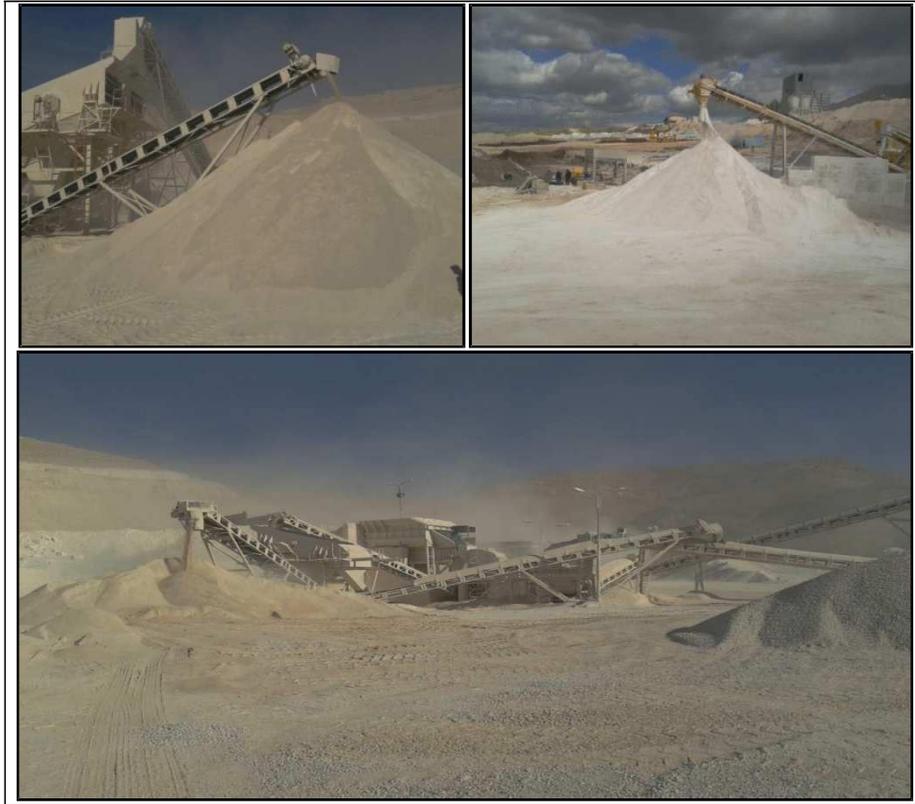


Photo I.3 : Opération de concassage

I.4.3.3.3 Le criblage :

C'est une sorte de tamisage, qui permet de sélectionner les grains, pour obtenir différentes classes de granularités normalisées (gravillons, sable). Le criblage s'effectue sur des grilles perforées (métallique, caoutchoucs, tissus synthétiques), communément appelées « cribles ». Il existe des cribles vibrants inclinés et des cribles vibrants horizontaux.

Le criblage a généralement deux vocations dans la chaîne de production [25] :

- **Une vocation technique :** qui consiste à trier et orienter des granulats, vers des unités de broyage et de concassage. Cette vocation a pour but :
 - D'éliminer Les particules inférieures à la taille voulue
 - D'éviter l'usure et le surcharge du concasseur par des particules non exploitables
 - D'augmenter le rendement du concasseur
 - De diminuer le cout énergétique
- **Une vocation de classement :** qui consiste à séparer les granulats suivant leur grosseur (criblage final). Il dépend de plusieurs du cône se
- **paramètre :**

- La quantité des matériaux à cribler
- La dimension du crible
- L'amplitude et la vitesse de criblage
- Le nombre de criblages des matériaux

I.4.3.3.4 Le lavage :

Le lavage vise à améliorer la propreté des matériaux (concassé ou alluvionnaire) afin d'avoir des matériaux « propres », qui sont réservés à la fabrication des bétons. En effet la présence de poussières, d'argiles ou de particules végétales, mélangées ou enrobant les granulats, peut les rendre impropres aux usages auxquels ils sont destinés. Car cela empêche leur adhérence avec les liants (ciment, chaux, laitier ou bitume).

D'autre part, et en fonction de l'importance et de la nature des particules, il existe différents niveaux de traitement. Ces traitements peuvent être [24] :

- **Simple** : consiste en un rinçage rapide et cela, pour les matériaux faiblement argileux ou contenant des particules fines.
- **Complexe** : consiste à faire plusieurs lavages successifs réalisés dans des postes de lavage. Ces derniers sont constitués d'appareils tel que : débourbeurs, et cyclones laveurs, et cela pour les matériaux très argileux.

Enfin, le lavage des matériaux utilise des quantités d'eau variables en fonction du degré de propreté recherché. Des installations de traitement ont vu le jour, afin de pouvoir procéder au recyclage des eaux de lavage. Ces installations fonctionnent en circuit fermé (pas de rejet vers le milieu naturel).

I.4.3.3.5 Stockage et expédition:

Une fois que les granulats ont été traités et triés selon leurs granulométries. Les produits obtenus ayant les caractéristiques voulues seront acheminés vers des aires de stockage (Photo II.4).

Enfin, selon la demande du client et des moyens existants, les produits stockés sont acheminés vers leur destination avec différents modes de transport.

D'autre part, la distance moyenne entre les carrières et les lieux de consommation a augmenté ces dernières années [23]. À titre d'exemple, un pays comme l'Algérie possède 197 unités d'extraction de granulats, dont 49 % qui se localisent majoritairement à l'Est du pays.

De ce fait, parfois le transport de ces matériaux revient particulièrement cher est ceci

quand la plupart des unités de production sont localisées en un seul point (Est de l'Algérie).

I.4.3.3.6 Suivi et contrôle de qualité:

Pendant toute la durée de production, une unité spécialisée, dont dispose toute carrière, procède au contrôle régulier par différents essais de la qualité et de la conformité des produits (granulométrie, forme, dureté, propreté...). Toute anomalie détectée par cette unité est directement envoyée à l'unité de production, qui doit faire des rectifications afin de rendre le produit apte à l'utilisation (augmentation ou réduction du débit de broyage, vérification des paramètres liés au criblage, vérification du processus de lavage des granulats) [23].

L'objectif de ces contrôles est de vérifier le respect des exigences en matière de santé, de sécurité, de traçabilité, de protection du consommateur et de l'environnement afin de pouvoir apposer le marquage CE « Conformité européenne » sur ces granulats.



Photo I.4 : Aires de stockage

I.4.4 Les caractéristiques des granulats :

I.4.4.1 Les caractéristiques géométriques :

❖ Granulométrie :

La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un granulat.

Elle consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. Les ouvertures carrées des tamis sont normalisées et s'échelonnent de 0,08 mm à 80 mm.

La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs.

Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique [NF P 18-560] [20].

❖ **Classes granulaires :**

On trie les granulats par dimension au moyen de tamis (mailles carrées) et de passoires (trous circulaires) et on désigne une classe de granulats par un ou deux chiffres. Si un seul chiffre est donné, c'est celui du diamètre maximum D exprimé en mm; si l'on donne deux chiffres, le premier désigne le diamètre minimum d , des grains et le deuxième le diamètre maximum D .

Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D . Lorsque d est inférieur à 2 mm, le granulat est désigné $0/D$.

Il existe cinq classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes d et D des granulats rencontrés (Norme NFP18-101) :

- Les fines $0/D$ avec $D \leq 0,08$ mm.
- Les sables $0/D$ avec $D \leq 6,3$ mm.
- Les gravillons d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm.
- Les cailloux d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm
- Les graves d/D avec $d \geq 6,3$ mm et $D \leq 80$ mm [20].

❖ **Module de finesse :**

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il ya trop des grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis de modules 23, 26, 29, 32, 35, 38. Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons [20].

❖ **Forme des granulats :**

La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques :

- ✓ La longueur L , distance maximale de deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat.
- ✓ L'épaisseur E , distance minimale de deux plans parallèles tangents au granulat.

✓ La grosseur G , dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat [23].

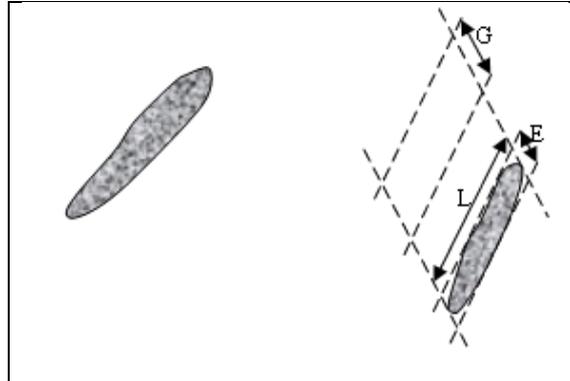


Figure II.7: Forme d'un granulat [23].

❖ Coefficient d'aplatissement :

Coefficient d'aplatissement caractérise la forme du granulat à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur. Il est déterminé par un double tamisage d'abord au travers de la série des tamis à mailles carrée utilisée pour l'étude de la granulométrie. Puis par un second tamisage des refus retenus sur les différents tamis sur une série de grilles à fentes parallèles, le rapport entre les dimensions des tamis et des grilles étant de 1,58.

La norme [NF P 18-561] définit les modalités de sa mesure [23].

I.5 Le sable :

Le sable est un élément inerte entrant à 35 % dans la composition du volume du béton, c'est pour cela qu'il est considéré comme l'un de ces principaux constituants. L'utilisation de ce dernier permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire entre le gravier et le ciment, pour une meilleure cohésion du béton [5].

I.5.1 Sable de carrière

Le sable de concassage résulte du découpage et broyage de grande pierre de carrière. Leurs formes sont souvent plus anguleuses avec des surfaces plus rugueuses que les granulats naturels, qui sont plus ronds avec des surfaces plus lisses.

Les propriétés globales du sable de concassage: la morphologie, la dureté, la densité, la stabilité physique et chimique, ainsi que la couleur, dépendent de la source d'extraction [5].

I.5.1.1 Emploi du sable de carrières dans le béton

En les récentes années, il a eu lieu un intérêt croissant de l'utilisation du sable concassé obtenu des carrières de calcaire dans quelques pays où le sable alluvionnaire n'est largement disponible. D'ailleurs, la demande en agrégats pour produire le béton est encore élevée pendant que les ressources naturelles sont en décroissance.

Une large quantité de matériau à la dimension de filler est produite durant le processus de concassage des calcaires peu solides en particulier, qui peut être utilisée comme agrégat. L'utilisation de ce matériau est bénéfique pour l'amélioration du béton de sorte à décroître le contenu en air. Pour plusieurs années, le calcaire a été de plus en plus utilisé dans le béton comme gros agrégat, filler ou constituant principal du ciment. Il est utilisé dans le béton haute performance comme dans celui d'ordinaire. Comparé au béton ordinaire, avec le même rapport E/C et même ciment, le béton avec une teneur élevée de filler et une répartition convenable, possède généralement des caractéristiques améliorées dans la résistance.

Certaines quantités de fillers dans le béton favorise l'amélioration de cohésion. Cependant, une quantité excessive de fillers tend à croître le besoin en eau et dégrade l'adhérence agrégat-pâte du ciment. Les fillers aident à réduire le contenu total d'air dans le béton. Par conséquent, ça va contribuer à améliorer la qualité du béton. La poussière du calcaire concassé est utilisée comme matériau filler dans le ciment, ou agrégat pouvant avoir quelques effets bénéfiques sur le béton dépendant du taux de substitution et de la composition chimique de la poussière.

Les granulats concassés issus de roche massive conviennent à la confection des bétons hydrauliques et à l'exécution des travaux de viabilité courants [26].

Les bétons confectionnés à partir de granulats concassés de roche massive ont une moins bonne maniabilité que les bétons de granulats alluvionnaires. Ceci est dû à la nature anguleuse, écaillée et allongée de grains de granulats concassés [27]. Pour atteindre une maniabilité comparable à celle des bétons de granulats alluvionnaire, il est nécessaire d'apporter une quantité d'eau supérieure au mélange et d'augmenter le dosage en ciment dans des proportions variant de 10 à 30 kg/m³ [28].

Toutefois, la demande en eau des bétons de granulats concassés peut être réduite en utilisant du sable alluvionnaire comme granulat fin. L'addition d'un plastifiant est également recommandée toujours dans le but d'améliorer la maniabilité des bétons frais [29].

Concernant la résistance mécanique, les bétons fabriqués avec des granulats concassés de type basalte ont généralement des résistances à la compression supérieures à celles des bétons de gravillons alluvionnaires [30, 31].

Par ailleurs, à résistance à la compression égale, les résistances à la flexion des bétons de gravillons concassés peuvent être entre 10 à 20 % supérieures à celles des bétons de gravillons alluvionnaires [31].

I.6 Le ciment :

Le ciment est un «liant hydraulique». Par «liant», il est sous-entendu une matière susceptible d'en agglomérer d'autres. Le qualificatif « hydraulique » précise, d'une part, que ce liant durcit par gâchage à l'eau, sans addition d'un autre corps réactif et, d'autre part, qu'il durcit, non seulement dans l'air, mais également dans l'eau. Notons au passage qu'un liant « pouzzolanique » à besoin d'une activation pour acquérir ce caractère d'hydraulicité. La substance qui va jouer le rôle d'activant est le plus souvent de la chaux (chaux ajoutée ou libérée par la réaction de prise d'un liant hydraulique). Mélangé à certains sols ou granulats, et en présence d'eau, le ciment crée progressivement une cohésion croissante au sein du mélange qui se traduit par l'obtention de matériaux rigides et durs à performances mécaniques élevées, compatibles avec les exigences souhaitées d'un matériau de construction [32].

I.6.1 Processus de fabrication du ciment :

En principe, la fabrication du ciment Portland est simple. Elle est faite à partir des matières premières abondantes. Des matières premières mélangées, habituellement calcaire et argile, sont chauffées dans un four de 1400 à 1600 C°, la température à laquelle ces matériaux agissent l'un sur l'autre chimiquement pour former les composants du ciment Portland. Une attention considérable est prêtée aux diverses étapes du traitement pour maintenir le bon contrôle de qualité. Ce traitement exige 60 à 80 opérations séparées et continues, l'utilisation de beaucoup de machines lourdes et d'équipement, et la consommation des grands nombres de carburant et d'énergie électrique [32].

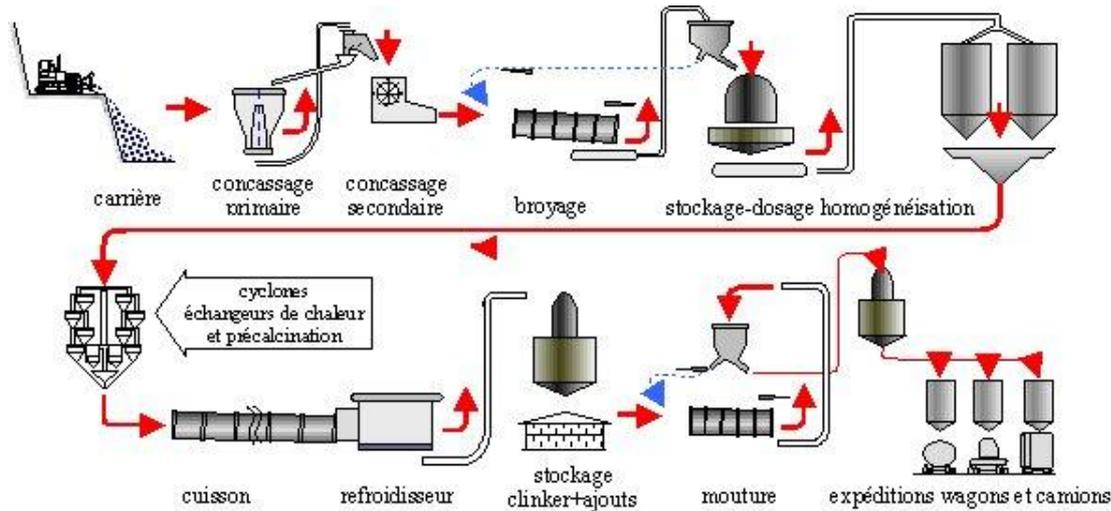


Figure I.8: Les étapes de fabrication des ciments [32].

I.6.2 Hydratation du ciment :

Le ciment Portland contient quatre constituants principaux :

- ✓ le silicate bicalcique $2\text{CaO}, \text{SiO}_2$ (ou C_2S).
- ✓ le silicate tricalcique $3\text{CaO}, \text{SiO}_2$ (ou, par abréviation, C_3S).
- ✓ l'aluminate tricalcique $3\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3$ (ou C_3A).
- ✓ l'alumino-ferrite tétracalcique $4\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$ (ou C_4AF).

L'hydratation du ciment Portland représente la réaction qui se fait entre les phases d'aluminate et les silicates de calcium anhydres avec de l'eau pour former des phases hydratées. Ces hydrates solides occupent plus d'espace que les particules anhydres et le résultat est une masse renfermée rigide dont la porosité est une fonction du rapport de l'eau au ciment (E/C) dans le mélange original. Si le mélange a la plasticité suffisante pour se rendre compacte entièrement, du fait que le rapport E/C sera faible, la résistance à la compression de la pâte du ciment hydraté, du mortier ou du béton sera élevée et ainsi que la résistance à la pénétration par des substances venant du milieu extérieur sera élevée.

Par hydratation, les silicates tricalcique C_3S et bicalcique C_2S donnent du silicate monocalcique hydraté CSH , ainsi que de la chaux libre hydratée CH dite « portlandite », formant un gel micro-cristallin à l'origine du phénomène dit "de prise", les équations suivantes récapitulent approximativement Les réactions d'hydratation :



Ce sont les cristaux de silicate monocalcique hydratés qui, en se fixant entre eux et aux constituants du matériau où ils ont pris naissance, confèrent à ce dernier sa résistance. C'est le développement et la multiplication de ces microcristaux dans le temps qui expliquent l'augmentation des résistances mécaniques. Le matériau durci est une véritable « roche artificielle » qui évolue dans le temps et en fonction des conditions extérieures [32].

I.6.3 Classification des ciments :

I.6.3.1 Classification des ciments en fonction de leur composition :

Les ciments constitués de clinker et des constitués secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux par les normes NF P15-301 et ENV 197-1. Ils sont numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne (la notation française est indiquée entre parenthèse) [33] :

CEM I : Le ciment portland (CPA-dans la notation française).

CEM II : Le ciment portland composé (CPJ).

CEM III : Le ciment de haut fourneau (CHF).

CEM IV : Le ciment pouzzolanique (CPZ).

CEM V : Le ciment au laitier et aux cendres (CLC).

La proportion (en masse) des différents constituants est indiquée dans le tableau suivant. Les constituants marqués d'une étoile(*) sont considérés comme constituants secondaires pour le type de ciment concerné, leur total ne doit pas dépasser 5%. (Les fillers sont considérés comme des constituants secondaires) [33].

II.6.3.2 Classification des ciments en fonction de leur résistance normale :

Trois classes sont définies en fonction de la résistance normale à 28 jours, des sous classes (R) sont associés à ces 3 classes principales pour désigner des ciments dont les résistances au jeune âge sont élevées. Ces classes sont notées, classe 32.5, classe 42.5, classe 52.5, elles doivent respecter les spécifications et valeurs garanties du tableau suivant.

Tableau I.5 : Spécification et valeurs garanties en fonction de la classe

Classe	Classe à la compression (Mpa) EN 196-1				Retrait à 28 j	Début de prise	Stabilité
	Au jeune âge		à 28 jours				
	2 jours	7 jours	mini	maxi	($\mu\text{m/m}$)	(min)	(min)
32.5	-	(17.5)	≥ 32.5 (30)	≤ 52.5	≤ 800	≥ 90	≤ 10
32.5 R	≥ 13.5 (12)	-	≥ 32.5 (30)	≤ 52.5	≤ 1000	≥ 90	≤ 10
42.5	≥ 12.5 (10)	-	≥ 42.5 (40)	≤ 62.5	≤ 1000	≥ 60	≤ 10
42.5R	≥ 20 (18)	-	≥ 52.5 (50)	≤ 62.5	≤ 1000	≥ 60	≤ 10
52.5	≥ 20 (18)	-	≥ 52.5 (50)	-	-	≥ 60	≤ 10
52.5 R	≥ 30 (28)	-	≥ 52.5 (50)	-	-	≥ 60	≤ 10

I.6.3.3 Classification des ciments suivant le type d'environnement :

Certains ciments ont des propriétés supplémentaires leur permettant de s'adapter à des environnements spéciaux de type :

- **Ciment PM (NF P 15-317) :** Résistant à l'eau de mer est un ciment courant possédant des caractéristiques physiques et chimiques complémentaires (teneur limitée en aluminat tricalcique) qui lui donne une résistance accrue à l'agression des ions sulfate en présence d'ions chlorure, au cours de la prise et ultérieurement[34].
- **Ciment ES (XP P 15-319) :** Résistant aux eaux sulfatées est un ciment courant présentant des teneurs limitées en aluminat tricalcique (C_3A) afin d'avoir une résistance accrue à l'agression des ions sulfate au cours de la prise et ultérieurement [35].
- **Ciment CP (NF P 15-318) :** pour béton précontrainte, on distingue deux types de ciment qui diffèrent par leur teneur en ions sulfure SO_{4-2} [36]:
 - ✓ **Ciments de la classe CP1 :** contenant moins de 0.7 % d'ions sulfure recommandé pour la précontrainte par post-tension.
 - ✓ **Ciments de la classe CP2 :** contenant moins de 0.2 % d'ions sulfure recommandé pour la précontrainte par prés-tension.

Il existe par ailleurs des ciments spéciaux répondant à des conditions spécifiques (durcissement très rapide, résistance aux fortes chaleurs ou aux agressions chimiques), c'est le

cas du ciment alumineux fondu, très résistant aux milieux acides.

I.7 L'eau :

L'eau distribuée par les services publics sert de référence pour la formulation du béton car elle répond en général aux prescriptions de la norme (NF EN 1008). Cette eau ne doit pas présenter un excès d'impuretés (NF EN 1008, 2003) qui peuvent détériorer les propriétés des bétons (résistance, propriétés esthétiques, corrosion des armatures, etc.).

Une partie de l'eau ajoutée au béton est mobilisée par les granulats (absorption, adsorption), alors qu'une deuxième partie est consommée par l'hydratation, et une troisième partie reste libre dans la matrice du béton. Cette dernière est principalement responsable de la fluidité du béton, en agissant sur la concentration en solides de la suspension entre les granulats [37].

L'augmentation du dosage en eau entraînera une augmentation de la fluidité de la pâte de ciment en diminuant la concentration en solides, ceci est traduit par une diminution du seuil de cisaillement et de la viscosité.

I.7.1 Classification des types d'eau :

En général, l'aptitude à l'emploi de l'eau pour la production de béton dépend de son origine. Les types suivants peuvent être distingués :

1. Eau potable :

Cette eau est considérée comme appropriée pour la fabrication du béton et ne nécessite aucun essai [38].

Dans notre travail, en va utiliser l'eau potable disponible au niveau de notre université.

2. Eaux d'origine souterraine :

Ces eaux peuvent être appropriées, mais doivent être soumises à des essais [38].

3. Eaux naturelles de surface et eaux de rejet industrielles :

Ces eaux peuvent être appropriées, mais doivent être soumises à des essais [38].

4. Eau de mer et eaux saumâtres :

Ces eaux peuvent être utilisées pour la production de béton non armé, mais ne conviennent pas en général à la production de béton armé ou précontraint [38].

5. e. Eaux usées :

Ces eaux ne conviennent pas pour la fabrication du béton [38].

I.8 Les méthodes de composition des bétons :

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose, ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un béton

dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage en cause [39]. Cette composition à donner à un béton dépend des qualités que l'on désire, des besoins à satisfaire et des moyens dont on dispose pour le réaliser. Les méthodes proposées sont nombreuses et il n'est pas possible de les citer toutes; elles aboutissent à des dosages « volumétriques » ou de préférence « pondéraux », le passage de l'un à l'autre pouvant toujours se faire, si nécessaire, par la connaissance de la densité apparente des granulats en vrac [39]. Ces méthodes sont dites à « granularité continue » et d'autres à « granularité discontinue »; la première permet d'obtenir des bétons plus plastiques et de bonne ouvrabilité, par contre la seconde conduit à des bétons à maximum de gros éléments et minimum de sable présentant en général des résistances en compression un peu supérieure mais parfois au détriment de l'ouvrabilité. Cependant, on peut estimer que pratiquement la plupart des bétons actuellement utilisés sont à granularité continue[39]. De nombreux spécialistes se sont penchés sur cette question. Mais quelques méthodes sont plus utilisées, parmi elles nous pouvons citer :

- ✓ La méthode de Bolomey.
- ✓ La méthode d'Abrams.
- ✓ La méthode de Faury.
- ✓ La méthode de Valette.
- ✓ La méthode de Joisel.
- ✓ La méthode de Dreux-Gorisse.

I.9 Propriétés principales des bétons :

I.9.1 Propriétés Physiques :

I.9.1.1 Ouvrabilité :

L'ouvrabilité est une qualité essentielle du béton ; elle peut se définir comme la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et du ferrailage : une bonne ouvrabilité comporte une marge de sécurité permettant sans conséquence fâcheuses. Une certaine et nécessaire latitude par rapport aux bonnes et plus ou moins rigoureuses règles à appliquer pour une exécution optimale. L'ouvrabilité dépend, en effet, la plupart des qualités de l'ouvrage : compacité et résistance réelle du béton dans l'ouvrage lui même, enrobage et adhérence des armatures, cohésion du béton entraînant un moindre risque de ségrégation, parements de belle apparence, étanchéité. C'est pourquoi l'ouvrabilité doit être considérée par le laboratoire chargé de l'étude d'un béton, comme une qualité aussi importante que la résistance.

Elle est influencée par la granulométrie et la forme des granulats, par le dosage en ciment et en eau, par l'emploi éventuel d'adjuvants. Les essais de mesure de consistance du béton les plus courants sont l'essai d'affaissement au cône d'Abras [norme NF P 18-451], l'essai d'étalement à la table à secousses et maniabilimètre L.C.P.C. Mais les essais vété et indice de serrage ne s'appliquent qu'à des bétons très fermes [40].

I.9.1.2 Le Retrait :

Est une diminution dimensionnelle du béton en l'absence de chargement, dû à l'élimination d'une partie de l'eau de gâchage et aux réactions d'hydratation des grains de ciment. Le siège du retrait se situe dans la pâte du ciment, selon les circonstances, peuvent se développer dans un béton.

Le durcissement sous l'eau diminue beaucoup les effets de retrait. C'est pourquoi il convient de tenir les pièces humides en les arrosant pendant leur durcissement (cure du béton) à une époque où le béton très jeune n'a encore qu'une faible résistance en traction et se fissurerait facilement sous l'effet du retrait. Généralement le retrait est différent selon la région par exemple :

Région très humides : $\Delta L/L = 1.5 \times 10^{-4}$ à 2×10^{-4} (mm/m).

Région très sèches (Sahara) : $\Delta L/L = 5 \times 10^{-4}$ (mm/m).

Il y a cinq types de retrait : Le retrait plastique, le retrait de séchage, le retrait endogène, le retrait thermique et le retrait de carbonatation [40].

I.9.1.3 La compacité et la porosité :

Sont des caractéristiques physiques essentielles du béton, conditionnent plusieurs propriétés de ce dernier telles que sa perméabilité, ses résistances mécaniques, son module d'élasticité et surtout sa durabilité.

Plus la porosité diminue, plus la compacité augmente, plus la perméabilité diminue, et plus les propriétés mécaniques augmentent.

La porosité du béton est constituée de plusieurs familles de vide, qu'on peut classer en fonction de leurs dimensions, leurs géométries et de leur rôle dans le transport de matière : Les dimensions sont comprises entre quelques mm et quelques dizaines d'Armstrong. Les plus petits vides du béton sont donc 1 million de fois plus petits que les plus gros. Par ordre décroissant de diamètre on retrouve :

- ✓ **Les vides d'air ou pores** (diamètre > 1 mm), ces vides ne sont généralement pas remplis d'eau.
- ✓ **Les bulles d'air entraînées** ($10\mu < \text{diamètre} < 1\text{mm}$).

- ✓ **Les pores capillaires** ($0.01\mu\text{m} < \text{diamètre} < 5\mu\text{m}$), si le béton est constamment conservé à l'humidité, on peut considérer que les pores capillaires sont pratiquement remplis d'eau. Par contre, si le béton est soumis au séchage, les pores capillaires commencent à se vider graduellement en commençant par les plus gros.
- ✓ **Les pores des gels** (diamètre $< 40 \text{ \AA}$), contiennent de l'eau qui est en partie adsorbée à la surface des feuillettes de C-S-H. cette eau est relativement stable est difficile de l'extraire par séchage[41].

I.9.1.4 Perméabilité et diffusivité :

La perméabilité est l'aptitude d'un matériau à se laisser pénétrer et traverser par un fluide (eau, air, ou un autre gaz ...). Elle est directement liée aux caractéristiques du réseau poreux (forme, dimension, distribution, sinuosité, etc.), la perméabilité des matériaux cimentaires varie avec la progression de l'hydratation.

La diffusion est relative au déplacement d'une espèce chimique à l'échelle moléculaire sous l'effet d'un gradient de concentration, elle ne dépend pas de la taille des pores mais de leur inter connexion, les mécanismes et les lois qui régissent la perméabilité et la diffusivité sont différents mais les moyens d'action les limitant sont les mêmes c.-à-d., limiter le volume occupé par l'eau et la connectivité du réseau capillaire, car le béton est d'autant plus durable qu'il résiste à la pénétration des agents agressifs extérieurs.

I.9.2 Propriétés mécaniques :

I.9.2.1 Résistance mécanique :

La résistance mécanique d'un béton dépend de plusieurs paramètres à savoir :

- ✓ La nature et la qualité des constituants (ciment, granulats, eau, adjuvant).
- ✓ Les conditions de mise en œuvre de ces constituants.
- ✓ Les conditions thermo hygrométriques ambiantes de conservation.

I.9.2.2 Résistance à la compression :

La résistance en compression simple du béton est le paramètre fondamental du comportement pour l'ingénieur de bureau d'études. Est la propriété la plus utilisée dans le dimensionnement et la conception des ouvrages en béton armé.

Tout d'abord, l'ingénieur de bureau d'études s'intéresse à une valeur caractéristique le plus souvent à 28 jours. Cette durée ne signifie pas que les réactions d'hydratation du ciment sont terminées. C'est, en fait, un compromis entre un délai trop long pour le contrôle et l'obtention d'une valeur représentative de la résistance finale que l'on peut considérer comme acquise après plusieurs mois de réactions d'hydratation [42].

I.9.2.3 Résistance à la traction :

La mesure de la résistance en traction est beaucoup plus rare que celle de la résistance en compression. Ceci essentiellement parce que, dans les règlements actuels, le béton tendu est généralement négligé (en béton armé et précontraint, mais pas dans les chaussées, par exemple). De plus, cette résistance en traction étant faible, une estimation à partir de la résistance en compression est souvent suffisante [42].

I.9.3 Durabilité :

Un béton durable est un béton capable de résister à un degré satisfait aux attaques chimiques et à tout processus de détérioration. Il conserve sa forme originale et sa qualité quand il est exposé à son environnement. La durabilité du béton dépend des facteurs qu'il n'est pas toujours aisé d'isoler : condition de mise en œuvre, compositions des différents constituants (ciment, granulats, eau, adjuvants), âge du béton, conditions climatiques et le milieu dans lequel le béton est exploité.

Les facteurs influençant la durabilité peuvent être internes aux bétons comme la porosité, perméabilité et diffusivité, la fissuration, les ions chlore (présent dans certains accélérateurs et eau de gâchage), réaction alcalis granulats, les ions sulfates (dans certains granulats calcaires), ou externes (cycle de gel dégel, l'action des sels de déverglaçage...), les ambiances chimiquement agressives notamment le dioxyde de carbone, les eaux souterraines, l'eau de mer, les acides ...etc.

I.10 Conclusion :

Au terme de ce chapitre, on peut prétendre à une meilleure connaissance du matériau béton. En effet, connaître les constituants du béton, leurs mécanismes d'action et leurs propriétés, permet de dégager une problématique importante concernant la compatibilité entre les différents constituants du béton dans les mélanges hydrauliques.

Ainsi l'évolutivité et la complexité des constituants tels que les granulats, et plus particulièrement le sable de carrière, ne permettent pas d'avoir une approche solide sur l'action de tous les sables dans les matériaux cimentaires. De plus, la différence des méthodes d'exploitation, ainsi que des sources minéralogiques assombrissent la contribution de ces derniers dans les bétons hydrauliques.

De ce fait, il serait nécessaire de compléter cette étude par une recherche plus rigoureuse sur le rôle des sables de carrière, et plus particulièrement leur fraction fine sur les propriétés rhéologiques et mécaniques, ainsi que sur la durabilité des bétons, et ceci afin de valoriser économiquement d'une part, et de résorber leur aspect nuisible sur les bétons.

Méthodes et matériaux utilisés

II.1 Introduction :

La caractérisation des matériaux utilisés dans la composition d'un béton joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances ultérieures. En effet, les propriétés essentielles du béton sont largement influencées par les caractéristiques de ses constituants.

De ce fait, la normalisation des modes d'essais et d'identification des composants d'un béton, selon les normes en vigueur, devient une condition nécessaire pour l'obtention d'un béton avec des résultats expérimentaux comparables avec ceux donnés dans la littérature.

Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux à utiliser dans la confection des bétons à étudier ainsi que les essais à effectuer selon les normes et les modes opératoires en vigueur.

II.2 Matériaux utilisés :

Nous avons utilisé les matériaux locaux, leurs caractéristiques sont étudiées expérimentalement au laboratoire de génie civil à l'université de Mohamed EL Bachir el Ibrahim de Bordj Bou Arreridj, et le laboratoire de la cimenterie d'AIN KEBIRA pour les ajouts minéraux actif (pouzzolane, laitier).

Qu'il soit le béton frais ou durci nous avons choisi d'utiliser deux types des ajouts et trois types de sable de carrière.

II. 3 Caractéristiques des matériaux

II. 3.1 Caractéristiques du gravier :

Le gravier utilisé dans notre étude expérimental pour la confection des différents types de bétons provient de la carrière de Sétif, obtenu après Concassage de roches naturelles .Les fractions utilisées dans notre étude sont : **(8/15) et (15/20)**.

II.3.1.1 Analyse granulométrique par tamisage [NA EN 933-5] :

❖ But de l'essai :

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la grosseur et les pourcentages Pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon.

❖ Principe de l'essai :

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de tableaux et sous forme graphique.

❖ Préparation de l'échantillon pour l'essai :

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme (NA EN 933-5). La masse M de l'échantillon pour essai doit être supérieure à **0,2 D**, avec M exprimé en kilogrammes et D plus grande dimension spécifiée en millimètres.

L'opération du tamisage du gravier se fait au moyen d'une tamiseuse où on place la série des tamis sur le cercle inférieur du cadre de l'appareil en suite l'ensemble est serré par la couronne supérieure, à l'aide de deux jeux de ressort et vis de blocage.

La vibration se fait 03 fois durant 07 minutes à chaque fois.

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux suivants :

Tableau II.1 : Analyse granulométrique du gravier concassé (8/15) et (15/20)

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumule		Tamisât(%)
			(g)	(%)	
8/15	16	26.35	26.35	1.01	98.99
	12,5	445.67	472.02	19.69	80.31
	10	898.99	1371.01	54.26	45.74
	8	507.06	1878.07	73.77	26.23
	6,3	620.86	2498.93	97.65	2.35
	5	51.99	2550.92	99.65	0.35
	Fond	7.92	2558.84	99.84	0.16
15/20	20	91.5	91.5	1.83	98.17
	16	2890.5	2982	59.64	40.36
	12,5	318.5	4838	96.76	3.24
	10	132	4970	99.4	0.6
	8	25.5	4995.5	99.91	0.09
	Fond	3	4998.5	99.97	0.03

Les courbes granulométriques de différentes fractions granulaires utilisés sont tracés ci-dessous.

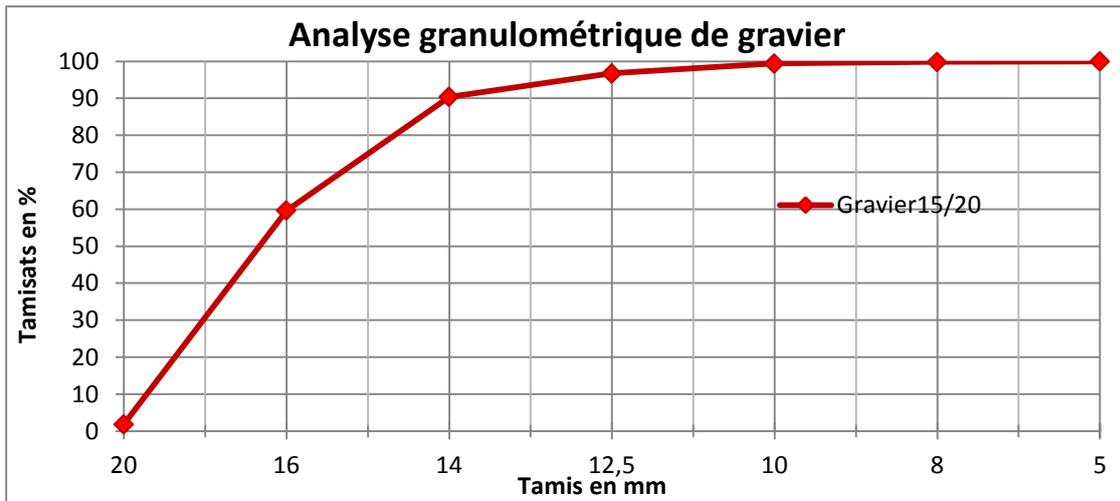


Figure II.1: Courbe granulométrique des graviers concassés (15/20)

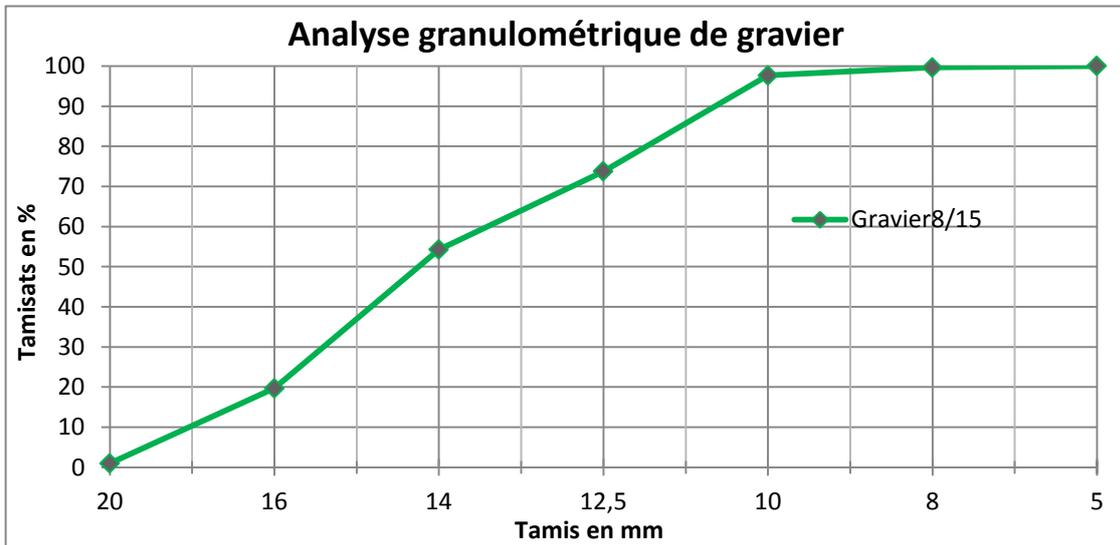


Figure II.2 : Courbe granulométrique des graviers concassés (8/15)

II.3.1.2 La masse volumique :

C'est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume, on distinguera :

a) La masse volumique apparente (γ) :

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et les capillaires). Elle est exprimée en (g/cm^3 ; Kg/m^3 ; t/m^3).

❖ Principe :

Il s'agit de remplir une mesure de 1 litre ou plus (2litres, 5 litres) avec le matériau et de déterminer la masse du contenu.

Le mode de remplissage de la mesure a une influence très importante sur les résultats, il faudra réaliser les essais avec du matériel aussi simple que possible, et très soigneusement

➤ **Mode opératoire :**

- Peser le récipient à vide et noter M_1
- Prendre le matériau dans les 2 mains formant entonnoir,
- Placer les 2 mains à 10 cm environ au-dessus de la mesure et laisser tomber le matériau ni trop vite, ni trop lentement,
- Verser ainsi le matériau au centre de la mesure jusqu'à ce qu'il déborde autour en formant un cône,
- Araser à la règle, et Peser le contenu et noter M_2 .

La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$\gamma = (M_2 - M_1) / V$$

M_1 : masse du récipient vide.

M_2 : masse du récipient et gravier.

V : volume de récipient.

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

Tableau II.2 : Masse volumique apparente du gravier concassé (8/15) et (15/20)

Fraction	V_r (cm ³)	M_1 (g)	M_2 (g)	$M_{2\text{ moy}}$	γ_{app} (g/cm ³)
8/15	5	836,5	7780	8616.5	1,56
			7780		
			7800		
15/20	5	836,5	14140	15009.83	1,417
			14180		
			14200		

b) **La masse volumique absolue (ρ) :** [NF P 18- 555].

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte des vides et les pores). Elle est exprimée en (t/m^3 , kg/dm^3 , g/cm^3).

➤ **Principe :**

Consiste à mesurer le volume réel occupé par les granulats, sans tenir compte des vides. Dans notre étude on va utiliser la méthode de l'éprouvette graduée, car cette méthode est très simple et très rapide.

➤ **Mode opératoire :**

- ✓ Mettre dans une éprouvette graduée en verre un volume d'eau V_1 .
- ✓ Peser une masse M du corps (300 g) et l'introduire dans l'éprouvette.
- ✓ Bien éliminer les bulles d'air.
- ✓ Lire le nouveau volume V_2 .
- ✓ Le volume absolu ou réel est : $V = V_2 - V_1$
- ✓ La masse volumique réelle est : $\rho = M / (V_2 - V_1)$

L'opération se fait 03 fois et en prendre la moyenne.

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

Tableau II.3 : Masse volumique absolue du gravier concassé (8/15) et (15/20)

Fraction	M (g)	V (cm ³)	V _t (cm ³)	V _{moy} (cm ³)	γ _{abs} (g/cm ³)
8/15	300	400	510	913.33	2,07
			515		
			515		
15/20	300	400	510	913.33	2,05
			515		
			515		

II.3.1.3 La porosité :

C'est le rapport entre le volume des vides d'un matériau et son volume total, elle représente donc le degré de remplissage de son volume occupé par les vides.

La porosité est exprimée en pourcentage (%) et définie par la relation :

$$P (\%) = V_v / V_t \times 100$$

En peut exploiter les résultats des masses volumiques pour déterminer la porosité de notre gravier d'où :

$$P (\%) = (1 - \gamma/\rho) \times 100$$

II.3.1.4 La compacité :

C'est le quotient du volume des grains solides et le volume total du matériau, elle est exprimée en pourcentage (%) et donner par la relation suivante :

$$C(\%) = (V_s / V_t) \times 100$$

Aussi :

$$C(\%) = 1 - P$$

II.3.1.5 L'indice des vides :

C'est le rapport entre le volume occupé par les vides et le volume de la partie solide des grains, V étant le volume total occupé par les granulats.

$$e(\%) = V_v / V_s$$

Aussi :

$$e(\%) = (1 - c) / c$$

Tableau II.4 : Porosité, compacité et indice des vides du gravier concassé

Gravier	Porosité P (%)	Compacité C(%)	Indice de vide e(%)
8/15	48 ,55	51,45	0,94
15/20	46 ,00	54,00	0,86

II. 3.1.6 Degré d'absorption d'eau [NA EN 1097-6] :

C'est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau. Elle est exprimée en (%) et définit par la formule :

$$A (\%) = [(MH - MS)/MS].100$$

MH : La masse du matériau saturé d'eau en (g).

MS : La masse du matériau sec en (g). [20]

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II.5 : Degré d'absorption d'eau des agrégats (8/15) et (15/20)

Fraction	M _H (g)	M _s (g)	A (%)
8/15	1016.50	1000	1.65
15/20	1011.50	1000	1.15

II.3.1.7 La résistance à la fragmentation par chocs (Essai Los Angeles) : EN 1097- 2

❖ **But de l'essai :**

Estimer la résistance à la fragmentation par chocs ou bien la dureté des agrégats.

❖ **Principe de l'essai :**

Faire rouler dans un tambour rotatif un échantillon de granulats mélangé à des boules d'acier. A la fin, évaluer la quantité de matériau retenu sur le tamis de 1.6 mm.

Il se pratique sur une des six classes granulaires qui sont : (4/6.3) ou (6.3/10) ou (10/14) ou (10/25) ou (16/31.5) ou (25/50).

On place un échantillon de 5 kg de granulat et 7 à 12 boulets d'aciers dans un tambour pouvant tourner de son axe, la charge des boules est fixée conformément aux indications du tableau ci-après.

Tableau II.6 : Adaptation des charges des boulets correspondant à la classe granulaire choisie.

Classes granulaires (mm)	Nombre de boulets	Masse totale de la charge (g)	
4 - 6.3	7	3080	+20
6.3 – 10	9	3960	à
10 – 14	11	4840	-150
10 – 25	11	4840	+20
16 - 31.5	12	5280	à
25 – 50	12	5280	-150

❖ **Mode opératoire :**

- Après introduire l'échantillon et les boules d'acier avec soin dans le tambour, en faire opérer la machine de Los Angeles.
- Faire effectuer à la machine 500 rotations avec une cadence régulière comprise entre 30 tr /min à 33 tr/min.
- Après l'achèvement de l'essai, en recueillir les granulats dans un bac placé sous l'appareil, en ayant soin d'amener l'ouverture, juste au-dessus de ce bac, afin d'éviter les pertes de matériau.
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6 mm.
- Laver le refus au tamis de 1.6 mm égoutter et sécher à l'étuve à 105°C, jusqu'à masse constante.



Photo II.1 : Appareille de Los Angeles



Photo II.2 : L'échantillon et les boules

Peser ce refus une fois sécher. Soit **P** le résultat de la pesée avec :

$$P = 5000 - \text{refus}$$

Le coefficient de Los Angeles L_A est donné par la relation suivante :

$$L_A = 100 (P/5000)$$

P : est le passant à 1.6mm.

Le tableau suivant donne l'estimation de la dureté des agrégats en fonction du coefficient L_A :

Tableau II.7 : Estimation de la dureté des agrégats en fonction du coefficient L_A [93].

Coefficient L_A (%)	Estimation de la dureté des agrégats
< 20	Très dure
20 à 25	Dure
25 à 30	Assez dure
30 à 40	Mis dure
40 à 50	Tendre
>50	Très tendre

II.3.2 Caractéristique du sable :

Les sables utilisés sont un sable concassé de la central a béton et le sable de ces sables naturel (WADE SOUFE) provenant d'une carrière. (1.2.3)

Dans une ce projet, on a jugé important d'utiliser : Pour les sables concassés

- Sables concassé de la carrière de EL-EUCH.....SC1.
- Sables concassé de la carrière de EL-THENAI.....SC2.
- Sables concassé de la carrière de TEXTER.....SC3.

II.3.2.1 Analyse granulométrique [NA EN 933-1]

➤ **But de l'essai :**

Permettre la détermination de la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon.

➤ **Principe de l'essai :**

Faire passer l'échantillon tester à travers une série des tamis décroissante de plus grand à plus petit, et faire peser le refus dans chaque tamis.

➤ **Mode opératoire :**

Le mode opératoire est identique à celui cité précédemment dans la partie de graviers, la seule différence est la durée de l'essai qu'elle été 3minute dans le cas des sables.

Les résultats de l'analyse granulométrique du sable d'Oued souf sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II. 8 : Analyse granulométrique du sable Natural

Type de Sable	Tamis (mm)	Refus partiel(g)	Refus cumulés		Tamisât(%)
			(g)	(%)	
0/5	5	0	0	0	100
	2,5	4	4	0.4	99,6
	1,25	50	54	5.4	94.6
	0,63	205.5	295.5	25.95	74.05
	0,315	432.5	692	69.2	38
	0,16	237.5	92.95	92.95	7.05
	0,08	49	979	97.9	2.1
	Fond	13.5	1000	100	0

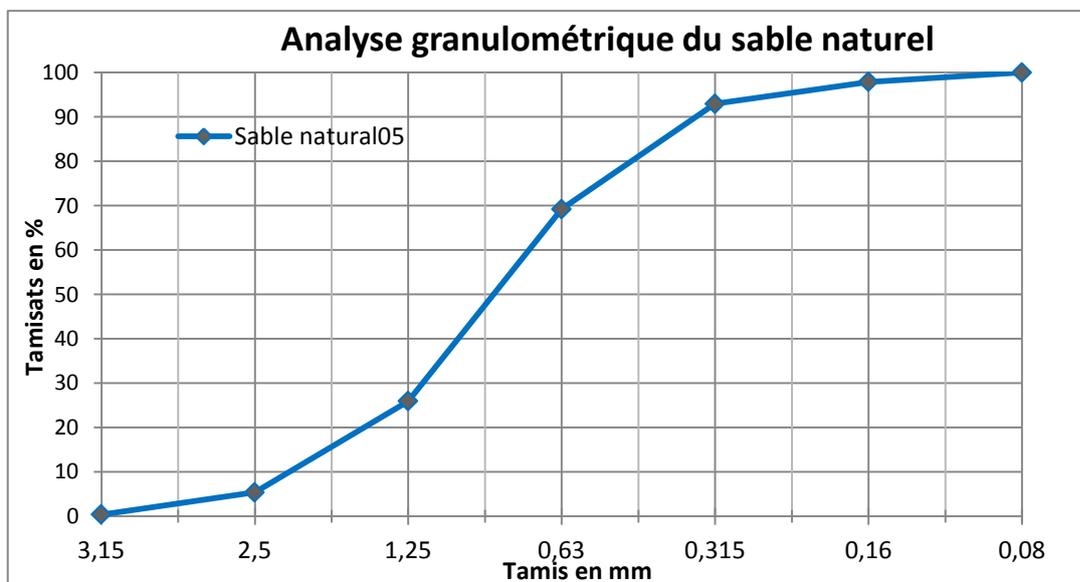


Figure II.3 : Courbe granulométrique de Sable Natural

Tableau II.9: Analyse granulométrique du sable concassé(1).

Type de Sable	Tamis (mm)	Refus partiel(g)	Refus cumulés		Tamisât(%)
			(g)	(%)	
0/5	5	0	0	0	100
	2,5	200	200	20.00	80
	1,25	331	531	53.11	49.6
	0,63	178	709	70.90	29.1
	0,315	108	817	81.70	18.3
	0,16	104	921	92.1	7.90
	0,08	64	985	98.5	1.50
	Fond	13	1000	100	0.20

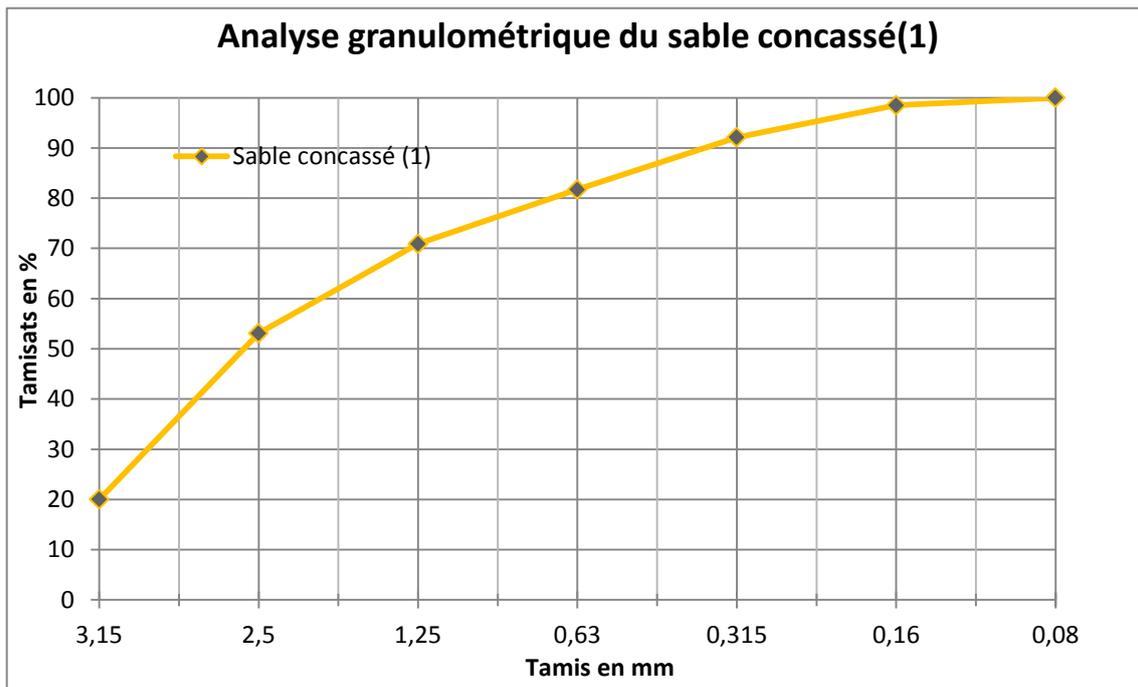


Figure II.4 : Courbe granulométrique de Sable concassé(1).

Tableau II.10: Analyse granulométrique du sable concassé(2).

Type de Sable	Tamis (mm)	Refus partiel(g)	Refus cumulés		Tamisât(%)
			(g)	(%)	
0/5	5	0	0	0	100
	2,5	361	361	36.1	63.9
	1,25	344	705	70.5	29.5
	0,63	119	824	82.4	17.5
	0,315	82	906	90.6	9.4
	0,16	69	975	97.5	2.5
	0,08	13	988	98.8	1.2
	Fond	6	1000	100	0.6

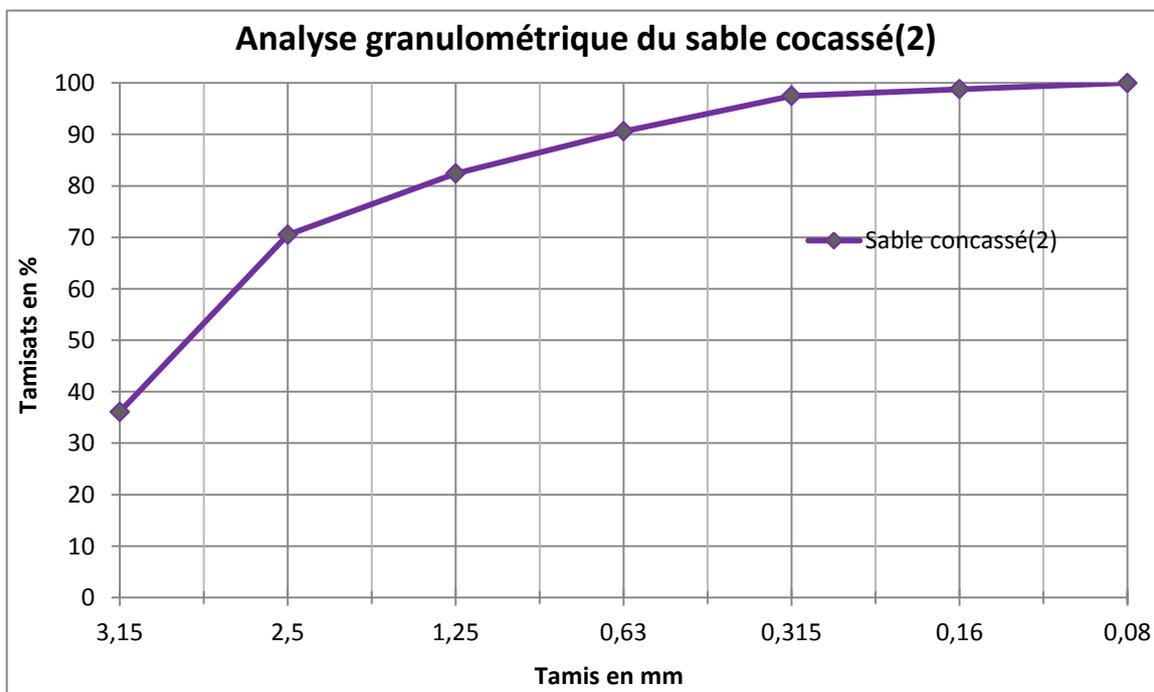


Figure II.5: Courbe granulométrique de Sable concassé(2).

Tableau II.11: Analyse granulométrique du sable concassé(3).

Type de Sable	Tamis (mm)	Refus partiel(g)	Refus cumulés		Tamisât(%)
			(g)	(%)	
0/5	5	0	0	0	100
	2,5	390	390	39.00	61
	1,25	215	605	60.5	39.5
	0,63	133	738	73.8	26.7
	0,315	92	830	83.00	17
	0,16	104	934	93.4	8.6
	0,08	54	988	98.8	1.3
	Fond	8	1000	100	0.4

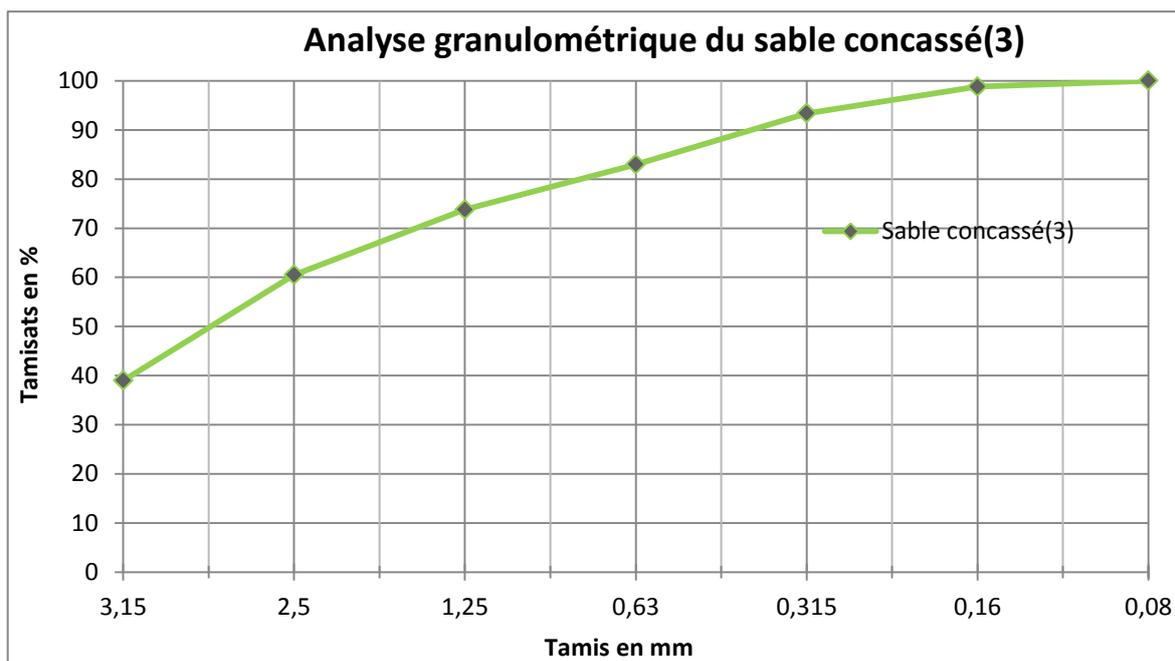


Figure II.6 : Courbe granulométrique de Sable concassé(3).

II.3.2. 2 Modules de finesse [NA EN 12620] :

Le module de finesse d'un sable est égal au 1/100 de la somme de refus exprimés en pourcentage sur les différents tamis.

Tableau II.12 : Module de finesse du sable[20]

Quantité du sable	Module de finesse
Gros	>2.5
moyen	2 à 2.5
Fin	1.5 à 2
Très fin	1 à 1.5

$$MF = \sum R_i / 100$$

$$MF = (1/100) \sum (\text{refus cumulés en \% des tamis } \{0.08-0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-3.15 \})$$

Après l'analyse granulométrique on trouve que, le module de finesse du sable testé est égal à :

MF = 3.18, 1.009 2 < MF > 2.5 (C'est un sable gros).

MF = 3.83, 3.771 2 < MF > 2.5 (C'est un sable gros).

MF = 3.50, 3.178 2 < MF > 2.5 (C'est un sable gros).

II.3.2.3 Equivalent de sable : [NA EN 933-8]

➤ **But de l'essai :**

Cet essai consiste à déterminer la quantité d'éléments fins (argile, limons, impuretés) contenus dans le sable par rapport à la quantité d'éléments sableux.

➤ **Mode opératoire :**

- ✓ Remplir l'éprouvette d'une solution la verse jusqu'au premier repère.
- ✓ A l'aide d'un entonnoir, verser l'échantillon de sable de 120±1g dans l'éprouvette taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de libérer les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- ✓ Laisser reposer pendant 10 min.
- ✓ Boucher l'éprouvette à l'aide d'un bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20 cm de secousses horizontales en 30s à l'aide de l'agitateur mécanique.
- ✓ Retirer le bouchon de l'éprouvette, le rincer avec solution la verse au-dessus l'éprouvette et rincer ensuite les parois de celle-ci.

- ✓ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette tout en imprimant au tube un léger gerpillage.
- ✓ Après 20 min de dépôt, lire la hauteur h_1 , de niveau supérieure de flocculat jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle.
- ✓ Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire du fond de l'éprouvette.

$$E_{sv} = (h_2/h_1) \cdot 100\%$$

Avec :

h_1 : hauteur du sable plus flocculat.

h_2 : hauteur du sable.

Introduire le piston dans l'éprouvette et la laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment.

$$E_{sp} = (h'_2/h_1) \cdot 100\%$$

Avec :

h_1 : hauteur du sable plus flocculat.

h'_2 : hauteur du sable.

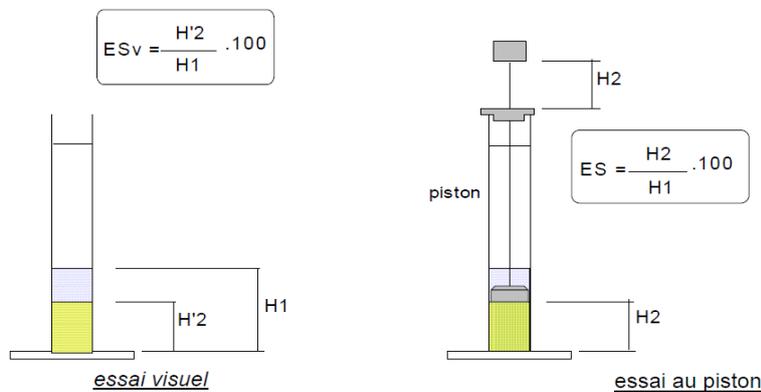


Figure II.7 : Essai d'équivalent de sable.

**Tableau II.13 : Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable ESV et ESP
[BRETTE Alain,]**

Esv	Esp	Nature et qualité de sable
Es <65	Es <65	Sable argileuse : risque de retrait au de gonflement à rejeter pour des bitons de qualité.
65<Es<75	65<Es<80	Sable légèrement argileux de propriétés admissible convient parfaitement pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75 ≤ Es ≤ 85	70 ≤ Es ≤ 80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.
Es ≥ 85	Es > 85	Sable très propre ; l'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

En a répété l'essai 02 fois, les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous

Tableau II.14 : Les résultats de l'équivalent de sable

Hauteur (mm)	Sable Natural	Sable concassé(1)	Sable concassé(2)	Sable concassé(3)
H1	10.1	8.5	8.54	8.70
H2	9.7	8.7	8.67	9.5
Esv	96.03	97.70	98.5	91.57
ESP	94.04	97.36	90.3	95.5

Après la comparaison aux résultats proposés par G-DREUX :

Donc : Sable très propre ; l'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau

II.3.2.4 Masse volumique : [NF P18-555]

a) Masse volumique absolue :

Le mode opératoire est le même que celui utilisé pour le gravier décrit précédemment.

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule:

$$\rho_{\text{abs}} = M / (V_2 - V_1)$$

Tableau II.15: Les résultats de la masse volumique absolue du sable naturel

Essai	M _s	V _w (cm ³)	V _t (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ _{moy} (g/cm ³)
1	300	400	517	2,54	2.55
2	300	400	518	2.55	
3	300	400	519	2.56	

Tableau II.16: Les résultats de la masse volumique absolue du sable concassé(1)

Essai	M _s	V _w (cm ³)	V _t (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ _{moy} (g/cm ³)
1	300	400	512	2.67	2.68
2	300	400	513	2,65	
3	300	400	514	2,50	

Tableau II.17: Les résultats de la masse volumique absolue du sable concassé(2)

Essai	M _s	V _w (cm ³)	V _t (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ _{moy} (g/cm ³)
1	300	400	514	2.5	2.66
2	300	400	513	2,65	
3	300	400	512	2,67	

Tableau II.18: Les résultats de la masse volumique absolue du sable concassé(3)

Essai	M _s	V _w (cm ³)	V _t (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ _{moy} (g/cm ³)
1	300	400	514	2.55	2.65
2	300	400	513	2,60	
3	300	400	512	2,65	

II.3.3 Les ajouts minéraux

Les ajouts utilisés dans notre programme expérimental sont les suivants :

- La pouzzolane
- Le laitier

II.3.3.1 Les caractéristiques chimiques

La composition chimique des ajouts a été déterminée dans le laboratoire de la cimenterie d'AIN ELKBIRA.

- Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II.19 : Analyse chimique des ajouts.

Les ajouts	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	P à F
Pouzzolane(%)	38.57	16.77	11.77	15.39	3.09	0.34	1.638	12.419
Laitier(%)	35.52	8.88	2.92	26.11	2.58	1.50	1.268	21.205

II.3.3.2 Les caractéristiques physiques :

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II.20 : Les caractéristiques physiques des ajouts.

Les ajouts	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Masse volumique absolue (g/cm ³)	Surface spécifique de Blaine (cm ² /g)
Pouzzolane	0.84	2.52	3560
Laitier	0.94	2.91	3520

II.3.4 Caractéristiques de ciment :

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment CEMII 42.5, c'est un ciment pour les travaux dans les milieux fortement agressifs .Fabriqué à la cimenterie d'AINEL KBIRA.

Nous avons opté pour ce type de ciment car il est à base de 85(%) de clinker, cela nous permet de réaliser une substitution d'une partie de ciment par des ajouts (pouzzolane, laitier et

fillers de marbre). Tous les résultats mentionnés ci-après sont tirés à partir de la fiche technique du ciment fournie par le fournisseur.



Photo II.3 : Ciment utilisé CEMII/42,5(CRS)

II.3.4.1 Les caractéristiques chimiques

La composition chimique de ciment a été déterminée dans le laboratoire de la cimenterie d'AIN ELKBIRA.

- Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II.21 : Analyse chimique du ciment utilisé.

Les composants	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	K ₂ O	MgO	Paf
Valeur%	20.91	3.87	5.42	63.23	2.43	0.50	1.70	0.85

Tableau II.22 : Composition minéralogique du clinker.

Composants	Valeur %
Silicates tricalciques C3S	57.86
Silicates bicalciques C2S	16.27
Aluminates tricalciques C3A	1.08
Alumino-ferrites tetracalciques C4AF	16.49

II.3.4.2 Caractéristiques mécaniques :

Tableau II.23 Caractéristiques Mécaniques du Ciment CRS-CEM I 42,5

Désignation	Age	Mesures	Normes
Résistance à la flexion (MPa)	02 jours	3.8	-
	07 jours	6.5	-
	28 jours	8.4	-
Résistance à la compression (MPa)	02 jours	17.0	$Li \geq 10.0$
	07 jours	33.8	-
	28 jours	50.8	$Li \geq 42.5$

II.3.4.3 Caractéristiques physiques :

Tableau II .24 Caractéristiques Physiques du Ciment CRS-CEM I 42,5

Essais physiques Norme (EN 196-3et 6)	Unités	Mesure	Garantie	
Poids Spécifique	(g/cm ³)	3.22	-	
Surface Spécifique Blaine (SSB)	cm ² /g	2943	-	
Temps de prise	Début	min	185	-
	Fin	min	285	-
Refus %	%	3.4	-	
Consistance (normale)	%	0.25	-	

II.3.4.3.1 Masse volumique apparent [EN 1097-6]

❖ **Principe de l'essai :**

Remplir une mesure de volume connu $V=1m^3$ et déterminer la masse du continu.

❖ **Matériels utilisée :**

- Entonnoir porté par un trépied mini d'un passoir et d'un opercule mobile.

- Une mesure de 1L (1L = 1000 cm³).
- Une règle a arasé.

❖ Mode opératoire :

- Placer l'entonnoir au-dessus de la mesure de 1 litre
- Fermer l'opercule.
- Verser environ 200g de liant sur le passoir et le faire descendre dans l'entonnoir à l'aide de la spatule.
- Ouvrir l'opercule, le liant tombe dans la mesure.
- Renferme l'opercule.
- Recommencer de nouvelles quantités du liant, jusqu'à ce que le bol déborde.

La masse volumique apparente est : $\rho = \frac{M2-M1}{V}$, V=1 litre.

M2 : Masse de récipient remplie du liant

M1 : Masse de récipient vide

II.3.4.3.2 Masse volumique absolue : NF EN 196-6

❖ Objectif de l'essai :

Il s'agit de mesurer la masse volumique absolue de ciment anhydre qui varient en fonction de la composition du ciment, tout en restant entre 3.0 et 3.2 g/cm³.

❖ Principe de mesure avec le densitomètre Le Chatelier (Volumétre)

Il consiste de mesurer le déplacement du niveau de liquide lorsqu'on y introduit la poudre dont on recherche la masse volumique absolue.

❖ **Equipement nécessaire :**

- ✓ Densimètre Le Chatelier (Voluménomètre) de 250 cm³ de volume.
- ✓ Un liquide qui ne doit pas être réactifs avec le ciment (toluène).
- ✓ Thermomètre.

❖ **Conduite de l'essai :**

- ✓ Remplir le Voluménomètre jusqu'au niveau zéro
- ✓ Immerger le Voluménomètre dans un récipient contenant de l'eau a 20 C
- ✓ Peser une masse de 64 g de ciment.
- ✓ Verser le ciment très lentement en ¼ heure

$$N_0 = 0 \text{ cm}^3.$$

$$N_1 = 20.5 \text{ cm}^3.$$

$$\rho_c = 64 / N_1 - N_0 \text{ g/cm}$$

$$\rho_c = 64 / 20.5 = 3.12 \text{ g/cm}^3.$$

Tableau II. 25 caractéristique physique du ciment-CRS

Masse volumique	Valeur%
Masse volumique apparente	1.05
Masse volumique absolue	3.16

II.3.3 L'eau de gâchage : [NA EN 1008]

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des différents bétons est une eau potable de robinet du laboratoire de génie civil de l'université de Bordj Bou Arreridj.

Le tableau suivant rassemble les résultats obtenus concernant les analyses physico-chimiques :

Tableau II.26: Analyses physico-chimiques de l'eau de gâchage

Paramètre	Quantité	Commentaire
Ph	8.18	Acceptable pour le gâchage.
Conductivités	1250 µs/cm	
Taux de (Cl ⁻)	0.24mg/l	0.05 à 0.50
Taux de (NO ₂ ⁻)	0,15 mg/l	> à la concentration max (0.1)
Taux de (NO ₃ ⁻)	1,8 mg/l	< à la concentration max (50)
Turbidité	1,44 NTU	
Dureté total	6,72 °F	15-50
Résidu sec	100 mg/l	

Les résultats obtenus montrent que l'eau testée est apte pour la confection du béton.

II.4 Etudes des mortiers

II.4.1 Confection des éprouvettes :

Des moules prismatiques (4x4x16) cm³ ont été réalisés pour les essais de compression et flexion. La confection des éprouvettes est faite conformément aux normes EN 196-1. La conservation des éprouvettes couvertes par du plastique a été à l'air pendant 24h ensuite, après démoulage elles sont conservées dans l'eau à 20 °C.

II.4.2 Programme d'essais

II.4.2.1 Résistance à la traction par flexion

Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci. Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter de 50 N/s ± 10 N/s, jusqu'à rupture.

Conservé les demi-prismes jusqu'au moment des essais en compression. La résistance en flexion R_f (en N/mm²) est calculée au moyen de la formule suivante :

$$R_f = (1.5 PL) / b^3$$

R_f : est la résistance en flexion, en Newtons par millimètre carré ou MPa.

b : est la côté de la section carrée du prisme, en millimètre.

P : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en Newton.

L : est la distance entre les appuis, en millimètre.



Photo II.4 : Essai de flexion.

II.4.2.2 Résistance à la compression

Centrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à ± 0.5 mm près et longitudinalement de façon que le bout du prisme soit en porte-à-faux par rapport aux plateaux d'environ 10 mm.

Augmenter la charge avec une vitesse providence durant toute l'application de la charge jusqu'à la rupture (compenser la décroissance de vitesse de la charge à l'approche de la rupture).

La résistance en compression R_c (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

$$R_c = F_c / b^2$$

R_c : Résistance à la compression en (MPa).

F_c : charge de rupture en (N).

b^2 : cote de l'éprouvette est égale à 40mm



Photo II.5: Essai de compression.

II.5 Formulations des bétons étudiés :

Calcul de la composition du béton :

Méthodes de calcul de la composition du béton :

Le calcul de la composition du béton a pour but de déterminer le dosage en ciment, granulats (fins et gros) et en eau pour un dosage de 1 m³ de béton frais, afin d'obtenir un mélange homogène et d'une capacité élevée, ainsi qu'une résistance mécanique volume (exigée).

Il existe plusieurs méthodes de détermination la composition du béton proposé et applique dans les différents pays du monde, permis ces méthodes on peut citer :

Méthode de BOLOMEY (méthode à granularité continue).

- Méthode de FAURY.
- Méthode de JOISEL.
- Méthode de VALETTE.
- Méthode de DREUX GORISSE.
- Méthode des volumes absolus.
- Méthode générale du CES (centre d'essai des structures).

Dans notre projet la méthode des volumes absolus élaborée par le professeur B.G

SCRAMTAIEV, a été adapté pour formule notre béton.

Cette méthode repose sur le fait qu'un béton lourd dame a l'état frais se rapproche de la compacité absolue, ce qui signifie que la somme du volume absolu des matériaux d'origine dans 1m³ est égale au volume de la composition du béton donnée.

II.5. 1 Méthode de SCRAMTAIEV :

La somme de tous les matériaux composants pour un dosage de 1m³ de béton frais est à 1000 litres.

Pour confectionner un béton, il faut connaître les méthodes de calcul en vigueur (calcul des dépenses en matières premières) et leur mise en œuvre.

On choisit alors les composants du béton d'une façon convenable dans des proportions bien définies.

Les données de base servant pour le calcul de la composition du béton sont :

- ❖ La classe de résistance requise du béton (R_b).
- ❖ Le degré de fluidité ou de consistance du béton.
- ❖ Les caractéristiques des matériaux d'origine :
 1. Activité du ciment (R_c).
 2. Masse spécifique (absolue) du ciment.
 3. Masse spécifique (absolue) et masses volumique (apparentes) du sable, ou gravier.
 4. La porosité de pierres concassées ou du gravier.

La composition du béton c.-à-d. la dépense (quantité) de ciment, eau, de sable et de pierres concassées ou de gravier est établie approximativement par calcul, ensuite elle est précisée par la méthode d'essai de dosages expérimentaux de mélange de béton.

Les principes étapes de calcul de la composition du béton sont :

1. On définit le rapport (C/E) qui assure l'obtention d'un béton de résistance requise.
2. On détermine la dépense en eau (E).
3. On fait le calcul de la quantité de ciment (C), ensuite des pierres concassées (PC) ou de gravier (G) et de sable (S).

II.5.2 Présentation de la méthode SCRAMTAIEV :

a. Définition du rapport (ciment/eau) :

Le professeur SCRAMTAIEV a établi les relations suivantes, qui donnent la valeur de la résistance du béton (Rb) en fonction du rapport C/E et des qualités du liant et des granulats.

a) Pour un béton P et TP : $C/E \leq 2.5$ on a : $R_b = A \cdot R_c \cdot [(C/E) - 0.5]$

$$\Rightarrow C/E = R_b / (A \cdot R_c) + 0.5$$

b) Pour un béton F et TF :

$C/E > 2.5$ on a : $R_b = A' \cdot R_c \cdot [(C/E) + 0.5]$

$$\Rightarrow C/E = R_b / (A' \cdot R_c) - 0.5$$

Avec :

Rb : Classe de ciment.

Rc : Activité du ciment.

A, A' : Coefficients admis d'après le tableau selon les propriétés et la qualité des matériaux utilisés.

C/E : Rapport du poids de ciment au poids de l'eau dans l'unité de volume du mélange.

Tableau II.27 : Les valeurs des coefficients A et A' en fonction du liant et agrégat.

Granulats et liants	A	A'
De qualité supérieure	0.65	0.43
De qualité ordinaire	0.60	0.40
De qualité inférieure	0.55	0.37

La formule (a) correspond aux bétons ordinaires plastiques.

La formule (b) correspond aux bétons plutôt secs de haute résistance mécanique.

b. Détermination de la dépense en eau :

Elle est établie approximativement d'après le tableau, qui tient compte de la qualité des matériaux utilisés :

Tableau II.28: Quantité d'eau nécessaire à la préparation du béton.

La quantité d'eau l/m ³ en fonction du diamètre du plus gros grain d'agrégat				Propriétés des bétons frais	
70	40	20	10	Maniabilité (sec)	Affaissement (cm)
115	120	130	145	200-150	0
120	125	135	150	120-90	0
125	130	145	160	80-60	0
130	135	150	165	50-30	0
140	145	160	175	30-15	0
145	155	170	185	-	2-1
160	165	180	195	-	4-3
165	170	185	200	-	6-5
170	175	190	205	-	8-7
175	185	200	215	-	10-9

c. Détermination de la dépense en ciment :

$$C = [C/E].E$$

d. Détermination de la dépense en gravier :

La détermination du dosage en agrégat doit remplir les deux conditions suivant :

- 1- La somme des volumes absolue de tous les composants du béton est égale à 1 m³ du mélange de béton damé.
- 2- La porosité des agrégats doit égale a zéro.

$$(C/\rho_c) + (E/\rho_e) + (S/\rho_s) + (G/\rho_g) = 1000$$

Ou:

C, E, S et G : dépenses en ciment, eau, sable et pierres concassées (gravier) en (Kg/m³).

ρ_c, ρ_e, ρ_s et ρ_g : masse spécifique ou masses volumique absolue de granulats avec un certain écartement des grains :

$$(C/\rho_c) + (E/\rho_e) + E = [(Pg \times \alpha \times G/\gamma_g)]$$

Avec :

Pg : porosité des pierres concassées.

γ_g : masse volumique ou masse volumique apparente des pierres concassées en (Kg/l).

α : coefficient d'écartement des grains des pierres concassées, donné par le tableau.

Tableau II.29: Valeurs du coefficient (α) en fonction du E/C et dosage en ciment.

Dosage en ciment (Kg/m³)	E/C = 0.40	E/C = 0.50	E/C = 0.60	E/C = 0.70	E/C = 0.80
250	-	-	1.26	1.32	1.38
300	-	1.30	1.36	1.42	-
350	1.32	1.38	1.44	-	-
400	1.40	1.46	-	-	-
500	1.52	1.56	-	-	-
600	1.56	-	-	-	-

En résolvant simultanément les deux équations, on trouve l'expression qui permet de déterminer la qualité nécessaire de pierres concassées :

$$G = 1000 / [V_{pc} * (\alpha / \gamma_{vol.oc}) + (1 / \rho_{pc})]$$

Avec :

$$V_{pc} = (1 - (\gamma / \rho))$$

e. détermination de la dépense en sable :

Après avoir déterminé la dépense en pierres concassées, on fait le calcul de la dépense en sable (Kg/m³).

$$S = [1000 - [(C / \rho_c) + E + (Pc / \rho_{Pc})] \cdot \rho_s$$

II.4.3 Calculs les composants :

1) Détermination Du Rapport (E/C) :

Les données :

$$R_b = A \cdot R_c (C/E - 0.5) \iff C/E = R_b / A \cdot R_c + 0,5$$

Avec :

$R_b = 350$ bars classe du béton

$R_c = 425$ bars classe du béton

$D_{max} < 20$ mm

Affaissement $A = 6$ cm

2) Quantité D'eau :

Aff = 6, pierres concassés, $p < 20$

(D'après le tableau) $\iff E = 185$ L

$$E = 185 + 25 = 210 \text{ L} \iff E = 210 \text{ L}$$

$$R_b = A \cdot R_c (C/E - 0.5) \implies C/E = R_b/A \cdot R_c + 0.5 \text{ pour } E/C < 2.5$$
$$E/C = 0.6$$

3) Quantité Du Ciment :

$$C = 350 \text{ Kg/m}^3 \quad (\text{D'après le tableau}) \implies \alpha = 1,44$$

4) Quantité De Gravier :

$$G = 1000 / [(1 - \rho_{\text{app}} / \rho_{\text{abs}}) * \alpha / \rho_{\text{app}}] * 1 / \rho_{\text{abs}}$$

$$G = 1000 / [(1 - 1,44 / 2,67) * 1,44 / 1,44] * 1 / 2,67 = 1251,82 \text{ Kg / m}^3$$

$$G = 1206,82 \text{ Kg/m}^3$$

5) Quantité De Sable :

$$S = [1000 - \{C / \rho_c + E / \rho_e + G / \rho_g\}] * \rho_s$$

$$S = [1000 - (350 / 3,1 + 210 + 1206,27 / 2,67)] * 2,55 = 518,06 \text{ Kg/m}^3$$

$$S = 605,35 \text{ Kg/m}^3$$

Pour 1 m³ de béton frais :

$$E = 210 \text{ L}$$

$$C = 350 \text{ Kg/m}^3$$

$$S = 605,35 \text{ Kg/m}^3$$

$$G = 1206,82 \text{ Kg/m}^3$$

➤ Volume de mélange d'essai, on prend 30% de gravier 8/15 et 70% de gravier 15/20 :

$$E = 210 \text{ L}$$

$$C = 350 \text{ Kg/m}^3$$

$$S = 605,35 \text{ Kg/m}^3$$

$$G_{8/15} = 402,14 \text{ Kg/m}^3$$

$$G_{15/20} = 804,23 \text{ Kg/m}^3$$

➤ **Densité Théorique De Béton Frais :**

$$\text{On a : } \Delta_o = (C + E + S + G) / 1000 \quad (E \text{ ou } E_c)$$

$$\Delta_o = (350 + 210 + 605,35 + 1206,82) / 1000 = 1,29$$

➤ **Volume De Mélange D'essais :**

Pour coulage de 6 éprouvettes cubiques:

$$[(0,1 \times 0,1 \times 0,1) \times 6] = 0,001 * 0,2 = 2 * 10^{-3}$$

Pour 0,0072 m² on prend

➤ **Quantité des matériaux :**

Tableau II.30: Proportions et composition des mélanges

Gravier (Kg/m ³)		Sable (Kg/m ³)	Ciment (Kg/m ³)	Eau (l)
8/15	15/20			
402.14	804.23	605.35	350	210

II.6 Matériels et essais :

II.5 .1 Les essais sur le béton à l'état frais :

On sait que le béton est le matériau obtenu par solidarisation par un liant de ciment, un squelette granulaire composé d'un ou plusieurs sables et d'un ou plusieurs gravies.

II.5.1.1 Le malaxage : [NA EN 12390-2]

Les constituants sont introduits dans le malaxeur à l'ordre suivant :

- Introduire gravier 8/15, ciment, sable 0/5 et gravier 15/20.
- Malaxer pendant 1 min et 30 secs
- Introduire la quantité d'eau.
- Malaxer pendant 3 min et ajouter l'eau tout attentivement.
- Mesurer l'affaissement à chaque fois par le cône d'Abrams jusqu'à la valeur désirée visée.



Photo II.6 : Le malaxage de béton

II.6.1.2 Affaissement au cône d'abrams (slump test) : [NA EN 12350-2]

Cet Essai est effectué conformément aux prescriptions de la norme (NA EN 12350-2). C'est l'essai de mesure de consistance le plus employé et le plus connu universellement. Le moule utilisé pour réaliser cet essai est un cône tronqué de 30cm

De hauteur. Placé sur une surface lisse, la petite ouverture vers le haut, le cône est rempli de béton en trois couches d'égal volume. Chacune des couches est compactée avec 25Coups d'une tige métallique normalisée de 1,6 cm de diamètre, dont l'extrémité est arrondie.

Une fois le cône rempli, le dessus de la surface doit être arasé en se servant de la tige et en effectuant des mouvements de va et vient. Durant ces opérations, le cône doit demeurer fixe sur la base lisse ; des écrous de serrage, situés à la base du cône, permettent de le maintenir immobile.

Après remplissage, le cône est relevé lentement et le béton s'affaisse la différence entre la hauteur du béton affaissé et la hauteur du cône est appelée l'affaissement.

La valeur de l'affaissement est exprimée en cm [22].

Dans notre étude on a fixé l'affaissement à : Aff. Entre6 et 9cm.



Photo II.7 : *Affaissement au cône d'abrams*

II.6.1.3 Vibration : [NA EN 12390-2]

La vibration est la méthode de compactage la plus répandue, le degré de compactage d'un béton frais par vibration dépend de la fréquence et de l'amplitude des oscillations, ainsi que de la durée de vibration.

- On commence par piqué de vibration qui utilise pour vibrer le béton dans l'éprouvette dans 3 étapes et 3 couches à chaque fois en frappe 25 frappes avec le même rythme à fin d'homogénéiser la forme de l'échantillon.
- On fait la vibration sur la table vibrante pendant 20s.
- Peser 3 moules avant et après leur remplissage et la vibration pour déterminer la masse volumique de béton à l'état frais.
- Les éprouvettes sont maintenues à l'air libre au laboratoire pendant 24h puis décoffrées et marquées par peinture et conservées dans l'eau.



Photo II.8 : La Vibration

II.6.2 Les essais sur béton durci :

II.6.2.1 Durcissement de béton :

Le durcissement d'un béton avec le temps est essentiellement à l'hydratation progression du ciment.

Il bien connu que la progression des résistances mécaniques d'un béton se fait de plus en plus lentement lorsque le passe ceci peut expliquer par le fait que la vitesse d'hydratation des grains de ciment décrois elle-même avec le temps.

II.6.2.2 Mode de conservation de béton : [NA EN 12390-2]

Le degré d'humide du milieu de conservation a une influence importante sur la résistance du béton

Notre béton est conservé dans l'eau à une température de $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

II.6.3.1 Détermination de la résistance par les essais non destructifs :

Le béton est l'un des matériaux les plus importants dans tous les domaines de la construction, leur résistance a été considérée comme la qualité essentielle.

Le contrôle de la résistance des bétons est un problème de première importance pour les constructeurs, ils développent des méthodes et des matériels pour s'appuyer uniquement sur les essais non destructifs (ultrason, scléromètre).

Au moyen des essais non destructifs (ultrason, scléromètre), 7j, 14j, 28jours, on évalue l'effet des différents types de sable concassé sur la réponse mécanique d'un béton testé.

II.6.3.1.1 Ultrason :

L'essai pour but d'apprécier la qualité du béton d'un ouvrage sans procéder à un prélèvement d'éprouvette par carottage.

➤ Principe D'essai :

Le principe de l'essai consiste à mesurer la vitesse du son à l'intérieur du béton, cette vitesse est d'autant plus élevée que le béton a un module d'élasticité plus important, donc à priori une résistance plus importante.

➤ Principe De Fonctionnement :

L'ensemble électrique de l'auscultation permette de mesure le temps de passage des ondes ultrasoniques longitudinales à travers le béton.

L'appareil d'auscultation dynamique se compose de :

- ✓ L'instrumentation électrique logée dans un coffret métallique caractérisé par un appareil présentant sur la face (face utile) un affichage digital, ou on peut lire le temps de propagation des ondes mesurés en (μ s).
 - ✓ Deux ondes : un émetteur ; et l'autre un récepteur de fréquence.
 - ✓ Deux câbles pour le branchement des sondes.
 - ✓ Une éprouvette cylindrique pour l'étalonnage.
 - ✓ Un alimentaire en charge (batterie).
-
- ❖ On branche les deux sondes aux bornes de l'appareil à l'aide de câble.
 - ❖ On fait l'étalonnage de l'appareil à une valeur de $42,5\mu$ s on enduit les deux faces de l'éprouvette étalon de « vaseline ».
 - ❖ On frictionne sur ces deux faces les deux sondes pour éliminer les bulles d'air qui se forment entre la sonde et la face d'éprouvette.
 - ❖ On vérifie que la valeur indiquée sur l'affichage digitale est la même que celle imprimée sur l'éprouvette étalon, connaissent la distance (d) parcourue par les ondes.
 - ❖ On en déduit la vitesse égale à (d/t) exprimée le plus souvent en (Km/s).

➤ Type De Mesures :

Il existe trois types de mesures de la vitesse de propagation du son dans un corps :

- Transmission direct : le capteur est place face à l'émetteur.
- Transmission semi-direct : Le capteur et l'émetteur sont placés sur deux faces jacentes.
- Transmission indirect ou de surface : l'émetteur et le récepteur sont placés sur la même face de l'élément.

Après de vérifier le calibrage de l'appareil et de déterminer les points de mesure et par la transmission directe ont appliqué les essais sur chaque éprouvette, en applique les deux sondes suivants once longitudinale puis on dit le temps (t) en (μ s) de passage de l'ultrason dans le béton, ($V = d/t$) avec la formule :

$$Ru = K (\rho/g) v^4$$

Ru : Résistance d'ultrason.

K : constant (coefficient d'étalonnage).

ρ : Masse volumique (Kg/m^3).

g : $9,81 m/s^2$.

V : la vitesse d'ultrason



Photo II.9 : Essai l'ultrason [24]

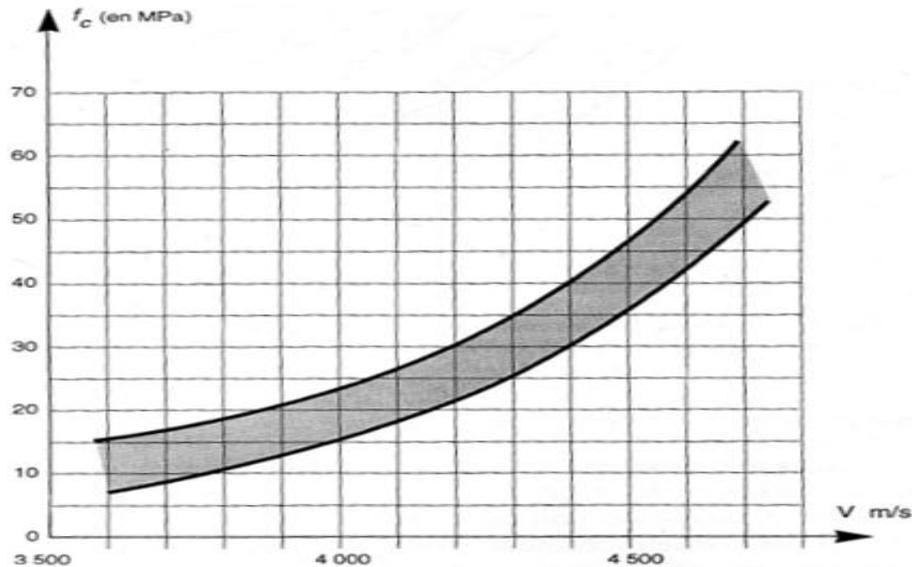


Figure II.8: Relation approximative entre la vitesse ultrason(en m/s) et la résistance en compression R_c (en MPa) [24]

II.6.3.1.2 Essai de dureté par rebondissement (scléromètre) : [NA EN 12504-2]

L'essai au scléromètre est destiné à mesurer la dureté superficielle du béton et il existe une corrélation empirique entre la résistance et l'indice sclérométrique [25]. Le marteau de Schmidt est le seul instrument connu qui utilise le principe du rebondissement pour les essais sur le béton.

➤ **Principe de l'essai :**

Une masse commandée par un ressort se déplace sur un plongeur dans un tube de protection. La masse est projetée contre la surface de béton par le ressort, et l'indice sclérométrique est mesuré sur une échelle. La surface sur laquelle l'essai est effectué peut être horizontale, verticale ou à tout autre angle, mais l'appareil doit être étalonné à la position où il sera utilisé.

➤ **Mode opératoire:**

On place l'éprouvette entre les plateaux de la presse et on applique la vitesse constante (0.5 MPa) jusqu'à la charge de 10KN, puis on fait l'essai sclérométrique horizontal (10 coups).

CHAPITRE II: Méthode et matériaux utilisés

La distance entre les points d'essai doit être au moins de (30mm), pour éviter l'influence du compactage superficiel du béton.

Pour chaque zone d'essai, on établit la moyenne des lectures au scléromètre après l'élimination des valeurs très faibles au très élevées.



Photo II.10 : Mesurer la dureté superficielle du béton

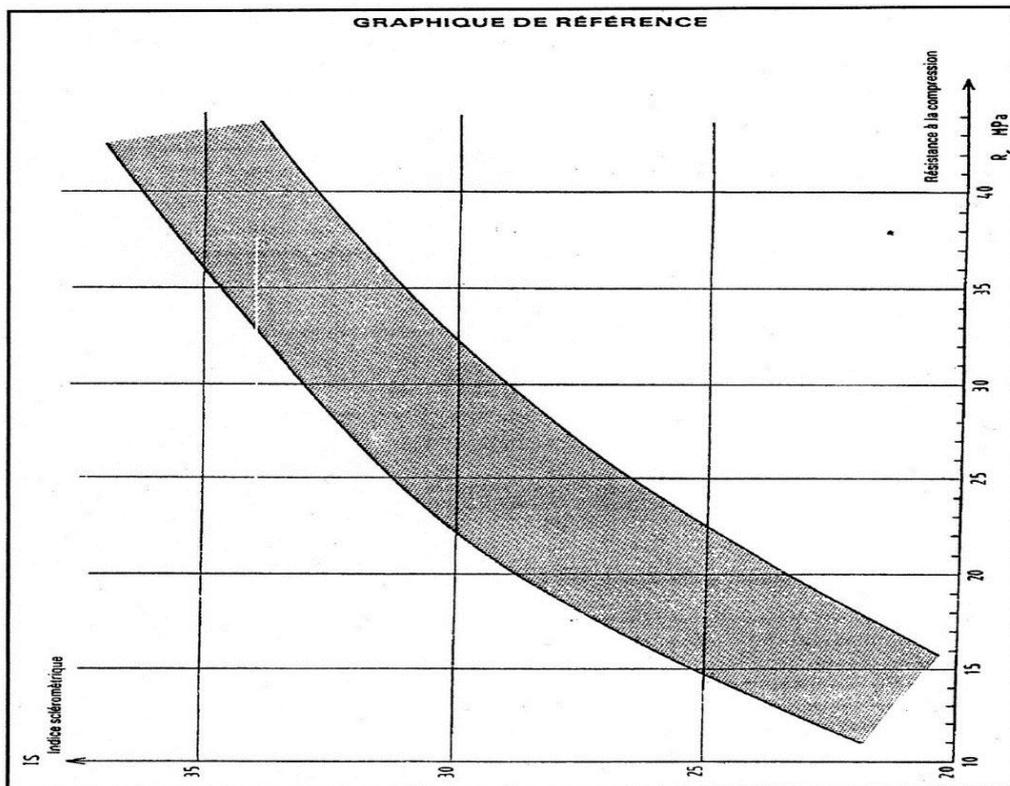


Figure II.9: Etalonnage contrôle du fonctionnement de l'appareil sur éprouvettes

II.6.3.2 La résistance à la compression (essai d'écrasement) : [NA EN 12390 3]

La résistance a été longtemps considérée comme la qualité essentielle, pour ne pas dire la seule, à rechercher pour un béton.

La détermination de cette résistance est nécessaire pour contrôler cette qualité essentielle de notre béton.

II.6.3.2.1 La presse hydraulique : [NA EN 12390-3]

La presse utilisée répond aux normes NA EN 12390-3, elle comporte deux parties :

Unité de commande constituée de :

- Un cadran pour valeur maximal de charge.
- Interrupteur principal.
- Commande de réglage de la vitesse.
- Clapet de charge-décharge.

Unité de pression : où on met l'éprouvette d'essai.



Photo II.11: Presse hydraulique capacité 3000 KN

II.6.3.3 Essai d'écrasement [NA EN 12390-3] :

L'essai consiste à rompre entre les plateaux d'une presse hydraulique de capacité 3000KN à une vitesse constante (0.5KN/S) des éprouvettes cubique de dimensions (10x10x10) cm. Celles-ci doivent être bien centrées entre les plateaux afin d'éviter L'apparition des moments dus à l'excentricité de la charge de compression.

On calcule la résistance à la compression par la relation

$$R_c = F/S$$

R_c : résistance à la compression (MPa).

F : la charge de rupture (N).

S : section de l'éprouvette (mm^2).

II.6.3.4 Essais De Traction Par Flexion : [EN 12390-5] [23]

Le plus connus et le plus utilisé des trois essais (traction par fendage, directe par flexion) il permet de réduire le type de sollicitation en traction le plus fréquent : la flexion.

Il est pourtant nécessaire de se contenter d'un essai sur les éprouvettes dont le coté de la section carrée varie (8-10-16et 20) cm.

On place l'éprouvette prismatique [7x7x28]cm, sur les deux appuis, soumise à une charge P appliqué avec une vitesse constante jusqu'à la rupture :

$$R_t = 90 F / 2a^2$$

R_t : résistance à la flex

F : la charge de la rupture. La contrainte de

Traction donnée par la relation :

$$\sigma_t = 3F / a^2 \quad (Mpa)$$

Avec :

σ_t . Contrainte de traction.

F : la charge de rupture.

a : coté de rupture.

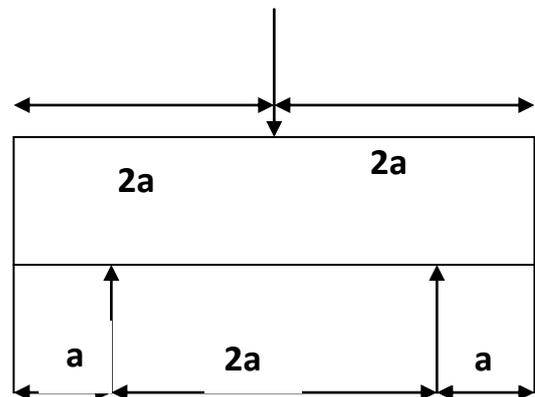


Figure II.10: Essais de traction par flexion



Photo II.12: *Appareil de traction par flexion*

II.6.3.5 Essais de traction par fendage : [NA EN 12390-6]

La norme (EN 12390-6) précise en particulier les dispositions de mise en charge.

L'éprouvette est placée horizontalement entre les plateaux de la presse le contact des génératrices supérieure et inférieure avec les plateaux est assuré l'intermédiaire de bandes de mesure en contreplaqué okoumé.

La résistance à la traction par fendage est donnée par la formule suivante:

$$R_t = 2 P / \pi DL \quad (\text{en MPa})$$

Avec

P : charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du plan diamétral vertical en Newton.

D : diamètre de l'éprouvette en mm. L : hauteur de l'éprouvette en mm.

R_t : résistance à la traction en MPa.

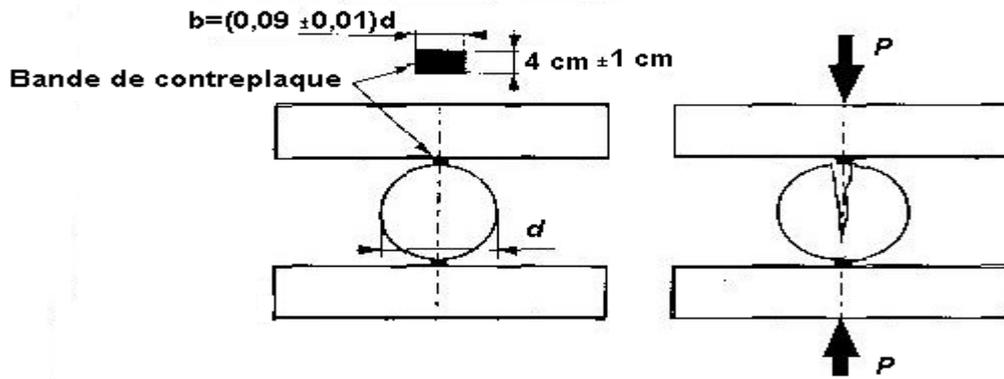


Figure II :11 : Essai de traction par fendage

II.6.3.6 Essai d'absorption d'eau par immersion :

Le principe de cet essai consiste à mettre les éprouvettes prismatiques dans l'étuve et de les peser jusqu'à poids constant, ensuite les immerger totalement dans l'eau à 20°C pendant 24 heures (jusqu'à leur saturation) dans le but de calculer le volume des vides du béton.

II.7 Mode d'action des environnements agressifs :

Action des eaux agressives :

Le comportement du mortier ou du béton, placé dans un environnement chimiquement agressif, dépend de facteurs complexes et multiples liés, d'une part, à l'environnement (nature, concentration, renouvellement ou non des éléments agressifs), d'autre part, au béton lui même (nature et dosage des constructions, condition de fabrication). Les milieux les plus agressifs sont soit acides, soit salins (chlorures, nitrates, mais surtout sulfates), on peut alors observer des dégradations des ouvrages en béton par dissolution et érosion en cas d'attaques acides, par fissuration et éclatement dans le cas d'attaque saline, en particulier sulfatiques.

Ces altérations d'origine chimique peuvent être amorcées ou renforcées par des actions physiques (chocs thermiques, cycles d'humidification dessiccation) ou mécaniques.

La résistance aux eaux agressives est déterminée à partir des éprouvettes cubiques (10x10x10) cm³, le durcissement des éprouvettes était en condition naturelles pendant 28 jours, puis elles sont immergées séparément pendant 28 jours et 60 jours dans les solutions suivantes :

- 5% d'acide chlorhydrique (HCL)
- 2.5% d'acide sulfurique (H₂SO₄).
- 5% d'acide sulfurique (H₂SO₄).
- 10% d'acide sulfurique (H₂SO₄).
- 5% d'hydroxyde de sodium (NaOH).

II.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, les différentes caractéristiques physiques et mécaniques des composants ont été établies. Les courbes granulométriques de toutes les classes granulaires sont présentées. La méthode de formulation a été développée et le calcul des proportions des constituants de notre programme expérimental étant fait, ainsi les essais sur béton frais et durci que ce soit destructifs et d'écrasement ont été effectués.

Analyse et discussion des résultats

III.1 Introduction

Nous présenterons dans ce chapitre les résultats des différents essais effectués sur les mortiers et bétons confectionnés selon les différentes compositions mentionnées en détail dans le chapitre précédent. Ces résultats concernant en première partie le mortier, et en deuxième partie le béton. La résistance et l'ouvrabilité sont à étudier de pair, car ces deux propriétés sont étroitement dépendantes l'une de l'autre et d'autant plus, qu'elles varient en sens inverses en fonction de certains facteurs essentiels de la composition du béton.

On s'intéresse aussi, tout au long de ce chapitre à l'effet d'incorporation des ajouts de la pouzzolane et laitier sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des mortiers et bétons à l'état frais et durci à base de sable de carrières.

A l'issue de ces résultats, des discussions et des interprétations seront présentées au fur et à mesure.

III.2 Etude des mortiers.

III.2.1 Comportement du mortier à l'état frais

La quantité d'eau de gâchage conditionne en grande partie, l'ouvrabilité d'un mortier s'il existait toutefois un moyen de la spécifier et de la mesurer ce serait en fonction de la maniabilité. Pour les différents sables,

Tableau III.1 quantité utilisé pour le mortier

Type de mortier (SN/SC)	E/C	Quantité d'eau utilisée (l/m ³)
SN	0.6	300
SN/SC1(50/50)		
SN/SC2(50/50)		
SN/SC3(50/50)		
SC1		
SC2		
SC3		

III.2.2 Comportement des mortiers à l'état durci :

L'évolution du comportement mécanique est suivie en fonction des différents taux de substitution pour les différents milieux de conservation.

III.2.2.1 Résistance à la compression :

La résistance mécanique du mortier après durcissement dépend du rapport E/C, de la qualité et la nature de sable, du mode de conservation du mortier et de l'échéance de l'essai. Cette résistance mécanique est caractérisée par sa classe de résistance à la rupture par compression et flexion.

Nous présentons les résultats des essais de la résistance à la compression et à la rupture par compression et flexion effectués sur les éprouvettes de dimensions (4x4x16) cm³.

Tableau III.2 : Résistance à la compression des mortiers.

Type de mortier (SN/SC)	Résistance à la compression à 28 jours (MPa)		Résistance à la compression à 60 jours (MPa)	
	à l'air libre	dans l'eau	à l'air libre	dans l'eau
SN	20.34	38.50	25.12	42.35
SN/SC1 (50/50)	19.62	33.14	21.46	35.63
SN/SC2 (50/50)	19.11	29.90	21.01	31.78
SN/SC3 (50/50)	17.33	25.57	20.46	28.32
SC1	20.30	30.87	21.67	32.21
SC2	17.09	28.56	19.58	31.55
SC3	15.81	27.38	18.98	30.67

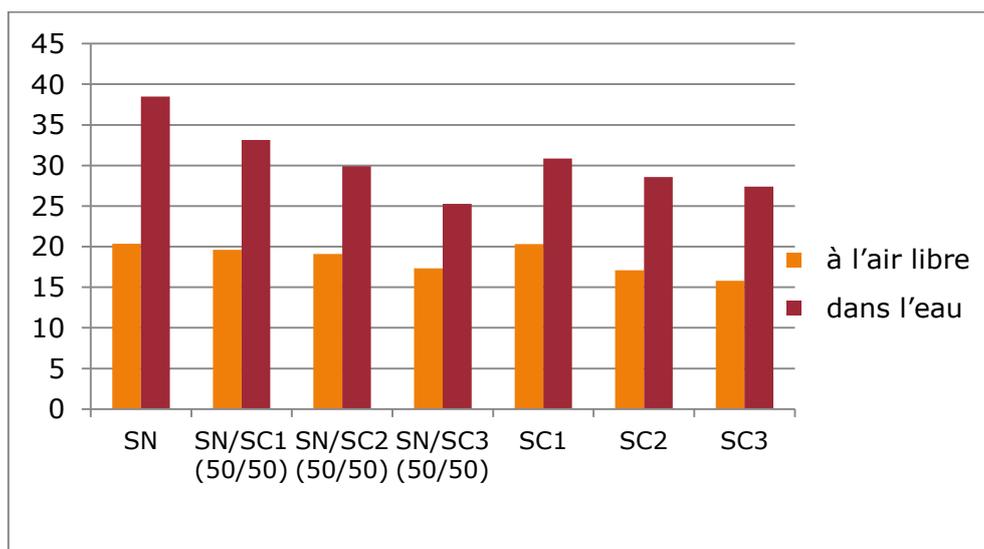


Figure III.1 : Résistance à la compression 28jours des mortiers.

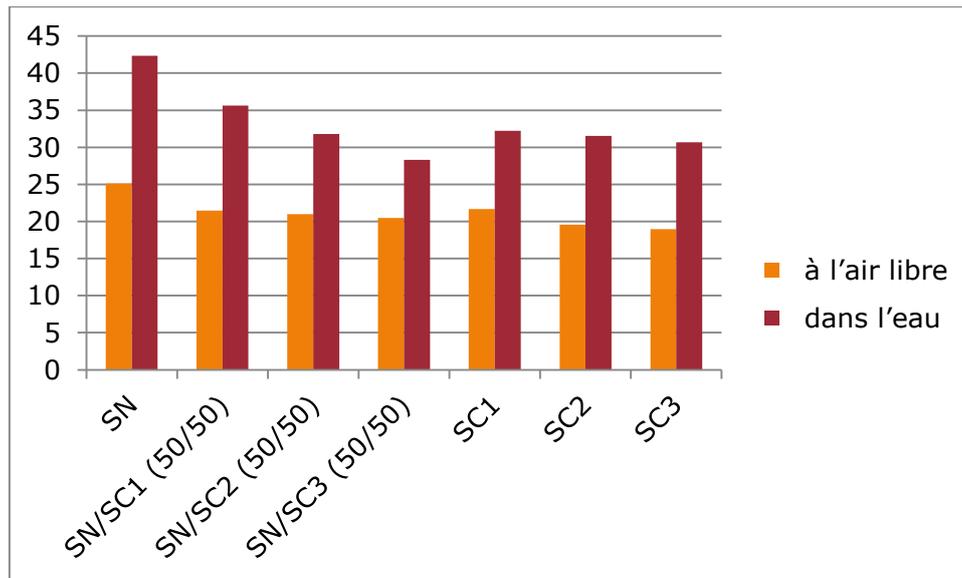


Figure III.2 : Résistance à la compression 60jours des mortiers.

D'après le **tableau III.2** et la **figure III.1** la **figure III.2** On observe que les mortiers à base des sables de carrière présentent des résistances à la compression plus faible par rapport aux mortiers naturels qui nécessitent une augmentation du dosage et présentent un inconvénient du point de vue économique. On constate que les résistances à la compression des mortiers conservés à l'air libre sont inférieures celles des mortiers conservés dans l'eau. Cette réduction de la résistance est due à l'appauvrissement en eau suite à son évaporation à l'air libre, entraînant un abaissement de la cinétique d'hydratation du ciment qui provoque une diminution de la résistance.

III.2.2.1.1 Effet des ajouts minéraux sur la résistance à la compression des mortiers

Afin d'améliorer le comportement du mortier frais et durci à base de sable de carrière, des ajouts minéraux actifs (laitier et pouzzolane) ont été incorporé dans la meilleure composition soit SC1.

Tableau III.3 : Effet des ajouts minéraux sur la résistance à la compression des mortiers.

Type de mortier (SN/SC)	Résistance à la compression à 28 jours (MPa)		Résistance à la compression à 60 jours (MPa)	
	à l'air libre	dans l'eau	à l'air libre	dans l'eau
SN	20.34	38.50	22.63	42.35
SN/SC1 (50/50)	19.62	33.14	21.89	35.63
SN/SC1(50/50+10%S)	20.50	34.61	23.71	36.87
SN/ SC1(5050+20%S)	20.33	33.47	23.65	36.24
SN/SC1(50/50+10%Z)	20.06	36.45	22.49	37.59
SN/SC1(50/50+20%Z)	19.97	33.89	23.28	39.30

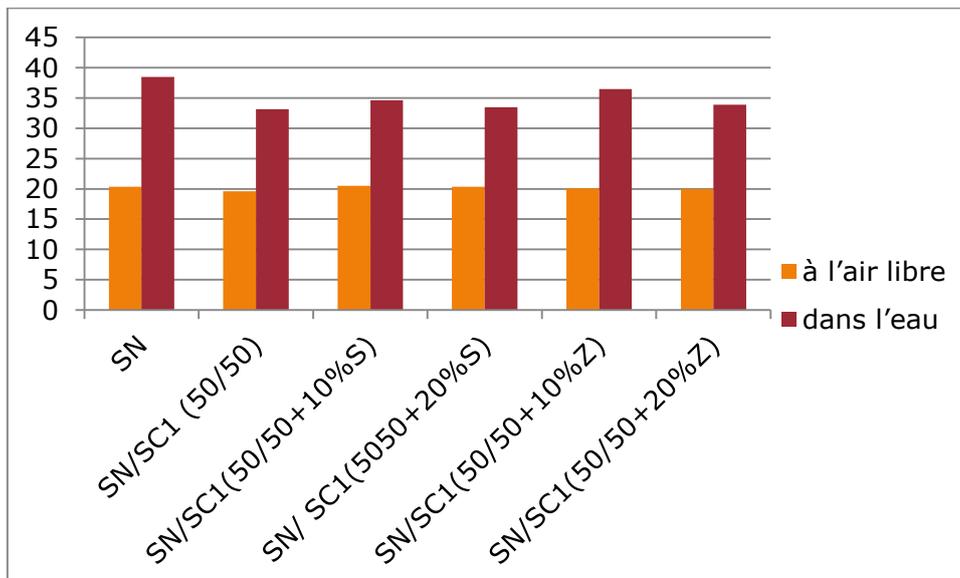


Figure III.3 : Résistance à la compression 28jours des mortiers.

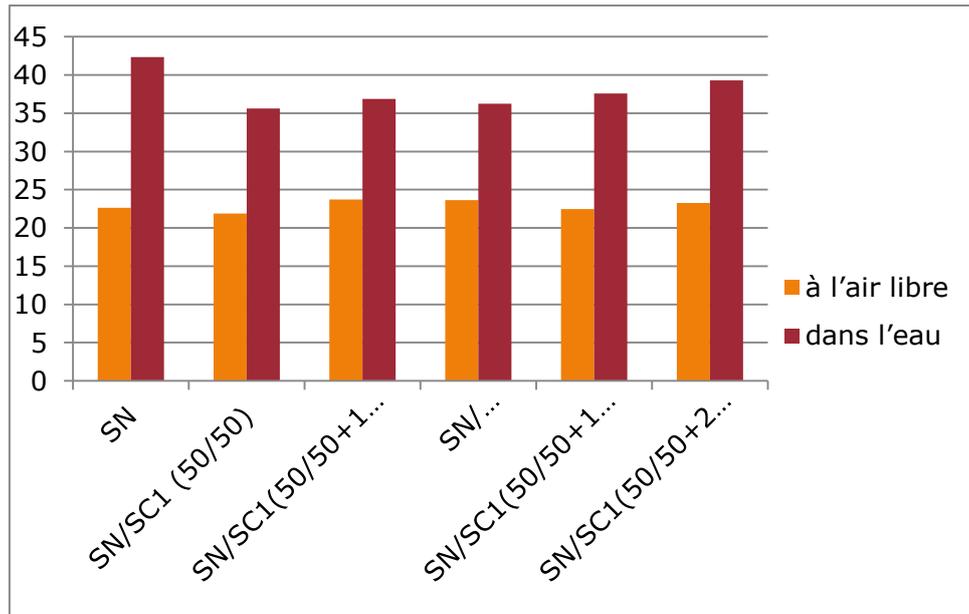


Figure III.4 : Résistance à la compression 60jours des mortiers.

D'après le tableau III.3 et les figures III.3. ; III.4 on remarque que l'ajouts de 10%et20% de laitier et pouzzolane améliore la résistance à la compression de l'ordre de 3.5% pour le laitier et de 10.30% pour le pouzzolane quel que soit le milieu de conservation,

III.2.2.2 Résistance à la traction par flexion des mortiers.

Les résultats de l'essai de résistance à la traction par flexion sont résumés dans le tableau III.4

Tableau III.4 : Résistance à la traction par flexion du mortier étudié.

Type de mortier (SN/SC)	Résistance à la flexion à 28 jours (MPa)		Résistance à la flexion à 60 jours (MPa)	
	à l'air libre	dans l'eau	à l'air libre	dans l'eau
SN	3.22	5.75	3.28	6.18
SN/SC1(50/50)	2.54	4.36	2.86	5.51
SN/SC2(50/50)	2.20	3.32	2.59	4.39
SN/SC(350/50)	1.93	3.14	2.23	4.34
SC1	2.43	4.23	2.79	4.74
SC2	2.14	3.69	2.46	4.20
SC3	2.13	3.32	2.55	3.92

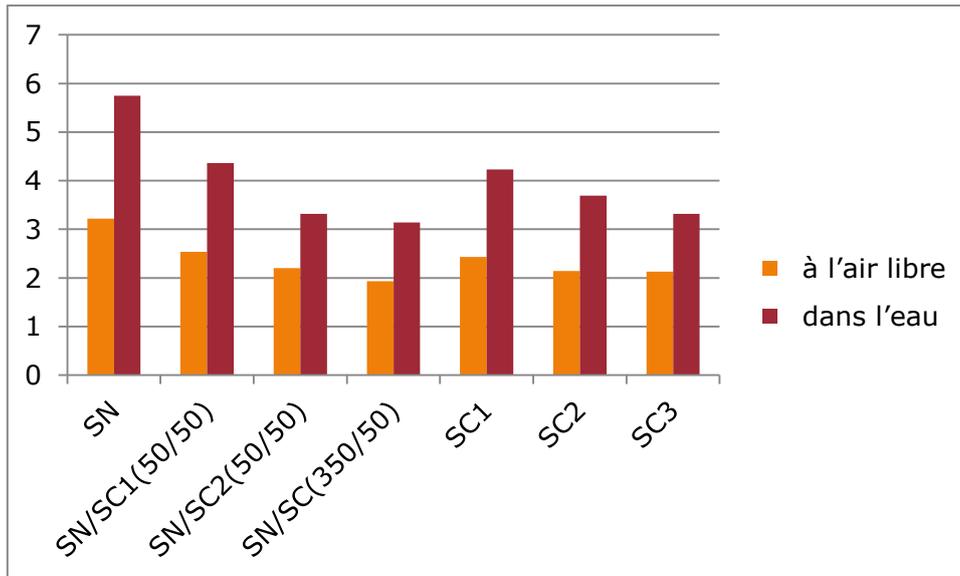


Figure III.5 : Résistance à la traction par flexion du mortier étudié 28 jours.

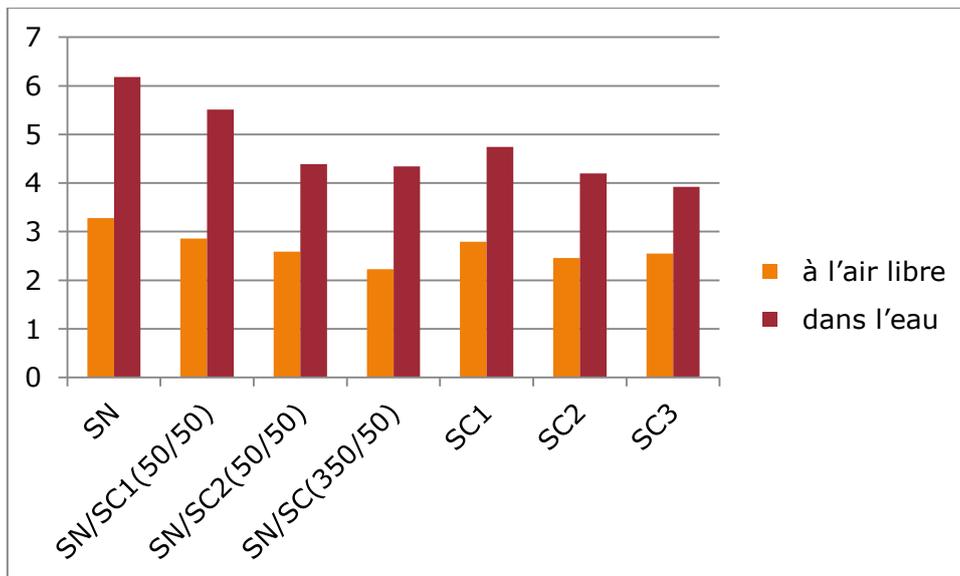


Figure III.6 : Résistance à la traction par flexion du mortier étudié 60 jours.

D'après le tableau III.4 et la figure III.5 ; III.6 la résistance à la traction par flexion est inversement proportionnelle au taux de substitution de mortiers à base de sable de différente carrière de quel que soit le milieu de conservation.

La résistance de mortier à base de SC1 est supérieure à celle de mortiers à base de SC2, SC3

On constate que les résistances à la flexion des mortiers conservés à l'air libre sont inférieures à celles des mortiers conservés dans l'eau.

Cette réduction de la résistance est due à l'appauvrissement en eau suite à son évaporation à l'air libre, entraînant un abaissement de la cinétique d'hydratation du ciment qui provoque une diminution de la résistance.

III.2.2.2.1 Effets d'ajouts minéraux sur la résistance à la traction par flexion.

Tableau III.5 : L'effet des ajouts minéraux sur la résistance à la traction par flexion des mortiers.

Type de mortier (SN/SC)	Résistance à la flexion à 28 jours (MPa)		Résistance à la flexion à 60 jours (MPa)	
	à l'air libre	dans l'eau	à l'air libre	dans l'eau
SN	3.33	5.75	3.28	6.18
SN/SC1 (50/50)	3.29	4.36	2.86	5.51
SN/SC1 (50/50+10%S)	3.50	4.88	3.75	6.28
SN/ SC1(50/50+20%S)	3.35	4.67	3.94	5.79
SN/ C1(50/50S+10%Z)	3.22	4.96	3.45	5.03
SN/ C1(50S50+20%Z)	3.11	4.11	3.96	4.87

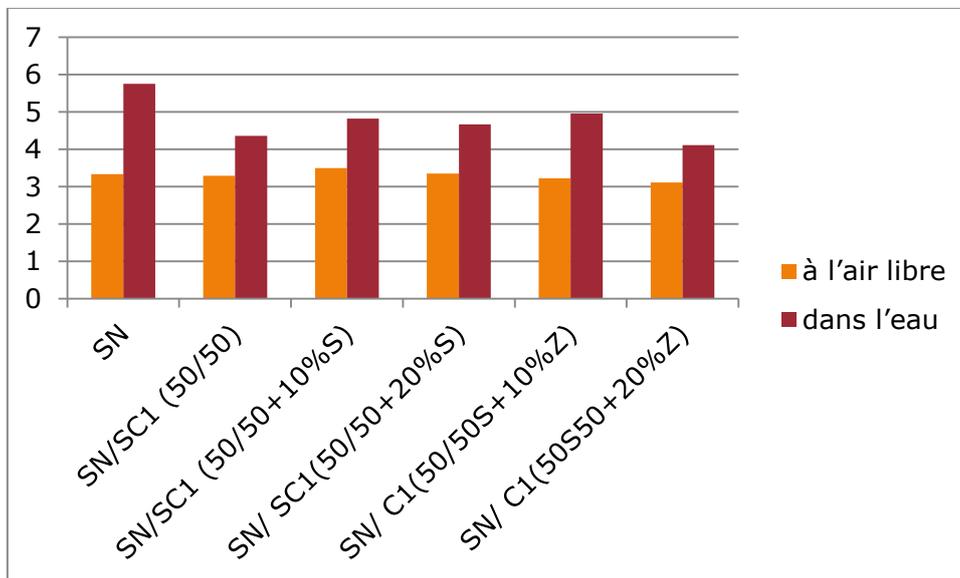


Figure III.7: Résistance à la traction par flexion du mortier étudié 28j.

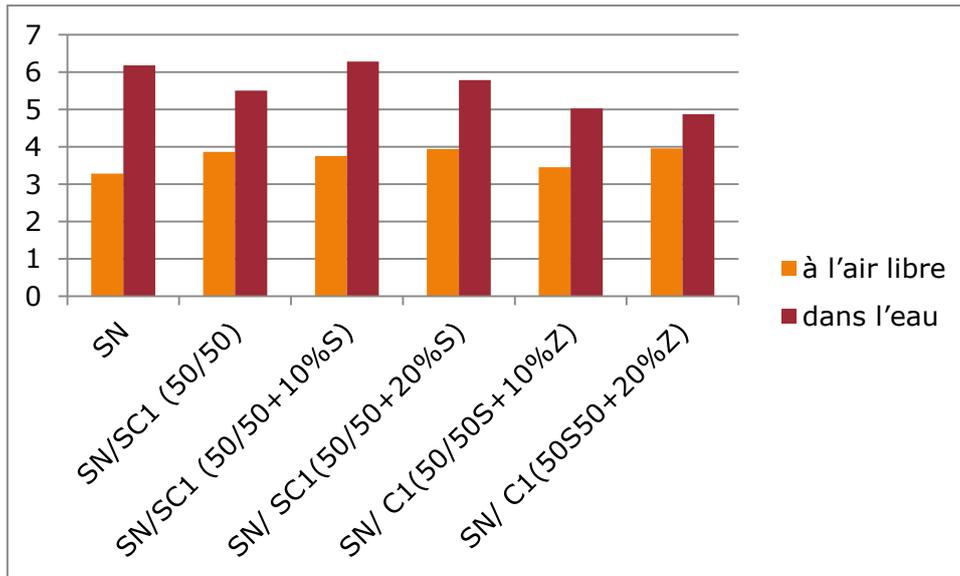


Figure III.8 : Résistance à la traction par flexion du mortier étudié 60 j.

D'après les figures **III.7** , **III.8** on remarque que la résistance à la traction des différents mortiers a la même allure que dans le cas de la résistance à la compression. Alors, les mêmes observations et conclusions mentionnées précédemment dans le cas de la résistance à la compressions, sont applicables dans le cas de la résistance à la traction.

III. 3 Etude des bétons

III. 3.1 Comportement de béton à l'état durci

III. 3.1.1 La résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée à l'âge de 28 jours sur des cubes (10x10x10) cm³ de 100 mm d'arête selon la procédure de la norme NF P 18-406.

Dans le cadre de cette étude nous avons confectionné deux séries de béton, à base de sable naturel et un béton témoin, la première série est partiellement composée de béton de sable de différent gisement à savoir SC1 ; SC2 et SC3.

Le tableau **III.5** regroupe les résultats de la résistance à la compression des différents mélanges.

Tableau III.6 : La résistance à la compression du béton.

Type de béton	Résistance à la compression (MPa)		
	7 jours	28jours	60jours
SN	26.89	50.98	56.43
SN/SC1(50/50)	23.15	48.54	50.35
SN/SC2(50/50)	21.75	40.00	43.76
SN/SC	20.41	35.41	38.88
SC1	20.98	38.11	41.23
SC2	19.67	36.45	40.02
SC3	18.44	32.67	34.21

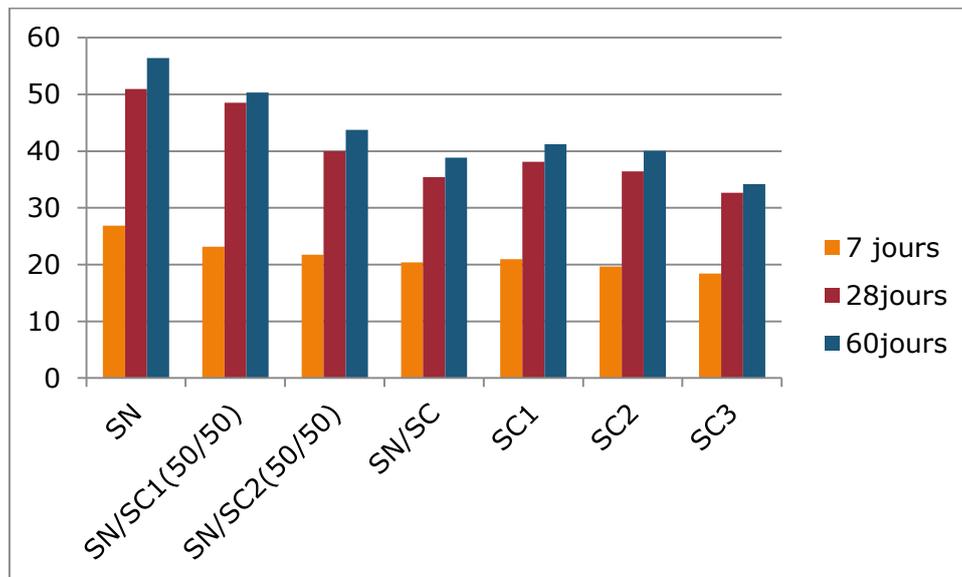


Figure III.9 : Résistance à la compression du béton.

D'après les **figures III.9**, on remarque que de l'évolution de la résistance à la compression des différents types de bétons ne se différencie pas de celle des mortiers discutés précédemment. Elle peut être classée par ordre croissant comme suivant : SC1, SC2, SC3 pour les bétons à base de sable de carrières. Cela s'explique comme le cas des mortiers, par l'effet granulaire des fines calcaires contenus dans le sable de carrières à des différents pourcentages, ces fines font densifier le squelette granulaire en remplissant les vides ce qui fait diminuer la porosité, et par conséquent une augmentation de la résistance à la compression. On peut alors déduire que l'existence d'une certaine quantité des fines est une nécessité pour avoir une meilleure résistance mécanique. D'autre part, en comparant les

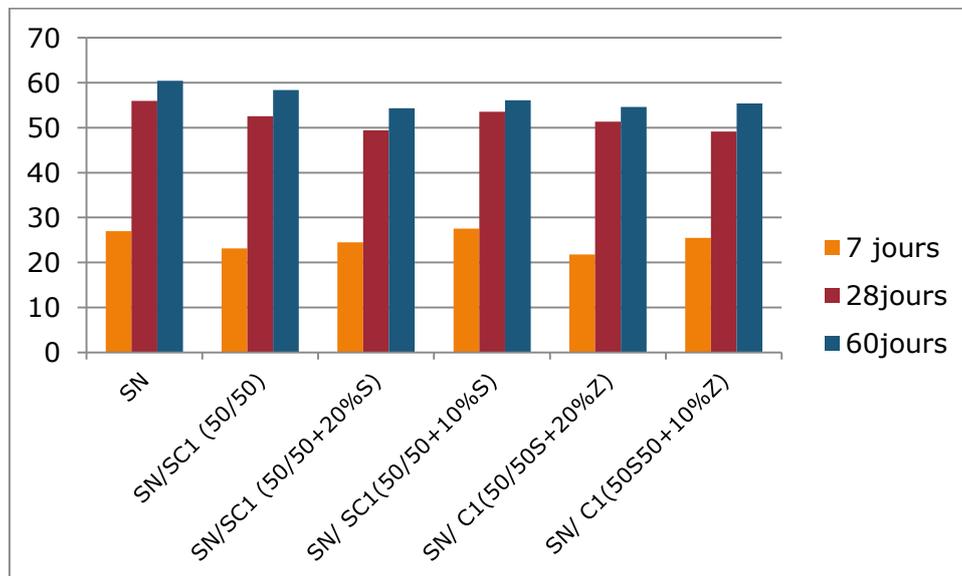
résistances des bétons SC1 ; SC2 et SC3 avec le béton de contrôle, on observe que la résistance de béton à base de sable de carrière est inférieure à celle de béton à base de sable naturelle.

III.3.2.1.1 Effets d'ajouts minéraux sur la résistance à la compression

Pour améliorer les caractéristiques mécaniques des bétons, on a incorporé 10% , 20% de laitier et pouzzolane en substitution les résultats sont présenter dans le tableau III.7

Tableau III.7 : L'effet des ajouts minéraux sur la résistance à la compression de béton.

Type de béton	Résistance à la compression (MPa)		
	7 jours	28jours	60jours
SN	26.89	55.98	60.43
SN/SC1 (50/50)	23.15	52.54	58.35
SN/SC1 (50/50+20%S)	24.49	49.4	54.30
SN/ SC1(50/50+10%S)	27.56	53.55	56.12
SN/ C1(50/50S+20%Z)	21.81	51.32	54.62
SN/ C1(50S50+10%Z)	25.50	49.10	55.38



Figures III.10 : L'effet des ajouts minéraux sur la résistance à la compression de béton.

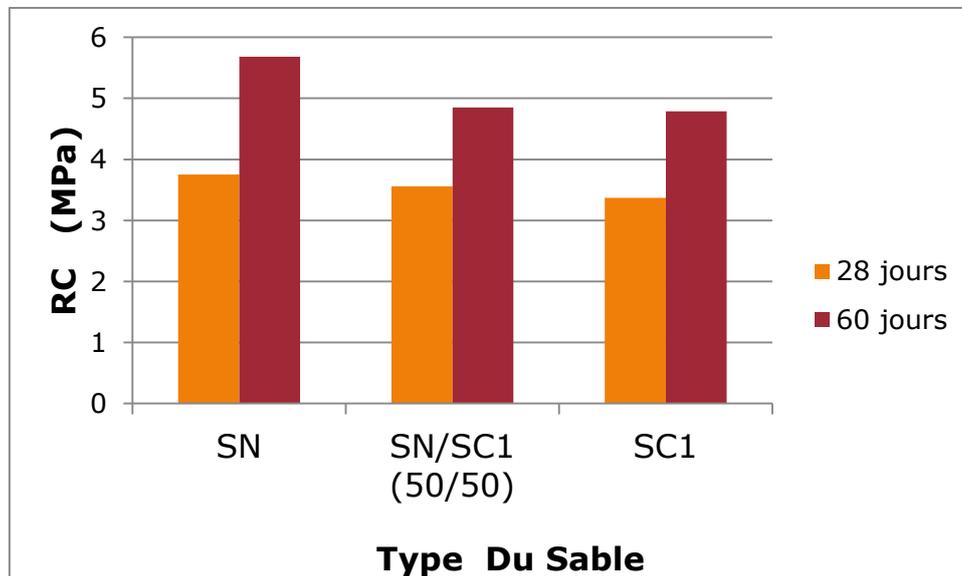
On remarque d'après le **tableau III.7** et les **figures III.10**, que l'incorporation de l'ajout de 10% ,20% de pouzzolane et de laitier au béton à base de 50% de sable de carrière 1 (SC1) provoque une augmentation du résistance à la compression qui dépasse la résistance à la compression du béton à base de 50% de sable de carrière et plus proche à la résistance de béton témoin. On constate que la présence des ajouts minéraux (pouzzolane et laitier) dans le béton à base de sable de carrière influe de façon significative de ce dernier.

III.3.2.2 Résistance à la traction par flexion des bétons

Les résultats des essais de la résistance à la traction par flexion pour les meilleurs résultats de sable de carrière (SC1) et sable naturel (SN) sont portés sur le **tableau III.10**

Tableau III.8: Résistance à la traction par flexion

Type de béton	Résistance à la traction par flexion(MPa)	
	28 jours	60 jours
SN	3.75	5.68
SN/SC1 (50/50)	3.56	4.85
SC1	3.37	4.79



Figures III.11 : Résistance à la traction par flexion

D'après les **figures III.11** on remarque que la résistance à la traction des différents bétons ont la même tendance que la résistance à la compression.

III.3.2.2 .1 Effets d'ajouts minéraux sur la résistance à la traction par flexion

Le tableau III.9 présente les résultats de la résistance à la traction du béton à base de sable de carrières(SC1) plus laitier et pouzzolane et béton témoin(SN).

Tableau III.9 : Effets d'ajouts minéraux sur la résistance à la traction par flexion

Type de béton	Résistance à la traction par flexion(MPa)	
	28 jours	60 jours
SN	3.75	5.68
SN/SC1 (50/50)	3.56	4.85
SN/SC1 (50/50+20%S)	3.87	5.81
SN/ SC1(50/50+10%S)	4.52	5.96
SN/ C1(50/50S+20%Z)	3.80	5.74
SN/ C1(50S50+10%Z)	4.69	6.18

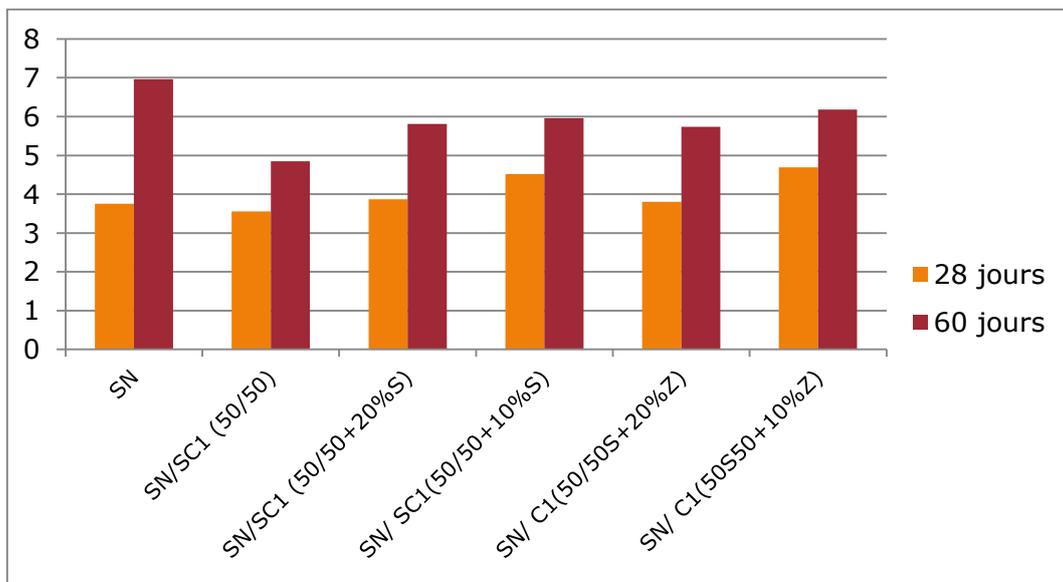


Figure III.12 : Résistance à la traction par flexion

D'après la figure III.12 Résistance à la traction par flexion, comme dans le cas des mortiers, une amélioration de la résistance à la traction est bien remarquée, cela est pour le béton à base de sable de carrières.

III.2.3.3 Absorption d'eau par immersion

Le volume poreux du béton peut se mesurer par absorption d'eau, le procédé consiste à sécher une éprouvette de béton à masse constante, en l'immergeant dans l'eau et en mesurant l'augmentation de masse exprimée en pourcentage de la masse sèche. L'absorption d'eau en

masse (%) est :

$$A = \frac{M_{Sat} - M_{Sec}}{M_{Sec}} 100\%$$

Les éprouvettes utilisées dans cette partie sont cubiques de dimensions (10×10×10) cm³ et sont conservées à l'eau (T = 22°C). Les valeurs du coefficient d'absorption en fonction du type de béton sont illustrées dans le **tableau III.10**

Tableau III.10 : Absorption d'eau par immersion à l'état durci des bétons.

Type de béton	Msat(g)	Msec(g)	Absorption d'eau %
SN	2414	2303	4.82
SN/SC1 (50/50)	2433	2312	5.23
SN/SC1 (50/50+10%S)	2463	2341	5.21
SN/ SC1(50/50+20%S)	2396	2232	7.34
SN/ C1(50/50S+10%Z)	2474	2363	4.69
SN/ C1(50S50+20%Z)	2453	2329	5.32

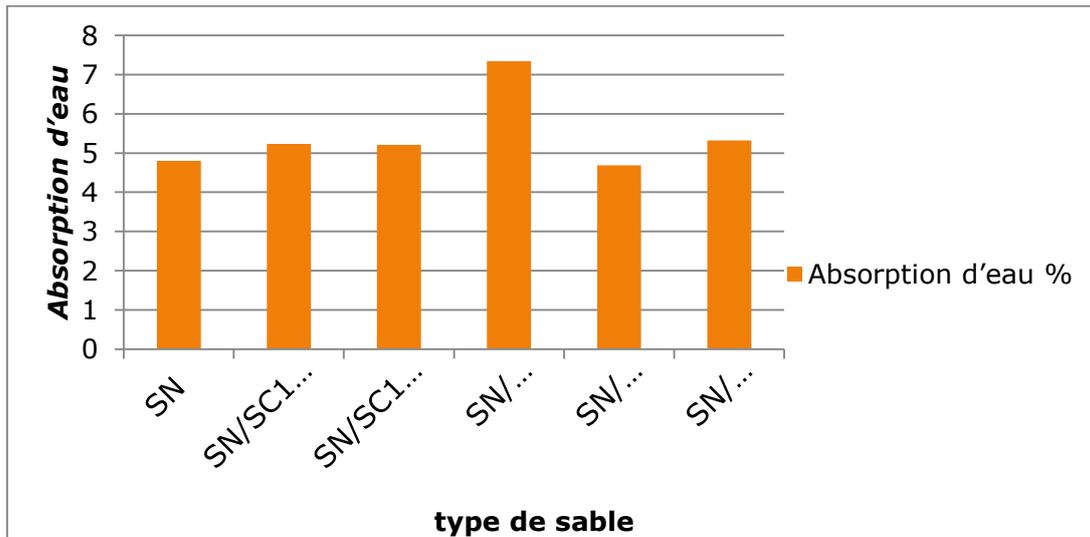


Figure III.13 : Absorption d'eau par immersion à l'état durci des bétons.

L'analyse des résultats d'essai d'absorption d'eau par immersion, mentionnée au **tableau III.10** et la **figure III.13** ci-dessus, permet de constater que le taux d'absorption d'eau des bétons à base de sable de carrière est supérieur au taux d'absorption de béton témoin.

III.3.2.4 Durabilité

Les études de durabilité ont été réalisées pour mieux comprendre l'effet de l'utilisation de sable de carrière sur les propriétés du béton.

III.3.2.4.1 Résistance aux milieux agressifs

Chapitre III Analyse et discussion du résultat

Les milieux les plus agressifs sont soit acides, soit salins (chlorures, sulfates), La résistance aux milieux agressifs est déterminée à partir des éprouvettes cubique ($10 \times 10 \times 10$) cm^3 . Le durcissement étant en conditions naturelles (cure dans l'eau) pendant 28 jours, puis les bétons durcis sont immergées séparément pendant 45 jours dans les solutions suivantes : HCl (2.5%), H₂SO₄ (2.5%), (5%) et (10%), NaOH (5 %). Les résultats de mesure de PH sont représentés le **tableau III.11**

Tableau III.11 : PH des différents milieux agressifs

PH	2jours	7jours	14jours	28jours	60jours
5%NaOH	13	13.05	13.20	13.36	13.60
5%HCl	3.24	4.95	5.30	8.68	9.45
2.5%H ₂ SO	1.70	2.45	3.38	3.40	3.77
5%H ₂ SO ₄	0.95	1.20	1.95	2.65	3.37
10%H ₂ SO ₄	0.55	0.62	0.98	1.40	2.02

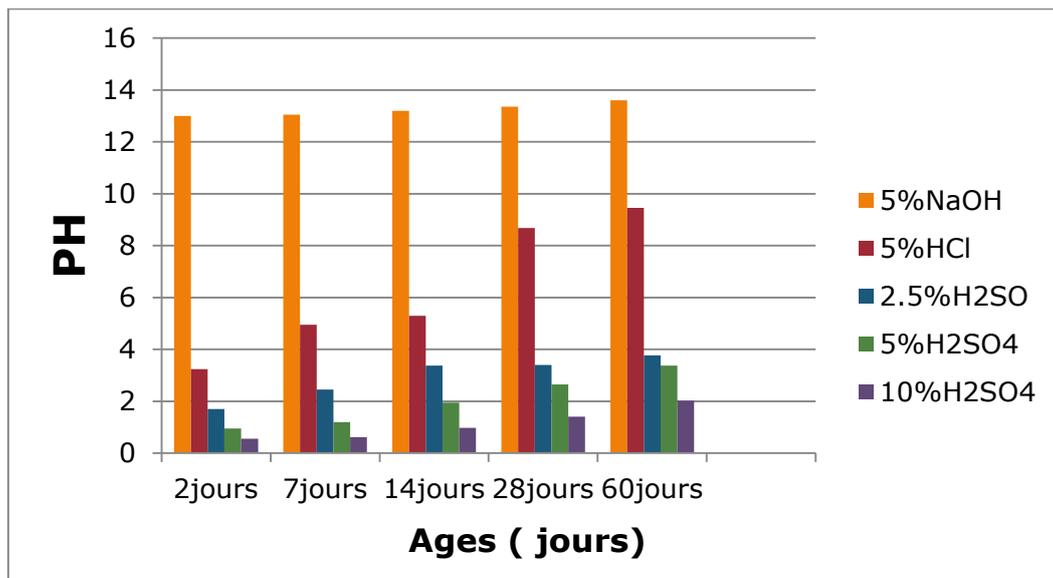


Figure III.14 : PH des différents milieux agressifs

Tableau III.12 : Effets des milieux agressifs sur la résistance à la compression.

Type de béton	Résistance à la compression				
	5%NaOH	5%HCl	2.5%H2SO	5%H2SO4	10%H2SO4
SN	60.43				
SN/SC1 (50/50)	55.98				
SN	49.28	30.15	49.77	25.46	23.00
SN/SC1 (50/50)	44.63	35.61	45.00	23.56	19.78
SN/SC2(50/50)	39.78	32.00	37.63	18.60	16.42
SN/SC3(50/50)	36.69	31.19	44.18	15.18	15.03

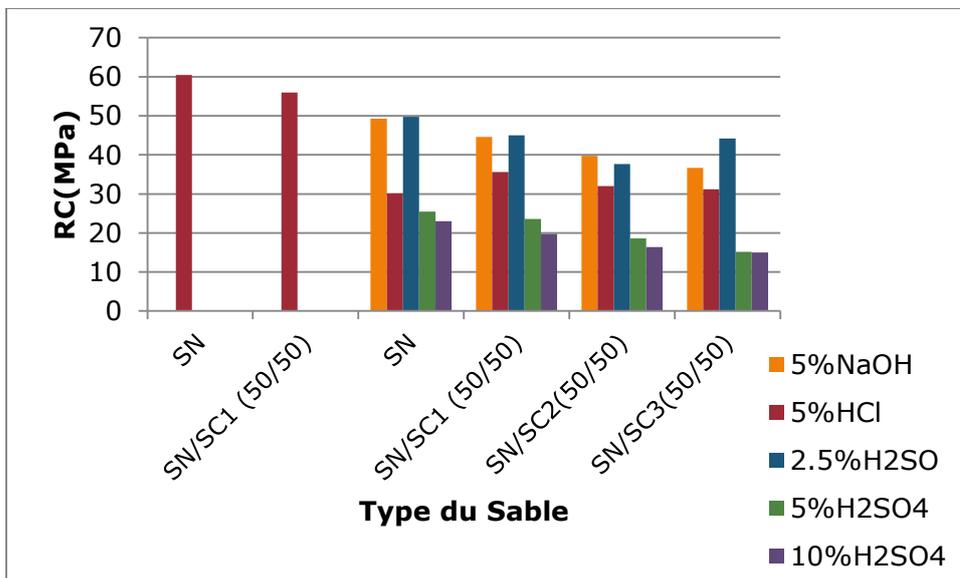


Figure III.15: Effets des milieux agressifs sur la résistance à la compression.



Photo III 1: Essai de compression.

D'après le **tableau III.12** et la **figure III.14** On voit que la résistance des bétons conservés dans les milieux agressifs est inférieure à celle conservés dans l'eau potable.

Le comportement mécanique des bétons dans les milieux agressifs diffère de l'un à l'autre. Cela est dû au mécanisme de dégradation aux attaques sulfatiques, attaques des acides, sulfuriques et chlorures qui sont totalement différents l'une de l'autre.

L'acide sulfurique (H_2SO_4), l'acide chlorhydrique (HCL) et sulfate d'ammonium sont classés comme les menaces naturelles les plus agressives. Lorsque un béton est exposé à un environnement contenant ces acides, il subit une dégradation due à des réactions de neutralisations.

la dégradation de résistance à compression est de l'ordre de 26% ; 07,3% et 60 % pour les dosages de 2.5% ; 5% et 10% respectivement pour H_2SO_4 et de 10% pour une concentration de 5% de HCL. Tandis que pour le NaOH n'a aucune effet sur la résistance mécanique parce que c'est un milieu basique. Alors que pour une concentration de 10% d'acide sulfurique on observe une chute de résistance de l'ordre de 60..%

III.3.2.4.2 La perte de masse

On a réalisé des éprouvettes ($10 \times 10 \times 10$) cm³ avec des différents sables (50SC1, SC2, 50SC3, 100SN) elles sont immergées pendant 28 jours dans l'eau à une température de 20 + ou - 2 °C, après la période de cure de 28 jours dans l'eau, les cubes sont pesés pour déterminer M1 puis elles sont immergées dans les différentes solutions :

- 5% d'acide chlorhydrique (HCL)
- 2.5% d'acide sulfurique (H_2SO_4).
- 5% d'acide sulfurique (H_2SO_4).
- 10% d'acide sulfurique (H_2SO_4).
- 5% d'hydroxyde de sodium (NaOH).

La résistance due aux agressions chimiques des échantillons immergés dans ces solutions est évaluée selon la norme ASTM 267-96 [75], les éprouvettes sont nettoyées 3 fois à l'eau douce pour éliminer le matériau altéré et puis on les laisse sécher pendant une demi heure ensuite on procède à la pesée de ces dernières d'où la masse M2.

Cette opération est effectuée après 1, 7, 14, 21 et 28 jours après l'immersion concernant l'attaque par les acides. La solution d'attaque est renouvelée à sa totalité chaque 7 jours (selon la valeur du PH).

Enfin, la résistance chimique soit pour l'attaque acide soit pour l'attaque basique est évaluée par la mesure de la perte des masses.

$$\text{Perte de masse (\%)} = [(M1-M2)/M1] \times 100 \text{ [76]}$$

Avec M1, M2 les masses des éprouvettes avant et après immersion, respectivement.

Tableau III.13: Perte de masse des bétons conservée dans les milieux agressifs.

Type de béton	La perte de masse en %				
	5%NaOH	5%HCl	2.5%H2SO	5%H2SO4	10%H2SO4
SN	0.80	2.45	0.95	5.04	9.04
SN/SC1 (50/50)	0.57	1.96	0.84	1.12	7.04
SN/SC2(50/50)	0.64	2.05	1.24	1.65	8.39
SN/SC3(50/50)	0.89	2.39	0.94	1.92	9.65

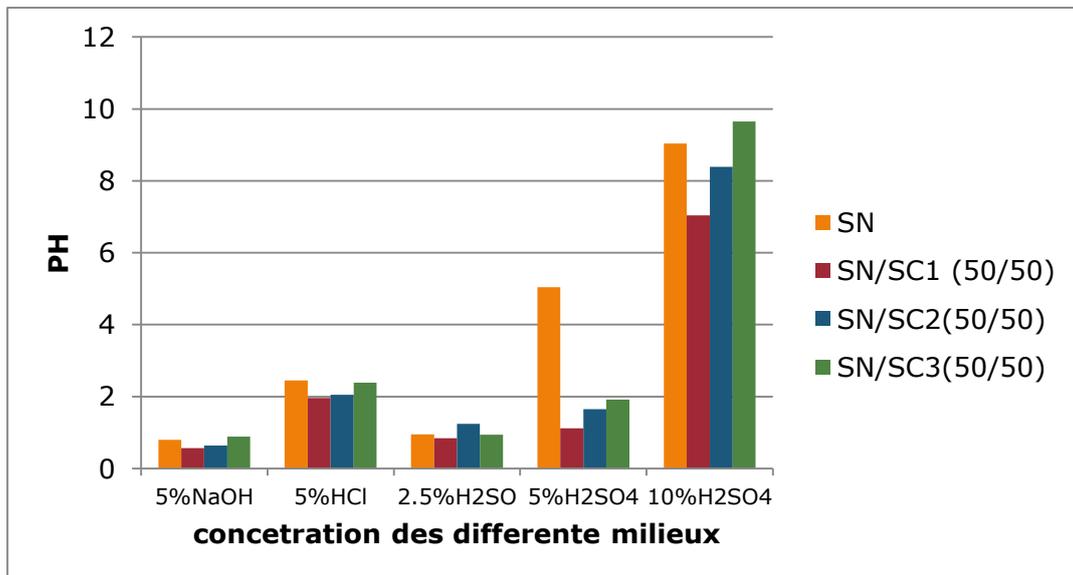


Figure III.16 : Perte de masse des bétons conservée dans les milieux agressifs.

Selon le **tableau III.13** et la **figure III.15** qui indiquent la perte de masse des différents bétons étudiés on note que : les solutions H2SO4 et HCL ont grandement affecté le béton par rapport à l'autre solution Na OH

La perte de masse observée pour 10% H2SO4 est supérieure à celle des autres pourcentages

III.3.2.5 La résistance en traction par fendage

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse. Cette essai est souvent appelé « Essai Brésilien ». Si p est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre 16X32 cm par mise en traction du diamètre vertical, la résistance en traction sera :

$$f_{tj} = 2 \frac{P}{\pi DL}$$

Tableau III.14 : La résistance à la traction des bétons testés.

Type de béton	Résistance à la traction par fendage (MPa)
SN	3.19
SN/SC1 (50/50)	3.24
SN/SC2(50/50)	2.36
SN/SC3(50/50)	2.30
SN/SC1 (50/50+20%Z)	3.36
SN/ SC1(50/50+10%Z)	3.87
SN/ C1(50/50S+20%S)	3.18
SN/ C1(50S50+10%S)	4.55

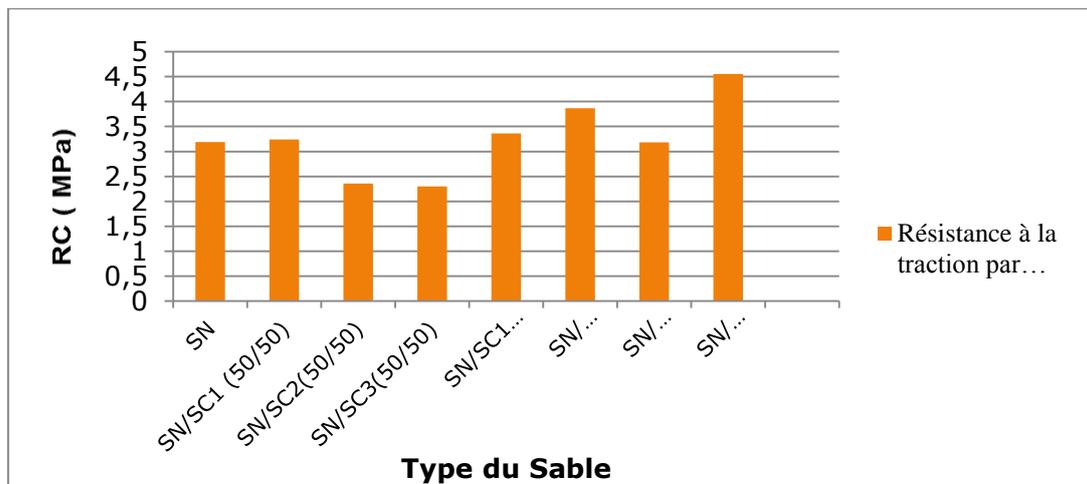


Figure III.17 : résistance à la traction des bétons testés.

D'après le tableau III.14 et la figure III.17 on remarque que le béton contenant de sable de carrière possède une résistance à la traction comparable aux bétons témoin.

La résistance de béton qui contient les ajouts (laitier, pouzzolane) est supérieure à celle de béton sans ajouts.

III. 3.2.7 Perte de masse

On a réalisé des éprouvettes (10x10x28) cm³ avec des différents sables (50SC1, 50SC2, 50SC3, 100SN) elles sont immergées pendant 28 jours dans l'eau à une température de 20 +

ou – 2 °C, après la période de cure de 28 jours dans l’air, les cube sont pesées pour déterminer M1 ; M2

$$\text{Perte de masse (\%)} = [(M1-M2)/M1] \times 100 \quad [76]$$

Tableau III.16: Perte de masse des bétons.

Type de béton	Perte de masse Du Béton (kg /m ³)							
	à l’air libre				dans l’eau			
	7 jours	28jours	60jours	%	7 jours	28jours	60jours	%
SN	3200	3170.5	3160.5	-0.40	3211	3305.5	3301	0.21
SN/SC1 (50/50)	3203	3185.5	3178.5	-0.25	3213	3314.5	3316.5	0.34
SN/SC2(50/50)	3270	3249	3231	-0.23	3301	3360.5	3377.5	0.45
SN/SC3(50/50)	3300	3243.5	3240	-0.21	3302	3383.5	3389	0.8

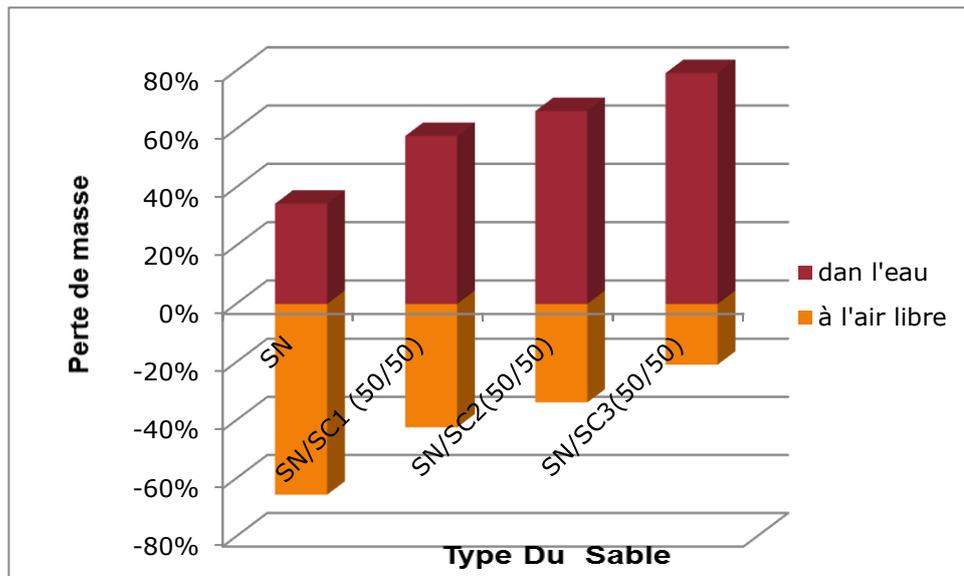


Figure III.19 : Perte de masse des bétons.

D’après le **tableau III.17** et la **figure III.18**. on remarque que les bétons du sable des carrières ont des perte des masses faible de l’ordre de 0.4 à 0.8 % ce qui permet d’utiliser ces sables de carrières dans le béton hydraulique.

III-3-2-8 Contrôle non destructif (scléromètre, Ultrason).

Afin de tester les bétons à base de sables des carrières, nous avons mené des d’essais in situ concernant le contrôle non destructif de la qualité de béton faisant comparer leurs

résistances estimées par le scléromètre et ultrason à celle déterminées par l'écrasement direct. Les essais ont été effectués sur trois éprouvettes de béton de sable de carrière à base de 50% de sable de carrière.

Le tableau **III-17** regroupe les résultats des deux essais qui montrent une réduction de la résistance à la compression estimée autant par le scléromètre que par l'ultrason, de l'ordre de 10 % par rapport aux bétons ordinaires.

Tableau III-17 : Résistance à la compression par essais indirects (Scléromètre et Auscultation)

Type de béton	Ultrason (L= 320mm)		Scléromètre	
	T (µs)	V (Km/s)	Is	Rs (MPa)
SN	66.5	4.81	43	57.78
SC1	72.7	4.40	37	42.78
SN/SC1(50/50)	70.5	4.53	35	38.28
SN/SC1 (50/50+20%S)	72.6	4.40	33	34.03
SN/SC1 (50/50+20%Z)	76.5	4.18	32	32

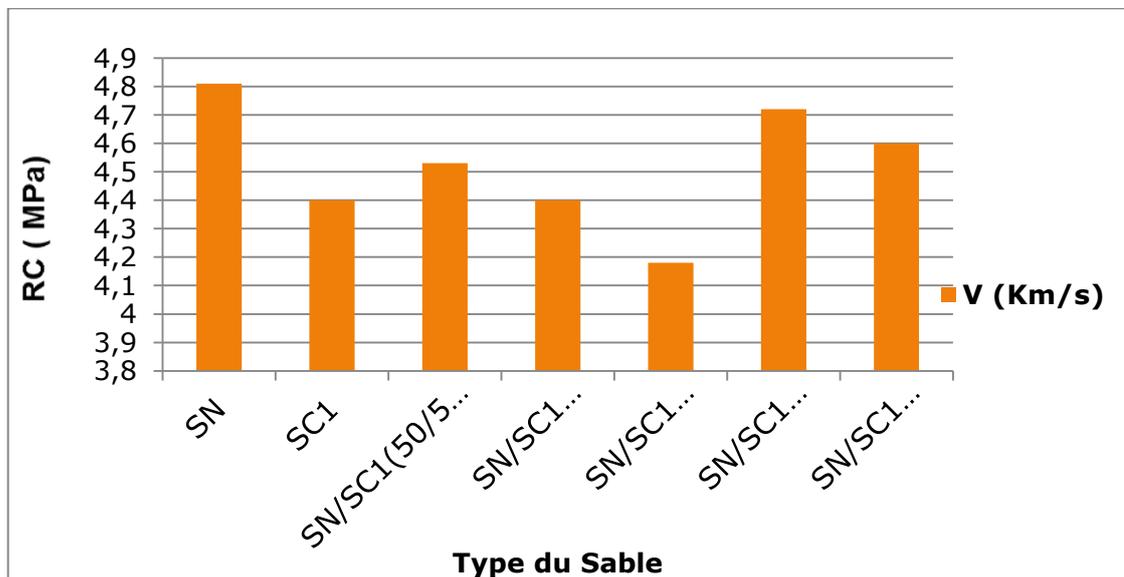


Figure III.20 : vitesse de propagation

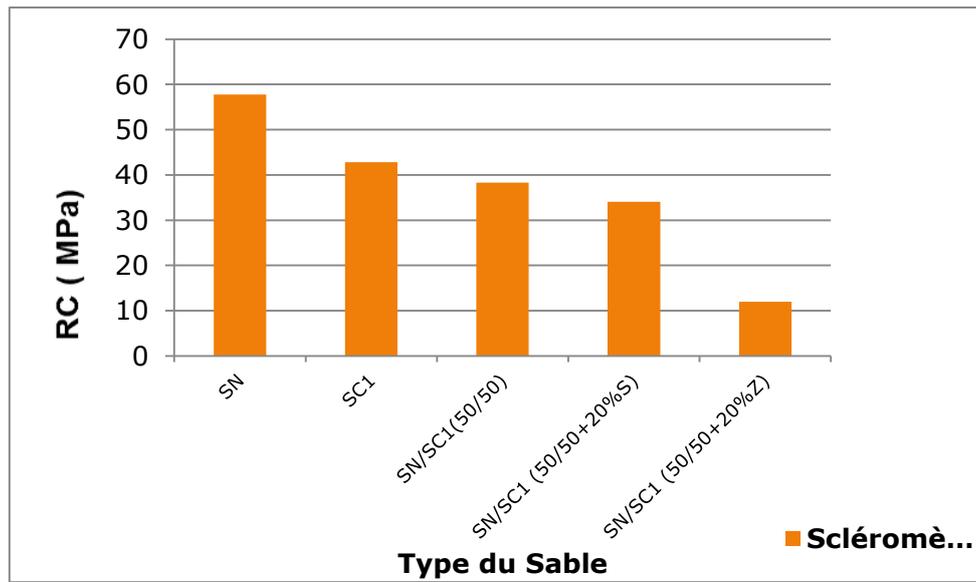


Figure III.21 : Résistance à la compression par essais indirects (Scléromètre)

III.6 Conclusion

Le but de notre travail a porté essentiellement sur l'étude de la possibilité de l'utilisation du sable des carrières comme substitution au sable naturel pour la fabrication du béton ainsi que l'effet des ajouts minéraux (pouzzolane, laitier) sur les propriétés mécaniques et rhéologiques de ce genre du béton. L'étude présente une démarche expérimentale visant à déterminer les performances des types du béton composé à base de différents types du sable de carrières dans le but de tenter de comprendre les influences de substitution du sable naturel par le sable des carrières sur les différentes caractéristiques du béton. Les influences sur l'ouvrabilité, l'absorption, la résistance à la compression et la résistance à la traction sont les paramètres retenus dans cette étude.

CONCLUSION GENERALE

Le sable est un élément essentiel entrant dans la composition du béton. Son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire entre le ciment et le gravier pour une meilleure cohésion du béton.

Pour établir les propriétés essentielles, le béton à base de sable de carrière doit subir plusieurs contrôles, à savoir le contrôle de qualité des constituants, contrôle des matériels de confection des béton, contrôle de béton fini, contrôle de béton durci et plusieurs essais tels que l'essai de durabilité

L'analyse des résultats expérimentaux a permis de conclure que :

- ❖ Ils e possible de fabrique un béton de sable de carrière avec propretés physiques et mécaniques comparable avec le béton de référence.
- ❖ Il est possible de fabriquer un béton à base des sables de carrière1, de mélange de sable naturel et carriériel avec des propriétés physiques et mécaniques comparable à celle du béton ordinaire.
- ❖ la présence des ajouts minéraux (laitier et pouzzolane) dans les bétons du sable des mélanges choisi (SC1/SN : 50/50) influence de façon significative des propriétés mécaniques de ces derniers et d'une manière analogue pour le béton conventionnel pour un dosage de 10% et 20%.
- .
- ❖ Pour un teneur de 15% en laitier et pouzzolane, on remarque une amélioration très importante de la résistance à la compression qui de lodre de 15% pour le laitier et de 12% pour le pouzzolane..
- ❖ Le taux de substitution des sables de carrière influence négativement sur la résistance à la flexion et à la compression des mortiers et des bétons quel que soit le milieu de conservation (à l'air libre, dans l'eau).
- ❖ La résistance à la flexion par fendage du béton à base de sable de carrière est comparable au béton témoin.
- ❖ Chute de la résistance à la compression pour les éprouvettes de béton conservées dans les milieux agressifs.
- ❖ Pour une concentration de 10% d'acide sulfurique . en observe une chute de résistance de l'ordre de 60%.

RECOMMANDATION

- Avoir un matériel plus performant au sein des carrières, c'est-à-dire le renouvellement des équipements de concassage pour obtenir des sables ayant un pourcentage en fines acceptable (maîtriser la teneur en fines dans les sables).
- Encadrement des organismes exploitants les carrières par des spécialistes dans le domaine
- Installer un laboratoire sur site, pour le contrôle facile et rapide des sables.
- Formuler des bétons de sable avec des adjuvants réducteurs de retrait.
- Formuler des bétons de sable de carrières avec des ajouts minéraux actifs à long terme.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **Wei CHEN** « Etude expérimentale de la perméabilité du béton sous conditions thermiques et hydriques variables » thèse de doctorat, école centrale de LILLE(France), page 47, année 2011.
- [2] **BARKAT, M.** Effets des additions minérales et adjuvants fluidifiants sur le comportement rhéologique des mortiers et bétons frais et durcis à base de sable de carrières, Thèse de Magister, 2012 Université Mohamed Khider de Biskra.
- [3] **KERBOUCHE, A.** Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques et la durabilité des mortiers, Thèse de magister, 2008 l'ENSET d'Oran.
- [4] **CIMBÉTON** (2006); Les bétons: formulation, fabrication et mise en oeuvre, Paris.
- [5] **SADHOURI, F, GOUFI, N, & GUEZZOULI, A.** Valorisation de l'utilisation des sables concassés par analyse des propriétés des mortiers et des bétons. SBEIDCO-1st. In : International conférence on sustainable built environment infrastructures in developing countries, ENSET Oran(Alegria).2009.p.247-57.
- [6] **A. BRAHMA** « le béton » office des publications universitaires.
- [7] **Lott. J.-P, al, 2005** CIMBÉTON : centre d'information sur le ciment et ses applications « Ciment et béton » conception et réalisation, Am principe Paris, Edition 2005.
- [8] **Dreux. G, Festa. J** « Nouveaux guide du béton et de ces constituants », Ed. Eyrolles, 1998.
- [9] **Frahtia.S** « l'influence de la concentration des fibres sur l'ouvrabilité de béton de fibre », thèse magistère, université de m'sila, année 2010.
- [10] **DJOBO YANKWA Jean Noël** « Effet de l'incorporation d'adjuvants minéraux sur les propriétés de ciment géolopolymères à base de scories volcaniques » mémoire de Master en chimie, université de yaoundé I, année 2013.
- [11] **DEMIRBOGA, R,** Influence of mineral admixtures on thermal conductivity and compressive strength of mortar.Energy and buildings, 2003, vol35.no 2, p189-192.
- [12] **ÖNER, M, ERDOGDU, K, GUNLU, A.**Effect of components finenes on strength of blast furnance slag cement.Cement and concrete Research, 2003, vol33, no 4, p.463-469.
- [13] **ZHU, J, ZHONG, Q, CHEN, G, & LI, D.** Effect of particlesize of blast faunance slag on proprties of portland cement.Procedia Engineering, 2012, vol 27, p231-236.

Références bibliographiques

- [14] **AMOURI, C.** Contribution l'étude de l'influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires (caractérisation, performances, durabilité),2009. Thèse de doctorat, Université Mentouri Constantine.
- [15] **BOUDCHICHA, A.** Utilisation des additions minérales et des adjuvants fluidifiants pour l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons,2007, Thèse de doctorat, Université Mentouri constantine.
- [16] **ÇOLAK, A,** Characteristics of pastes from a portland cement containing different amounts of natural pozzolan.cement and concrete Research, 2002, vol. 32, no 12, p. 1851-1858
- [17] **BELHOCINE AIDA et NAGOUDI NADJAT** «Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux» mémoire de master en génie civil, université kasdi merbah, ouargla, année 2014.
- [18] **Dreux-Gorisse** : « Guide pratique du béton », Collection de l'ITBTP, 1970.
- [19] **Moret.L** : Précis de géologie. Masson et Cie – 1962.
- [20] **SAADANI Sabrina** «Comportement des bétons à base granulats recyclés» mémoire Magister en Génie Civil de Université mentouri constantine, année 2003.
- [20] **DESCANTES, Y, GUDON, J, S, DUPONT, P,** Granulats. Origines et caractéristiques, Ed. Technique Ingénieur, 2007, p.2-13.
- [21] **COLLECTION TECHNIQUE CIMBETON.** Les constituants des bétons et des mortiers. Tome 1. Centre d'information sur le ciment et ses applications (France).
- [22] **COLLECTION TECHNIQUE CIMBETON.LES Béton** : formulation, fabrication et mise en œuvre. **Tome2.** Centre d'information sur le ciment et ses applications (France).CIMbéton, 2005, p.36-94.
- [23] **MARTAUD, T.** Evaluation environnementale de la production de granulats naturels en exploitation de carrière : indicateurs, modèles et outils, Thèse de doctorat de l'université D'ORLEANS, spécialité : sciences de l'univers, 2008.
- [24] **NORMAN, S.H.** Sand solutions replacing natural sand in concrete,Nordberg AC-series Air Classifiers, Metso Minerals, 2008, p, 17-20.
- [25] **MITCHELL, C.** Quarry fines and waste. 2009. p.1-8.

Références bibliographiques

- [26] **Arquié.G , Panet.M , Tourenq.C** : Granulats. Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, 1990
- [27] **Rigan.J** : Problems with using crushed sand in concrete production – Compte rendu conférence – construction press – 1981.
- [28] **Bulletin du ciment n° 21** : Béton avec granulats de pierres concassées – septembre 1981.
- [29] **Newman.K** : Sea-dredged aggregates for concrete Cement lime gravel – octobre 1969.
- [30] **Schneider.U, Diederichs.U, Rosenberger.W** : Propriétés et utilisation de béton normal avec des granulats de basalte – 2e partie. Betonwerk fertigteil technik vol 48 n° 12-1982.
- [31] **Schneider.U, Diederichs.U, Rosenberger.W** : Propriétés et utilisation de béton normal avec des granulats de basalte – 3e partie. Betonwerk fertigteil technik vol 49 n° 1-1983.
- [32] **Plinskin L. (1993)**"La fabrication du ciment", Edition Eyrolles, Paris, p 217.
- [33] **Noui.A**, cours de matériaux de construction 3^{ème} année génie civil, université de Bordj Bou Arreridj année 2012.
- [34] **Aitcin.P.C et Baron.J** « les adjuvants normalisés pour bétons, les bétons bases et données pour leur formulation» ed.eyrolles, 1996.
- [35] **Aitcin.P.C et Neville.A.M et Acker.P**, sep « integrated .view of shrinkage deformation» concrete international, vol. 19, no 9, p. 35-41, 1997.
- [36] **Alexaderson.J** « strength losses in heat cured concrete swedish cement and concrete» research institute at the royal institute of technology stockholm, 1972.
- [37] **El Barrak M** « Contribution à l'étude de l'aptitude a l'écoulement des bétons autoplacants à l'état frais », Thèse de doctorat, Université Toulouse III – Paul Sabatier, France. 2005.
- [38] « Eau de gâchage pour béton.», P 18-303, 1999.
- [39] **GEORGES DREUX et JEAN FESTA** « Nouveau guide du béton et de ses constituants » Huitième édition, Eyrolles, France, 1998.
- [40] **Dreux. G, Festa. J** « Nouveaux guide du béton et de ces constituants », Ed. Eyrolles, 1998.
- [41] **Messoudene.I** : cours (durabilité du béton), université de Bordj Bou Arreridj année 2014.
- [42] **Jean Michel Torrenti** «du béton frais au béton durci», sino data, éléments de comportement par directeur scientifique de l'école française du béton (EFB).

Références bibliographiques

NORMES CONSULTES :

[NF P18-560] Granulat-Analyse granulométrique par tamisage, Septembre 1990.

[NF P 18- 555] Granulat – mesure des masse volumique, coeficient d'absorption et de la teneur en eau de sable, Décembre1990.

[NF P18-573] Granulats-essai Los-Angeles, Décembre1990.

[NA EN P-18 598] Granulat –Equivalent de sable, Octobre 1991.

[NA EN 933-8] Essai pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats Partie 8 : Evaluation des fines-Equivalent de sable, Août 1999.

[NA EN 1097-6] Essai de déterminer les mécanique et physique des granulats, Décembre2009.

[NF EN 196-6] Méthodes d'essais des ciments : Détermination de la finesse, Aout 1990.

[NA EN 1008] Eau de gâchage pour béton- Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie de béton, telle que l'eau de gâchage pour béton, juillet 2003

[NA EN P18-404] Bétons-Essais d'étude, de convenance et de contrôle convection et des éprouvette, Décembre1981.

[NA EN P18-451] Bétons-Essais d'affaïcement, Décembre1981.

[NA EN 12350-5] Essai pour béton frais- Partie 5 : essai de vibration, juin2009.

[NA EN 12390-2] Essai pour béton durci-confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance, Octobre 2001.

[NA EN 12390 -3] Essai pour béton durci-Résistance à la compression des éprouvettes, Février 2003.

[NA EN 12390-5] Essai pour béton durci-Résistance à la flexion sur éprouvette, Octobre 2001.

[NA EN 12390-6] Essai pour béton durci-Résistance en traction par fendage d'éprouvette, Octobre2001.