



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université KASDI MERBAH DE OUARGLA



FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

Laboratoire Exploitation et Valorisation
Des Ressource Naturelle en zone aride

Thèse

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences

Filière: Génie civil
Option: construction civil et industriel

Présenté par
BEDADI Laid

Thème

Caractérisations des sables des oueds
(Oued N'SA, Oued Mzab et Oued Rtem) pour leur valorisation
dans les domaines de fabrication de béton en zone arides.

Soutenu publiquement le : 18/07 /2019

Devant le jury composé de:

LEGHRIB Youcef	Maître de conférence (A)	U. Ouargla	Président
BENTEBBA Med Tahar	Professeur	U. Ouargla	rapporteur
GUETTALA Salim	Professeur	U. Djelfa	Examineur
TAALLAH Bachir	Maître de conférence (A)	U. Biskra	Examineur

Année 2018/2019

ملخص:

نستعمل عادة في الخرسانة المسلحة الرمل العادي للبناء و الذي يستخرج غالبا من المقالع ، الوديان أو شواطئ البحار. فهذه المادة ضرورية جدا في تكوين الخرسانة ، و لكن توفرها أصبح نادر و مكلف نوعا ما.

لهذا ونظرا لكثرة مسارات الوديان بحوض ورقلة ووادي ريغ بصفة عامة نختار رمل الوديان واستغلاله كمادة محلية في تكوين الخرسانة ومنها نختار واد النساء- واد ميزاب - واد الرتم.

لأجل هذا التوفر في المناطق الصحراوية قمنا بهذه الدراسة التجريبية التي تتضمن دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذا النوع من الرمل و استعماله في مجال البناء, بالإضافة إلى خصائص الخرسانة المكونة من رمل الوديان.

و الهدف من الدراسة ، هو إمكانية إيجاد مقالع مادة الرمل لاستعماله في خليط الخرسانة و ذلك قصد التقليل من تكلفة المتر المكعب من هذه المادة والمساهمة في زيادة مداخيل البلدية والذي يشكل دعما ماليا واقتصاديا لها, وكذلك دراسة ديمومة الخرسانة.

لذلك قمنا بدراسة تجريبية تضم أكثر من 246 عينة باستخدام رمل الوديان في الخرسانة العادية وخرسانة الرمل مع الاحتفاظ بالعينات في الهواء الطلق وداخل أوساط مائية وعدوانية.

سمحت لنا الدراسة بالحصول على نتائج مرضية تماما فيما يخص مقاومة الضغط والشد وتجربة الانكماش والديمومة... الخ .

الكلمات المفتاح : رمل الوديان، اسمنت، خرسانة، ضغط، شد، تقلص، ديمومة.

ABSTRACT :

We usually use, in the making of reinforced concrete, the ordinary sand which is generally extracted from quarries, valleys or beaches.

Given the large number of streams in the ouargla's and Righ's basin, We have chosen the oued N'sa , Oued M' zab and Oued Rtem and we will also depend – in general –on the sand from the ' wadi' valleys as a local element in the composition of the concrete.

Given its availability in the saharian regions, the experimental study was conducted through examining the physical and chemical properties of this type of valleys sand the cement properties mixed with. Finally, we try highlight its role in the construction field.

The aim of this study is to seek sand quarries for use in concrete blending and as well to verify the sustainability of concrete, aiming to reducing cost of the cubic of this substance and helping increase the income of the municipality.

An experimental study was therefore conducted on a sample of more than 246 using valleys sand in normal concrete and sand concrete keeping the sample outdoor and in an aqueous and hostile environment.

The study allowed us to achieve fairly satisfactory results in terms of resistance to pressure and traction by testing shrinkage and durability...

Key words: wadi sand (valleys), cement, concrete, compression, traction, shrinkage, durability.

Résumé :

Nous utilisons habituellement dans les constructions de béton armé, le sable ordinaire qui est extrait généralement de carrière, d'oued ou de plage. Ce matériau est nécessaire dans la composition du béton, mais malheureusement, sa disponibilité se fait très rare et coûteuse.

Pour cela vu la disponibilité gigantesque et beaucoup des réseaux des oueds dans la cuvette de Ouargla et la région d'oued righ, nous avons choisi, le sable des oueds comme matériaux de substitution dans la composition du béton (Oued N'sa-Oued M'zab-Oued Rtem).

Vu sa disponibilité dans les régions sahariennes. On a mené la présente étude expérimentale on étudiant les caractéristiques physico mécanique et chimique de sable d'oued et leur utilisation dans le domaine de construction du béton, Ainsi que les propriété des bétons a base de ces sables.

L'objectif principale de cette étude est la possibilité de recherche des carrières de sable pour utiliser dans la composition du béton et vérifier aussi la durabilité de béton visant à réduire le coût du mètre cube du béton de cette substance et de contribuer à augmenter les revenus de la commune, ce qui constitue un soutien financier et économique.

On donc mené une étude expérimentale sur de 246 échantillons ou plus, en utilisant des sable d'oued dans le béton normal et béton de sable avec conservé dans l'eau, l'air libre et milieu agressive.

L'étude nous a permis d'obtenir des résultats assez satisfaisant au niveau de résistance de compression, traction, retrait et durabilitéect

Mots clés : sable des oueds, ciment, béton, compression, traction, retrait, durabilité.

SOMMAIRE

	Page
INTRODUCTION GENERALE	
Généralité.....	2
Objectif de la recherche.....	2
Plan de travail.....	2
PREMIER PARTIE: RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I: PRESENTATION DE LA REGION DE OUARGLA ET OUED RIGH	
I.1-PRESENTATION DE LA REGION D'OUED RIGH.....	6
I.1.1 Situation Géographique	6
I.1.2 Situation administrative	8
I.1.3- La topographie de la région de oued righ.....	8
I.1.4 Cadre géologique local de Oued Righ	9
I.2 - PRESENTATION DE LA REGION D'OUARGLA.....	10
I.2.1 Situation géographique.....	10
I.2.2 Situation administrative	12
I.2.3 Bassin versant de l'oued R'tem.....	16
I.3 CONCLUSION.....	17
CHAPITRE II: PROPRIETES ESSENTIELLES DU BETON	
II. 1 INTRODUCTION.....	19
II. 2 Bétons de sable	19
II. 2. 1 Définition.....	19
II. 2. 2 Historique.....	20
II. 2. 3 Domaines d'utilisation.....	20
II. 2. 3. 1 Recherche menée dans le golfe d'Arabie.....	20
II. 2. 3. 2 Recherches menées en Afrique occidentale.....	21
II. 2. 3. 3 Recherches menées en Algérie.....	21
II. 3 PROPRIETE DU BETON	29
II. 3. 1 A L'ETAT FRAIS.....	29
II. 3. 1. 1 MANIABILITE.....	29
II. 3. 2 A L'ETAT DURCI.....	31
II. 3. 2. 1 RESISTANCE.....	31
II. 3. 2. 1. 1 RESISTANCE A LA COMPRESSION.....	31
II. 3. 2. 1. 2 RESISTANCE A LA TRACTION.....	33
II. 3. 2. 1. 2. 1 Essai de traction direct.....	33

III.3.1.1	Forme et texture des granulats.....	60
III.3.1.2	Propreté des granulats.....	61
III.3.1.3	Influence de G/S.....	61
III.3.2	Dimension Maximale « <i>D</i> ».....	63
III.3.3	Rapport Granulat –Ciment.....	63
III.3.4	Résistance des Granulats.....	64
III.4-	CONCLUSION.....	64

DEUXIEME PARTIE: ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV: CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES ET COMPOSITION DES BETONS

IV.1-	INTRODUCTION:.....	67
IV.2-	BETON DE REFERENCE:.....	67
IV.3-	GRAVIER:.....	68
IV.3.1	Masse volumique apparente:.....	68
IV.3.2	Masse volumique absolue.....	68
IV.3.3	Essai de propreté:.....	69
IV.3.4	Coefficient d'absorption.....	69
IV.3.5	Analyse granulométrique.....	70
IV.4-	SABLE.....	70
IV.4.1	Masse volumique.....	71
IV.4.2	Essai d'équivalent de sable.....	71
IV.4.3	Coefficient d'absorption d'eau.....	72
IV.4.4	Analyse chimique.....	72
IV.4.5	Analyse minéralogique	73
IV.4.5.1	Diffractionométrie des DRX	73
IV.4.5.1.1	But de l'analyse	73
IV.4.5.1.2	Définition	73
IV.4.5.2	Analyse de sable par microscope électronique à balayage (MEB)	75
IV.4.6	Analyse granulométrique.....	76
IV.4.6.1	Module de finesse.....	77
IV.4.6.2	Facteur d'informaté : Cu.....	77
IV.5-	CIMENT.....	82
IV.5.1	Surface spécifique.....	82
IV.5.2	Temps de prise.....	82

IV.5.3 Composition chimique et minéralogique.....	83
IV.5.4 Caractéristique mécanique.....	84
IV.6- EAU DE GACHAGE.....	84
IV.7- COMPOSITION DU BETON.....	85
IV.7.1 Présentation de la méthode (Dreux et Gorisse).....	85
IV.7.2 Tracé de la courbe granulaire de référence.....	86
IV.8 CONFECTION ET CURE DES ÉPROUVETTES.....	90
IV.8.1 Moules pour éprouvettes.....	90
IV.8.2 Confection des éprouvettes	90
IV.8.3 Conservation des éprouvettes	91
IV.9 ESSAIS REALISES, RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	91
IV.9. 1 Essais sur béton frais	91
IV.9. 1. 1 Mesure de la consistance.....	91
IV.9. 1. 2 Masse volumique du béton frais	92
IV. 9. 2 Essais sur béton durci	92
IV.9. 2.1 Masse volumique du béton durci.....	92
IV.9. 2.2 Teneur en eau.....	93
IV.9. 2.3 Essais de résistance mécanique.....	93
IV.9. 2. 3. 1 Essai de compression	93
IV.10. 2. 3. 2 Essai de rupture de traction par flexion	93
IV.9. 2. 3. 3 Mesure de retrait	94
IV.9. 2. 3. 4 Essai ultrasonique	95
IV.9. 2. 3. 5 L'essai d'absorption d'eau par capillarité.....	97
IV.9. 2. 3. 6 Essai de durabilité sur le béton.....	98
IV. 10 FORMULATION DU BETON DE SABLE.....	100
IV. 10. 1 CONFECTION ET CURE DES ÉPROUVETTES.....	101
IV. 10. 1. 1 Moules pour éprouvettes	101
IV. 10. 1. 2 Confection des éprouvettes	101
IV. 10. 1. 3 Conservation des éprouvettes.....	101
IV. 10. 2 ESSAIS REALISES, RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	102
IV. 10. 2. 1 Caractéristiques du béton à l'état frais.....	102
IV. 10. 2. 1. 1 Les essais d'ouvrabilité.....	102
IV. 10. 2. 1. 1 Les essais d'ouvrabilité.....	102
IV. 10. 2. 1. 1. 1 Essai de l'étalement à la table à secousses (Flow test)..	102
IV. 10. 2. 1. 1. 2 Essai au maniabilimètre	104

IV. 10. 2. 2 Caractéristiques du béton de sable à l'état durcis.....	105
IV. 10. 2. 2. 1 Essai de traction par flexion.....	105
IV. 10. 2. 2. 2 Essai de compression.....	106
IV. 10. 2. 2. 3 Essai de retrait	106
IV. 10. 2. 2. 4 Essai de durabilité sur le béton de sable.....	107
IV. 11- CONCLUSION.....	109
CHAPITRE V: ESSAIS EXPERIMENTAUX, RESULTATS ET INTERPRETATION..	
V.1- INTRODUCTION.....	111
V. 2 Résultats des essais sur béton frais	111
V. 3 Résultats des essais sur béton durci	113
V. 3. 1 Résultats des essais de compression	113
V. 3. 2 Résultats d'essai de rupture de traction par flexion	115
V. 3. 3 Résultats de retrait	117
V. 3. 4 Résultats d'essai ultrasonique.....	119
V. 3. 5 Mesure du module d'élasticité dynamique.....	120
V. 3. 6 Résultats d'absorption d'eau par capillarité.....	122
V. 3. 7 Résultats d'essai de durabilité sur le béton.....	125
V. 4 Résultats des essais sur béton de sable.....	131
V. 4. 1 Résultats d'essai de traction par flexion.....	131
V. 4. 2 Résultats d'essai de compression.....	133
V. 4. 3 Résultats de retrait	135
V. 4. 4 Essai de durabilité sur le béton de sable.....	136
V. 5 - RECAPITULATIF ET DISCUSSION.....	142
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	146

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°	Titre	Page
Tableau II-1	Résultats de résistance obtenue par les mélanges proposés par Kotzias	20
Tableau II-2	La composition optimum aboutie dans cette l'étude de AHMED CHAOUCH	22
Tableau II-3	Résultats des essais de résistance 7 et 28 jours	22
Tableau II-4	La composition optimum aboutie dans l'étude de A .BATATA	23
Tableau II-5	La composition optimum aboutie dans l'étude de M.BENMALEK	24
Tableau II-6	La composition optimum aboutie dans l'étude de A.GHERIEB	25
Tableau II-7	La composition optimum aboutie dans l'étude de A .BENTATA	27
Tableau II-8	Résultats de résistance du béton	27
Tableau II-9	La composition optimum aboutie dans l'étude de L .BEDADI	28
Tableau II-10	Résultats de résistance du béton	28
Tableau II-11	Appréciation de la consistance par l'Affaissement au Cône d'Abrams	30
Tableau II-12	Les phases solides et les ions de la pâte de ciment durcie	46
Tableau III-1	Qualité du Sable en Fonction de le Valeur de l'ES	55
Tableau III -2	Teneur en Fines (f) de le Fraction 0/4 mm	55
Tableau III-3	Valeurs Spécifiées de (PS) et (VB)	56
Tableau III-4	Valeurs Spécifiées Supérieures du Coefficient d'absorption d'eau	60
Tableau III-5	5 Influence Qualitative des Paramètres d'État de Surface sur la Facilité de Mise en œuvre du Béton et l'Adhérence Pâte – Granulat	61
Tableau III-6	Récapitulation des Principales Qualités des Bétons en Fonction de leur G/S et de leur Granularité Continue ou Discontinue	62
Tableau IV. 1	Pourcentages massique des agrégats du béton de référence	67
Tableau IV-2	La composition chimique du gravier	68
Tableau IV.3	La masse volumique absolue et la masse volumique apparente de Gravier	69
Tableau IV-4	La masse volumique absolue et la masse volumique apparente de sable	71
Tableau IV-5	Équivalents de Sable	72
Tableau IV-6	Coefficient d'Absorption d'Eau	72
Tableau IV-7	Composition chimiques des sables	73

LISTE DES TABLEAUX

Tableau IV-8	Module de finesse des sables	81
Tableau IV-9	Essais physiques sur le ciment	83
Tableau IV-10	Composition chimique de ciment en % massique	83
Tableau IV-11	Composition minéralogique du clinker	83
Tableau IV-12	Caractéristiques mécaniques du ciment.	84
Tableau IV-13	Composition chimique de l'eau	84
Tableau IV.14	Pourcentages massique des agrégats	90
Tableau IV.15	Composition du béton de sable étudié	101
Tableau IV.16	Diamètre de l'étalement du béton de sable	103
Tableau IV.17	Classe de consistance des bétons	104
Tableau IV.18	Les résultats de l'essai de maniabilité du béton de sable	105
Tableau V-1	Variation de l'affaissement et la teneur en eau en fonction de type de béton	112
Tableau V-2	La différence des valeurs des résultats de résistance à la compression	114
Tableau V-3	La différence des valeurs des résultats de résistance à la traction	117
Tableau V-4	La différence des valeurs des résultats de retrait	118
Tableau V-5	La différence des valeurs des résultats de vitesse de son	120
Tableau V-6	Absorptivité d'eau (S) en fonction des différents âges des cures	123
Tableau V.7	Absorptivité d'eau (S) en fonction de type du béton	125
Tableau V.8	Récapitulatif des résultats des différents bétons	142

LISTE DES FIGURES

Figure N°	Titre	Page
Figure I-1	Carte géographique de la région d'Oued Righ	7
Figure I-2	Situation géographique de la zone d'étude par rapport l'Algérie	8
Figure I-3	La vallée de oued Righ	9
Figure I-4	Carte géologique du Sahara orientale (Nord Ouest de l'Afrique	10
Figure I-5	Situation de la wilaya de Ouargla	11
Figure I-6	Plan présenté les réseaux des oueds concerné	13
Figure I-7	Environnement Géologique Régionale Oued R'tem	16
Figure I-8	Bassin versant de l'oued R'tem	17
Figure II-1	Schéma de l'essai d'adhérence	26
Figure II-2	Schématisation de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams	30
Figure II-3	Classes de Consistance Mesurées au Cône d'Abrams	30
Figure II-4	Appareil pour Mesure la résistance de compression	32
Figure II-5	Appareil pour Mesure la résistance de traction par flexion	34
Figure II-6	Exemple de cinétique d'absorption d'eau pour un béton	38
Figure II-7	Appareil pour Mesure le retrait	42
Figure II-8	Appareil pour Mesure la vitesse de son	44
Figure III-1	Détermination de l'équivalent de sable	54
Figure III-2	Dimensions d'un Grain de Granulat	57
Figure III-3	Influence du Rapport G/C sur la Résistance du Béton	63
Figure IV-1	Courbe granulométrique de gravier (3/8) et (8/15)	70
Figure IV-2	Diagramme d'analyse de (DRX)	74
Figure IV-3	Diagramme d'analyse de sable d'oued Rtem	75
Figure IV-4	Sable d'oued Rtem par microscope électronique (MEB)	76
Figure IV-5	Fuseaux préférentiel du béton	77
Figure IV-6	Courbe granulométrique de sable de dune (SD)	78
Figure IV-7	Courbe granulométrique de sable alluvionnaire (SA)	78
Figure IV-8	Granulométrie de sable Granulométrie de sable de oued N'sa (SN)	79
Figure IV-9	Granulométrie de sable Granulométrie de sable de oued M'zab (SM)	79
Figure IV-10	Courbe granulométrique de sable Granulométrie de sable de oued Rtem(SR)	80

Figure IV-11	Courbes granulométriques des différents sables	81
Figure IV-12	Courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse	86
Figure IV-13	Courbe granulométrique de référence (mm) (éch-log).	88
Figure IV-14	Essai d'affaissement au cône d'Abrams	92
Figure IV-15	Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (4 points)	94
Figure IV-16	Essai d'ultrason	96
Figure IV-17	Dispositif expérimental de l'essai d'absorption capillaire	98
Figure IV-18	Conservation des éprouvettes exposées à des milieux agressifs	99
Figure IV-19	Cure des éprouvettes sous l'eau	100
Figure IV-20	préparation des éprouvettes pour la pesé	100
Figure IV-21	Table à secousses (Flow test) (DREUX G. FESTA J, 1998)	102
Figure IV-22	Principe de fonctionnement du maniabilimètre "B".	104
Figure IV-23	Dispositif pour l'essai de traction par flexion (3 points)	106
Figure IV-24	Dispositif de rupture en compression	106
Figure IV-25	Appareillage pour la mesure du retrait (Rétractomètre).	107
Figure IV-26	Conservation des éprouvettes exposées à des milieux agressifs	108
Figure IV-27	Cure des éprouvettes sous l'eau	108
Figure IV-28	Préparation des éprouvettes pour la pesé	108
Figure V-1	Variation de l'affaissement en fonction de type de béton.	112
Figure V-2	Variation de teneur en eau en fonction de type de béton.	113
Figure V-3	Evolution de la résistance à la compression conservé dans l'air libre	114
Figure V-4	Evolution de la résistance à la compression conservé dans l'eau	115
Figure V-5	Evolution de la résistance à la flexion dans l'air libre	116
Figure V-6	Evolution de la résistance à la flexion dans l'eau	117
Figure V-7	Evolution de Retrait en fonction d'age	118
Figure V-8	Variation de retrait en fonction de type du béton à 28 jours	119
Figure V-9	Variation de la vitesse du son en fonction d'age d'essai	121
Figure V-10	Variation de module d'élasticité dynamique en fonction d'age	122
Figure V-11	Absorption d'eau par capillaire pour différent cure de béton en fonction de temps	122
Figure V-12	Absorption d'eau par capillaire pour différent cure de béton en fonction de la racine carrée de temps	124
Figure V-13	Absorption d'eau par capillaire pour différent cure de béton en fonction de temps	124

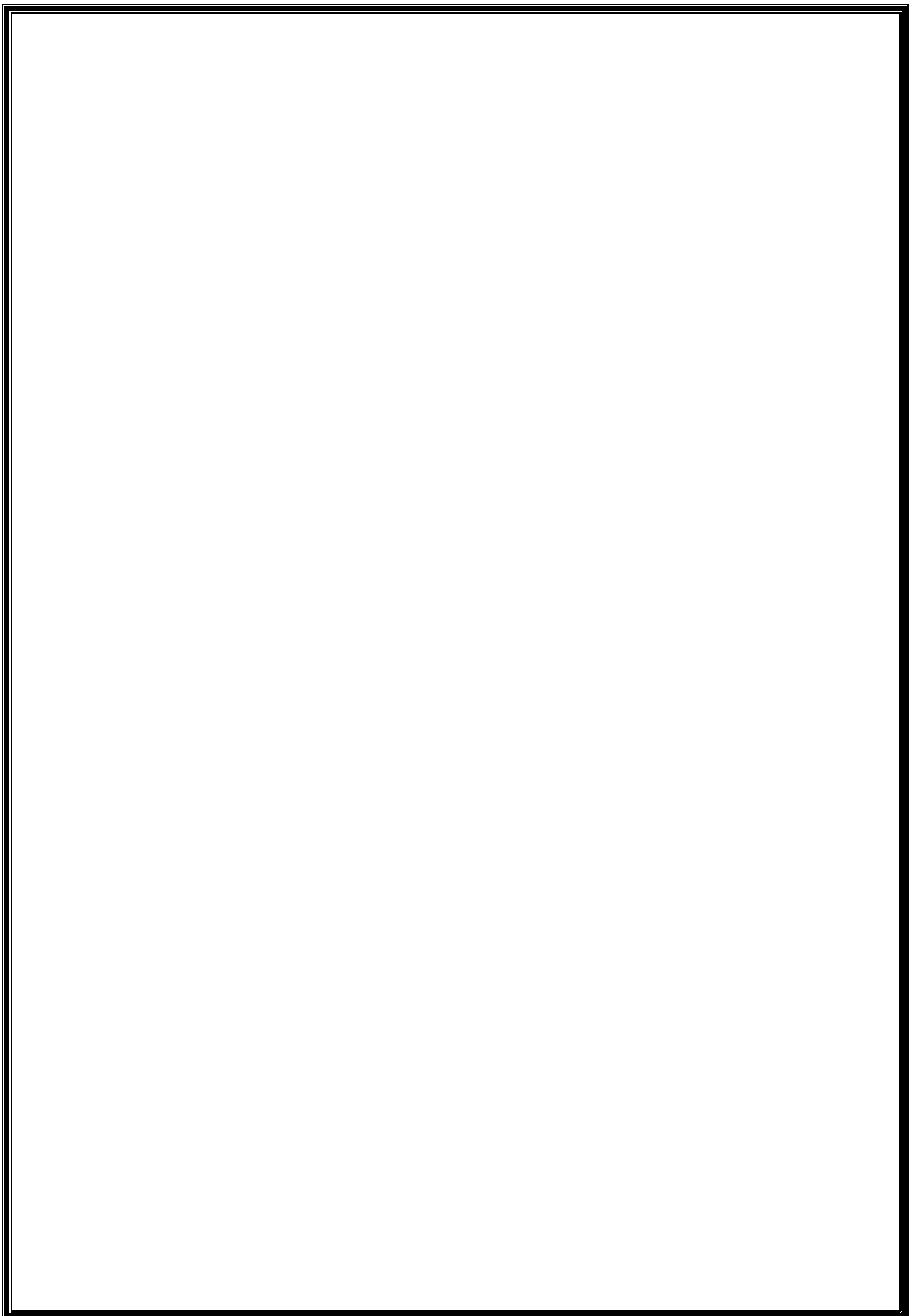
Figure V -14	Absorption d'eau par capillaire pour différent cure de béton en fonction de racine carrée de temps	124
Figure V -15	Variation de la masse en fonction de la période d'immersion dans l'eau contenant 5% Na₂SO₄	126
Figure V -16	Variation de la masse en fonction de la période d'immersion dans l'eau contenant 0.3% Hcl	126
Figure V -17	Variation de la masse en fonction de la période d'immersion dans l'eau sans traitement.	126
Figure V -18	Résistance à la compression à 28 jours des différents types du béton	128
Figure V-19	Résistance à la compression à 60 jours des différents types du béton	128
Figure V-20	Etat des éprouvettes aux différents types du bétons après leur immersion dans l'eau sans traité avec des attaques chimiques	130
Figure V-21	Etat des éprouvettes aux différents types du bétons immergés dans Hcl	130
Figures V-22	Etat des éprouvettes aux différents types du bétons immergés dans Na₂SO₄	131
Figures V-23	Résistance à la flexion en fonction d'âge	132
Figures V-24	Variation de Résistance de flexion en fonction de type du béton de sable à 28 jours	132
Figure V-25	Résistance à la compression en fonction d'âge	134
Figure V-26	Variation de Résistance de compression en fonction de type du béton de sable à 28 jours	134
Figure V-27	Evolution de Retrait en fonction d'âge	135
Figure V- 28	Variation de retrait en fonction de type du béton de sable à 28 jours	135
Figure V- 29	Variation de la masse en fonction de la période d'immersion dans l'eau contenant 5% Na₂SO₄	137
Figure V -30	Variation de la masse en fonction de la période d'immersion dans l'eau contenant 0.3% Hcl	137
Figure V -31	Variation de la masse en fonction de la période d'immersion dans l'eau sans traitement.	137
Figure V -32	Résistance à la compression à 28 jours des différents types des mortiers dans différents cures	139
Figure V -33	Résistance à la compression à 60 jours des différents types des mortiers dans différents cures	139
Figure V -34	Etat des éprouvettes aux différents types des moriers après leur immersion dans l'eau sans traité avec des attaques chimiques	140
Figure V -35	Etat des éprouvettes aux différents types des mortiers immergés dans Na₂SO₄	141
Figure V -36	Etat des éprouvettes aux différents types des mortiers immergés dans Hcl	141

LISTE DES PHOTOS

<i>Figure N°</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Photo I-1	Photos sur terrain dans le lit de oued N'sa	14
Photo I-2	Photos sur terrain dans le lit de oued M'zab	14
Photo I-3	Photos sur terrain dans le lit de oued Rtem	15
Photo IV -1	Photo montrant l'appareillage de rayons X	74

INTRODUCTION

GENERALE



GENERALITES:

Le béton, sans aucun doute, est le matériau le plus utilisé dans la construction, son emploi intensif a soulevé le problème de sa qualité et sa durabilité. En effet des dommages risquent de survenir et peuvent entraîner des frais considérables pour l'entretien ou le remplacement des ouvrages en cause. C'est donc des raisons économiques qui ont poussé les constructeurs à la recherche des moyens pour améliorer la qualité et la durabilité des bétons et des mortiers.

Aujourd'hui le béton occupe une importante place dans le domaine du génie civil, son intérêt réside dans sa grande facilité de mise en œuvre, sa résistance en compression, sa durabilité, son ouvrabilité et son coût acceptable.

Pour la disponibilité de sable des oueds à l'état naturel et gigantesque et indéfinie dans la cuvette de Ouargla et ses environs comme la zone de oued righ ou oasis nous avons choisi le sable des oueds comme matériaux de substitution dans la composition de béton.

Pour cela nous avons choisis trois oueds dans cette recherche ils sont

-Oued M'zab, Oued N'sa et Oued Rtem

OBJECTIF DE LA RECHERCHE :

L'objet de cette étude consiste à l'évaluation expérimentale de l'influence des sables des oueds sur les caractéristiques physico - mécaniques, et la durabilité des bétons à base de ces sables.

Le but principal de cette étude est de démontrer techniquement la possibilité d'utiliser partiellement ou totalement le sable de oued comme substitution des granulats naturels dans la composition du béton.

PLAN DE TRAVAIL:

Cette thèse s'articule autour de cinq chapitres devisé par deux grands parties.

Premier partie: recherche bibliographique qui est divisé par trois chapitres

Premier chapitre : correspond aux contexte général sur la présentation de la région de Ouargla et oued Righ et les oueds étudiés.

-
- **Deuxième chapitre** : correspond aux propriétés essentielles d'un béton , à savoir: ouvrabilité, résistance, retrait, absorption d'eau par capillarité et durabilité et recherche récente sur cette propriétés.
 - **Troisième chapitre:** caractéristiques des granulats et leurs influences sur les bétons.
- ❖ **Deuxième partie:** étude expérimentale qui est divisée en deux chapitres.
- **Quatrième chapitre** : caractéristiques des matériaux utilisés et composition des bétons.
 - **Cinquième chapitre:** essais expérimentaux, résultats et interprétation
 - **Conclusion et recommandations.**

PREMIÈRE PARTIE

**RECHERCHE
BIBLIOGRAPHIQUE**

CHAPITRE I

**PRESENTATION DE LA
REGION OUARGLA ET
OUED RIGH**

I.1 Présentation de la région d'Oued Righ:

I.1.1 Situation Géographique :

Dans un premier temps, une étude au laboratoire des cartes topographiques et des images satellites était nécessaire, afin de définir les traits caractéristiques du paysage. Ceci a été suivi de plusieurs missions de prospection, qui ont débuté au sud à partir des régions d'El Goug en allant vers le nord aux abords du plateau de Stil. (Fig. I.1)

La caractéristique principale de cette région est son inclinaison vers le Nord ou plus particulièrement vers les grands chotts (Chott Merouane et Chott Melghigh) qui de par leur inclinaison permet aux eaux excédentaires de s'écouler vers le Nord où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer, d'où son appellation « Bas Sahara »

En effet la vallée de l'oued Righ se présente comme une gouttière de 150 km de long et de 15 à 30 km de large. Sur un axe sud nord l'altitude passe de 145 m du côté d'El Goug en amont à moins de 35 m au niveau du chott Mérouane. (BOUMARAF. B, 2015). La superficie de cet espace est de plus de 3000 km². en passant par plus de 7 m à Touggourt, plus de 30 m à Djamaa et 0 m de Meghaier, de direction Sud Nord (DOUADI. A, 2002).

Elle est située géographiquement entre les latitudes 23°54 Nord et 34°9 Sud avec une longitude moyenne de 6°Est (INRAA, 2001). Cette zone dépressionnaire est bordée à l'Ouest par le plateau Miopliocène et à l'Est par de grandes dunes de l'Erg oriental. Au Nord, elle est limitée par le plateau Still, au Sud par la région d'EL HADJIRA.

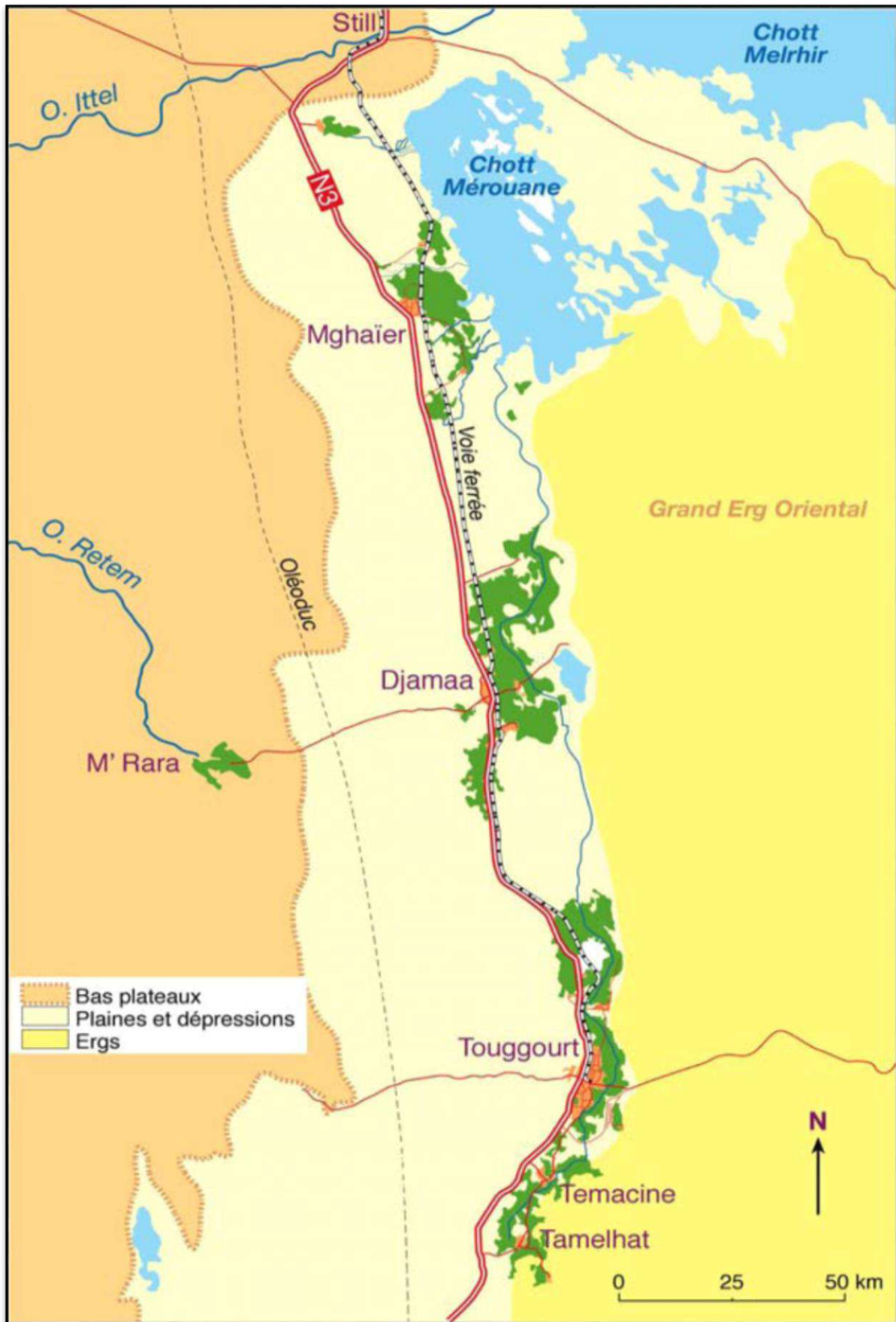


Figure (I.1): Carte géographique de la région d'Oued Righ (BALLAIS J L, 2010).

I.1.2 Situation administrative :

Administrativement, la vallée d'Oued Righ se situe à cheval sur deux wilayates El-Oued (El Méghaier et Djamaâ) au Nord et Ouargla au sud (Touggourt, Témacine et El-Mégharine) (BOUDRISSA A K, 2014).

A cause de la grande extension de la zone d'étude, nous nous sommes seulement intéressés d'étudier la partie qui se trouve dans le territoire de la wilaya de Ouargla; autrement dit Oued Righ Sud qui englobe les daïra de Temacine, Touggourt et Megarine. Du point de vue géographique, notre région d'étude n'est autre que la vallée sud d'Oued Righ, entité géographique bien définie. Maturité

Sa délimitation naturelle est marquée par:

Administrativement la région de l'Oued righ est scindée en Cinq grands Daïras, ces derniers faits partis de deux Wilayas de l'Algérie (DUBOST D, 1991).

- Daïras d'ElMghaïer et Djamaa qu'ils font parties de la Wilaya d'El Oued.
- Les daïras de Mégarine et Touggourt et Témacine, qui dépendent de la wilaya d'Ouargla.

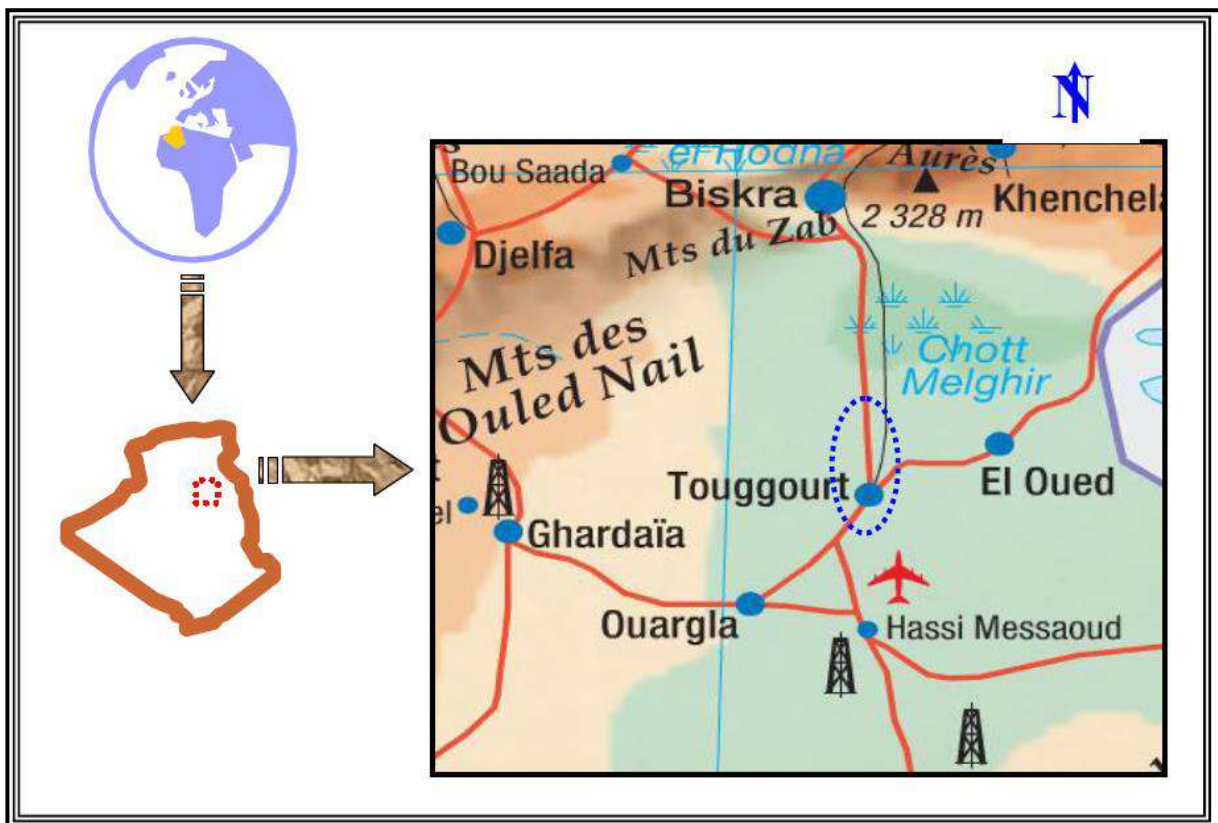


Figure (I.2) : Situation géographique de la zone d'étude par rapport à l'Algérie

I.1.3 La topographie de la région de oued righ:

La région de l'Oued Righ est topographiquement plus ou moins aplatie (plaine). Le point le plus élevé (105 m) est situé à Touggourt et le point le plus bas, à El Meghaeir (-39m) (fig. 20). L'altitude moyenne est de 46 m, sa pente est régulièrement faible, elle est

d'environ 1%. Les rivières naturelles étant rares, le grand drain d'Oued Righ long d'une centaine de kilomètres, forme le seul cours d'eau artificiel avec un débit de 2 à 2,5 m³/s à l'embouchure dans le chott Merouane.

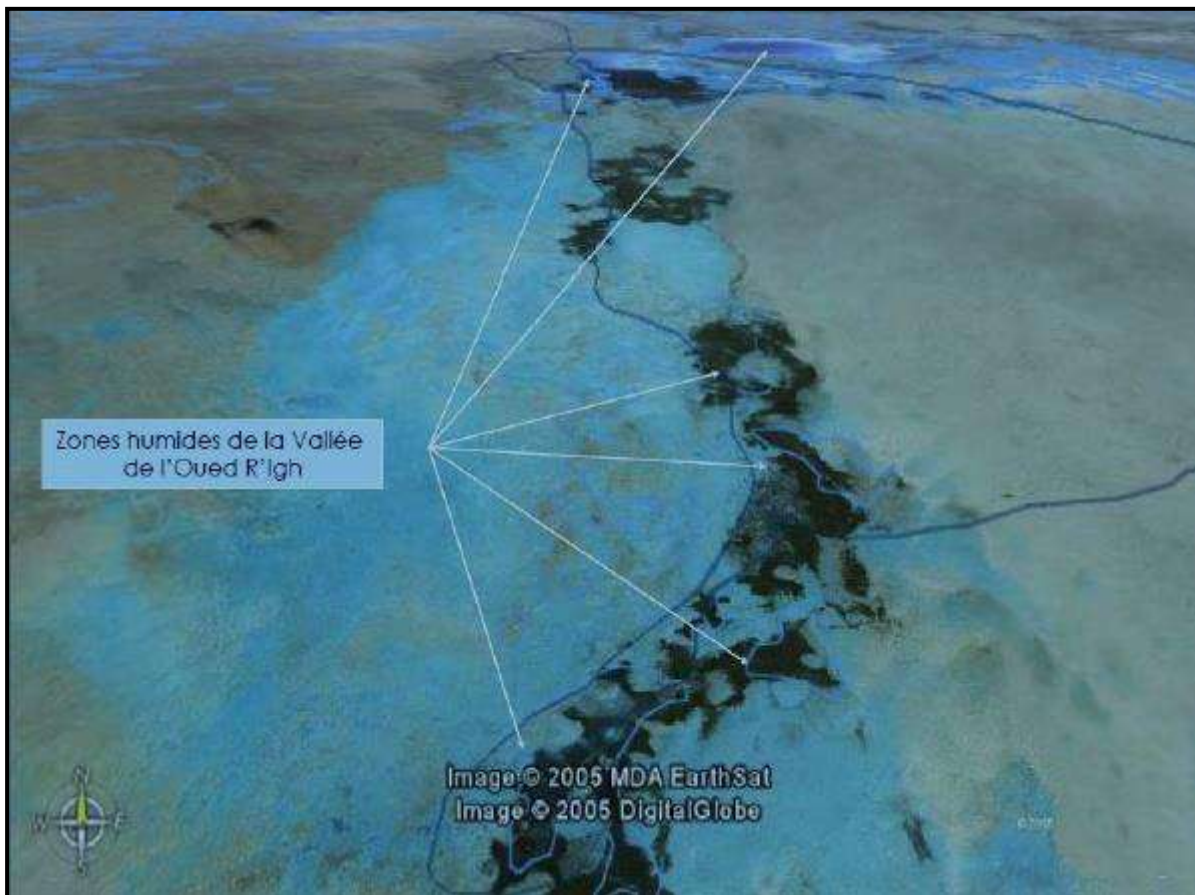


Figure (I.3) :la vallée d'Oued Righ

I.1.4 Cadre géologique local de Oued Righ:

Pour étudier la géologie de la zone d'études, (BOUZNAD I E, 2009) étend le champ d'investigation à tout le Bas Sahara, en raison de l'ampleur des phénomènes géologiques, stratigraphiques et tectoniques caractérisant la région. Nous distinguant de bas en haut trois ensembles :

- Les terrains Paléozoïques affleurent au Sud entre les plateaux de Tadmait et Tinghert et le massif du Hoggar.
- Les terrains du Mésozoïques et Cénozoïques constituent l'essentiel des affleurements des bordures du Bas Sahara.
- Des dépôts continentaux de la fin de Tertiaire et du Quaternaire, occupent le centre de la cuvette. (BOUZNAD I E, 2009).

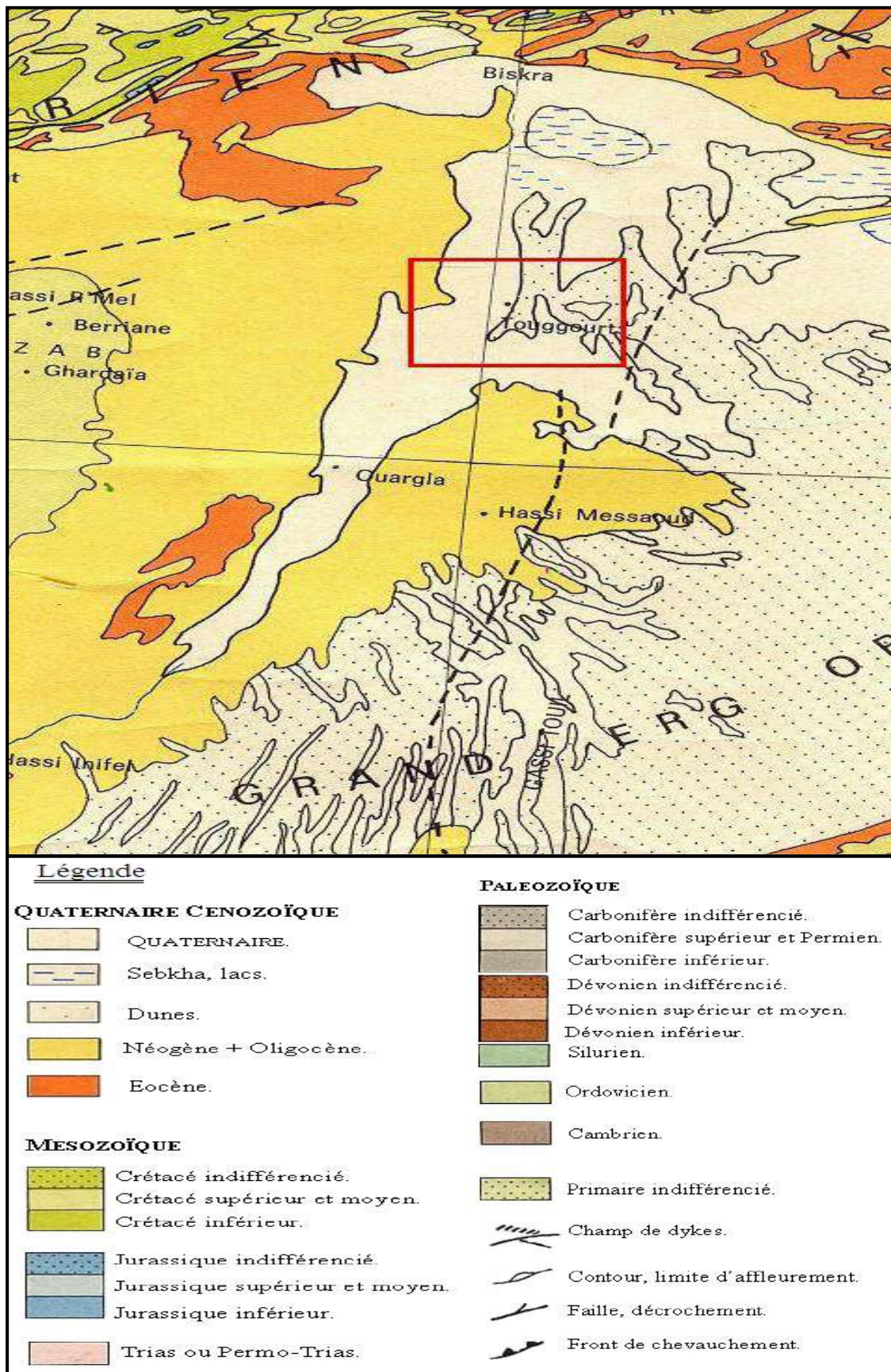


Figure (I.4) : Carte géologique du Sahara orientale (Nord Ouest de l'Afrique)

I.2 Présentation de la région d'Ouargla:

I.2.1 Situation géographique:

La wilaya de Ouargla (Fig. I.5), Elle est située au Sud-est de l'Algérie à une distance de 800 km de la capitale. Elle occupe une superficie de 163 238 km² (SLIMANI R, 2006). est limitée :

- Au Nord Ouest la Wilaya de Djelfa et Nord Est, la Wilaya d'El oued.
- A l'Est, la Wilaya d'El oued et la frontière Algéro –Tunisienne.
- Au sud Est, la Wilaya de d'Illizi et au Sud Ouest, la wilaya de Tamanrasset.
- A l'Ouest, la Wilaya de Ghardaïa.

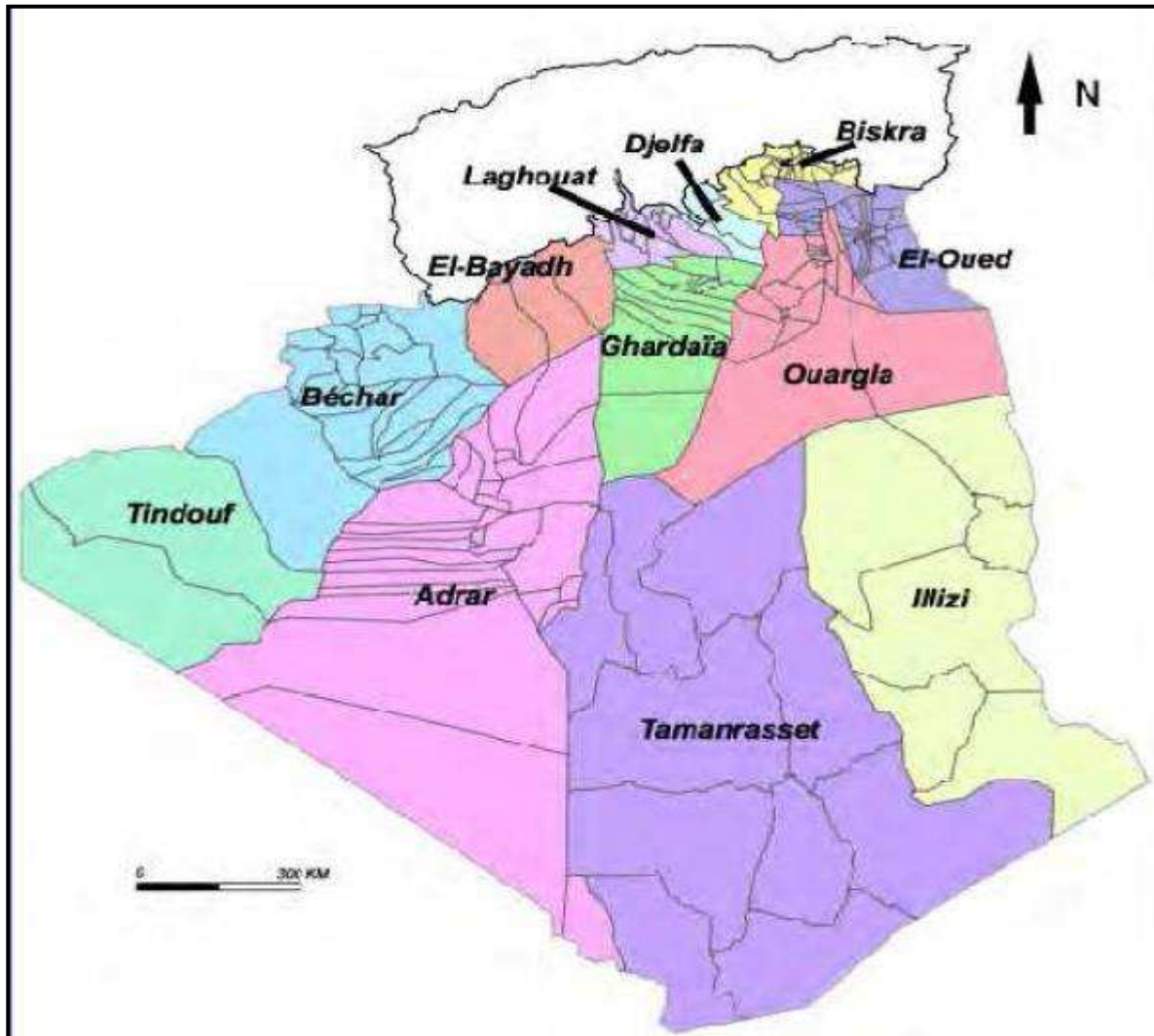


Figure (I.5): Situation de la wilaya de Ouargla (ZATOUT M, 2012).

Elle est située dans le prolongement de l'exutoire naturel du grand bassin versant du Sahara septentrional. La cuvette est limitée au nord par l'Atlas Saharien et au sud par le plateau de Tadmaït, à l'est et à l'ouest par les ergs oriental et occidental.

Les coordonnées géographiques de la région sont :

Altitude moyenne: 134 m

Latitude: 31° 58' Nord.

Longitude : 5° 20' Est (TOUIL Y, 2002), (LEGER C, 2003).

Elle est limitée par : - Au Nord : la Sebkhet Safioune ;

- A l'Est : les ergs Touil et Arifdji ;

- Au Sud : les dunes de Sedrata ;

- A l'Ouest : le versant Est de la dorsale du M'Zab.

La distance du Sud au Nord est de 70 km, celle de l'Est à l'Ouest de 20 km.

I.2.2.Situation administrative:

La grande cuvette de Ouargla occupe le chef lieu, Elle est située au sud de la Wilaya de Ouargla. Sa superficie d'environ 90 000 hectares est marquée par une dépression naturelle importante. Située dans le prolongement du grand bassin versant du Sahara septentrional, elle est limitée par l'Atlas saharien, le Hoggar et l'Erg oriental. Aussi, elle comprend les communes suivantes : Ouargla, Rouissat, Ain Beida, Sidi Khouiled, Hassi Ben Abdellah et N'Goussa. Comprenant une superficie de plus de 3500 hectares de palmier dattier, cette dernière forme une ceinture de protection climatique pour l'ancienne ville Ouargla. Sur le plan Topographique ; La wilaya de Ouargla présente un terrain plus ou moins plat avec une dénivelée du sud vers le Nord avec une pente moyenne de l'ordre de 1/1000 de l'Ouest vers l'est.

Le réseau hydrographique traversant la région est composé des oueds suivants :
Nous avons choisi trois oueds importants qui alimentent la région de oued righ:
OUED N'SA, OUED M'ZAB, OUED RTEM.

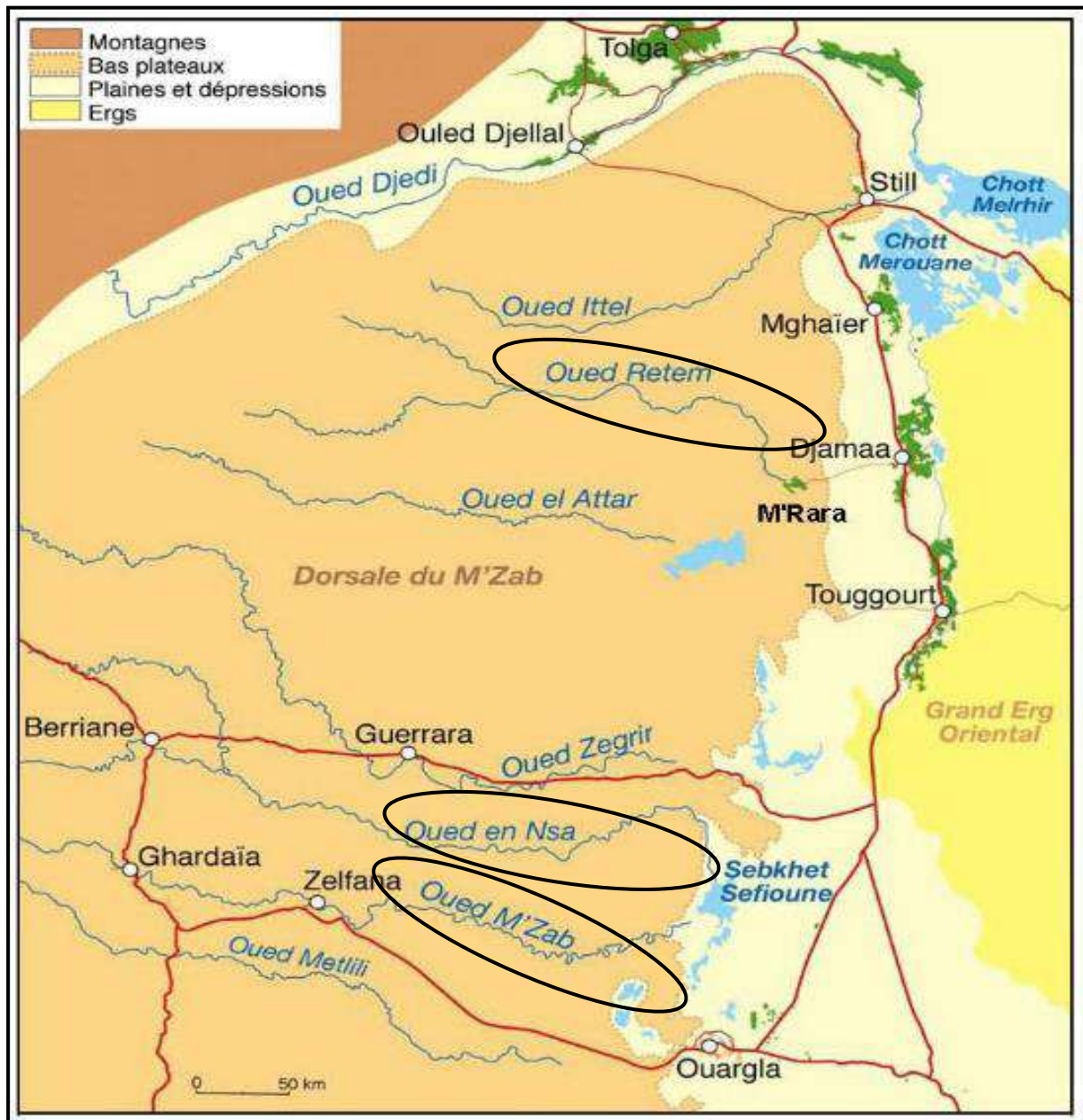


Figure (I.6) : Plan présenté les réseaux des oueds concerné

Oued N'Sa couvre une superficie de 7800 km². Il coule selon une direction Ouest-Est dans son cours supérieur, en direction Nord-Nord-Ouest-Sud-Sud-Est dans son cours moyen sur une longueur d'environ 100 km et de nouveau vers l'Est en son cours inférieur pour se déverser dans Sebket Safioune. Les crues sont également exceptionnelles. La dernière date de 1994, où le débit enregistré a été de 35 m³/seconde (ONA, 2003).



Photo (I.1) : Photos sur terrain dans le lit de oued N'sa

Oued M'Zab, coule d'Ouest en Est sur environ 320 km de la région de Botma Rouila à 750 m d'altitude jusqu'à Sebket Safioune à 107 m située au Nord de la cuvette d'Ouargla. La surface du bassin versant, est de 5000 km². Il n'y a pas d'écoulement pérenne. Les crues sont exceptionnelles, les dernières observées datent de 1901, 1951, 1991 et septembre 1994. Le débit mesuré en 1994 a atteint 13,5 m³/seconde (ONA, 2003).



Photo (I.2) : Photo sur terrain dans le lit de oued m'zab

Oued R'TEM présente un domaine d'écoulement quasi rectiligne, avec de rares courbures.



Photo (I.3): Photos sur terrain dans le lit de oued Rtem

Le lit majeur atteint, localement une longueur inter - rives de plusieurs centaines de mètres. La largeur de l'Oued est nettement décroissante en ces lieux.

Le lit de l'Oued est relativement peu encaissé : les hauteurs de talus sont peu variables , les berges canalisant les eaux, sont la cause d'une intense érosion aux sections les plus rétrécies.

En ces sites, le surcreusement (érosion de fond) est net, et nous pouvons observer de faibles dépôts alluviaux de quelques décimètres d'épaisseur, et même la roche mère "substratum".

L'Oued R'tem apparaît comme une entaille majeure dans un ensemble topographique peu chahuté, érigé en immenses plateaux tant en rive gauche qu'en rive droite. Cette monotone planitude est entrecoupée de reliefs en forme de dômes à surface calcaréo-gypseuses, et qui individualisent à l'amont des cuvettes fermées dont la plus importante et représentative est celle de Kef Slimane. (RAPOORT, 2010).

L'Oued R'TEM est caractérisé par un cours rectiligne avec de rares courbures, la largeur du lit majeur peut atteindre localement plusieurs centaines de mètres.

Il est érigé dans un ensemble topographique plat qui est entrecoupé par des reliefs sous forme de dômes à surface calcaire-gypseuses.

Les reconnaissances préliminaires, d'ordre géologique et morphologique, effectuées le long et en travers du cours de l'Oued R'TEM ont permis de définir d'une manière sommaire les principales caractéristiques des terrains, dans lesquelles l'Oued a creusé son lit

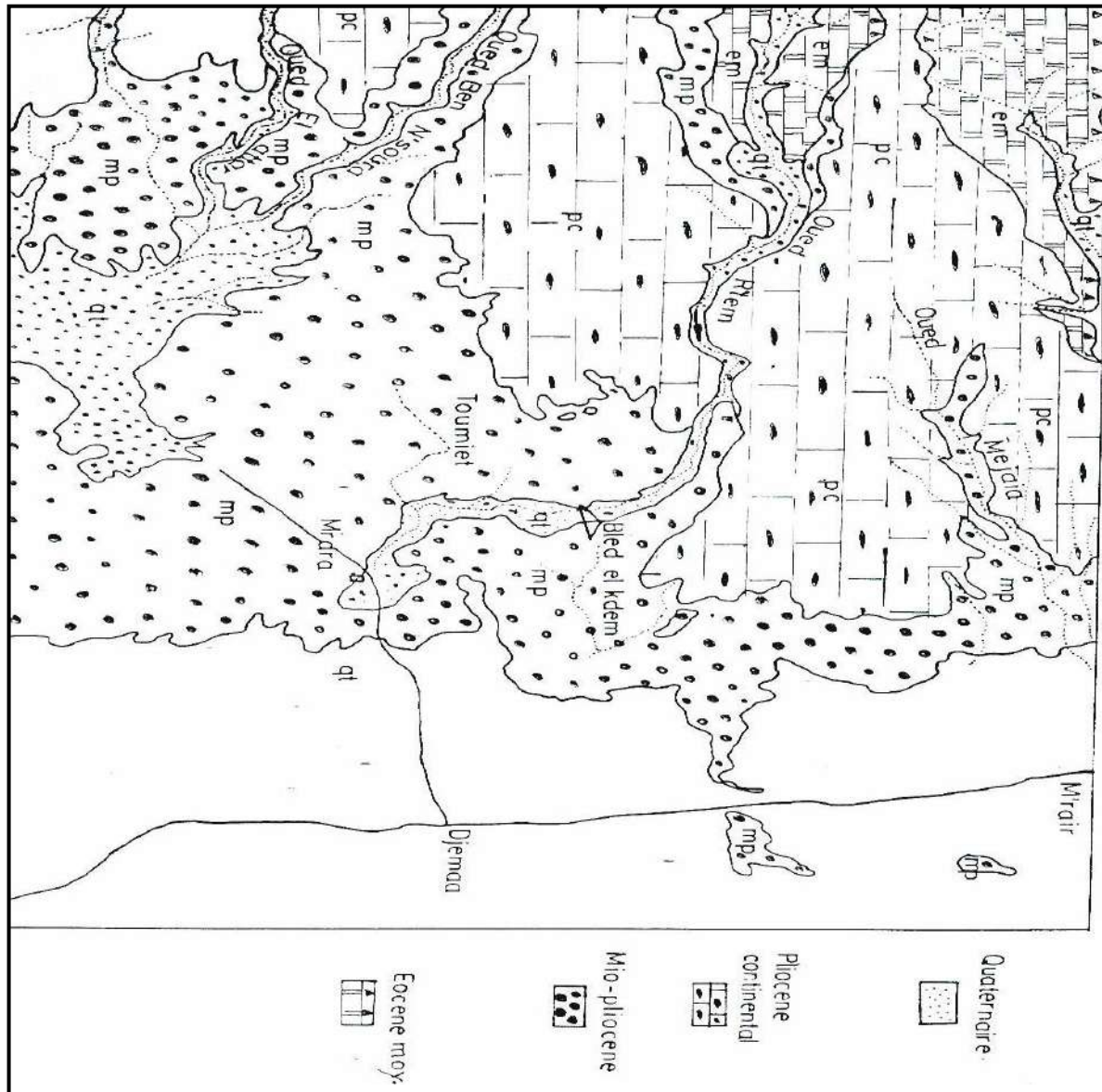


Figure (I.7) : Environnement Géologique Régionale Oued R'tem

I.2.3 Bassin versant de l'oued R'tem :

L'oued R'TEM draine une partie du Nord du grand bassin du Sahara, il reçoit tout le long de son parcours différents affluents dont nous citons : Oued Berriche, Oued El Fercha, Oued Zeboudj et Oued Bouhebila.

Le bassin versant de l'oued R'TEM au site de la digue existante couvre une superficie de 4 320 Km², il est caractérisé par un indice de compacité de 1,70 ; qui confirme la forme allongée du bassin versant.

L'altitude maximale est de 760 m, la minimal est de 157 m et celle moyenne est de 485 m.

La pente du bassin versant de l'oued R'tem est relativement faible, elle se caractérise par une pente moyenne d'une valeur de $I_{moy} = 0,39 \%$.

Son bassin versant (Fig. I.8) est situé dans la région du Sud Est de l'Algérie, aux piémonts de l'Atlas Saharien, il est délimité au nord par le bassin de Chott Melghir, à l'est par la palmeraie de l'oued Righ, à l'ouest par la ville de Laghouat et au sud par la ville de Guerrara.

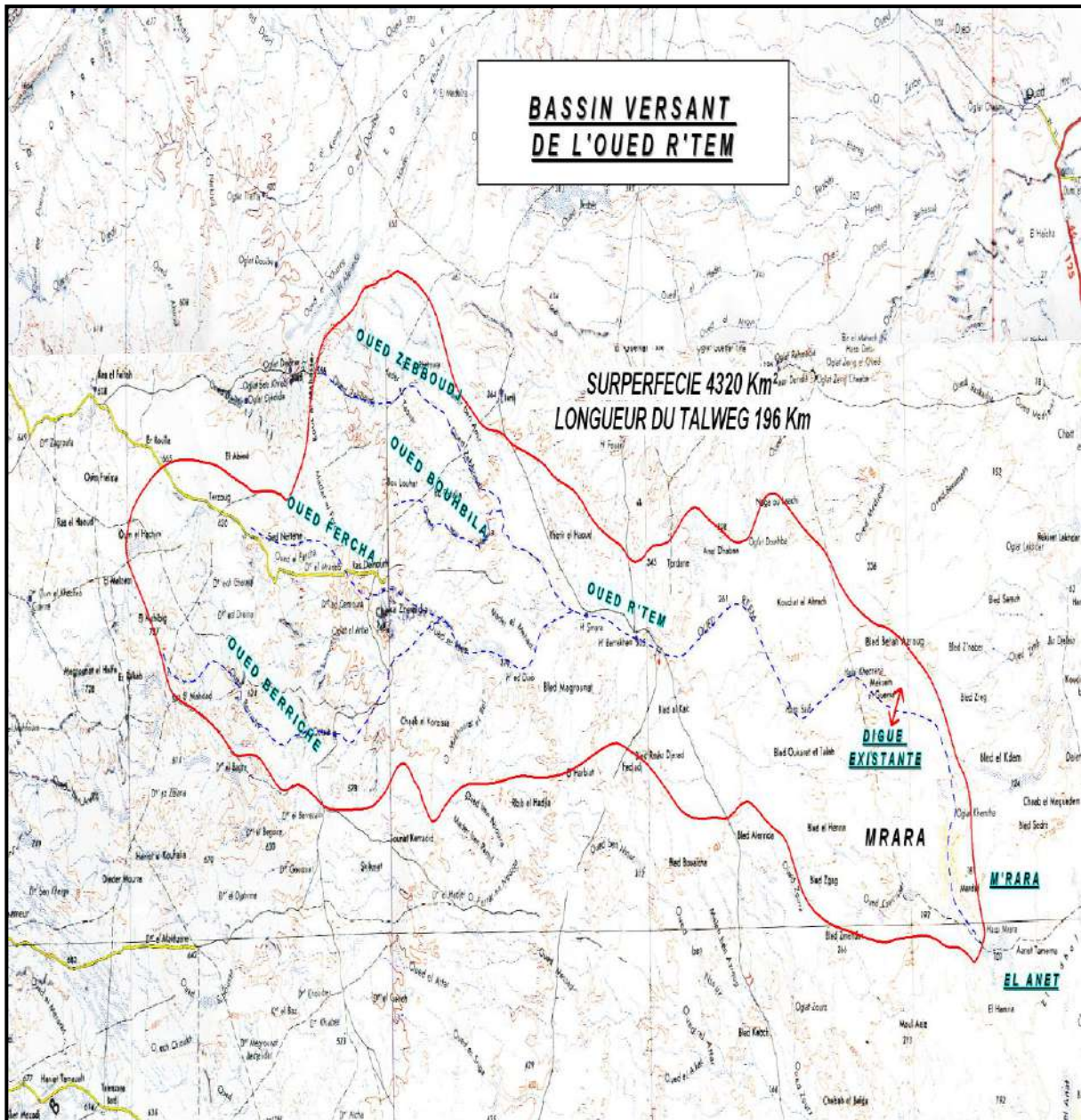


Figure (I.8) : Bassin versant de l'oued R'tem

I.3 CONCLUSION :

Nous concluons que la zone d'étude est caractérisée par un climat chaud et sec c'est à dire cette zone appartient à l'étage bioclimatique saharien à une sécheresse presque permanent et une très forte aridité, et elle possède plusieurs réseau des oueds qui s'étant sur un superficie très large ce qui nous l'avons mené à la prospection des matière de sable valable de l'utilisation dans le béton et le béton de sable en zone aride.

CHAPITRE II

**PROPRIETE
ESSENTIELLES DU
BETON**

II. 1 INTRODUCTION:

Ce chapitre est consacré, aux recherches dans les propriétés essentielles d'un béton de sable de construction, à savoir, l'ouvrabilité, la résistance, l'absorption d'eau, le retrait et la durabilité, et leur utilisation dans le domaine de fabrication de béton .

Généralement le béton est un matériau composite, formé de, ciment, eau, granulats (sable et gravier). L'incorporation de gravillons est possible tant que le rapport massique gravillons/sable reste inférieur à 0,7. La norme précise qu'on parle alors de béton de sable chargé. A l'inverse des bétons de sable, les bétons traditionnels emploient généralement des granulats 0/15 et 0/25 et comportent, selon l'utilisation envisagée, entre 250 et 400 kg de ciment par mètre cube de béton mais pour des raisons d'ouvrabilité, il ne convient pas de dépasser $G/S = 2$ à 2,2 pour des bétons courants (DREUX G. FESTA J, 1998). Pour ces derniers, et vu l'utilisation de granulats de diamètre maximal, il n'est pas nécessaire de rajouter d'autres fines à part le ciment qui peut à lui seul assurer au béton une compacité maximale.

Toutefois, si on cherche à diminuer la valeur du diamètre au dessous de 16 mm, dans ce cas, et pour garder une compacité maximale, il faut augmenter le dosage en fines (ciment). Ceci se traduit par la règle reproduite par (CHAUVIN J J. GRIMALDI G, 1988). qui recommandent un dosage en ciment égale à $K/\sqrt[5]{D}$. Où "K" tient compte des environnements agressifs, variant entre 550 et 700, selon l'usage du béton **Annexe (02)**.

La qualité d'un béton dépend de ses constituant qui ont une influence sur son comportement à l'état frais (ouvrabilité), ses performances à l'état durci (résistance, élasticité) et sa durabilité au cours du temps (absorption d'eau, retrait, etc.).

II. 2 Bétons de sable :

II. 2. 1 Définition :

Le béton de sable est un matériau composé de ciment, sable, fillers, eau et adjuvant réducteur d'eau. Des gravillons peuvent être ajoutés à raison de G/S (Gravillon/Sable) $\leq 0,7$. L'amélioration du comportement du matériau peut nécessiter parfois l'ajout de fines et de Fibres (BENAISSA I, 2015).

Les dosages en ciment et eau permettent de le distinguer des mortiers.

II. 2. 2 Historique :

Le matériau trouve son origine dans le « béton aggloméré » mis au point par F. Coignet vers la fin du 19^{ème} siècle. Ce mélange était constitué de ciment, chaux, sable et eau. On retrouve

cette technique dans l'édification de la tour de Port Saïd en Egypte (52 mètres). Cependant, le pays où il a été le plus utilisé est incontestablement l'ex URSS.

Après la fin du second conflit mondial, le professeur Rebinder reprit les travaux scientifiques,

ce qui a rendu possible la construction de nombreux aérodromes. Le développement de ce béton a autorisé son utilisation à grande échelle jusqu'à des volumes de 1 million de m³ par an.

La pénurie de gros granulats et la disponibilité de grands gisements de sable, notamment dans le sud-ouest Français, autorisèrent l'usage de ce matériau. A cet effet, l'association (SABLOCRETE, 1994). a vu le jour en 1988 en France pour coordonner les travaux de recherche sur ce matériau.

II. 2. 3 Domaines d'utilisation

Les bétons de sable peuvent être utilisés dans divers domaines tels que le bâtiment, les routes, les bétons vibrés et la projection.

II. 2. 3. 1 Recherche menée dans le golfe d'Arabie:

Suivant le rapport de synthèse des travaux élaboré par (KOTZIAZ, 1971) a préparé un béton à partir du sable de dunes. Ce sable à un module de finesse de 1.5, donc sa granulométrie était en dehors de la limite du fuseau recommandé. Les mélanges proposés dans ce travail sont représentés dans le tableau II-1.

Tableau II-1 : Résultats de résistance obtenue par les mélanges proposés par Kotzias (KOTZIAZ, 1971)

Mélanges	Sable (kg/m ³)	Ciment (kg/m ³)	E/C	RC28 (MPa)
1	1350	460	0.65	12
2	1350	460	0.50	22

Les résultats obtenus dans ce travail sont toujours très insuffisants, et généralement ce béton est destiné aux fondations, murs de soutènement et pour les planchers.

II. 2. 3. 2 Recherches menées en Afrique occidentale:

(TYLER R, 1961) dans son rapport il a collecté toutes les informations disponibles sur les bétons de sable.

En ce qui concerne les matériaux utilisés :

Le sable a une qualité qui varie beaucoup, d'une région à une autre mais généralement il se caractérise par une granulométrie fine. Le module de finesse est de l'ordre de 1.6

Le ciment utilisé, est conforme aux normes britanniques BS12

Pour la composition recommandée c'est : 1 volume de ciment avec 6 volumes du sable. L'utilisation de cette composition se manifeste dans les blocs des murs. Les résistances en compression de ces blocs, ne dépassaient pas 4.5 Mpa

Dans la même région une autre recherche a été effectuée par (UZOMAKA O J, 1977), au Nigeria dont le but était l'analyse des quelques facteurs comme l'effet de la dimension des particules du sable, qui affecte la résistance des blocs.

(UZOMAKA O J, 1977) a utilisé deux sables différents, un sable de dune très fin, et autre grossier, les résultats obtenus montrent que la résistance augmente avec le sable grossier, ce qui n'est pas le cas pour le sable de dune.

Il apparaît évident, quand il s'agit de sable de dune pour obtenir une résistance égale à celle du matériau coulé avec du sable grossier, on est obligé d'utiliser une grande quantité de ciment.

II. 2. 3. 3 Recherches menées en Algérie:

Dans ce cadre, les premières études ont été lancées par le CNERIB d'où une série de travaux de recherche ont été engagés pour la valorisation de ce matériau dans la masse de béton. (CHELGOUM F. LOUATI M, 1985). La première étude avait été menée sur un sable apporté de Djelfa vers l'année 1985, ce sable présente une porosité de 45% et classe granulaire de 0/0,63 mm

L'étude consiste en première phase à une recherche d'une formule à dosage optimum en ciment pour le sable utilisé.

- Le dosage en ciment varie de 300, 330 et 350kg/m³
- La granulométrie du sable a été corrigée par l'incorporation des fillers en trois types différents, calcaire, siliceuses et chaux aérienne, les résultats des essais de résistance obtenus lors de cette étude n'ont pas dépassés de 100 bars.

En revanche, la mesure de retrait malgré qu'elle ne dépasse pas le 21 jours, a donné de fortes valeurs, ce qui révèle la médiocrité de ces résultats, si l'on envisage les confections d'un béton de sable structural à base de sable de dune.

Après quelques années plus tard, une étude apportée par (AHMED-CHAOUCHE A, 1993) consolide les premiers pas dans ce sens.

Cette étude vise principalement, l'étude des propriétés physiques de béton du sable de dune.

(AHMED-CHAOUCHE A, 1993) a traité en première étape l'effet du rapport E/C et le dosage en filler calcaire sur la maniabilité de ce béton, ainsi il a pris un aperçu sur l'influence de ces deux paramètres sur la résistance du béton, pour le retrait et le fluage.

Le sable utilisé c'est le sable de dune provenant de la région d'EL Golea, qui présente une granulométrie très fine avec un module de finesse de l'ordre de 1,5.

La composition minéralogique de ce sable, quartzeuse et très peu de portion de feldspath et le gypse.

Pour le ciment c'est le CPA 325

L'étude a commencé par la formulation d'une composition sur la base de maniabilité. 5 valeurs ont été prises pour le rapport E/C : 0,4- 0,5- 0,6- 0,7 et 0,8; Chaque valeur est accompagnée par une variation croissante de concentration en ciment et en sable.

En 2ème étape d'autres séries d'essais ont été effectuées avec l'incorporation des filler et des adjuvants pour le but d'améliorer les propriétés du béton de sable de dune avec le minimum de dosage en ciment. Les compositions obtenues ont subi des essais mécaniques, à savoir les essais de compression et de traction.

Tableau II-2 La composition optimum aboutie dans l'étude de (AHMED-CHAOUCHE A, 1993)

Mélanges	Sable (kg/m ³)	Ciment (kg/m ³)	Eau (l/m ³)	E/C	Filler (kg/m ³)	Adjuvant (%)
Quantité	1160	400	240	0.6	300	2,8

Par ailleurs les résultats des essais pour cette composition sont:

Tableau II-3 Résultats des essais de résistance 7 et 28 jours

Mélanges	Compression (bar)	Traction (bar)
7jours	149,18	13,67
28jours	206,00	19,33

Pour les essais de retrait opérés sur cette composition montrent que le béton de sable de dune a une grande valeur de retrait que celle de béton ordinaire, où cette valeur atteint jusqu'à 2,5 mm/m, ces valeurs apprécient fortement avec le dosage en eau et ciment.

En ce qui concerne le phénomène du fluage de béton de sable de dune, et d'après cette recherche, les déformations dépendent toujours de l'état de chargement.

D'autre étude menée par le (BATATA A, 1994) c'est l'étude qui a été présentée par (BATATA A, 1994). La présente étude consiste en formuler un béton de sable dune pour l'obtention d'une compacité maximale.

La démarche suivie lors cette étude est:

Recherche du dosage en ciment pour atteindre la compacité optimale.

Substitution d'une fraction du ciment par des fines.

Le sable utilisé c'est le sable de dune d'EL GOLEA, qui se distingue par sa finesse et son horométrie (granulométrie serrée) l'équivalent de sable égal 90%, et le module de finesse égal 1,47. Les fines utilisées se sont les fillers calcaires par calibrage de sable de concassage 0/3 à travers un tamis de 80 μ m

Le ciment employé c'est le CPJ 325.

En première phase l'étude a compris la formulation d'une composition de ciment – sable pour le but d'obtenir une compacité maximale allant jusqu'à 70%, avec un dosage en ciment de 400 kg/m³

La deuxième phase dans cette étude consiste d'ajouter les fines par des portions croissantes de 0 à 10%, et suivant un dosage en ciment varié (270 kg/m³, 330 kg/m³, 370 kg/m³, 400 kg/m³).

En troisième phase, des essais de compression ont été réalisés, et les résultats sont traités par deux manières différentes :

La résistance en fonction E/ C+F

La résistance en fonction C/ S+F

E : est le dosage en eau.

C, S, F sont les dosages respectifs en ciment, sable et fines.

La composition finale obtenue comporte:

Tableau II-4 La composition optimum aboutie dans l'étude de (BATATA A, 1994).

Mélanges	Sable (kg/m ³)	Ciment (kg/m ³)	Eau (l/m ³)	Fine (%)
Quantité	1530	330	260	6

A la fin de cette étude, des essais d'informations concernant le retrait du béton de sable de dune ont été réalisées, et ont abouti à des valeurs assez importantes (1,5 mm/m).

Suivant ces recherches et les résultats encourageants qui les ont envisagées, l'opportunité de faire une étude d'application par l'incorporation des armatures est offerte.

Autre étude apportée par (BENMALEK M L, 1992), l'étude de ce dernier fait un pas intéressant et un travail nouveau concernant le béton de sable de dune, au point que , (BENMALEK M L, 1992) a opère une étude sur des éléments de structure en béton de sable de dune. Le béton de sable dans cette étude a été fait sur le sable de dune de la région de BOUSAADA, le module de finesse de ce sable égale 1.2.

La formulation suivie pour composer ce béton a été basée sur une meilleure maniabilité pour une résistance maximale

Après une série des essais sur des éprouvettes (16x32), la composition optimale a envisage les proportions à tableau suivante :

Tableau II-5 La composition optimum aboutie dans l'étude de (BENMALEK M L, 1992).

Mélanges	Sable kg/m ³	Ciment kg/m ³	Filtre calcaire kg/m ³	Eau l/m ³
Quantité	1243	350	300	281

Cette composition a subi en première étape un essai d'information pour tirer une idée sur l'adhérence entre le béton de sable de dune et les armatures.

Les valeurs obtenues ont été comparées avec celle des bétons classiques, où les résultats de ces essais sont à l'ordre de 6.7N/mm². Ce pendant les valeurs des bétons classiques varier entre 3a 9 N/mm².

Ces résultats ont permis à (BENMALEK M L, 1992) de compléter sa recherche par une application sur une poutre ferrailée.

Les dimensions de poutre étaient 2.2m de longueur et (12.5x22) cm² de section, avec un ferrailage en 4T12 quadrille en Ø6.

Dans cette application deux essais différents ont été étudiés ; Les comportements en flexion et les comportements au cisaillement.

Les résultats trouvés à travers ces essais ont montré que les comportements en flexion et au cisaillement pour une pièce armé en béton de sable de dune ne diffère plus à tel

comportements pour un béton classique, alors on a remarqué la présence de tous les phases de déformation, qu'il soit élastique que plastique.

A travers ces travaux d'investigation, la recherche dans ce sujet ne cesse pas de se contenir, mais par contre, elles se diversifient et faisant l'objet de recherche dans d'autres ouvrages que celles à base de béton ; Comme les recherches sur le sable bitumineux appliqué dans des ouvrages routiers, et les pistes aéronautiques.

Dans ce sens, deux études ont été réalisées, ayant pour objet de mettre en valeur le sable de dune dans la construction des corps de chaussées.

La première étude concernant une recherche qui a été effectuée par (GHRIEB A, 1994) en vue de l'obtention d'un diplôme de magister année 1994.

L'objet de cette étude c'est l'obtention d'une composition à base de sable de dune pour la construction des pistes aéronautiques.

Le sable utilisé c'est le sable de dune de la région de Hassi Berkine , qui se caractérise par une granulométrie serrée (sable horométrie) qui un avec module de finesse MF=0.72

La composition obtenue contient les composants suivants:

Tableau II-6 La composition optimum aboutie dans l'étude de (GHRIEB A, 1994).

Mélanges	Sable kg/m ³	Ciment kg/m ³	adjuvants kg/m ³	Filler calcaire	Eau l/m ³
Quantité	1358	350	4,13	200	245

L'étape de formulation se basée sur la résistance maximale pour une maniabilité admissible.

Après la détermination du dosage avec différents composants, une série d'essais a été effectuée ayant pour but de connaître la performance de cette composition.

Les résultats trouvés ont donné une résistance à la compression égal 15 MPa, et une résistance à la traction égal 3Mpa. Les résultats ne sont pas valables pour une couche de roulement dont la résistance à la compression doit être supérieure à 25 MPa, en revanche, ces résultats donnent à cette composition l'aptitude d'être utilisé en couche de fondation dont la résistance à la compression minimale à l'ordre de 15 MPa.

La deuxième étude celle concernant l'utilisation le sable de dune dans les ouvrages routiers, et qu'a été élaboré par la (C.T.T.P, 1999) (contrôle technique en travaux publics) en collaboration avec la DTP de Ouargla.

L'objectif de cette étude c'est la formulation d'un sable enrobé qui présente les meilleures performances mécaniques a base de sable de dune.

Le sable utilisé provient de la région d'Ouargla (Ain El-Beida), qui se caractérise par un module de finesse égale 1.02 et un équivalent de sable de 94%..

Ce travail a été réalisé en deux étapes :

La première étape consiste à choisir une formulation sur la base des performances mécaniques.

La deuxième étape a été réalisée sur site pour but d'assurer la résistance de la planche expérimentale.

Dans l'étape de sélectionner la formulation optimale quatre compositions ont été étudiées.

Sable enrobé de 100% sable de dune 85% SD+15% sable alluvionnaire

sable enrobé de 70% SD+ 30% sable alluvionnaire sable enrobé de 30% sable de dune +70% sable alluvionnaire.

Ces compositions sont subies aux essais de performance recommandés dans ces ouvrages.

Finalement, les formules qui ont rempli aux exigences de performance sont :

- 70% sable de dune + 30% sable alluvionnaire + 7% bitume
- 30% sable de dune + 70% sable alluvionnaire + 6.5% bitume

Concernant les résultats sur site ont été insuffisants, ce qui exige quelque amélioration par des ajouts.

Selon (BENMALEK M L. DERABLA R, 2007) qui est étudié caractérisation d'un béton a base de sable dunaire et de sous-produits industriels, utilisé teste sur éprouvettes prismatiques ferrailleur a 4 barres $\varnothing 6$ ont été placées pour éviter sa rupture prématurée par traction et pouvoir observer le phénomène d'adhérence.

D'autre part, la barre 2 ancrée de 20 cm dans l'éprouvette sert de barre témoin.

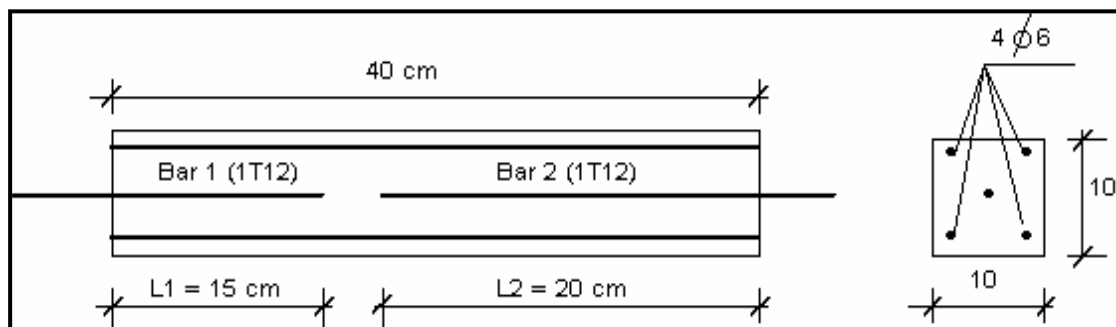


Figure II-1 : Schéma de l'essai d'adhérence

les compositions résultantes ont été détaillées dans la communication présentée par (BENMALEK M L., 1997) Parmi 42 compositions préparées et testées, celle qui a été adoptée pour la suite de l'étude est la suivante:

- sable dunaire 1249 kg/m³
- ciment 350 kg/ m³
- fillers calcaires 300 kg/ m³
- eau de gâchage 281 l/ m³

Ses principales caractéristiques sont : Rc28 = 17.76 MPa, affaissement au cône = 8.55 cm et masse volumique = 2130 kg/m³.

La force de rupture moyenne d'adhérence obtenue sur 3 éprouvettes identiques a été F = 38.4KN correspondant à une contrainte d'adhérence moyenne calculée $\tau = 6.77 \text{ N/mm}^2$.

La contrainte d'adhérence du béton traditionnel avec les aciers tors varie entre 3 et 9 N/mm² (RENAUD H. LETERTRE F, 1978) de ce point de vue, il est permis de conclure aisément que le béton de sable dunaire s'accommode bien avec les aciers de construction.

(Bentata A, 2004) cette étude expérimentale d'un béton avec sable de dune Constitué à :

- la possibilité d'intégrer le sable de dune dans la masse de béton
- l'obtention d'un béton avec des caractéristiques satisfaisantes aux critères de construction.

Après une série des essais sur des éprouvettes (16x32) pour la résistance à la compression, (7x7x28) pour la résistance à la traction, la composition optimale obtenue dans le tableau II-7.

Plusieurs compositions de béton ont été réalisées à la formulation suivie pour de béton de 100% sable de dune et/ ou sable alluvionnaire avec les agrégats (3/8 et 8/15).

Tableau II-7 La composition optimum aboutie dans l'étude de (Bentata A, 2004).

Mélanges	Sable kg/m ³	Ciment kg/m ³	G1 (3/8) kg/m ³	G2 (8/15) kg/m ³	Eau l/m ³	E/C
Quantité	586	400	380	832	220	1,81

Les résultats obtenus sont :

Tableau II.8 : Résultats de résistance du béton

Age	Résistance à la compression Rc (MPa)	Résistance à la traction Rt (MPa)
7	12	1.90
28	20	2.40

(BEDADI L, 2011). cette étude expérimentale d'un béton corrigé avec sable de dune
Constitué à :

- la possibilité de corriger le sable alluvionnaire au sable de dune dans la composition de béton
- l'obtention d'un béton avec des caractéristiques satisfaisantes aux critères de construction.

Après une série des essais sur des éprouvettes (16x32) pour la résistance à la compression, (7x7x28) pour la résistance à la traction, la composition optimale obtenue dans le tableau II-9.

Plusieurs compositions de béton ont été réalisées à la formulation suivie pour de béton de 100% sable de dune et/ ou sable alluvionnaire avec les agrégats (3/8 et 8/15).

Tableau II-9 : La composition optimale obtenue dans l'étude de (BEDADI L, 2011)

Mélanges	Sable de dune kg/m ³	40% Sable de dune 60% sable alluvionnaire kg/m ³	Ciment kg/m ³	G1 (3/8) kg/m ³	G2 (8/15) kg/m ³	Eau l/m ³	E/C
Quantité	622	/	400	220	989	250	0.625
	/	696	400	146,5	989	250	0.625

Les résultats obtenus sont :

Tableau II-10 : Résultats de résistance du béton

Age	Résistance à la compression Rc (MPa)		Résistance à la traction Rt (MPa)	
	Béton avec 100% sable de dune	Béton avec 40% sable de dune et 60% sable alluvionnaire	Béton avec 100% sable de dune	Béton avec 40% sable de dune et 60% sable alluvionnaire
7	14,42	17,64	1,34	1,44
14	18,40	22,94	1,91	1,94
28	26,26	27,56	2,07	2,12

avec cette correction nous avons trouvé des résultats bénéfiques uniquement sur le côté résistance, on peut dire que cette étude a mis en évidence qu'il est désormais possible d'obtenir un béton normal à base de sable de dune, si on fait intervenir quelque amélioration pour limiter la valeur de retrait et améliorer un peu la résistance.

II. 3 PROPRIETES DU BETON:

II. 3. 1 A L'ETAT FRAIS :

II. 3. 1. 1 Maniabilité:

Les bétons de sable nécessitent un volume de mouillage important par rapport aux bétons ordinaires et donc, un rapport E/C plus élevé (supérieur à 0,5) que l'on peut réduire en ajoutant des additions en fines, des fluidifiants et des super-plastifiants.

A noter que la quantité d'eau dépend aussi de la granulométrie du sable : plus ce dernier contient beaucoup d'éléments grossiers, plus la maniabilité augmente. Ceci se traduit par une relation entre module de finesse et maniabilité (CASANOVA P, 1996).

« L'aptitude du béton frais à bien se mouler dans les coffrages et autour des armatures tout en restant homogène, bref, à bien se mettre en place, est appelée ouvrabilité » (BARON J OLLIVIER J P, 1997).

La consistance ou l'ouvrabilité d'un béton est un facteur important. Elle conditionne la facilité de mise en place du béton dans le coffrage et influe sur le dosage en ciment et en eau dans le béton. Elle a donc indirectement une conséquence sur le prix du béton. Plus l'ouvrabilité demandée est grande plus le béton contient d'eau et de ciment, plus son coût est élevé. Le choix de la consistance est donc un équilibre entre le coût du béton et l'ouvrabilité requise pour la mise en œuvre du béton.

L'observation visuelle de la consistance du béton permet de définir quatre classes de consistance et de les désigner par des lettres : S1, S2, S3, S4.

Mais cette approche peut être plus précise en quantifiant l'ouvrabilité. Pour cela il faut élaborer une échelle qui permette Selon la valeur mesurée sur cette échelle de connaître avec une précision suffisante l'ouvrabilité requise pour la mise en œuvre du béton.

En conclusion, l'ouvrabilité du béton est une propriété fondamentale et importante qui, on l'oublie trop souvent, risquerait non seulement la mise en place incorrecte du matériau, mais d'entraîner pour le béton dans l'ouvrage un certain nombre de défauts dont, en particulier, des résistances localement insuffisantes (Derbala A, 1999).

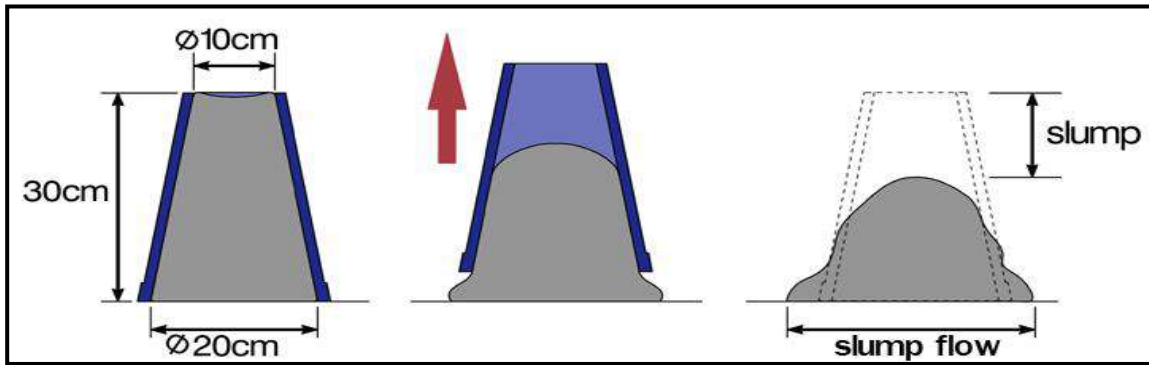


Figure (II-2) : Schématisation de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams

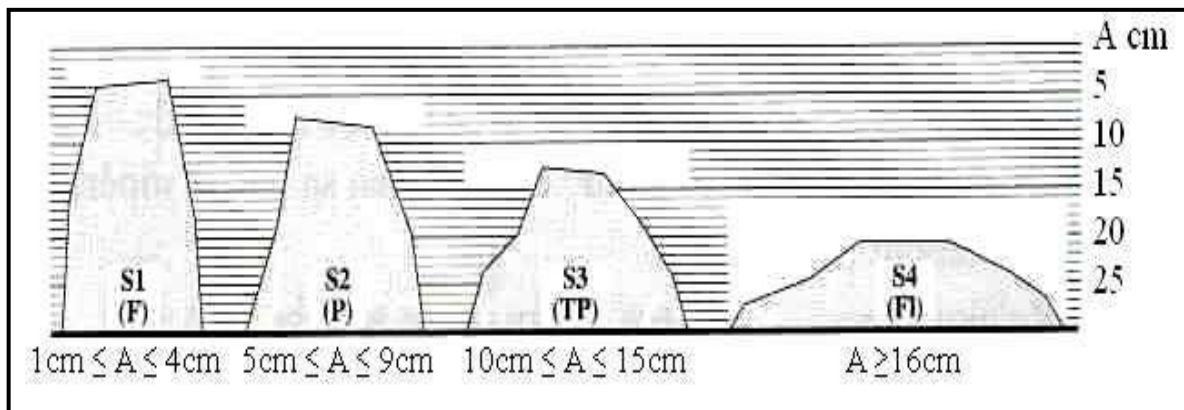


Figure (II-3) : Classes de Consistance Mesurées au Cône d'Abrams.

Tableau (II-11): Appréciation de la consistance par l'Affaissement au Cône d'Abrams (NF P 18-451, 1990).

Classes	Consistance du Béton	Note	Affaissement au Cône (cm)
S1	Ferme	F	4
S2	Plastique	P	5 à 9
S3	Très Plastique	TP	10 à 15
S4	Fluide	FL	≥16

(KOU S C. et al, 2009). (AKROUT K. et al, 2010). (MELAIS F Z. et al, 2011) des recherches récentes qui sont étudiées la relation entre la maniabilité et absorption d'eau ils ont trouvé que la maniabilité des bétons à base de sable de carrière était inférieure à la morphologie du grain concassé par rapport au sable de rivière.

Les résultats du test d'affaissement mené par (BENABED B. et al, 2012), pour différents pourcentages de substitution (25%, 50%, 75%) du sable de rivière par du sable concassé, ont montré que l'augmentation du pourcentage de fines induit à une diminution de l'affaissement.

Ces résultats ont été expliqués par l'augmentation de la finesse et de la surface spécifique, en raison de l'augmentation de la teneur en eau particules fines. Cela conduit à rajouter plus d'eau afin d'hydrater la surface de toutes les particules.

L'étude présentée par (BOUAZIZ A. et al, 2013). A une valeur fixe du rapport (E/C)= 0.61, Malgré que le volume de la pâte de ciment est très importante dans la formulation du béton de sable de dune, sa consistance est légèrement améliorée par rapport à celle du béton du sable alluvionnaire (0/5). Cependant, l'ouvrabilité du béton peut être influencée considérablement par le rapport E/C ainsi que par la finesse et l'activité de la structure granulaire des constituants.

II. 3. 2 A L'ETAT DURCI :

II. 3. 2. 1 RESISTANCE:

L'ouvrabilité et la résistance sont des qualités à rechercher de pair pour un béton, car elles sont étroitement liées l'une de l'autre et d'autant plus qu'elles varient en sens inverse en fonction de certains facteurs essentiels de la composition du béton.

Depuis l'origine, le matériau béton est caractérisé essentiellement par sa résistance mécanique, mesurée en général à 28 jours d'âge et contrôlée par des essais destructifs ou non destructifs.

La résistance du béton se présente sous deux aspects essentiels : résistance à la compression et résistance à la traction où la résistance à la traction joue un rôle très important en béton armé.

II. 3. 2. 1. 1 RESISTANCE A LA COMPRESSION:

La résistance en compression est généralement considérée comme la propriété la plus importante du béton, car elle projette généralement une image globale de sa qualité puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydraté .

La résistance en compression, désignée par f_{c28} , est définie par des essais de compression simple, à 28 jours d'âge, sur des cylindres droits de révolution et d'une hauteur double de leur diamètre.

Le cylindre de $\varnothing = 16$ cm de $H = 32$ cm, est le plus couramment employé. Le diamètre du moule ou de l'éprouvette cylindrique, ne doit pas être inférieur à $4D$. Selon la norme européenne NF EN12390 -1, il convient que la dimension de base du moule « a » soit au moins trois fois et demie supérieure à la dimension maximale des granulats « D » du béton, que

l'éprouvette soit cubique, cylindrique ou prismatique Enfin, le choix du format des moules est conditionné par la dimension D du granulat .



Figure (II-4) :Appareil pour Mesure la résistance de compression. annexe(A1-7)

(BENCHAA B. et al, 2012) est un recherche récente qui est étudié Propriétés physico-mécaniques et durabilité.

des mortiers à base du sable de dunes, la résistances en compression, des mortiers à base de sable mélange (alluvionnaire dunaire) se développe rapidement. Par contre les mortiers à base de sables de dunes, se développe lentement. Les gains de résistances obtenus pour les mortiers à base de sable mélange semblent être directement liés aux propriétés particulières des sables et en particulier le sable alluvionnaire, qui améliore la compacité des mortiers et par la suite la résistance. Nous notons de fortes résistances à la compression pour le mortier MSAD à base du sable mélange par rapport à ceux des mortiers à base de sable de dunes.

A une valeur fixe du rapport E/C, Malgré que le volume de la pâte du ciment est inférieur dans la formulation du béton du sable alluvionnaire , les valeurs de (BOUAZIZ A. et al, 2013) ce qu'il a trouvé, montrent que le sable alluvionnaire , conduit à des résistances meilleures (gain de 30%) par rapport au sable de dune. La substitution d'une partie de ciment par son équivalence massique en filler calcaire et en sable alluvionnaire peut donner des résultats satisfaisants correspondants à la résistance en compression.

Le rajout de particules fines (sable de dune) n'améliore pas les résistances. L'excès de fines dans les sables exige le rajout de plus de ciment pour revêtir la surface des granulats (AL-BAGHDADI H M. et al, 2010), (WESTERHOLM M. et al, 2008).

II. 3. 2. 1. 2 RESISTANCE A LA TRACTION:

Les essais du béton réalisés à la rupture en traction relèvent, actuellement, de trois techniques différentes:

- par traction direct
- par fendage
- par flexion

II. 3. 2. 1. 2. 1 Essai de traction direct:

Cet essai s'effectue par mise en traction de l'éprouvette cylindrique mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite, après sciage des extrémités, le collage de têtes de traction parfaitement centrées, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite (DREUX G. FESTA J, 1998).

On obtient alors directement :

$$f_t = F/S \quad (\text{en MPa}) \quad (\text{II -1})$$

II. 3. 2. 1. 2. 2 Essai de traction par fendage:

L'essai, dit «Essai Brésilien », consiste à écraser un cylindre de béton entre les deux plateaux d'une presse de compression suivant deux génératrices opposées (GORISSE F, 1978).

L'éprouvette se rompt suivant un plan diamétral sous influence des contraintes de traction qui se développent normalement à la direction de la compression. On obtient ainsi, à la rupture, de demi cylindres. Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre (en kg), la résistance en traction sera :

$$f_t = 2.P/\Pi.L.\emptyset \quad (\text{en kg/cm}^2) \quad (\text{II -2})$$

II. 3. 2. 1. 2. 3 Essai de traction par flexion:

C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre une éprouvette prismatique, de cote (a) et de longueur (4a), par application d'un moment de flexion constant ($M = (P.a)/2$) entre les deux points d'application de la charge totale de rupture P(en newton).

La contrainte de rupture en traction par flexion est:

$$f_t = 1,8.P/a^2 \quad (\text{en MPa}) \quad (\text{II -3})$$

Ceci suppose que la contrainte de traction correspondant sur la fibre inférieure, calculé par la formule de l'élasticité, $f_t = (M.V)/I$ est affectée d'un coefficient 0,6 dont il est valable en moyenne pour le prisme (7x7x28 cm), mais ne l'est plus pour les autres prismes.



Figure (II-5) :Appareil pour Mesure la résistance de traction par flexion

(GUETTALA S. et al, 2013), On a remarqué aussi que la résistance à la traction est environ 10 fois plus faible que la résistance à la compression, de plus, la résistance à la traction s'annule même complètement si des fissures de retrait se sont développées (VIMANE PHOUMMAVONG).

II. 3. 2. 1. 3 CONCLUSION

En conclusion, une bonne résistance à la compression est la qualité bien souvent recherchée pour le béton durci. Cette bonne résistance est généralement liée à une bonne compacité, ce qui est favorable à la durabilité du béton.

La résistance d'un béton dépend d'un certain nombre de paramètres, en particulier la classe et le dosage du ciment, la porosité du béton et le rapport du dosage en eau au dosage en ciment (Fiches Techniques, 1997).

II. 3. 2. 2 ELASTICITE:

L'élasticité est une propriété très importante pour le béton, notamment dans le cas d'incorporation des armatures, où on devra obtenir un matériau plus au moins homogène.

Le module d'élasticité est compris généralement entre 200000 MPa et 600000 MPa.

La notion de coefficient d'élasticité d'après sa définition:

$$E = (\text{contrainte-unitaire}) / (\text{déformation-relative}) = f_{c_j} / (\Delta l / l)$$

Le module d'élasticité du béton est lié à sa résistance caractéristique dans ce cas pour le projets courants, on admet (DE LARRARD F, 2000).

Le module d'élasticité du béton augmente lorsque sa résistance à la compression augmente. Cependant, chose certaine, il est conditionné par le module d'élasticité du granulat et par les proportions volumétriques qu'il occupe dans le béton.

(Règle BAEL91 révisées. 99, 2000). propose les relations suivantes entre le module d'élasticité et la résistance à la compression du béton :

Pour un chargement d'une durée d'application inférieure à 24 heures, le module de déformation instantané E_{ij} du béton âgé de j jours est pris égal à :

$$\boxed{E_{ij} = 11000 \sqrt[3]{f_{cj}} \text{ (} f_{cj} \text{ et } E_{ij} \text{ en MPa).} \quad (\text{Règle BAEL91 révisées. 99, 2000}) \quad (\text{II-6})$$

f_{cj} : désignant la résistance caractéristique à la compression à j jours) « si on ne dispose pas d'autres valeurs de résistance que celle de f_{c28} , on peut admettre que, pour les grandes valeurs de j on a sensiblement :

$$f_{cj} = 1,1 f_{c28}, \text{ et le module est noté } E_i$$

Cependant nous estimons que cette valeur de E_{ij} est un peu surestimée; la formule recommandée est:

$$\boxed{E_{ij} = 9500 \sqrt[3]{f_{cj} + 8}} \quad (\text{II-7})$$

Et il est proposé : $E_{ij} = 10000 \sqrt[3]{f_{cj}}$ en valeurs moyennes pour f_{cj} et E_{ij} .

Le module d'élasticité instantané peut se déterminer expérimentalement :

- Par chargement statique direct d'éprouvettes de béton avec mesure de la déformation correspondante à l'aide d'un extensomètre, on obtient le module d'élasticité statique (module sécant). Il décroît lorsque la contrainte augmente. La contrainte pour laquelle il a été déterminé doit être mentionnée.

- Par mise en vibration d'éprouvettes prismatiques de longueur L ; E_i étant proportionnel au carré de la fréquence F on obtient le module d'élasticité dynamique

$$\boxed{E_{ij} = (2.L.F)^2 w/g} \quad (\text{II-8})$$

Avec w = densité du béton ; g = accélération de la pesanteur
Cependant, cette loi sous-estime souvent le module d'élasticité réel du béton, surtout pour des bétons à hautes performances. De plus, elle ne fait pas intervenir les propriété d'élasticité des constituants (module de granulat, module de la pate de ciment, etc) (ACHOUR T, 2007).

Dans ce fait de (DE LARRARD F, 2000).s'est orienté sur l'élaboration d'un modèle qui va prendre en compte toutes les propriétés des paramètre constituant. Ce modèle a été fondé sur la base du modèle de « Hashim » (modèle bisphère). Par vitesse du son, E_i étant proportionnel au carré de la vitesse du son en m/s :

$$E_i = K v^2 w/g \quad (\text{II-9})$$

Etant une fonction du coefficient de poisson ν

$$K = (1 + \nu)(1 - 2\nu)/(1 - \nu) \quad (\text{II-10})$$

Le coefficient de poisson ν : est le rapport entre la déformation transversale et la déformation longitudinale en valeurs relatives. Sa valeur varie de 0,15 à 0,30. On le prend souvent égal à 0,20.

Cette dernière mesure peut être faite sur l'ouvrage lui-même et permet de se rendre compte in situ de qualité du béton et de sa régularité.

Le module d'élasticité dynamique est lié essentiellement aux effets purement élastiques, en raison de l'absence de contrainte significative appliquée sur l'éprouvette. En conséquence , le module d'élasticité dynamique est considéré comme étant sensiblement égal au module d'élasticité tangent à l'origine déterminé dans les essais statiques et, de ce fait, nettement plus élevé que le module sécant déterminé par l'application d'une charge sur une éprouvette de béton (Neville Adam M, 2000).

En général, le module d'élasticité dynamique se trouve expérimentalement d'environ 25% supérieur au module d'élasticité statique instantané (DREUX G. FESTA J, 1998).

Par ailleurs, le béton ne se comporte pas comme un matériau parfaitement élastique sauf pour des contraintes faibles. Le module élastique correspondant, appelé module tangent. Pour calculer la déformation sous une contrainte σ_0 par exemple, la valeur de module sécant correspondant à la déformation effective sous cette contrainte σ_0 qu'il faudra prendre en compte ; on pourra admettre à titre d'approximation et à défaut de résultats expérimentaux que le module sécant est égal au module tangent diminué de 10% environ dans la zone des contraintes de services habituelles (DREUX G. FESTA J, 1998).

Le module d'élasticité du béton dépend de sa résistance, de son âge, du contenu d'humidité et de type de granulats (Figoli, 1985). Pour les bétons courants, le module d'élasticité d'un béton peut varier de 25 000MPa à 45 000MPa . Par contre, pour les bétons de granulats légers de structure, il est de moitié environ par rapport à celui du béton courant (GORISSE F, 1978).

La recherche traitée par (AL-BAGHDADI H M. et al, 2010), analyse le module d'élasticité des bétons à base des sables concassés. Les résultats ont abouti au fait que, le module d'élasticité des bétons de sable concassé est inférieure à celui des bétons de sable naturel. Cela a été expliqué par des gros granulats (source d'agrégat).

II. 3. 2. 3 ABSORPTION D'EAU:

La capacité d'absorption d'eau d'un béton, donne une idée générale sur la présence et l'importance des vides (pores). C'est une manière comme une autre de mettre en évidence la compacité du béton durci : plus le béton est compact plus sa capacité d'absorption est faible est donc plus il est étanche.

D'une part la compacité du béton influence directement sa porosité, Celle-ci est généralement contrôlée sur béton durci par la mesure de l'absorption d'eau par immersion (Technologie du béton, 2009).

D'autre part la porosité comprend tous les pores du matériau, elle est généralement supérieure à 10% pour un béton courant. Les pores forment des réseaux de vides plus ou moins. La porosité dépend de plusieurs facteurs : le rapport E/C (Eau sur Ciment), la compacité du béton frais, le volume pâte/granulats et la porosité des granulats (CHEN Wei, 2011).

L'absorption d'eau par immersion est donc le résultat des mouvements capillaires dans les pores du béton qui sont ouverts sur le milieu ambiant. Elle est déterminée par immersion d'une éprouvette de béton dans l'eau jusqu'à masse constante et en mesurant l'augmentation de masse. Elle est exprimée en pourcentage de la masse sèche de l'éprouvette. Etant une image de la porosité, l'absorption d'eau est utilisée comme un indicateur de la qualité du béton.

Cette formation de pores capillaires signifie un affaiblissement mécanique du béton. Etant donné que des substances agressives peuvent s'infiltrer aisément dans le béton via ce réseau capillaire, la durabilité s'en trouve influencée de manière négative (GBB, 2006).

Le type d'éprouvette est confectionné selon le type de l'essai à réaliser:

Des éprouvettes cubiques (10x10x10) cm³ norme française (NF P 18-400, 1981), Ce éprouvette est confectionnées pour la détermination d'absorption capillaire.

La recherche traitée par (RABEHI M, 2014), présentée l'absorption initiale (pendant 1 heure) est une fonction croissante du rapport E/C. Autrement dit, plus le rapport eau/ciment augmente, plus le taux d'absorption initiale augmente. A titre d'exemple la diminution du rapport E/C de 0,67 à 0,57 pour un béton à base du ciment CEM II/B 42.5 soumis à une cure de 3 jours diminue le

taux d'absorption d'eau d'environ 12.5 %. Cette diminution est de l'ordre de 18.23 % en diminue le rapport E/C de 0,67 à 0,50.

La relation entre la résistance à la compression et l'absorption initiale des différents bétons par (RABEHI M, 2014). (KOBAYASHI K. et al, 1990). (WIERIG H, 1984). A noter que la résistance à la compression à 28 jours est une fonction décroissante de l'absorption initiale.

Après (BOUCETTA T, 2014) qui est montré le coefficient d'absorption des bétons aux différentes échéances augmente avec la racine carrée du temps. Toutefois, on distingue deux allures de courbure différente. En effet, il apparaît, d'une part une évolution linéaire du coefficient d'absorption en fonction de la racine carrée du temps jusqu'à 24 heures (fin de l'essai), D'après (BESSA B A, 2004), plus les pores sont plus gros, plus la pente de la droite est élevée.

L'absorption d'eau à l'intérieur du béton sec est connue pour dépendre de deux paramètres majeurs, la porosité effective du béton et la vitesse d'absorption par remontée capillaire (absorptivité) (ASSIE STEPHAN, 2004).

(BALAYSSAC J P. et al, 1993), est tracé la courbe l'évolution de la masse d'eau absorbée en fonction de la racine carrée du temps pour un béton, la courbe se compose de deux segments de droite ,figure (II-6)

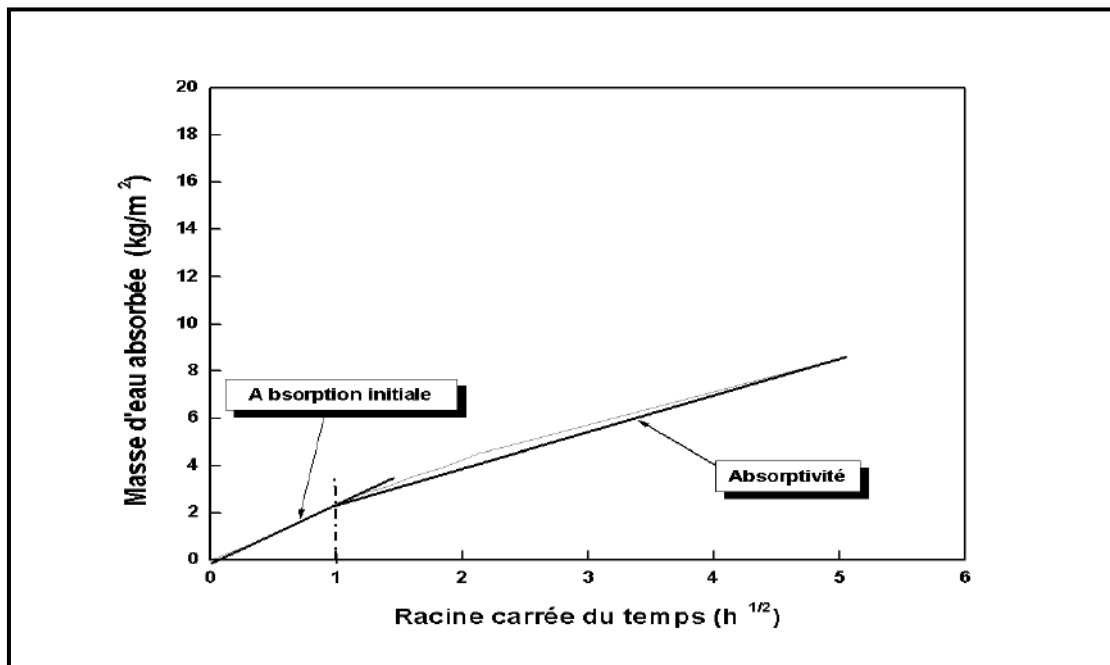


Figure (II-6) : Exemple de cinétique d'absorption d'eau pour un béton (BALAYSSAC J P. et al, 1993).

la première, de pente assez forte caractérise l'absorption d'eau initiale. Cette eau est retenue par les capillaires de plus grands diamètres situés en surface. Généralement cette absorption est enregistrée durant la première heure de l'essai (BALAYSSAC J P. et al, 1993) l'absorption initiale désigne la masse d'eau absorbée après une heure plutôt que l'ordonnée à l'origine. Ces mêmes auteurs affirment qu'après une heure, les capillaires ayant un diamètre supérieur à 10 μm n'absorbent plus d'eau et que le volume alors absorbé correspond au volume de ces capillaires.

La deuxième phase d'absorption de faible pente caractérise le remplissage des capillaires de plus en plus fins. La pente de cette partie détermine la sorptivité du matériau Sc. Le terme absorptivité désigne généralement le taux d'absorption pendant la phase II. Cependant, tous les auteurs ne calculent pas la valeur de l'absorptivité en se basant sur le même intervalle de temps. Par exemple, (BALAYSSAC J P. et al, 1993) calculent l' absorptivité sur la période comprise entre 1 h et 24 h alors que (Bégué P. et al, 2004). la calculent entre la 10ème et la 100ème minute. D'autres auteurs ne spécifient pas l'intervalle de temps sur lequel ils ont calculé l'absorptivité (DESOUZA S J. et al, 1997), (Technologie du béton, 2006). Il est alors difficile de comparer les valeurs tirées de ces différentes études.

II. 3. 2. 4 RETRAIT:

II. 3. 2. 4. 1 INTRODUCTION :

Au cours de son évolution, le matériau béton est l'objet de modifications Physico-chimiques qui entraînent des variations dimensionnelles (Fiches Techniques, 1997).

En l'absence de toute charge appliquée, le béton se déforme spontanément. Ces déformations sont liées à l'humidité du milieu de conservation (Bentata A, 2004)

Dans l'eau se produit une absorption accompagnée d'une augmentation de volume. Ce phénomène porte le nom de gonflement. Dans l'air non saturé, il se produit toujours une perte d'eau suivie d'une diminution des dimensions initiales. Ce phénomène porte le nom de retrait. (Brahma A, 1996).

II. 3. 2. 4. 2 DIFFÉRENTS TYPES DE RETRAIT :

En cas de départ rapide d'une partie de l'eau de gâchage, soit par évaporation (rapport surface –volume de pièces élevé, très faible hygrométrie du milieu ambiant, temps chaud, vent violent), soit par absorption (coffrage, granulats poreux), une contraction importante du béton frais, avant et en cours de prise, peut se produire et causer un retrait rapide du béton qui perturbe également l'hydratation du ciment. Ce retrait sera limité par une bonne 12

II. 3. 2. 4. 2. 1 Le retrait chimique :

L'amplitude de la contraction chimique dépend uniquement de la nature du ciment et de la vitesse d'hydratation (fonction par exemple de la température). Le retrait chimique influe sur le retrait endogène [(Turcry Philippe, 2004)].

II. 3. 2. 4. 2. 2 Retrait thermique :

La prise puis le durcissement du béton s'accompagne toujours d'un dégagement de la chaleur de prise du ciment. Il est donc bien évident que lors du refroidissement le matériau subira une contraction ; ceci dans des proportions non négligeables, surtout pour les ouvrages en grandes masses (GORISSE F, 1978).

II. 3. 2. 4. 2. 3 Retrait hydraulique :

Le retrait hydraulique qui est divisé par deux types.

- Retrait endogène c'est la diminution de volume de la pâte liante provoquée par son assèchement interne du fait de la consommation de l'eau pour l'hydratation du ciment non encore hydraté; on dit aussi retrait d'auto dessiccation ou retrait d'hydratation.
- Retrait exogène C'est la diminution de volume de la pâte liante, d'un béton conservé dans l'air non saturé, provoquée par l'évaporation de l'eau libre; on dit aussi retrait de dessiccation ou retrait de séchage (GORISSE F, 1978). Il existe dans la littérature des formules permettant d'estimer le taux d'évaporation en fonction des conditions extérieures (UNO P J, 1998).

Le retrait hydraulique est désigné, la plupart du temps, sans précision, sous le seul nom de: retrait.

La déformation due au retrait que l'on mesure expérimentalement inclut donc une composante relative aux processus physico-chimiques liés aux réactions d'hydratation du ciment (déformations endogènes), et une composante liée au séchage exogène que subit le matériau (De Larrard F, 2002).

Parmi les facteurs agissant sur le retrait sont :

- La nature du ciment : certains ciments sont plus sensibles que d'autres à la dessiccation (ciment à forte proportion de laitier par exemple), La finesse de mouture du ciment : cela nécessite une plus grande quantité d'eau de mouillage. Le retrait d'un béton grandit avec l'augmentation de la finesse de ciment,
- Le dosage en ciment : le retrait augmente avec le dosage en ciment, La quantité d'eau de gâchage: le retrait de la pâte de ciment hydraté est d'autant plus élevé que le rapport eau -

ciment est plus élevé, Les vides d'air: l'évaporation de l'eau est facilitée par une forte perméabilité du béton,

- La présence d'éléments fins: proviennent en général de l'emploi de granulats argileux ou de granulats de broyage non dépoussiérés,
- La nature et la granulométrie des granulat : A même granulométrie, les granulats concassés provoquent un retrait plus élevé que le matériaux roulés,
- L'hygrométrie de l'ambiance: Le retrait croît quand l'humidité relative diminue (Brahma A, 1996), (KEDJOUR N, 1993)

II. 3. 2. 4. 3 MESURE DU RETRAIT.

Le retrait est un phénomène physico-chimique qui existe de façon systématique au sein du béton et qui se développe sous diverses formes depuis la prise du béton jusqu'à son vieillissement. Il correspond à l'action du départ de l'eau excédentaire du béton vers l'extérieur de l'élément de structure. Le symptôme caractéristique de l'action du retrait sur un ouvrage est la fissuration qui peut être soit orientée, soit multidirectionnelle (El Houssain R, 2004).

Les différents types de fissures de retrait peuvent être classés, suivant leur ordre chronologique d'apparition, en trois types (CALGARO J. et al, 1997).

Fissures apparaissant une ou deux heures après le bétonnage : ces fissures sont provoquées par le tassement du béton frais. Elles sont relativement profondes et ouvertes et affectent les surfaces horizontales provoquant un gradient vertical de l'ensemble des caractéristiques physiques et mécaniques.

Fissures apparaissant juste après le décoffrage : ces fissures affectent aussi bien les surfaces horizontales que les parements verticaux. Ces fissures sont généralement fines et peu profondes, mais elles peuvent être plus ouvertes lorsque le retrait thermique en est la cause.

Fissures apparaissant plusieurs jours ou plusieurs mois après le décoffrage : ces fissures sont créées par le retrait à long terme. Ce retrait résulte du départ de l'eau en raison de la mise en équilibre hygrométrique de la structure en béton avec son milieu extérieur.

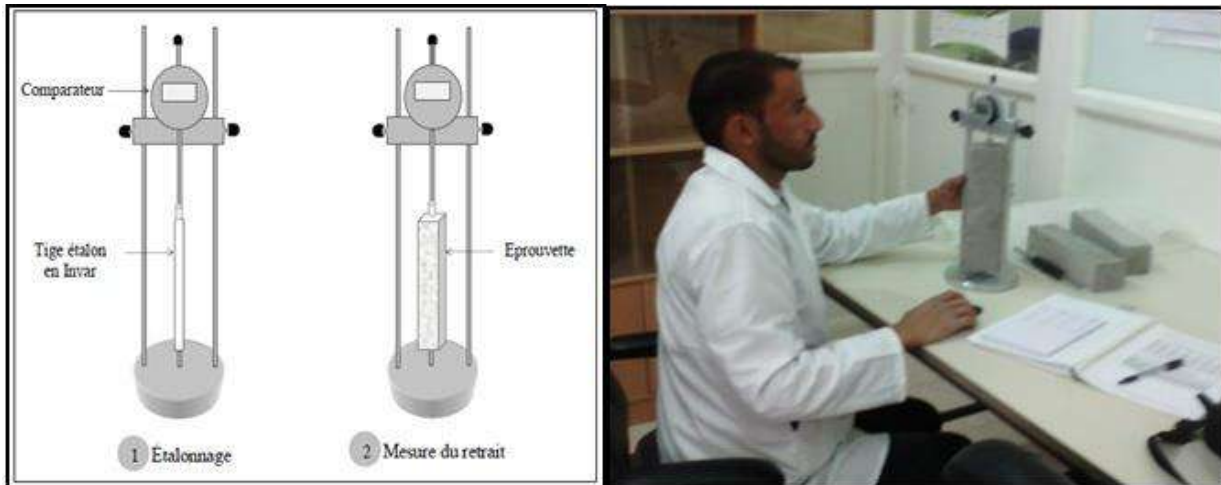


Figure (II-7) :Appareil pour Mesure le retrait

Pour les études comparatives du béton en laboratoire, on a souvent recours aux éprouvettes prismatique (7 x7 x28) cm pour lesquelles on utilise des réfractomètres.

Selon (BOUASKE M, 2007), les granulats secs absorbent une partie de l'eau de gâchage, et entraînent une diminution du rapport E/C de la pâte. Ceci induit une structure plus dense de la pâte de ciment contenant des pores plus fins, les forces capillaires sont donc plus fortes générant un retrait plus élevé.

Les granulats poreux saturés emmagasinent l'eau et la rediffusent plus tard dans la pâte de ciment quand l'eau de gâchage n'est plus disponible pour l'hydratation. Cette eau a un effet direct sur la dépression capillaire qui diminue, car elle remplit les vides gazeux créés par la contraction. Ce phénomène est à la base des méthodes de cure interne (JENSEN O, 2005). (LURA P. et al, 2006) qui permettent de réduire le retrait endogène en incorporant au béton des granulats légers saturés en eau.

La variation du retrait est la conséquence directe de la correction de la granulométrie du sable de dunes, ayant comme effet l'amélioration de son module de finesse par l'ajout de sable alluvionnaire.

La recherche étudié par (BOUZIANI T. et al, 2012) ont observé que le mélange du béton de sable réalisé avec du sable alluvionnaire et 15% de sable de dunes, donne une valeur du retrait plus élevée de l'ordre de 520 $\mu\text{m}/\text{m}$, par rapport au mélange préparé uniquement avec du sable alluvionnaire où la valeur du retrait est de l'ordre de 460 $\mu\text{m}/\text{m}$.

Cette observation est en commun accord avec nos résultats ; dans lesquels nous avons remarqué que l'augmentation de la quantité du sable de dunes conduit à une augmentation du retrait. Même chose pour (TAFRAOUI A, 2009) qui a rapporté que les bétons réalisés avec du sable de dunes présente un retrait élevé au cours des 100 jours d'étude. Les tests effectués par

(BOUAZIZ A. et al, 2013) ont montré l'effet bénéfique de la correction granulométrique du sable de dunes, avec une réduction significative du retrait de l'ordre de 54 % à 7 jours. Donc la distribution des grains fins est impacte sur le valeur de retrait.

Les résultats de (KHOUADJIA M L k. et al, 2017) montre que le béton avec peu de particules fines « SB » présente un retrait légèrement plus important que la plupart des retraits des bétons. D'autre part ,un retrait important est constaté pour le sable à base de sable d'oued et les bétons non modifiés. Par ailleurs, la modification des bétons à base de sable des carrières avec du sable d'oued réduit les valeurs du retrait. En outre, les bétons modifiés avec du sable de dune présentent les plus faibles valeurs de retrait. Ceci a été attribué à la capacité de remplissage du sable de dune . De ce fait, on peut dire que l'évolution du retrait est liée à la teneur en particules fines d'une part (pourcentage de fines optimales) et à la répartition de la distribution granulaire d'autre part.

II. 3. 2. 4. 4 CONCLUSION

Le retrait c'est un phénomène lié, en grande partie, aux mouvements de l'eau. Par conséquent tout paramètre influant sur le bilan de l'eau dans le béton, influera sur son retrait. Pour limiter le retrait, il est impératif donc :

D'employer un minimum d'eau de gâchage,

De tenir les pièces humides en les arrosant pendant leur durcissement (le durcissement sous l'eau diminue beaucoup les effets de retrait),

De protéger le béton contre la dessiccation, pendant et après prise,

De créer les joints au niveau des ouvrages (joints de dilatation, joints de fractionnement) (DREUX G. FESTA J, 1998), (KEDJOUR N, 1993).

II. 3. 2. 5 AUSCULTATION DYNAMIQUE:

Cette technique est basé sur la vitesse de propagation de son dans les éprouvettes étudiées. Nous dirons, pour simplifier qu'on mesure la vitesse de son en fait se déplacent deux ondes l'une longitudinale, l'autre transversale. On mesure aussi la masse volumique du béton.

La méthode consiste à mesurer la vitesse de propagation des ultrasons traversant le béton à l'aide d'un générateur et d'un récepteur voir figure II-8. Les essais peuvent être effectués sur des éprouvettes au laboratoire ou sur des ouvrages. De nombreux facteurs influent sur les résultats ; la surface et la maturité du béton et la porosité la, distance de parcours de l'onde, la présence d'armatures (Lin Y. et al, 2003).



Figure (II-8) :Appareil pour Mesure la vitesse de son

Les ultrasons sont une méthode simple et relativement peu coûteuse pour déterminer l'homogénéité d'un béton. Elle peut être utilisée dans le cadre d'un suivi de contrôle de qualité de la production qu'en auscultation d'ouvrage altéré. Cependant elle nécessite un étalonnage rigoureux, les corrélations sont souvent délicates (Malhotra V M. et al, 1991).

Les méthodes normalisées utilisées pour évaluer la qualité du béton dans les structures en béton ne permettent de prendre en compte que des essais destructifs sur des éprouvettes coulées en même moment ou sur des carottes prélevées de l'ouvrage. (HANNACHI S. et al, 2011).

La vitesse de son est le rapport de distance d'éprouvette par le temps de propagation d'ondes.

On obtient alors directement: $V=d/t$

V: la vitesse de son.

d : la distance entre l'émetteur et récepteur.

t : le temps propagation d'onde.

II. 3. 2. 6 DURABILITÉ:

Le béton est un matériau durable. Ce qui est essentiel que chaque structure en béton puisse conserver sa résistance et continuer de remplir sa fonction tout au long de sa durée de vie utile. Il en résulte que le béton doit être en mesure de résister aux agressions auxquelles il peut être exposé (Neville Adam M, 2000).

La durabilité des matériaux de construction est un problème très important qui dépend en grande partie de leur exposition à différentes conditions climatiques. Les recherches sur le comportement au stress des matériaux individuels constituent une bonne base d'évaluation de la durée de vie d'ouvrages comme les routes, les ponts, les tunnels et les édifices civils en général. Le facteur de porosité est influé sur la durabilité, les pores sont des cavités vides ou remplies d'eau dans le béton durci. La porosité C'est le rapport entre le volume de vides V_v et le volume total V_t d'un corps. La porosité est une propriété volumétrique représentant le contenu des pores qui ne sont pas nécessairement interconnectés, alors que la perméabilité est une propriété d'écoulement qui caractérise la facilité avec laquelle un matériau poreux se laisse traverser par un fluide (AZZOUZ H, 2009).

(FAGERLUND GORAN, 1973) a déterminé la courbe représentant la résistance en fonction de la porosité pour des différents mortiers et béton il trouva les courbes obtenues entre la résistance du béton et la porosité du béton et mortier ont les mêmes formes que celles de la résistance de la pâte de ciment.

La porosité est une caractéristique importante des matériaux cimentaires qui lui confèrent plusieurs caractéristiques telles que sa perméabilité, sa résistance, sa durabilité et son comportement rhéologique. On distingue les pores contenus dans les granulats de ceux se trouvant dans la pâte de ciment. La taille et le volume des pores situés à l'intérieur des granulats n'évoluent pas avec le temps et influent sur la résistance du béton à la corrosion.

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

Les bétons faiblement poreux sont en général plus durables puisque leur faible perméabilité retarde la pénétration de l'eau, et des autres agents potentiellement agressifs (sulfate de sodium Na_2SO_4 , acide chlorhydrique HCl . etc....).

(GUETTALA S. et al, 2013) ont contribué à l'étude de la durabilité des béton à base de sable de dune en poudre (SDP) en substitution au ciment et cela en se concentrant sur la porosité de ces bétons. Cette recherche représenté la porosité du matériau est le premier indicateur de la durabilité, car la porosité est le siège des agressions extérieures: plus le matériaux est poreux,

plus pénétration d'agents est facilitée, et donc plus sa durabilité est limitée. Les résultats ont montré que 10 % SDP, a provoqué une diminution de la porosité (de l'ordre 46 %) en comparaison avec celle du béton ordinaire. Ainsi, l'utilisation du SDP améliore la structure poreuse des bétons et modifie les propriétés de rupture, ce qui va améliorer la durabilité des bétons.

II. 3. 2. 6 .1 RESISTANCE AUX AGENTS AGRESSIFS:

II. 3. 2. 6. 1. 1 Définition:

Les altérations du béton, observées en présence d'agents agressifs, sont d'ordre chimique ou physique. Les altérations chimiques sont dues essentiellement aux acides, bases et aux solutions salines, elles entraînent presque toujours la dissolution de la chaux et le plus souvent, en associations avec cette dissolution la formation des composés nouveaux (GUETTALA S, 2012). La détérioration du béton provient le plus souvent de son attaque par les agents chimiques : acides ou salins, contenus dans l'eau avec laquelle il est en contact, qui dissolvent la chaux du ciment en formant des composés nouveaux entraînant l'érosion, le gonflement et l'éclatement des bétons (Kriker A, 1992).

II. 3. 2. 6. 1. 2 Les attaques chimiques:

Les phases solides et les ions impliqués dans les équilibres chimiques au sein de la microstructure de la pâte de ciment durcie et qui peuvent être menacé par les attaques chimiques de l'environnement sont résumés dans le tableau II.12 :

Tableau II.12- Les phases solides et les ions de la pâte de ciment durcie (BENOSMAN A S. ,2011).

Nom	Formule chimique	Ions principaux
Portlandite	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ Ca_2^+ ,	Ca_2^+ , OH^-
Gypse	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Ca_2^+ , SO_4^{2-}
C-S-H	$x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot (x/0.8) \text{H}_2\text{O}$	Ca_2^+ , $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$, OH^-
Monosulfoaluminate	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_3 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	Ca_2^+ , $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, OH^-
Ettringite	$6\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SO}_3 \cdot 32 \text{H}_2\text{O}$	Ca_2^+ , $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, OH^-
Anhydres: C3S C2S C3A C4AF	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$; $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$; $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$; $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.	Ca_2^+ , $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$; $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, OH^- ; $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$.

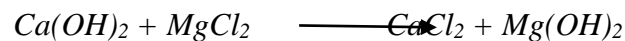
x : est le rapport CaO/SiO₂.

➤ **Actions des chlorures:**

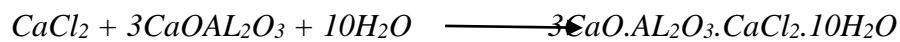
Les ions chlore sont spécifiques à certains environnements (eau de mer et sels fondant). La pénétration des ions chlore par diffusion ou par capillarité à l'intérieur du béton, fait augmenter la vitesse de corrosion (VIMANE PHOUMMAVONG).

Indépendamment de leurs effets nocifs sur les aciers des bétons armés, les chlorures peuvent être à l'origine d'altération du liant lorsqu'ils sont en proportion élevés. Une partie des chlorures est fixée par les silicates de calcium hydraté, une autre partie se combine au C₃A sous forme de monochloroaluminate de calcium C₃A.CaCl₂.10H₂O.

les principales réactions provoquées par l'action du MgCl₂ sont les suivantes:



(soluble) (précipité)



(monochloroaluminate).

La brucite est insoluble et se dépose à la surface du béton, tandis que le CaCl₂ réagit avec les aluminates pour former de monochloroaluminate.

➤ **Actions des acides:**

Les bétons présentent une basicité élevée, de ce fait ils ont une certaine réactivité vis-à-vis des solutions acides telles que (pluies acide, les marécages, milieux industriels, réseaux d'eau usée).

L'acide sulfurique (H₂SO₄) et l'acide chlorhydrique (HCl) sont des acides inorganiques, et l'acide acétique (CH₃COOH) est un acide organique (A. Yeginobali, et al, 1995). Les acides inorganiques sont plus nuisibles pour les bétons et mortiers que les acides organiques. Les acides inorganiques forment avec le Ca(OH)₂ (hydroxyde de calcium) contenu dans la pâte de ciment durcie des composés facilement solubles dans l'eau. Concernant les acides inorganiques utilisés dans l'étude de (BENOSMAN A S . ,2011):



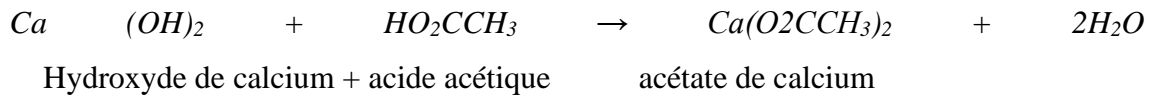
Hydroxyde de calcium + acide chlorhydrique → chlorure de calcium



Hydroxyde de calcium + acide sulfurique → sulfate de calcium

Les acides inorganiques forts ne réagissent pas uniquement avec l'hydroxyde de calcium, ils attaquent également les autres composants de la pâte de ciment durcie, en formant des sels calciques, aluminiques ou ferriques, ainsi que des acides siliciques colloïdaux (gels de silice) (A. Yeginobali, et al, 1995).

Les acides organiques attaquent également le béton, en transformant le $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en sels facilement solubles en suivant la réaction ci-dessous :



L'acide acétique forme des sels calciques facilement solubles dans l'eau et nuisent donc au béton (F.A. Shaker et al, 1997), (L. Jiang et al, 2004).

➤ **Actions des sulfates:**

Après durcissement du béton, il y aura formation d'aluminates. Cette dernière peut réagir au contact de l'eau sulfatée, ce qui va former de l'ettringite. L'ettringite est un hydrate contenant des sulfates, et dont les propriétés de gonflement sont connues depuis plus d'un siècle (COLLECTION TECHNIQUE CIMBETON., 2005). Les sources de sulfate sont multiples, on peut citer à titre d'exemple : le sol, les granulats gypseux, les déchets de plâtre, eau souterraine....

Les dégradations qui peuvent apparaître, suite à ces attaques, sont : un phénomène de gonflement (augmentation de contrainte) et des fissurations. Il existe d'autres paramètres pouvant aussi causer la dégradation des ouvrages en béton, on peut citer : le phénomène de carbonatation, lixiviation, conditions climatiques et variation thermique, ou encore la surcharge des ouvrages (VIMANE PHOUMMAVONG).

La dégradation des bétons par les sulfates est due principalement à des phénomènes d'expansion en relation avec la cristallisation d'ettringite, dite ettringite (secondaire). La formation de cette ettringite expansive est à distinguer de l'ettringite (primaire) obtenue aux premiers stades de l'hydratation des ciments Portland par réaction du gypse, car cette ettringite n'est jamais expansive (BARON J OLLIVIER J P, 1992).

Schématiquement, la formation de l'ettringite en deux étapes est résumée ci-après:

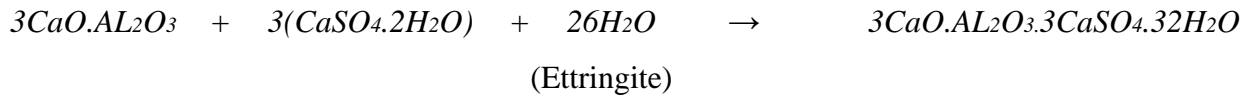
a) Formation du gypse secondaire par opposition au gypse primaire ajouté au ciment comme régulateur de prise. La formation de gypse secondaire résulte d'une réaction de substitution entre la portlandite et le sulfate. Par exemple, avec le sulfate de sodium:



Une partie du gypse secondaire formé au cours de cette réaction précipite et provoque une expansion, l'autre partie soluble entraîne une érosion.

b) Réaction entre le gypse secondaire et les aluminates de calcium du ciment formant l'ettringite.

◇ Soit à partir de reliquat de C_3A anhydre:

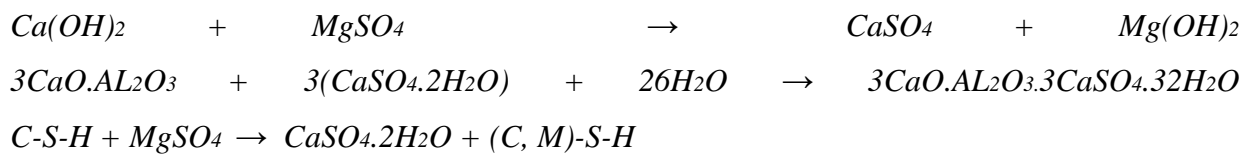


◇ Soit à partir de l'aluminate tétracalcique hydraté C_4AH_{13} ou de monosulfoaluminates de calcium $C_3A.CaSO_4.18H_2O$.

L'ettringite ainsi formée provoque une expansion. Il est à noter que l'ettringite se forme normalement lors de la prise du ciment Portland, mais elle se transforme rapidement dans les conditions habituelles de conservation en monosulfate. En outre le gypse ajouté au clinker n'est plus à l'état libre dans la pâte durcie, comme les différents sulfates de calcium ($CaSO_4.2H_2O$, $CaSO_4.1/2H_2O$ et $CaSO_4$).

Suivant la composition de la phase liquide, en particulier de la teneur en chaux, la cristallisation de l'ettringite peut être expansive ou non. Dans les produits riches en chaux, ou sa solubilité est réduite, l'ettringite se forme in situ au contact des aluminates de calcium, en présence d'une quantité très limitée de solution fortement sursaturée.

Les sulfates les plus agressifs vis à vis des bétons sont les sulfates de magnésium, d'ammonium, de calcium et de sodium. Le sulfate de magnésium est très fortement agressif par la double action du cation Mg^{2+} qui s'échange avec Ca^{2+} et l'anion SO_4^{2-} suivant les réactions:



Les échanges de Mg^{2+} avec Ca^{2+} conduisent à la formation de brucite $Mg(OH)_2$ qui peut ralentir temporairement la pénétration des sulfates.

Ils provoquent aussi la transformation progressive des C-S-H en un silicate de magnésium hydraté M-S-H sans propriétés liantes. De plus, la cristallisation d'ettringite, instable en présence de sulfate de magnésium, intensifie la réaction de formation du gypse (Guettala S. 2012).

Le sulfate de sodium, très soluble, entraîne une dégradation par formation de gypse et d'ettringite expansive dont les proportions relatives sont fonction à la fois de la concentration de SO_4^{2-} et de la teneur en aluminates tricalcique du ciment. Les C-S-H, moins sensibles que la portlandite, ne sont pas affectés directement par le sulfate de sodium, mais, sont néanmoins, susceptibles de se décomposer dans un deuxième temps par lixiviation partielle de leur chaux et formation de gypse (Neville Adam M, 2000).

II. 3. 2. 6. 1. 3 CONCLUSION

Les indicateurs de durabilité des bétons concernés dans cette étude sont : l'absorption capillaire, la porosité accessible à l'eau, (BERREDJEM L. et al, 2015,), résistance de compression traction, le valeur de retrait.

De nombreux chercheurs (VERONIQUE BAROGHEL B. et al, 2001). (ARNAUD C. et al, 2001) se sont intéressés à l'influence des paramètres tels que la composition chimique et les caractéristiques physiques (porosité, perméabilité, résistance) du béton, les conditions climatiques (température, humidité), la durée de cure.

Au terme de caractéristique de durabilité, 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 milieux agressifs.

Les caractéristiques les plus importantes des ciments est la texture, c'est à dire la façon dont s'arrangent la matière et des pores qui composent le matériau. Elle influence à la fois leurs propriétés mécaniques et leurs propriétés de transport. Ces dernières sont intimement liées à la résistance mécanique (résistance, module d'élasticité) et chimique du ciment dans de nombreux problèmes de durabilité (transport de chlore, ... etc.). La compacité du matériau ainsi que la taille et la répartition des pores a une grande influence sur la résistance mécanique des pâtes de ciment hydratées et par conséquent sur les performances des bétons. L'accroissement des performances mécaniques et la stabilité des matériaux cimentaires hydratés ont été obtenus jusqu'ici essentiellement par la réduction de la porosité.

Donc un béton est d'autant plus durable qu'il présente:

- Un dosage en ciment au moins égal au minimum exigé par la norme,
- Un rapport eau –ciment optimal,
- Une quantité suffisante d'air entraîné,
- Une attention particulière à la cure avant son exposition au milieu agressif,
- Et une porosité plus faible.

CHAPITRE III

**CARACTERISTIQUE DES
GRANULATS ET LEURS
INFLUENCES SUR LES
BETONS**

III.1-INTRODUCTION:

On appelle granulats tout matériau inerte provenant de l'érosion des roches ou de leur concassage et qui entre dans la composition de mortiers et de béton.

Le granulats est un composant important intervenant dans la fabrication du béton. On donnera le nom de granulats à un ensemble de grains inertes destinés à être agglomérés par un liant et à former un agrégat. Le terme agrégat, utilisé pour désigner les granulats, est donc impropre. En effet, un agrégat est un assemblage hétérogène de substances ou éléments qui adhèrent solidement entre eux (le mortier ou le béton par exemple).

Les granulats sont dits « courants » lorsque leur masse volumique réelle est supérieure ou égale à $2t/m^3$. Ils sont dits « légers » dans le cas contraire.

Ils sont désignés par d/D , où d et D représentent la plus petite et la plus Grande dimension du produit.

La dimension des granulats ne peut être quelconque. Elle doit être calibrée et répondre à des critères granulométriques précis qui dépendent de leur utilisation. En effet, le calibrage est une fourchette plus ou moins large obtenue à l'aide des opérations de concassage et de criblage qu'on appelle « classe granulaire », désignée par l'intervalle $d - D$

La norme française (XP P 18-540, 1997). indique la terminologie usuelle des classes granulaires suivantes selon leurs dimensions :

Filler 0/D pour $\ll D \gg < 2\text{mm}$ et ayant au moins 70% de grains passant au tamis de 0,63mm;

Sablon 0/D pour $\ll D \gg \leq 1\text{mm}$ et avec moins 70% de grains passant au tamis de 0,63mm;

Sable 0/D lorsque $\ll D \gg$ est tel que : $1\text{mm} < D \leq 6,3\text{mm}$;

Gravier 0/D lorsque $\ll D \gg > 6,3\text{mm}$;

Gravillons d/D lorsque $\ll d \gg \geq 1\text{mm}$ et $\ll D \gg \leq 125\text{mm}$;

Ballast d/D lorsque $\ll d \gg \geq 25\text{mm}$ et $\ll D \gg \leq 50\text{mm}$;

Les granulats destinés aux bétons hydrauliques sont classés en plusieurs catégories avec des spécifications particulières pour chacune d'elles :

- La catégorie « A » correspond aux granulats destinés à la confection de béton de qualité (ouvrages d'art ou bâtiments pour lesquels la résistance caractéristique $R_c \geq 35 \text{ MPa}$).

- La catégorie « B » correspond aux granulats destinés à de bons bétons, à la condition que leur coefficient d'absorption respecte les spécifications imposées aux granulats de catégorie « A ».

- Pour les bétons courants, les granulats de catégorie « C » conviennent, ainsi que les granulats dont deux caractéristiques au plus sont de catégorie « D » et que les autres

correspondent à celles de catégories supérieures, faute de quoi ils ne doivent pas être utilisés dans la confection de bétons courants (DREUX G. FESTA J, 1998).

La classe des granulats est définie par tamisage au travers d'une série de tamis. Les normes (NF EN 933-2, 1996) préconise pour d'étude granulométrique, les tamis dont les maille sont les dimension suivante en mm: 0,63 - 0,125 - 0,25 - 0,50 - 1 - 2 - 4 - 8 - 12 - 31,5 - 63 - 125.

III.2-CARACTERISTIQUE DES GRANULATS:

Les granulats se caractérisent par un certain nombre de propriétés, quel que soit leur usage : en béton hydraulique, en chaussées ou encore en préfabrication. Ces propriétés dépendent :

- De l'origine des granulats : ce sont des caractéristiques liées à la roche ou au produit constituant les grains qu'on appelle « caractéristiques intrinsèques » ;
- Du traitement qu'ils ont subi entre leur extraction et leur passage à l'état de produits finis dans l'usine de traitement : ce sont les caractéristiques liées à l'élaboration des granulats qu'on appelle « caractéristiques de fabrication ». Ces caractéristiques sont mesurées par des essais le plus souvent normalisés (Maillot R, 2001).

III.2.1-Caractéristiques de fabrication:

Il est évident que les granulats occupent la majorité dans la constitution du béton, ce qui révèle l'importance de l'influence des caractéristiques des granulats sur la qualité du béton. La norme expérimentale (XP P 18-540, 1997) définit les caractéristiques des granulats pouvant être utilisé pour la confection de béton hydraulique.

III.2.1.1 Propreté des granulats:

L'utilisation des granulats pollués, présence d'argile à la surface des granulats ou autres impuretés, provoquant une baisse des résistances mécaniques et une augmentation du retrait, sans oublier l'incidence de l'excès d'eau sur les caractéristiques du béton (DREUX G. FESTA J, 1998).

Il est impératif donc, que la propreté des granulats doit être toujours vérifiée, que ce soit, celle des sables ou des gravillons.

III.2.1.1.1 Propreté des sables :

Est contrôlée en mesurant l'importance des pollutions argileuses dans les sables par l'essai dit « Équivalent de sable » et l'essai dit « Bleu de méthylène » :

➤ **Équivalent de sable « ES » :**

l'essai consiste à séparer par agitation, dans une éprouvette, au moyen d'une solution lavant, les sables, qui décantent, et les éléments fins qui restent en suspension, comme la figure suivante.

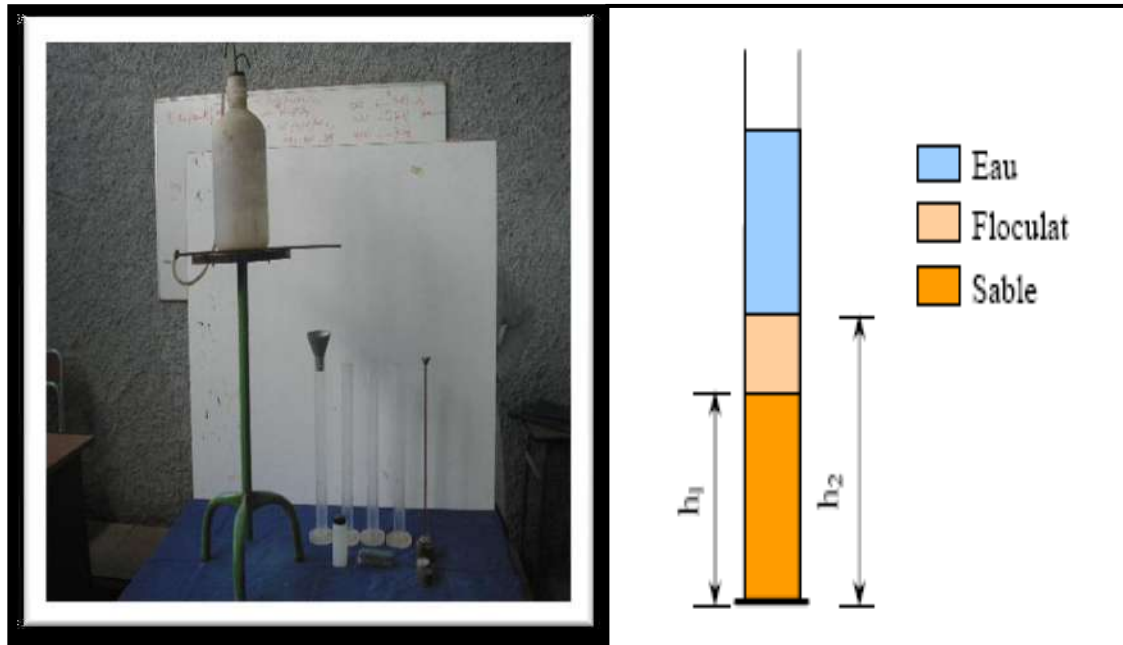


Figure (III-1): Détermination de l'équivalent de sable

On détermine ainsi un « équivalent de sable » dont la valeur est d'autant plus élevée que le sable est exempt d'impuretés argileuses. Dans le cas des sables, le degré de propreté est fourni par essai appelé "Équivalent de sable ES" (Bedadi L. al, 2017).

$$ES = 100h_1/h_2$$

(III-1)

Tableau (III-1) : Qualité du Sable en Fonction de la Valeur de l'ES

ES À VUE	ES PISTON	RENSEIGNEMENT SUR LA QUALITE DU SABLE EN FONCTION DE LA VALEUR DE L'ES.
ESV < 65	ESP < 60	Sable argileux d'où risque de retrait ou de gonflement ; ne doit pas être utilisé dans la confection de bétons de qualité
75 ≤ ESV ≤ 85	70 ≤ ESP ≤ 80	Sable propre ; un ESV > 75 permet en fait d'obtenir des bétons de résistance relativement élevée, mais le fascicule 65A spécifie un $ESV \geq 80$ pour les bétons de résistance > 30 MPa.
65 ≤ ESV ≤ 75	60 ≤ ESP ≤ 70	Sable légèrement argileux ; peut être admis à la confection de bétons de qualité courante risquant de présenter un retrait plus important, à moins que l'essai au bleu ne donne une valeur $VB \leq 1$.
ESV ≥ 85	ESP ≥ 80	Sable très propre ; la très faible teneur en fines argileuses peut entraîner un défaut de plasticité que l'emploi d'un adjuvant plastifiant doit compenser.

La teneur en fines d'un granulats est définie par le passant à 0,08mm, d'après la norme (XP P 18-540, 1997). La dite norme indique la teneur maximale en fines (Limite supérieure) dans les sables, mesurée sur la fraction 0/4 mm en fonction de la catégorie des granulats. Le tableau II-2 donne la fraction en fines (f) de la fraction 0/4mm.

Tableau (III -2) : Teneur en Fines (f) de la Fraction 0/4 mm

Catégorie	Passant (%) au tamis de 0.08mm
A	Ls 12
B	Ls 15
C	Ls 18
D	Pas de Spécifications

Dans Les cas où la teneur en fines « f » est supérieure à 10%, la propreté des sables est déterminée, sur la fraction 0/2 mm, limitée à 10% de fines, et selon l'essai d'Équivalent de sable à 10% de fines. Dans Les cas où la teneur en fines « f » est supérieure à 10%, la propreté des sables est déterminée, sur la fraction 0/2 mm, limitée à 10% de fines, et selon l'essai d'Équivalent de sable à 10% de fines.

Essai au bleu de méthylène « VB » : Dans les sables concassés ou broyés, le pourcentage des fines peut être important. Elles peuvent avoir une nocivité grande lorsqu'elles contiennent des matières argileuses d'où la nécessité de vérifier au moyen de l'essai au bleu de méthylène si elles sont ou non nocives (DREUX G. FESTA J, 1998).

La norme (XP P 18-540, 1997) indique les valeurs limites d'Équivalent de sable à 10% de fines « PS » ainsi que la valeur spécifiée supérieure de l'Essai au bleu de méthylène «VB » en fonction de la catégorie des granulats. La conformité est obtenue si au moins l'une des valeurs spécifiées de PS ou de VB est respectée :

Tableau (III-3) : Valeurs Spécifiées de (PS) et (VB)

Catégorie	PS (%)		Ou VB _{0/D} (g)
	Sable d'extraction alluvionnaire	Autre sable	
A	Vsi65	Vsi60	Vss1
B ,Cet D	Vsi60	Vsi50	

III.2.1.1.2 Propreté superficielle des gravillons :

La présence des impuretés, en particulier, de la gangue argileuse ou des poussières autour des grains dans les bétons, risque de compromettre l'adhérence pâte – granulats et en conséquence diminution de la résistance (DREUX G. FESTA J, 1998).

La propreté superficielle est définie comme étant le pourcentage pondéral de particules inférieures à 0,5 mm, que ces particules soient simplement mélangées ou adhérentes à la surface des granulats supérieurs à 2 mm (NF P18-591, 1990).

La propreté superficielle « P », c'est-à-dire le pourcentage de matières prohibées, vase et argile, éliminées lors de l'essai doit être $\leq 1,5 \%$ dans le cas de gravillons n'ayant pas subi de concassage, valeur portée à 3 pour les gravillons de roches massives ou provenant d'extraction alluvionnaire ou marine d'indice de concassage « IC » ≥ 50 si $VB_{10} \leq F$, F VB étant la valeur de bleu sur le 0/ 0,125 exprimé en g/kg (l'indice de concassage « IC » est le pourcentage d'éléments > au « D » du granulat élaboré contenu dans le matériau d'origine soumis au concassage) (DREUX G. FESTA J, 1998).

III.2.1.2 Forme de granulat et coefficient d'aplatissement A:

La forme d'un granulat est définie par trois dimensions principales :

- Longueur **L** : distance maximale séparent deux plans parallèles,
- Épaisseur **E** : distance minimale séparent deux plans parallèles,
- Grosseur **G** : côté du plus petit tamis laissant passer le granulat.

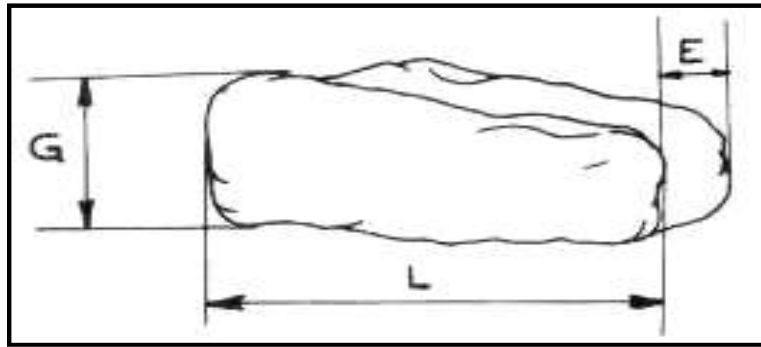


Figure III-2 Dimensions d'un Grain de Granulat

Le coefficient d'aplatissement A d'un ensemble de granulats est le pourcentage pondéral des éléments qui vérifient la relation:

$$\boxed{G/E > 1,58} \quad \text{(III-2)}$$

III.2.1.3 Granularité :

La granularité est la distribution par dimension des grains des granulats. Elle permet de déterminer la grosseur et le pourcentages pondéraux respectifs des différentes classes granulaires constituant l'échantillon. Et elle s'applique à tous les granulats dont la dimension nominale est au plus égale à 63 mm, à l'exclusion des fillers (GORISSE F, 1978).

Elle est déterminée par l'essai d'analyse granulométrique. Cet essai consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à maille carre et peser les refus sur chaque tamis on trace en suite la courbe granulométrique.

La courbe granulométrique traduit la distribution pondérale des grains composant un granulat donné (d/D).

Les résultats sont reportés sur un diagramme semi-logarithmique. L'analyse granulaire s'effectue en deux temps. Une première étape s'effectue par un tamisage mécanique à l'aide d'une colonne montée sur une source vibrante durant un temps déterminé. La seconde phase (finition) se fait manuellement au niveau de chaque tamis de la série afin d'affiner l'analyse granulométrique (CASSAGNABERE Franck, 2007).

Les courbes granulométriques sont tracées en coordonnées semi logarithmiques. En ordonnée on porte le pourcentage, en poids, des tamis sous les tamis dont les mailles sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique.

III.2.1.4 Module de finesse:

La finesse du sable est quantifiée par le calcul de son module de finesse à partir de l'analyse granulométrique. Plus le module est faible et plus le sable est riche en éléments fins (GORISSE F, 1978).

Le module de finesse d'un granulat est égale au 1/100 de la somme des refus, exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série suivante :

0.16 – 0.315 - 0.63 – 1.25 – 2.5 – 5 – 10 – 20 – 40 – et 80mm

Le module de finesse étant presque exclusivement vérifié sur les sables, les tamis concernent sont :

0.16 – 0.315 - 0.63 – 1.25 – 2.5 et 5mm.

Le module de finesse, c'est une caractéristique intéressante qui donne des indications sur le comportement probable d'un mélange de béton fabriqué avec un sable d'une granulométrie donnée. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2.2 à 2.8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité.

La norme XP P 18 - 540 indique une limite inférieure $L_i = 1,8$ et une limite supérieure $L_s = 3,2$ pour les sables de catégories A et B.

III.2.2 Caractéristiques intrinsèques:

Elles sont liées en général à la qualité de la roche exploitée. A savoir masse volumique réelle, Porosité, absorption d'eau, etc.

III. 2.2.1 Masses volumiques:

a) La masse volumique apparente d'un granulat est la masse du granulat occupant l'unité de volume, tous vides compris « volume apparent ».

Elle est utile à connaître pour le dosage volumétrique des granulats. Elle varie en fonction de la teneur en eau, notamment pour le sable qui foisonne.

Pour les granulats naturels courants, la masse volumique apparente varie de 1300 à 1600 kg/m³ suivant la nature minéralogique et la teneur en eau .

Par contre, pour les granulats minéraux légers en terre cuite et autres matériaux légers concassés, elle varie de 900 à 1000 kg/m³ pour les gravillons des classes (5/15) à (10/20) et de 1100 à 1300 pour les sables de classe (0/5).

b) La masse volumique réelle d'un granulat est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume, vides inter granulaires exclus « volume réel ».

c) La masse volumique absolue d'un granulat est le rapport de sa masse sèche par le volume de matière solide sans aucun vide contenu dans les grains « volume absolu ».

Elle varie assez peu pour la plupart des granulats naturels courants: en moyenne de 2450 à 2650 kg/m³. Sa détermination est nécessaire pour le dosage pondéral des granulats.

III.2. 2. 2 Porosité de granulat:

La porosité des granulats contribue à la porosité globale du béton, vu qu'ils représentent environ les trois quarts du volume du béton.

La porosité est le rapport du volume des vides contenus dans les grains et accessibles à l'eau, au volume réel de l'échantillon : porosité ouverte (NF P 18-554, 1990).

Selon la norme française (NF P 18-557, 1990), la porosité ne se détermine que pour les classes de grains supérieures à 4mm. En dessous de cette dimension, la porosité tend vers zéro et joue un rôle moins important dans l'ensemble du granulat.

D'après René Lesage, la méthode de détermination de la porosité n'est guère applicable aux sables à cause des difficultés expérimentales. Par ailleurs, la porosité qu'il faut prendre en compte dans les études de formulation de béton, est généralement très faible dans les cas des sables. Le seul cas particulier est celui des sables de granulats légers, pour lesquels on est tenu de prendre en compte la porosité totale.

La porosité des granulats exprimée en % est le rapport du volume de vide contenu dans le grain au volume absolu des grains. Pratiquement on le détermine en multipliant par 100 la différence entre les volumes des grains à l'état saturé sans vide et l'état sec.

III.2. 2. 3 Coefficient d'absorption:

La plupart des granulats stockés dans une atmosphère sèche pendant un certain temps, peuvent par la suite absorber de l'eau. Le processus par lequel le liquide pénètre dans la roche et l'augmentation de poids qui en résulte est appelé absorption.

L'absorption peut varier dans de très larges mesures suivant la nature du granulat. Elle peut varier de 0 à plus de 30 % du poids sec pour granulat léger..

Le coefficient d'absorption d'eau « A_b » est défini comme étant le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par une imbibition partielle en eau pendant 24 h, à la masse sèche de l'échantillon (NF P 18-555, 1990). En effet, il permet de mesurer le volume des pores accessibles à l'eau. Plus sa valeur est élevée, moins la Durabilité du béton est assurée dans un milieu agressif.

La norme (XP P 18-540, 1997) indique les valeurs spécifiées supérieures du coefficient d'absorption d'eau « A_b » en fonction de la catégorie des granulats, tableau (III-4)

Tableau (III-4) : Valeurs Spécifiées Supérieures du Coefficient d'absorption d'eau

CATEGORIE	VSS en %
A	2,5
B	5
C	6
D	Pas de spécification

En général, les granulats naturels utilisés pour la confection du béton sont peu poreux et n'absorbent pratiquement pas d'eau lorsqu'ils sont gâchés avec le ciment et l'eau. Par contre, des granulats artificiels, tels le LECA (Light expanded clay aggregate = agrégats légers expansés d'argile), sont poreux. Il faut alors tenir compte de l'absorption de l'eau par les granulats lorsque l'on détermine la quantité d'eau requise pour fabriquer le béton.

III. 3 INFLUENCE DES CARACTÉRISTIQUES GRANULAIRES SUR LES BETONS:

III.3.1 État de Surface des Granulats:

L'état de surface d'un granulat (forme, rugosité, angularité et propreté) n'influe pas que sur l'adhérence pâte – granulat, il influe également sur l'aptitude du béton à être mis en oeuvre c'est-à-dire à être malaxé, transporté, mis en place (ATHIL, 1998).

III. 3. 1. 1 Forme et texture des granulats:

L'état de surface d'un granulat (forme, rugosité, angularité et propreté) n'influe pas que sur l'adhérence pâte – granulat, il influe également sur l'aptitude du béton à être mis en oeuvre c'est-à-dire à être malaxé, transporté, mis en place.

La forme des granulats influence surtout sur les propriétés du béton frais. Pour une maniabilité donnée, la forme la plus souhaitable se rapprochant de la sphère.

En effet, la mise en place d'un béton exige un excès d'eau pour lubrifier les grains du mélange de façon à atteindre une ouvrabilité normale. Cet excès d'eau sera d'autant plus

faible que les grains seront plus arrondis ou cubiques. Une mauvaise forme (aiguilles, plats) nécessite une quantité d'eau plus élevée et peut provoquer des défauts d'aspect (DREUX G. FESTA J, 1998) et (Figoli, 1985).

La rugosité de la surface des granulats influe sur la résistance des bétons. Les granulats concassés ont une surface rugueuse et de forme angulaire, ce qui assure une meilleure adhérence pâte de ciment – granulat, et par conséquent une meilleure résistance du béton fabriqué avec les granulats concassés (KOMAR A, 1978).

II. 3.1.2 – Propreté des granulats

Les granulats enrobés d'impuretés telles que la gangue argileuse ou des poussières fines risquent, d'une part, de rendre la mise en œuvre du béton beaucoup plus difficile, d'autre part, de compromettre leur adhérence avec la pâte de ciment.

Le Tableau III-5 suivant, présente l'influence qualitative des paramètres d'état de surface sur la facilité de mise en œuvre du béton et l'adhérence pâte – granulat (ATHIL, 1998).

Tableau (III-5) :Influence Qualitative des Paramètres d'État de Surface sur la Facilité de Mise en œuvre du Béton et l'Adhérence Pâte – Granulat

Caractéristique du granulat	Mise en œuvre	Adhérence
Mal propreté du granulat	Défavorable	Très défavorable
Granulé roulé (angularité faible ou nulle)	Favorable	Défavorable
Granulé concassé (angularité maximale)	Défavorable	Favorable
Forme mauvaise (granulats roulés)	-	Défavorable
Forme mauvaise (granulats concassés)	Défavorable (lentilles d'eau sous les grains)	Très défavorable (lentilles d'eau sous les grains)
Rugosité des faces des grains	-	Très favorable

III.3.1.3 Influence de G/S:

Le rapport G/S exprime le rapport volumique entre le dosage en gravier (G) et le dosage en sable (S).

Selon Dreux et Festa, l'influence de la composition granulométrique sur la composition des bétons est relativement faible, tant en ce qui concerne les proportions relatives de sable et de gravillon (rapport G/S) que la continuité ou la discontinuité de la courbe granulométrique.

En effet, l'influence du rapport G/S est relativement faible pour des $G/S \leq 2$ (valeurs les plus courantes), tandis que la résistance augmente plus sensiblement pour des valeurs plus élevées de G/S surtout pour les bétons fermes ; mais pour des raisons d'ouvrabilité, il ne convient pas de dépasser $G/S = 2.0$ à 2.2 pour les bétons courants, sauf à prendre des précautions particulières à la mise en œuvre.

Le Tableau III-6 ci-après récapitule les principales qualités des bétons en fonction de leur G/S et de leur granularité continue ou discontinue

Tableau(III-6:) Récapitulation des Principales Qualités des Bétons en Fonction de leur G/S et de leur Granularité Continue ou Discontinue

CARACTERISTIQUES	APPRECIATIONS CONCERNANT LES BETONS	
	avec G/S élevé par rapport à ceux à G/S faible	avec granularité discontinue par rapport à ceux à granularité continue
Ouvrabilité	Moins bon surtout pour $G/S > 2,2$	Moins bon surtout si $G/S > 2,2$
Résistance en compression	Meilleure, surtout pour $G/S \geq 2,2$	Très légèrement supérieure
Résistance en traction	Sans corrélation apparent	Très légèrement inférieure
Module d'élasticité	Sans corrélation très nette sauf pour le module statique un peu plus élevé en fonction de G/S	Un peu plus élevé
Vitesse du son	Sans corrélation très nette	Légèrement supérieure
Indice sclérométrique	Un peu supérieur	Très légèrement supérieur
Retrait	Sans corrélation très nette	Moins élevé surtout si $G/S > 2,2$
Compacité, densité	Légèrement plus élevée pour $G/S > 2,2$	Un peu plus élevée

III.3.2 Dimension Maximale « D »:

Un béton tire du granulat une bonne part de sa résistance et plus particulièrement du gros granulat. La contrainte de rupture à partir de laquelle se développent les fissures dépend en grande partie des propriétés de gros granulat.

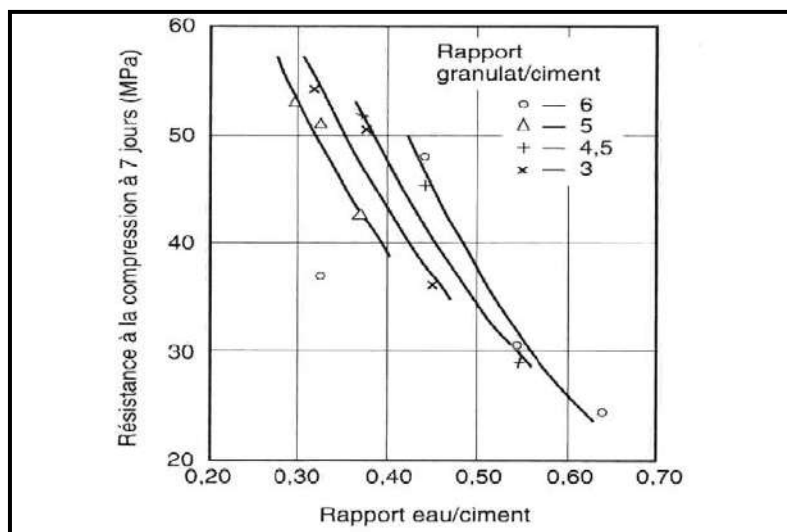
En effet, l'adhérence pâte – granulat est influencée par les propriétés de surface et, à un certain degré, par la forme des gros granulats. D'où la nécessité d'employer des granulats de qualité, et de dimension maximale, celle-ci devant rester compatible avec une bonne facilité de mise en oeuvre.

Par ailleurs, la dimension « D » du granulat se trouve limitée par différentes considérations concernant l'ouvrage à bétonner. À savoir l'épaisseur de la pièce, l'espacement des armatures, la densité du ferrailage, la complexité du coffrage, la possibilité et l'efficacité du serrage à la mise en oeuvre, risque de ségrégation, etc.

III.3.3 Rapport Granulat –Ciment:

L'augmentation de la teneur en ciment (rapport G/C faible) affecte la résistance de tous les bétons de moyennes ou hautes résistances, c'est-à-dire, dépassant environ 35 MPa. Le rapport G/C est un facteur moins important quant à la résistance, mais, pour un rapport eau/ciment constant, il a été démontré qu'un béton plus faiblement dosé en ciment était plus résistant.

D'après Neville, l'explication la plus probable provient toutefois du fait que la teneur totale en eau du béton est plus faible dans un béton faiblement dosé en ciment que dans un béton fortement dosé.



Figure(III-3) :Influence du Rapport G/C sur la Résistance du Béton (Neville Adam M, 2000).

III.3.4 Résistance des Granulats:

La résistance du béton n'est pas sensiblement influencée par la résistance des granulats tant que cette dernière est supérieure à la classe de résistance prévue par le projet. L'utilisation de granulats de faible résistance, inférieure à la classe de résistance nécessaire peut diminuer fortement la résistance du béton. D'où la nécessité d'un dosage en ciment plus élevé (KOMAR A, 1978).

Par ailleurs, la résistance du béton (surtout en traction) est fonction de la plus ou moins bonne adhérence pâte – granulats. Cette qualité peut être considérée plus importante que la résistance et la dureté du gravillon lui-même. Cas par exemple du gravillon calcaire qui donne une résistance en traction nettement plus élevée, malgré la qualité de dureté du silex bien supérieure à celle du calcaire.

Pour qu'un granulats puisse être un bon constituant du béton, il faut : Qu'il joue bien son rôle de « produit de remplissage » : pour cela, ses caractéristiques géométriques et physico-mécaniques doivent être appropriées à la destination du béton, ce qui implique des spécifications bien adaptées ; il serait peu économique d'exiger systématiquement « le meilleur banc de la meilleure carrière » (BARKAT A, 2006).

III.4- CONCLUSION:

Nous pouvons conclure que les sables des oueds du Sahara possèdent pratiquement les mêmes caractéristiques physicochimiques avec quelques qualités (granulométrie, propreté, composition chimique,...).

Tous les résultats obtenus ont été comparés à ceux des bétons réalisés à base de matériaux classiques de la région de Ouargla (BEDADI L, 2011) type de béton BSD avec 100% sable de dune et type de béton BA avec 100% sable alluvionnaire de Hasi Sayeh .

DEUXIEME PARTIE

ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV

**CARACTERISTIQUES DES
MATERIAUX UTILISES ET
COMPOSITION DU BETON**

IV. 1 INTRODUCTION:

A l'origine, Le béton est un terme générique qui désigne un matériau fabriqué à partir de trois composants principaux : du sable et des gravillons agglomérés par un liant. Le mélange sable et liant est appelé mortier. Le coulis est un mortier très fluide. Dans le langage courant, ce liant est un ciment qui fait prise par hydratation, c'est un liant hydraulique.

La réaction chimique qui permet au béton de ciment de faire prise est lente : à peine 50% de la résistance finale au bout de 7 jours.

La valeur prise comme référence dans les calculs est celle obtenue à 28 jours (80% de la résistance finale). Dans ce chapitre nous allons étudier les caractéristiques des constituants du béton, On opère par des essais d'identifications suivant les normes AFNOR.

Les matériaux utilisés, sont ceux disponible au niveau local a savoir: sable de dune de AIN EL-BEIDA, sable alluvionnaire de HASSI-ESSAYAH. gravier de HAOUD ELHAMRA, et le ciment de AINTOUTA.

IV. 2 BETON DE REFERENCE:

les bétons utilisés comme référence dans cette étude sont béton avec sable de dune (BSD) et béton avec sable alluvionnaire (BSA), ces derniers sont les types des bétons de notre projet de magister, avec la méthode de formulation basé sur les types du béton de comparaison est la méthode de Dreux Gorisse pour cela nous avons choisi même méthode dans cette recherche.

Les types des bétons de référence qui contiennent de:

- Type de béton BSD avec 100% de sable de dune, Gravier G1 (3/8), Gravier G2 (8/15) .
- Type de béton BSA avec 100% de sable alluvionnaire, Gravier G1 (3/8) Gravier G2 (8/15)

Le tableau suivant est présenté la quantité des granulats utilisés dans la composition des béton de référence.

Tableau (IV. 1): Pourcentages massique des agrégats du béton de référence (BEDADI L, 2011)

Types de bétons	Quantité de Ciment (Kg)	sable		gravier 3/8		gravier 8/15		Quantité de l'eau (l)	E/C
		%	(Kg)	%	(Kg)	%	(Kg)		
BSA	400	39	714	7	128	54	989	250	0.625
BSD		34	622	12	220	54	989		

En utilise les deux béton comme référence parce que le béton avec sable alluvionnaire de carrier de hassi sayeh est le béton utiliser dans les constructions de béton en zone de Ouargla qui est classé zone aride. Et le béton avec sable de dune pour comparaison les caractéristiques des sable avec les sables des oueds comme la finesse, la granulométrie et la propriété de béton comme la résistance et le retrait.

IV. 3 GRAVIER:

Le gravier utilisé provenant de la carrière de HAUD EL-HAMRA est constitue de calcaire compact.

Dans notre étude deux classes de gravier ont été utilisées.

- Gravier G1 (3/8)
- Gravier G2 (8/15)

Le tableau suivant donne la composition chimique du gravier

Tableau (IV-2) :La composition minéralogique du gravier (LTPS, 2005).

Calcite Ca CO_3	Sulfate $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Les Insolubles
55 à 70%	0 à 5%	Le reste

De ce tableau , on peut constater que la teneur en sulfate de calcium dans le gravier est faible. Mais cette quantité, elle va augmenter le risque d'agressivité vis à vis du béton.

IV. 3. 1 Masse volumique apparente:

La masse volumique apparente du gravier est la masse volumique d'un mètre cube du gravier pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules. Elle est donnée par la formule suivante (NF EN 933-2, 1996), (GOUA M S, 2001).

$$\rho_a = M_t / V_t \quad (\text{IV-1})$$

M_t = la masse totale de gravier

V_t = le volume totale de gravier

IV. 3. 2 Masse volumique absolue:

C'est la masse d'un mètre cube de ce matériau, déduction faite de tous les vides, aussi bien des vides entre les grains que des vides à l'intérieur des grains (GORCHAKOV G I, 1988)

$$\rho_s = M_s / V_s \quad (\text{IV-2})$$

M_s = la masse des grains solides

V_s = le volume des grains solides

Tableau (IV.3) : La masse volumique absolue et la masse volumique apparente de Gravier

Classe de Gravier	Gravier G1 (3/8) (kg/m ³)	Gravier G2 (8/15) (kg/m ³)
ρ_a	1218,66	1149,72
ρ_s	2500	2500

IV. 3. 3 Essai de propreté:

On lave un échantillon de gravier sur le tamis de 0,5mm, le pourcentage des passants est appelé degré des impuretés, ce pourcentage est calculé par la formule:

$$IA = (M_1 - M_2) / M_2 \times 100\% \quad (\text{IV-3})$$

M_1 = la masse de l'échantillon avant lavage

M_2 = la masse de l'échantillon après lavage préconisé

Donc le résultat d'essai on trouve

G1 (3/8) IA=0,502

G2 (8/15)..... IA=0,605

Selon la norme (NE 18-301) préconise un pourcentage **IA < 5%** (NFP18-301).

Donc la propreté du gravier est admissible

IV. 3. 4 Coefficient d'absorption:

La plupart des granulats stockés dans une atmosphère sèche pendant un certain temps, peuvent par la suite absorber de l'eau.

En générale le coefficient d'absorption en donne par la formule suivante:

$$CA = (M_1 - M_2) / M_2 \times 100 \quad (\text{IV-4})$$

M_1 = la masse de l'échantillon à l'état de saturation

M_2 = la masse de l'échantillon à l'état sec

Les résultats obtenus pour les deux classes de gravier sont:

G1 (3/8) CA=0.150

G2 (8/15)..... CA=0.202

CA<2,5% (NFP18-555).

Donc le gravier utiliser est leur d'absorption d'eau normale.

IV. 3. 5 Analyse granulométrique (NF EN 933-2, 1996) :

Le gravier utilisé pour la confection du béton est un gravier des classes 3/8 et 8/15 prélevés de la station de concassage situé HAOUD EL-HAMRA, Hassi-Messaoud, Ouargla.

Pour les deux classes de gravier, les analyses granulométriques effectuées sont données dans la figure IV.1.

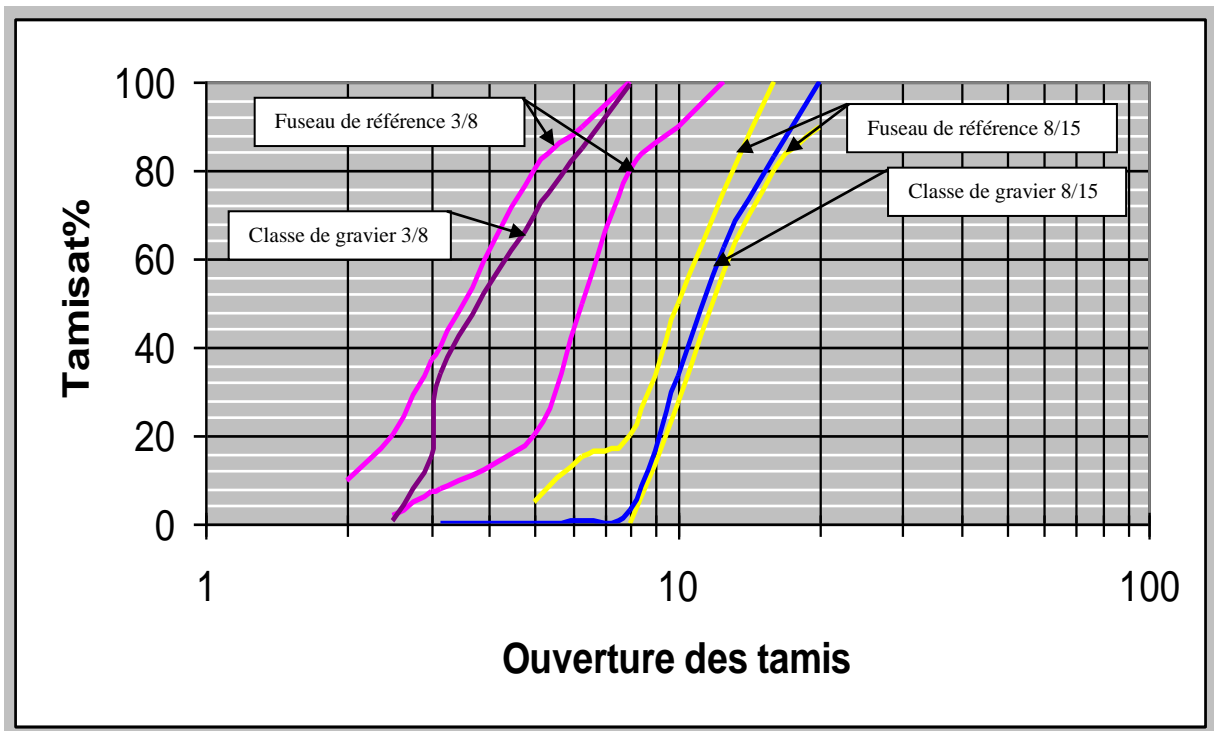


Figure IV-1 courbe granulométrique de gravier (3/8) et (8/15)

IV. 4 SABLE:

On a étudié trois types de sable des oueds différents –sable de oued N'sa(SN) - oued M'zab(SM)-oued Rtem(SR). et comparé les résultats par le sable alluvionnaire HASSI-ESSAYAH et sable de dune de Ain EL-beida (OUARGLA), comme deux sables témoins.

On a opéré les essais d'identification aussi pour les autres compositions de sables, qui sont les résultats du mélange des deux sables.

IV. 4. 1 Masse volumique:

Le résultat obtenu de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue de sable de dune et sable alluvionnaire sont donnés dans le tableau suivante :

Tableau (IV-4): La masse volumique absolue et la masse volumique apparente de sable

Type de sable	Sable(SN) (kg/m ³)	Sable(SM) (kg/m ³)	Sable(SR) (kg/m ³)	Sable de dune (kg/m ³)	Sable alluvionnaire (kg/m ³)
ρ_a	1534	1502	1585	1521	1668.05
ρ_s	2592	2592	2500	2611.66	2608.26

L'analyse du Tableau IV-4 nous fait soulever les remarques suivantes :

- Les valeurs des masses volumiques apparentes sont respectivement les plus faibles. Par contre, celles des masses volumiques absolues sont respectivement les plus grandes pour l'ensemble des types de sable, ce qui est logique.
- La masse volumique absolue de sable de oued rtem est plus faible par rapport des autres sables. ce qui représente la porosité et le volume de vide très grand. donc on peut dire qu'il est de « granulat léger » et un avantage l'absence des poussières et les grains très fines.

IV. 4. 2 Essai d'équivalent de sable (NF P 18-598, 1991):

Cet essai est un essai de propreté, la valeur de l' E.S exprime le pourcentage de fines contenue dans le sable.

L'absence de fines ne permet pas d'obtenir un béton compact

L'excès de fines est défavorable dans la mesure ou il augmente la demande en eau, donc le rapport E/C donne une faible valeur de résistance.

Cet essai consiste à plonger un poids défini de sable dans une solution flocculant. Après agitation, on laisse décanter le mélange pendant 20 minutes, ensuite on mesure la hauteur dans l'éprouvette normalisée du sédiment (H1) et de sédiment +flocculant (H2)

L'équivalent de sable est donné par:

$$ES = (H1/H2) \times 100\% \quad (IV-5)$$

Pour notre essai nous avons trouvé les résultats dans le tableau suivante:

Tableau (IV-5) :Équivalents de Sable

Équivalent de sable (%)	Sable(SN)	Sable(SM)	Sable(SR)	Sable de dune	Sable alluvionnaire
(ESV)	72.17	74.55	82.46	98.60	81.20
(ESP)	67.47	68.45	80.09	92.64	75.60

La propreté des granulats est désignée par leur teneur en fines ou d'autres particules (les scories, les particules végétales, argile, ...) qui doivent avoir une valeur limitée.

Les trois analyse donnent un $ESV > 80\%$ mais l'équivalent de sable en piston de deux sables oued N'sa et M'zab $ESP < 70\%$ donc ces Sables argileux.

L'équivalent de sable de oued Rtem $ES > 80\%$ Sable très propre ; ce qui explique la très faible teneur en fines argileuses.

IV. 4. 3 Coefficient d'absorption d'eau:

La coefficient d'absorption est le rapport de la masse d'eau absorbé par le matériau jusqu'à saturation à la masse de l'échantillon sèche. (HERMIME H, 2016).

Pour cet essai le résultat obtenu dans le tableau suivante.

Tableau (IV-6) :Coefficient d'Absorption d'Eau

Coefficient d'absorption d'eau (en %)	Sable(SN)	Sable(SM)	Sable(SR)	Sable de dune	Sable alluvionnaire
Ab	0.602	0.545	0.171	0.432	0.085

Donc $Ab < 2,5$ (NFP18-555). Les trois sables étudié ont leurs d'absorptions d'eau acceptables.

IV. 4. 4 Analyse chimique:

Le tableau suivant montre les pourcentages des composants chimiques des chaque sables concernés.

Tableau (IV-7): composition chimiques des sables (LEC, 2016), (LTPS, 2005).

Pourcentages des composants	SN	SM	SR	Sable de dune	Sable alluvionnaire
SO₃ %	0,36	0.31	0.17	0.39	00
Ca SO₄ H₂O %	0.35	0.46	00	2.10	0.03
CaCO₃ %	1.96	2.14	00	1.30	3.04
Nacl %	0.0047	0.0062	0.011	Trace	Trace
Insoluble %	97.52	97.18	99.619	93.80	90.48

Le tableau (IV-7) montre que les éléments sulfatiques (SO₃, CaSO₄·2H₂O) sont présents dans le sable de dune et le sable SM et SN et sont négligeables dans le sable de construction et le sable SR.

La présence de ces éléments dans les granulats peut provoquer des effets néfastes pour le béton.

IV.4.5 Analyse minéralogique:

L'analyse minéralogique des différentes sables qui est provoqué à l'échantillon mesuré inférieure au 0.08 mm.

IV. 4. 5. 1 Diffractométrie des rayons X :

IV. 4. 5. 1. 1 But de l'analyse :

La Diffraction des rayons X (DRX) permet de contrôler de manière qualitative la composition élémentaire et la structure cristalline du matériau. Elle est souvent utilisée pour déterminer le pourcentage réel des minéraux dans l'échantillon analysé.

IV. 4. 5. 1. 2 Définition :

La diffractométrie par rayon X est une méthode d'analyse d'éléments dont le nombre atomique varie de $Z = 11$ (on ne peut pas analyser les éléments légers comme B, C, H, O car les valeurs des longueurs d'ondes λ de ces éléments sont très grandes jusqu'à $Z = 92$ dans la gamme de concentration 3 ppm à 100 % (106 ppm). Elle étudie les processus de diffusion, d'absorption et d'émission des rayons X.



PHOTO (IV.1) :Photo montrant l'appareillage DRX

L'analyse minéralogique de sable par diffraction aux rayons X montre que les principaux minéraux non argileux sont le Quartz, la Calcite (SAIDI H. et al, 2004).

La limite de diagramme est montré pourcentage des minéraux Figure (IV-2).

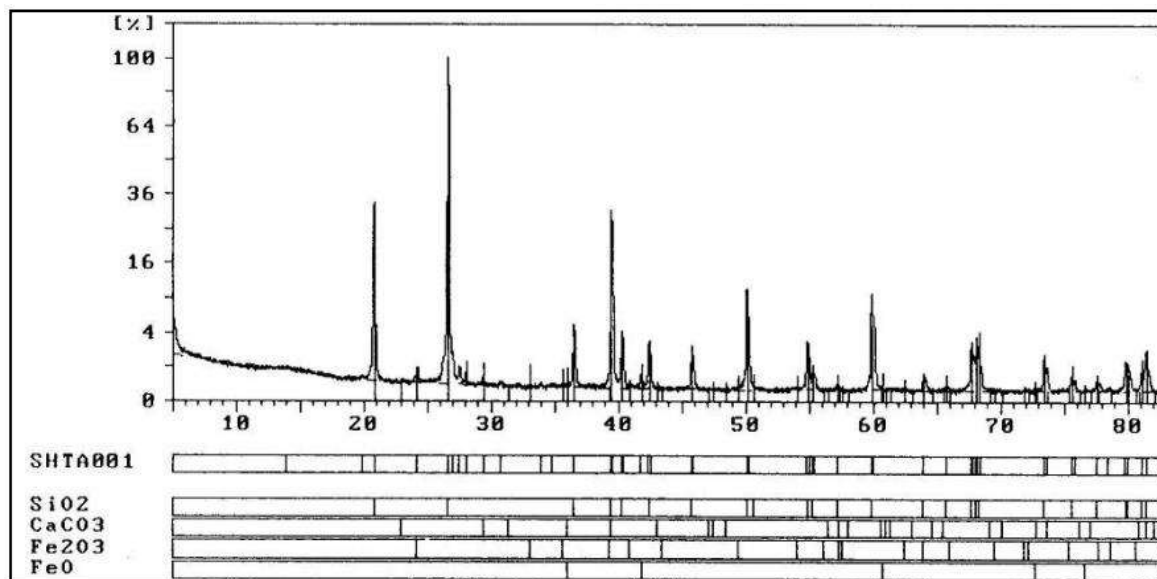


Figure (IV-2) Diagramme d'analyse de (DRX) (SAIDI H. et al, 2004).

sable de dune: La composition minéralogique des sables de dunes de différentes régions sahariennes est donnée par (Bentata A, 2004) comme suit :

- le quartz forme une grande part des minéraux avec un pourcentage de 80%.

-le gypse se trouve sous forme des grains fin de couleur blanchâtre avec un pourcentage de l'ordre de 3%.

-le feldspath et la calcite ont des pourcentages faibles au tour de 10%.

Donc pour l'absence de fragments de roches carbonatées actives comme la dolomite ou la magnésite dans les agrégats fins signifient que les sables étudiés ont une composition chimiquement stables, capables de produire du mortier sans réaction alcali-granulats. (ABU SEIF E S, 2013)

sable d'oued Rtem: La composition minéralogique de sable de'oued Rtem régions Elmerrara par rayon X est donnée comme suit :

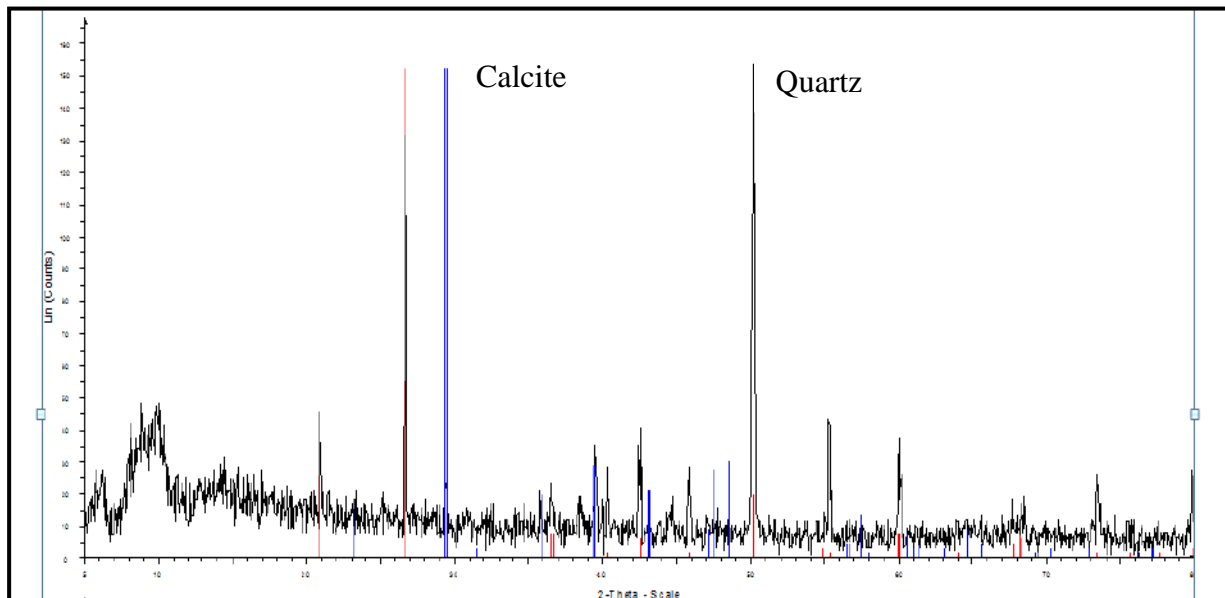


Figure (IV-3) Diagramme d'analyse de sable d'oued Rtem(CDTA, 2016)

L'analyse minéralogique des sédiments superficiels par diffraction aux rayons X montre que les principaux minéraux non argileux sont le Quartz, la Calcite (fig. IV-3).

IV. 4. 5. 2 analyse des sables par microscope électronique à balayage (MEB):

Quelque échantillons des sable de oued Rtem ont également fait l'objet d'un examen au MEB.

La fraction lourd obtenue après séparation densimétrique a été d'abord examinée sous loupe binoculaire. Sur la base de leurs caractères optiques, morphologiques et de couleurs, les grains minéraux constitutifs de cette fraction lourde ont été regroupés en plusieurs catégories.

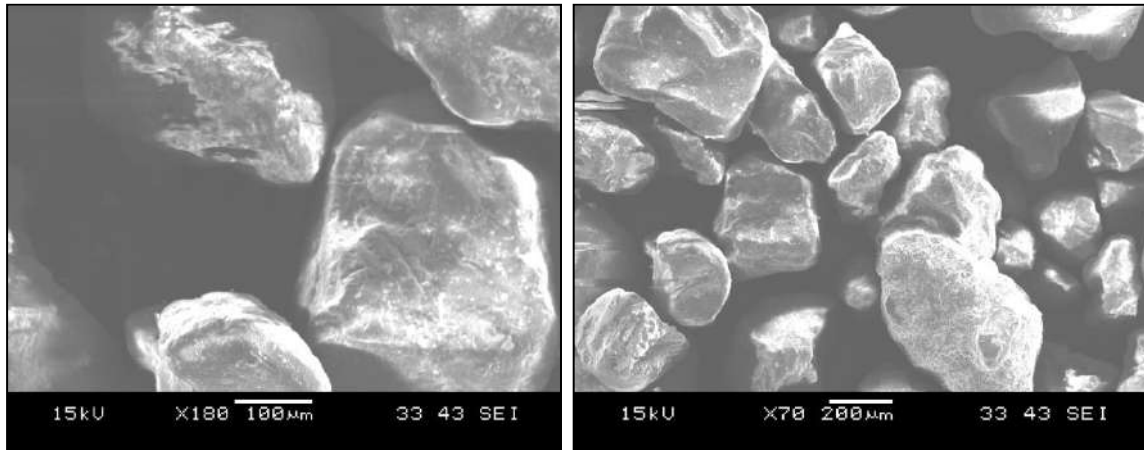


Figure (IV-4) Sable d'oued Rtem par microscope électronique (MEB): (CDTA, 2016)

Les photos par microscope électronique (MEB) présentés quelques caractéristiques physiques et mécaniques comme les formes, les couleurs

La forme des grains: il y a plusieurs formes des grains de sable de oued Rtem sphériques, cubiques, polygones ect.

La surface des grains: est établie des surfaces pas molles c'est-à-dire rugueuse.

IV.4.6 Analyse granulométrique: (NF EN 933-1, 2012)

Elle consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant l'échantillon en utilisant des tamis emboîtés les uns des autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers les bas (TEST SOCIÉTÉ BERA, 2005).

Après avoir calculé les pourcentages des tamisages cumulés un repère D : ouvertures des tamis, nous traçons la courbe granulométrique.

Pour les sables on peut définir trois fuseaux A, B, C, dans lesquels la courbe granulométrique de l'échantillon analysé doit se trouver. Si elle s'en écarte il convient alors de modifier l'étalement du sable, en lui apportant les grains manquants.

Le fuseau A est le fuseau préférentiel : $(2,20 \leq M_f \leq 2,80)$

Le fuseau B correspond à un sable un peu trop fin : $(1,80 \leq M_f \leq 2,20)$

Le fuseau C correspond à un sable un peu trop grossier : $(2,80 \leq M_f \leq 3,20)$

La figure suivante est dirigée les différents fuseaux qui est les fuseaux préférentiels du sable

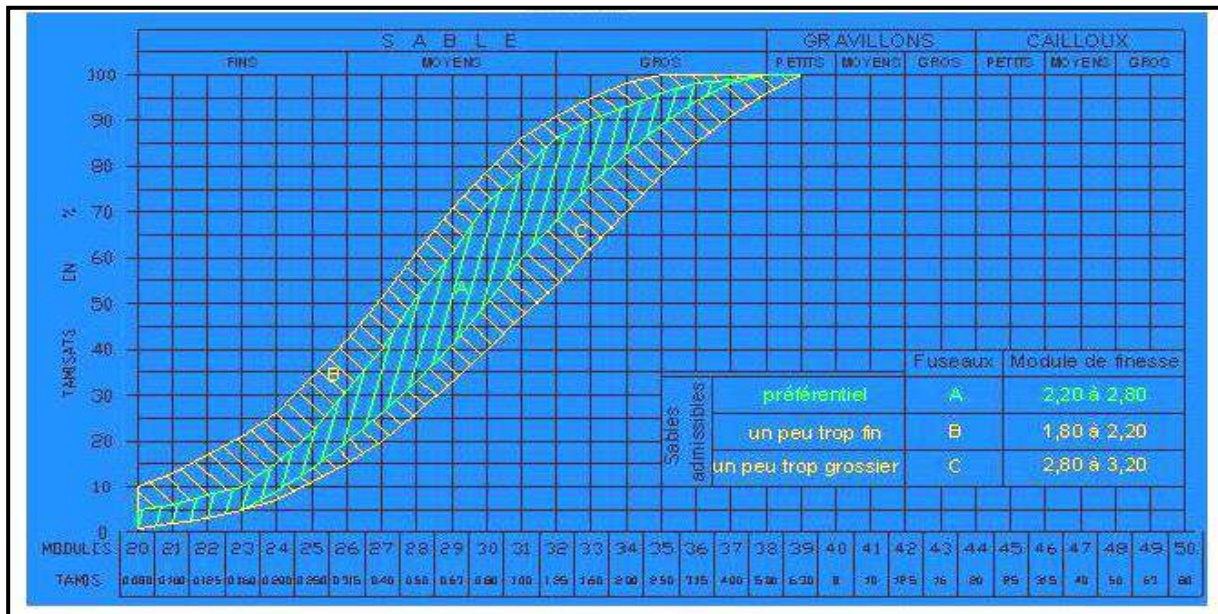


Figure (IV-5) fuseaux préférentiel du béton

Les normes préconisent pour un bon sable à béton le module de finesse doit être de l'ordre de 2,2 à 2,8. fuseau (A), (CHERAIT Y . et al, 2007).

IV.4.6.1 Module de finesse (NF P 18-304, 1990):

La caractère plus au moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul le module de finesse MF celui-ci correspond a la somme de pourcentage de refus cumulé.

Le module de finesse de sable est égal à 1/100ede la somme des refus exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante: (0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 – 5mm).

$$Mf = \frac{\sum \% refus}{100} \tag{IV.6}$$

IV.4.6.2 Facteur d'informité : Cu

C'est un coefficient pour la classification des agrégats, on définit l'uniformité d'une granulométrie par le coefficient de Hazen ou coefficient d'uniformité.

$$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}} \tag{IV.7}$$

D60 :représente l'ouverture du tamis auquel passe 60 % du poids des grains, de même pour D10.

(D60/D10) > 2 la granulométrie est dite étalée.

(D60/D10) < 2 la granulométrie est dite serrée, (Yamani L, 1993).

La figure IV.6 ci-dessous montrent le résultat de l'analyse granulométrique de sable de dune :

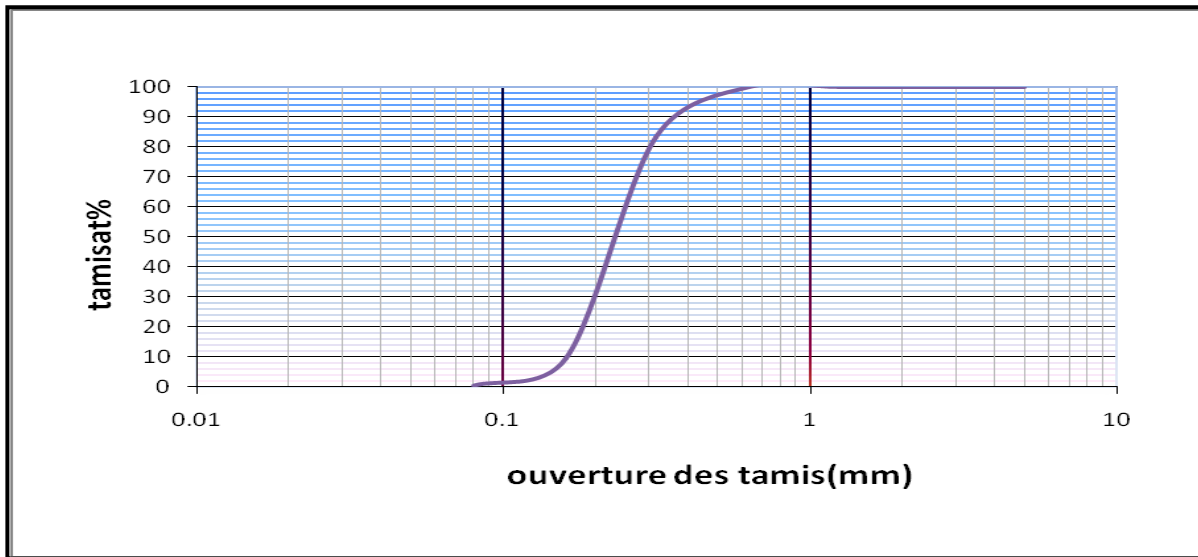


Figure (IV-6) : courbe granulométrique de sable de dune (SD)

L'analyse granulométrique du sable de dune utilisé montre que la granulométrie est très serrée ($C_u=1.96$) et son module de finesse est de l'ordre 1,09. Ce sable n'est pas inscrit dans le fuseau granulaire réglementaire pour les bétons ordinaires comme le montre la figure IV-7.

La figure IV.7 montrent la granulométrie de sable alluvionnaire témoin.

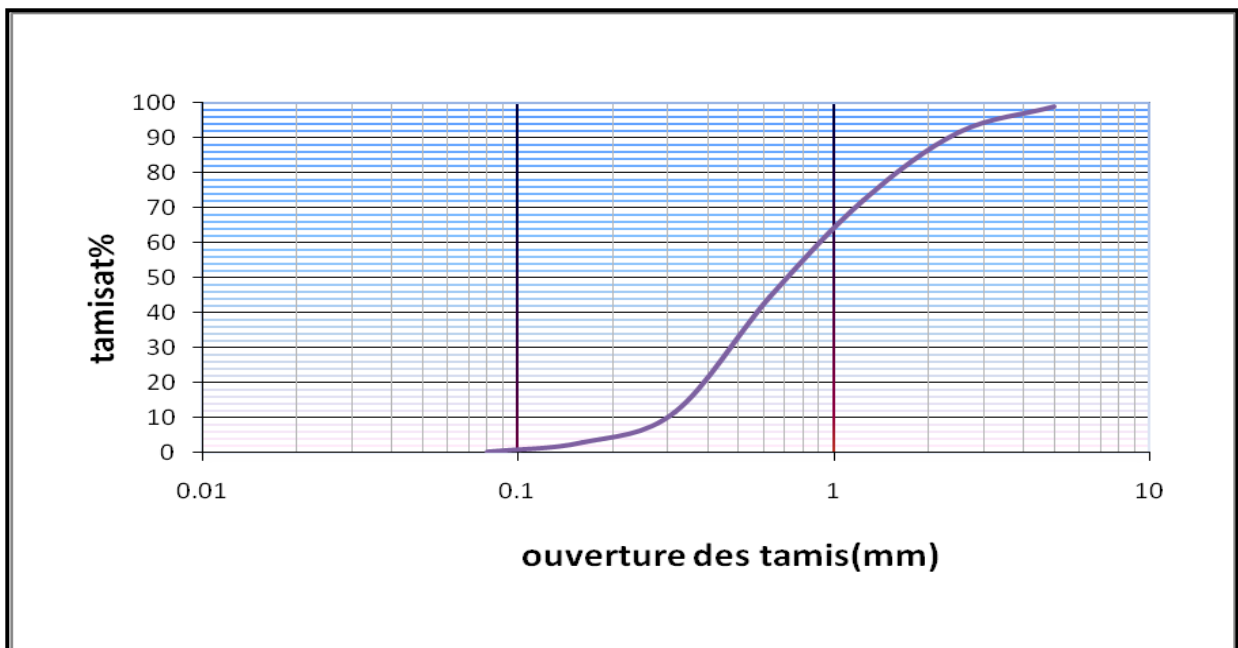


Figure (IV-7) : Courbe granulométrique de sable alluvionnaire (SA)

L'analyse granulométrique du sable alluvionnaire montre que la granulométrie est étalée et continue. ($C_u=3.96$)

La figure IV.8 montrent la granulométrie de sable de oued N'sa (SN)

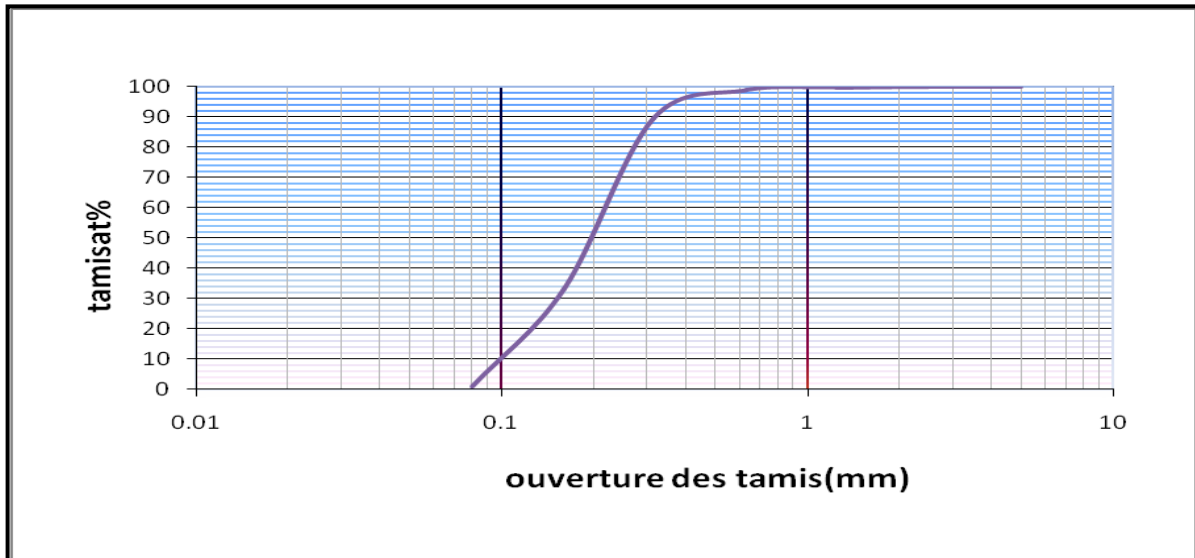
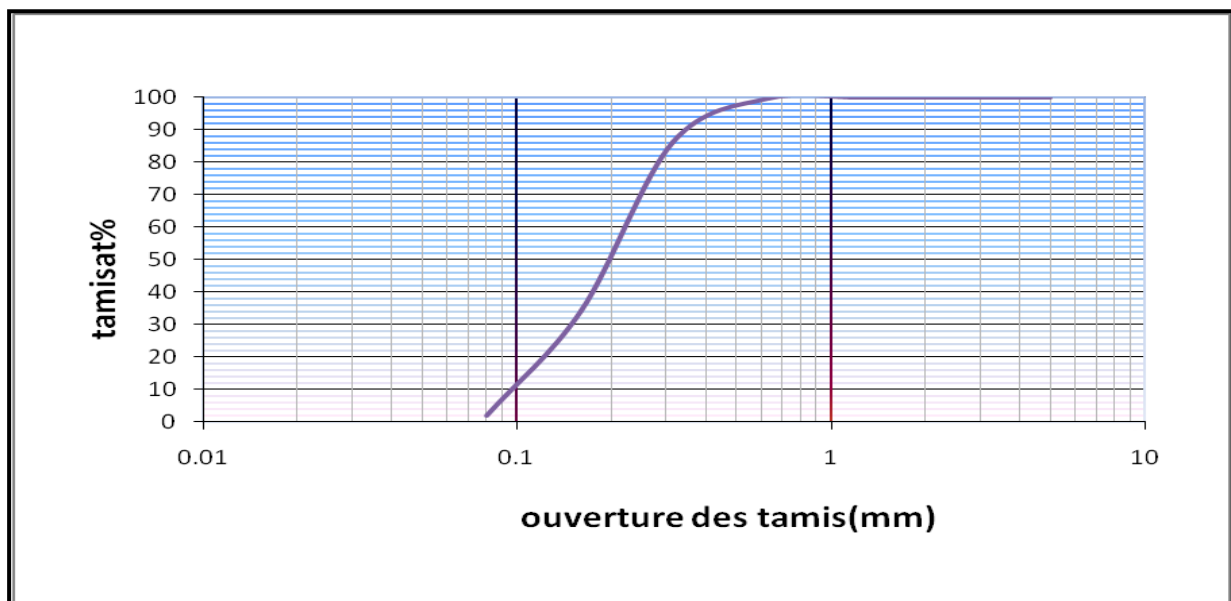


Figure (IV-8) : Courbe granulométrique de sable Granulométrie de sable de oued N'sa (SN)

L'analyse granulométrique du sable de oued N'sa (SN) utilisé montre que la granulométrie est très serrée ($C_u=2$) et son module de finesse est de l'ordre 0,78. d'après la valeur du M_f qu'est égal à 0,78, on conclut que ce sable est un sable très fin ayant une granulométrie très serrée 0/0.315, avec l'absence d'éléments entre 0.315–5 mm.

Si nous comparons cette courbe granulométrique avec une courbe granulométrique de référence (fuseau) (Fig IV.5) nous trouvons à l'extérieur des fuseaux. Ce sable n'est pas inscrit dans le fuseau granulaire réglementaire pour les bétons ordinaires.



La figure IV.9 montrent la granulométrie de sable de oued M'zab (SM)

Figure (IV-9) : courbe granulométrique de sable Granulométrie de sable de oued M'zab (SM)

L'analyse granulométrique du sable de oued M'zab (SN) utilisé montre que la granulométrie est très serrée ($C_u=2$) et son module de finesse est de l'ordre 0,80. Ce sable n'est pas inscrit dans le fuseau granulaire réglementaire pour les bétons ordinaires comme le montre la figure IV-7, donc ce sable est leur même caractéristique granulaire de sable de oued Nsa.

La figure IV.10 montrent la granulométrie de sable de oued Rtem (SR)

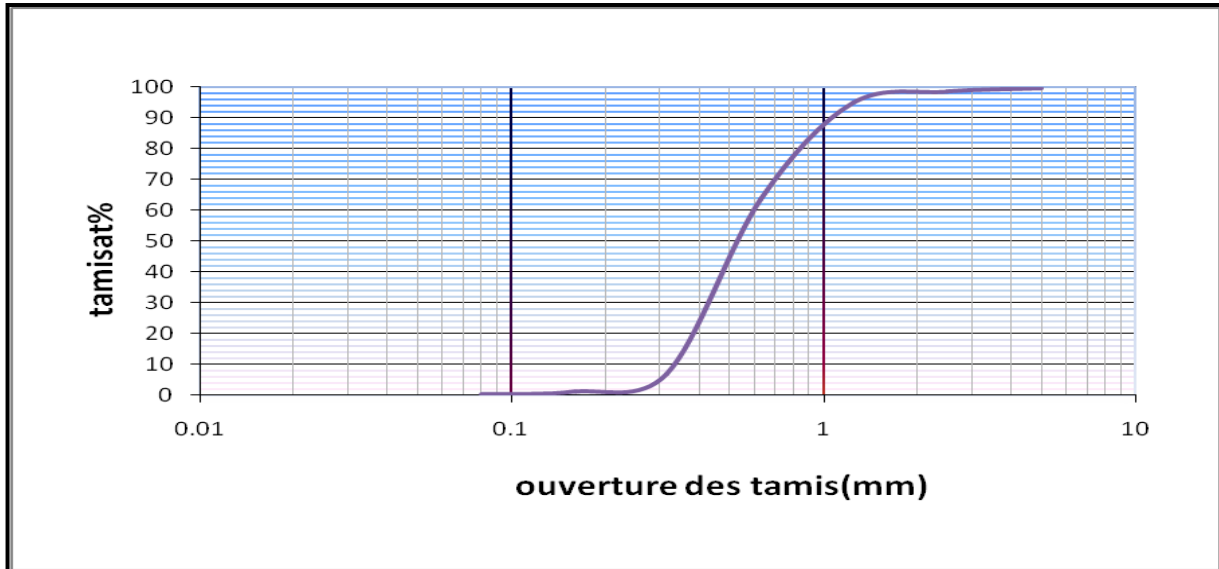


Figure (IV-10) :courbe granulométrique de sable Granulométrie de sable de oued Rtem(SR)

Le sable utilisé provient de la région de Oued Righ (Extrait d'Oued-Rtem). (SR), montre que la granulométrie est un sable moyen à granulométrie étalée et qui s'inscrit dans le fuseau recommandé, admissible pour les bétons ordinaires. Il est pauvre en éléments fins et grossiers, 2,2 à 2,8. fuseau (A), (CHERAÏT Y . et al, 2007).

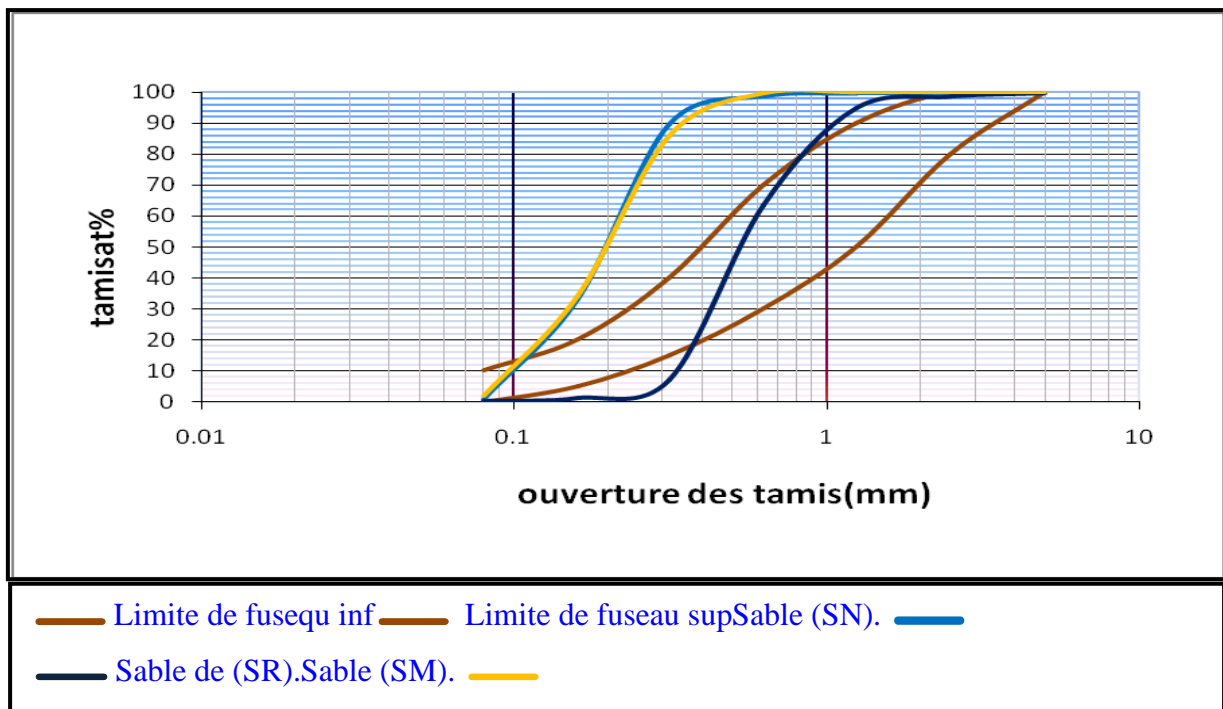


Figure (IV-11): courbes granulométriques des différents sables

On conclut que la courbe granulaire est importante car elle apporte les renseignements sur les limites des granulats, la proportion d'éléments fins ainsi que la continuité de la granularité. Plus une courbe est régulière plus le squelette granulaire formé est compact (meilleure compacité du squelette du béton). Par ailleurs, la courbe granulaire a aussi un effet sur l'ouvrabilité du béton.

Pour les sables utilisés dans notre étude on a trouvé le module de finesse dans le tableau suivant.

Tableau (IV-8): Module de finesse des sables

Module de finesse	Sable(SN)	Sable(SM)	Sable(SR)	Sable de dune	Sable alluvionnaire
MF	0.78	0.80	2.35	1.07	2.78

Le module de finesse est une caractéristique importante qui doit être vérifiée. Généralement un sable à béton doit avoir un module de finesse compris entre 2.2 et 2.8.

On remarque dans le tableau ci-dessus que le module de finesse de deux sables SN-SM est d'autant plus petit que le granulat est riche en éléments fins. Les deux sables très fins ont pour cela un facteur de retrait qui est beaucoup plus influent pour ces derniers.

Le module de finesse du sable de l'oued Rtem MF=2.35, limité de l'ordre de 2,2 à 2,8, est le fuseau préférentiel.

Dans notre étude nous allons utiliser le sable de l'oued Rtem (SR).

IV.5 CIMENT:

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Le ciment utilisé est un ciment CPJ CEM II /A 42.5 de la cimenterie de AIN TOUTA. D'après (LEC, 2016).

Les résultats des essais de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue

- la masse volumique apparente: $\rho_a = 1120 \text{ kg/m}^3$

- la masse volumique absolue: $\rho_s = 3034 \text{ kg/m}^3$

IV.5.1 Surface spécifique:

Elle est mesurée par comparaison avec un ciment de référence dont la surface spécifique est connue. Il s'agit de faire passer un volume d'air connu à travers une poudre de ciment, plus la surface spécifique de cette poudre est importante et plus le temps mis par l'air pour travers la poudre est longue. Dans les condition normalisées, la surface spécifique est proportionnelle à $t^{1/2}$. L'appareil d'essai est appelé <Blaine >

La surface spécifique est donnée par la formule suivante:

$$\text{SBB} = \frac{K\sqrt{e_3} \sqrt{t}}{\rho(1-e)\sqrt{\mu}} \quad (\text{IV-8})$$

t: temps de passage de l'air dans la couche de la poudre en seconde.

μ :viscosité de l'air à la température de l'essai.

ρ :masse volumique absolue en g/cm^3 .

e:constante de l'appareil.

La surface spécifique d'un ciment utilisé est de $3859 \text{ cm}^2/\text{g}$.

IV.5.2 Temps de prise:

Le début ou la fin de prise dépend de plusieurs paramètres, il varie notamment suivant la composition chimique et la finesse de mouture de ciment étudié, il dépend aussi de la température ambiante et, le cas échéant, des dosages en adjuvant, utilisés à une même température et sans adjuvant, deux ciments différents pourront se distinguer, par une plus ou moins grande rapidité de prise.

L'objectif de l'essai est de définir, pour un ciment donné, un temps qui soit signification de cette rapidité de prise (NF EN 196-3, 2006).

Le tableau (IV-9) résume les résultats des différents essais physiques sur le ciment (HACHANA A, 2008).

Tableau (IV-9) :Essais physiques sur le ciment :

Essais	Finesse cm ² /g	Consistance normale (%)	Début de prise (heure : min)	Fin de prise (heure : min)
Résultats	4050	27	2 :40	3 :45

IV.5.3 Composition chimique et minéralogique :

L'analyse la composition chimique de ciment, la composition minéralogique du clinker sont représenté dans les tableau IV-10 et IV-11 successivement.

Tableau (IV-10): Composition chimique du ciment en % massique

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	PAF
21.90	5.73	3.13	60.18	1.85	2.29	0.19	0.83	4.07

Nous remarquons que le ciment utilisé contient des pourcentages appréciables en chaux et en silice.

$$\% \text{ Alcalis} = \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O} = 0,736 > 0,6\%.$$

Mais il n'y a pas risque de réaction alcalis-granulats car ces derniers ne sont pas des calcaires dolomitiques (BELFERRAG A, 2016).

De nos jours, une grande variété de ciments est produite dans presque tous les pays du monde. Les matières premières, essentiellement argilo-calcaire, sont rigoureusement proportionnées et chauffées à environ 1450°C pour former un produit composé de silicates de calcium et d'aluminates, appelé "clinker". Ce produit, est finement broyé avec du gypse pour produire le "ciment Portland" (COSTA C, 2015).

Tableau (IV-11): Composition minéralogique du clinker (Fiche de Qualité, 2000)

Composé	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	(C ₄ AF)
Moyenne	55.05±2.27	19.97±1.85	9.44±0.27	9.27±0.24

Avec :

C₃S (3CaO, SiO₂): silicate tricalcique.

C₂S (2CaO,SiO₂): silicate bicalcique

C₃A (3CaO,Al₂O):illuminante tricalcique

C₄AF (3CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃) : Aluminate – ferries tétra calcique.

Les silicates tricalciques (C₃S), formant autour de 20 à 80% du poids de ciment, est le

composant responsable du début du processus de prise et la résistance initiale, étant donné qu'il est la substance qui s'hydrate et durcit plus rapidement (VIERA M, 2015).

IV.5.4 Caractéristique mécanique:

Les ciments sont classés d'après leur résistance mécanique minimale, à la rupture par compression à 2, 7 et 28 jours d'âge, mesurée sur des éprouvettes (4x4x16 cm) en mortier normal (EN 196 - 1) (NF P 15-476, 1990).

Les résultats des essais de résistance figurent dans le tableau IV – 12

Tableau (IV-12): Résistance à la traction et à la compression Caractéristiques mécaniques du ciment (Fiche de Qualité, 2000)

Age (jours)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la traction (MPa)
2	22,57 ± 2.24	04,97 ± 0.41
7	37,61 ± 2.77	07,11 ± 0.43
28	48,24 ± 2.89	08,48 ± 0.52

En ce qui nous concerne donc, l'activité du ciment CPJ 42.5 MPA est vérifié.

IV.6 EAU DE GACHAGE:

L'eau utilisée est celle du robinet du laboratoire de génie civil de l'université de Ouargla. L'eau utilisée est une eau potable du robinet. Elle convient pour la confection du béton à condition qu'elle remplie toutes les prescriptions des normes (NF P18-303, 1990) concernant les concentrations des matières en suspension et les sels dissous. Une eau de mauvaise qualité peut avoir des effets néfastes sur le béton tels que la carbonatation, la corrosion des armatures, la diminution de la résistance mécanique, l'accélération ou le ralentissement du temps de prise et l'apparition des taches nuisibles sur la surface du béton.

L'analyse chimique de l'eau à été effectuée au laboratoire de traitement des eaux de l'université de Ouargla et elle est résumée dans le tableau suivant:

Tableau (IV-13): composition chimique de l'eau. (Hachem Chaib al, 2015)

Ca	Mg	K	Na	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO	PH	Salinité
242	125	31	536	755	14.5	755	124	7.75	2799

- les concentrations sont données en mg/l.

D'après les résultats exposés dans le Tableau (IV-20):, il s'agit d'une eau qui présente une faible salinité, pouvant être utilisée pour les bétons et mortiers normaux .

IV.7 COMPOSITION DU BETON:

Méthode de formulation:

La méthode de la formulation d'un béton consiste à déterminer le mélange optimal des différents granulats, ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin d'obtenir le béton avec les caractéristiques adaptées à l'ouvrage ou à la partie d'ouvrage.

La méthode pratique permettant de déterminer la composition des bétons est la méthode de Dreux- Gorisse.

Cette méthode permet de définir de façon simple et rapide une formule de composition adaptée au béton étudié. Afin d'obtenir la meilleure formule il sera nécessaire de réaliser des essais d'affaissement et de résistance. A la suite de ces essais il sera éventuellement nécessaire d'effectuer certaines modifications.

Par ailleurs, afin de respecter les spécifications imposées par la norme, les formulations que je propose ont été calculées de telle façon à obtenir une résistance supérieure de la résistance caractéristique souhaitée à 6MPa. De plus, je veille également à ce que le rapport Eau efficace/Liant équivalent ne dépasse pas la valeur maximale imposée par la norme. (NF P 15-476, 1990).

IV.7.1 Présentation de la méthode (Dreux et Gorisse):

Le principe de cette méthode est basé sur la résistance et l'ouvrabilité désirée lesquelles conduisent à déterminer le dosage en ciment et le dosage en eau.

On demande une résistance f_{c28} en compression à 28 jours. En tenant compte des dispersions et des écarts quadratiques, on adoptera la règle approximative pour la résistance moyenne à viser :

$$F_c = f_{c28} + 6 \text{MPa} \quad (\text{IV-9})$$

Dosage en ciment :

On évalue approximativement le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne souhaitée F_c (CHERAIT Y . NAFAA Z E, 2007).

$$F_c = G F_{ce} * (C/E - 0.5) \quad (\text{IV-10})$$

F_c : résistance moyenne en compression désirée (à 28 jours) en MPa

F_{ce} : classe vraie du ciment (à 28 jours) en MPa

C : dosage en ciment (en kg/m^3)

E : dosage en eau totale sur matériaux secs (en litre pour 1m^3)

G : coefficient granulaire

La résistance moyenne en compression du béton (à 28 jours), $f_{c28} = 25$ MPa

Un ciment de classe 42,5a a une classe vraie égale 62 MPa

Valeurs approximatives du coefficient granulaire G (en supposant que le serrage du béton effectué dans de bonnes conditions. Par vibration, en principe). Avec un granulat $D \leq 16$ (qualité de granulat bonne courante) on prend $G = 0,45$ Voir **annexe (01)**. Afin de déterminer le dosage en ciment, il faut utiliser **Annexe (02)** qui est désigné par la relation entre la granularité et le dosage en ciment suivant :

$C = 700 / \sqrt[5]{D}$.on prend selon les ouvrages utilisés

D : diamètre des granulats maximale, dans cette étude $D = 16$

Donc selon la annexe, le dosage de ciment utilisé $C = 400 \text{ kg}/\text{m}^3$

IV.7.2 Tracé de la courbe granulaire de référence

Sur la base d'une analyse statistique de ce grand nombre de bétons et en combinant les courbes granulaires obtenues, ils ont pu fonder une approche empirique pour déterminer une courbe granulaire de référence ayant de forme de deux lignes droites dans un diagramme semi logarithmique (IV-12) (Sidi Mohammed El Amine BOUKLI HACENE, 2009).

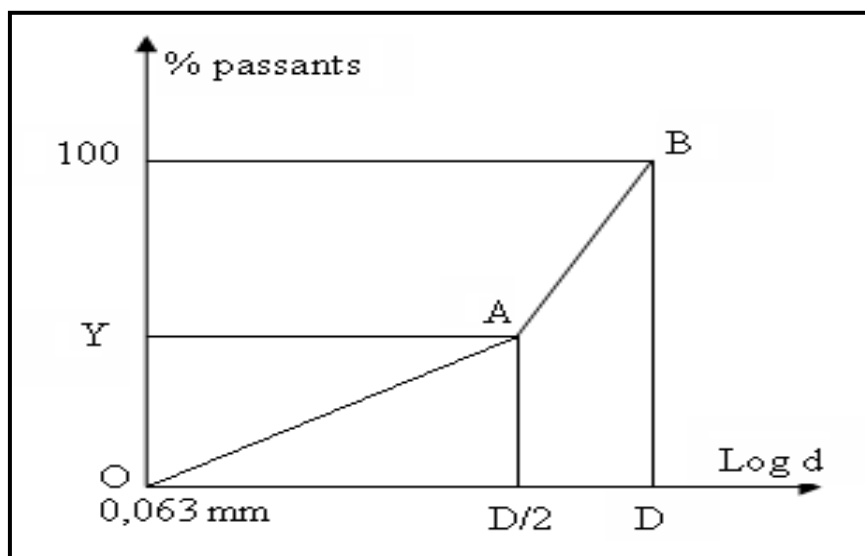


Figure (IV-12): Courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse

Sur un graphique d'analyse granulométrique type afnor, on trace une Composition granulaire de référence O A B, voir Figure (IV-12).

Point B : ordonnée : 100%, abscisse : dimension D du plus gros Granulat.

Ainsi les coordonnées du point de brisure A sont (BONNEAU O, 1997). (MUTONI A. et al, 2008). (Fiche technique Tom 2, 2006)

Point A : sera caractérisé par les coordonnées suivantes:

Abscisse :

Si $D < 20\text{mm}$, l'abscisse sera égale à $D/2$

Si $D > 20\text{mm}$, l'abscisse sera située au milieu du segment gravier limité

Par la dimension de tamis 5mm

$$\text{Ordonnée : } \boxed{Y = 50 - \sqrt{D} + K} \quad (\text{IV-11})$$

K : terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du Serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés et également du module de finesse du sable.

Pour notre cas nous avons choisi $K=0$, correspondant à un dosage en ciment de 400 kg/m^3 et une vibration normale **Annexe (03)** (DREUX G. FESTA J, 2002).

La courbe granulaire OAB de référence est tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun des granulats, en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point 5% de la courbe du granulat suivant.

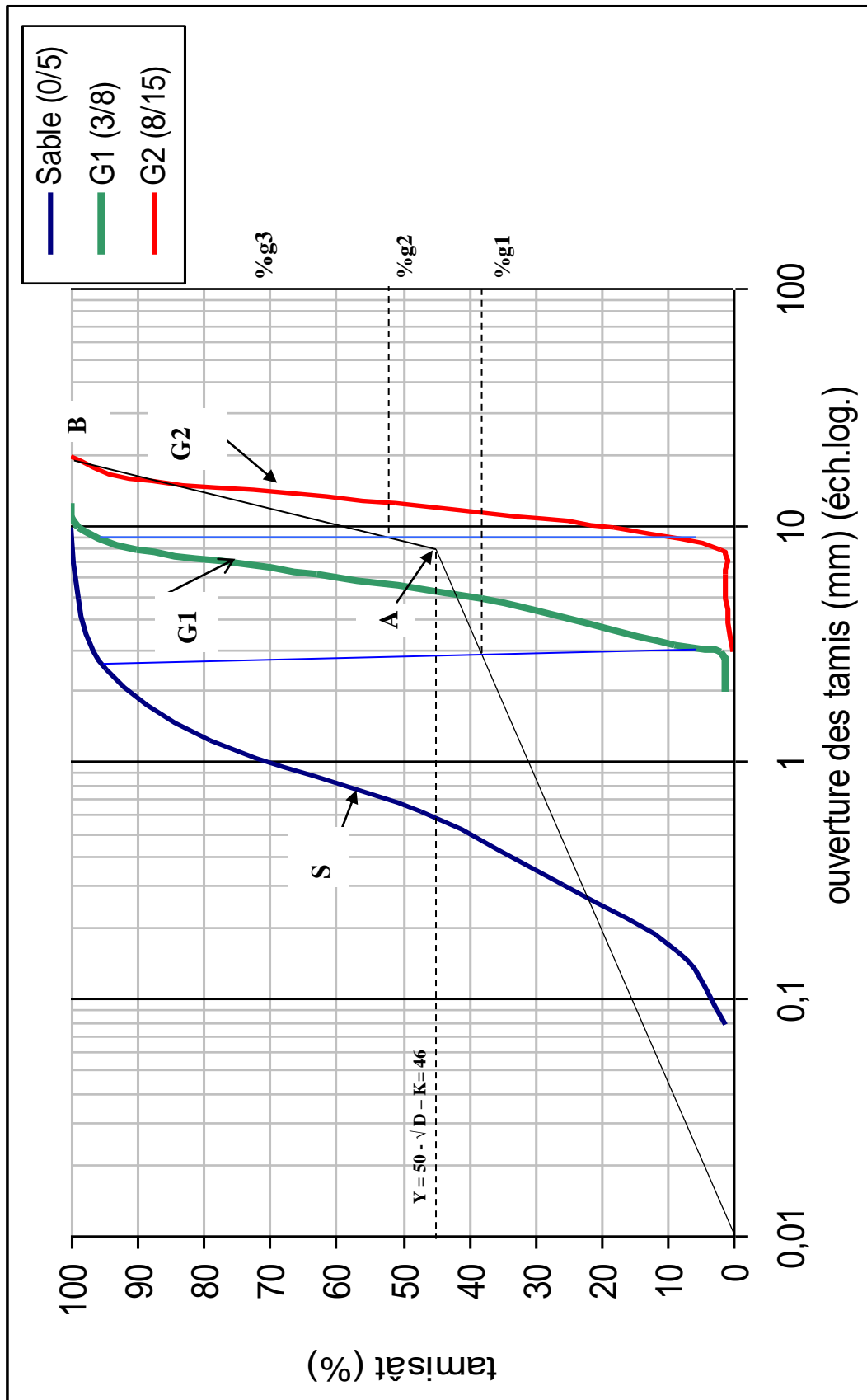


Figure (IV-13) : Courbe granulométrique de référence (mm) (éch.log.).

Les points d'intersection entre les lignes de partage et la courbe de référence OAB donnent les pourcentages des granulats suivants:

Sable (0/3) : 36%

Gravier (3/8) : 9%

Gravier (8/15) : 55%

On lira alors sur la courbe de référence, au point de croisement avec les droites de partage, le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats.

Le volume absolu des grains de ciment est : $V_c = C/\omega_c$ **(IV-12)**

$V_c = 400/3.1 = 129.03$

Avec C le dosage en ciment. (ω_c étant la masse spécifique admise pour les grains de ciment)

Le volume absolu de l'ensemble des granulats (sans ciment) est : $V = 1000\gamma - V_c$. **(IV-13)**

On choisira une valeur convenable du coefficient de compacité γ en fonction de D, de la consistance et de l'efficacité du serrage, pour qu'on puisse déterminer le volume absolu total soit alors:

$$V_{\text{total}} = 1000 \gamma \quad \text{(IV-14)}$$

Dans notre cas $D_{\max} \geq 16$ et consistance plastique avec vibration faible.

(Pour notre cas $\gamma = 0,820$ voir **annexe (04)**)

$$V_g = 1000\gamma - C/\omega_c \quad \text{(IV-15)}$$

$V_g = 820 - 129.03 = 691 \text{ L}$

$$V_1 = g_1 V_g = 36 \times 691 / 100 = 248.76 \text{ L}$$

$$V_2 = g_2 V_g = 9 \times 691 / 100 = 62.19 \text{ L} \quad \text{(IV-16)}$$

$$V_3 = g_3 V_g = 55 \times 691 / 100 = 380.05 \text{ L}$$

Où g_1, g_2, g_3 sont les pourcentages des granulats sable (0/5), gravier (3/8) et gravier (8/15)

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ sont la masse spécifique de chacun des granulats.

les dosages en masse des élément secs (granulats, sable) pour 1m^3 de béton sont donnés:

$$p_1 = V_1 \omega_1 = 248.76 \times 2500 \times 10^{-3} = 621.90 \text{ Kg}$$

$$p_2 = V_2 \omega_2 = 62.19 \times 2500 \times 10^{-3} = 155.48 \text{ Kg} \quad \text{(IV-17)}$$

$$p_3 = V_3 \omega_3 = 380.05 \times 2500 \times 10^{-3} = 950.13 \text{ Kg}$$

Le rapport eau /ciment ($E/C=0.625$) étant gardé constant pour tout les mélanges réalisés dont le but de pouvoir comparer les résultats trouvés.

Tous les mélanges ont été réalisés à base de gravier 3/8, 8/15 provenant de la carrière HAOUD El Hamra Hassi-Messaoud, les pourcentages correspondants figurent dans le tableau suivant.

Tableau (IV.14) : Pourcentages massique des agrégats

Types de bétons	Quantité de Ciment (Kg)	sable		gravier 3/8		gravier 8/15		Quantité de l'eau (l)	E/C
		%	(Kg)	%	(Kg)	%	(Kg)		
BSR	400	36	622	9	155.5	55	950	250	0.625

BSR - béton de sable d'oued Rtem.

Le ciment utilisé est un ciment CPJ CEM II/A 42.5 (la cimenterie de AIN TOUTA).

Un total de 36 éprouvettes cylindriques et 45 éprouvettes prismatiques et 120 éprouvettes cubiques ont été confectionné pour cette partie. Les bétons en question ont été réalisés dans les mêmes conditions de gâchage et de conservation (résistances de compression et flexion dans l'eau et à l'air libre, et le retrait et absorption d'eau par capillarité .Les âges de test de résistance respectives sont 7, 14, 28 et 90 jours, et le retrait 1, 2, 3, 7, 14, 28 et 90 jours. Et l'essai d'absorption d'eau 15min, 30min, 1heur, 2heurs, 4heurs, 6heurs, 8heurs et 24heurs pour des trois cures 07, 14 et 28 jours.

IV.8 –CONFECTION ET CURE DES ÉPROUVETTES :

IV.8.1 –Moules pour éprouvettes :

Conformément à la norme européenne (NF EN 12390-1, 2001), pour les besoins de notre étude et selon la nature de l'essai à réaliser, on a utilisé les moules suivants (voir Annexes **Photo A1-2**), pour la confection des éprouvettes :

Moule prismatique 7x7x28 cm,

Moule cylindrique Ø16 H32 cm.

Moule cubique 10x10x10 cm,

IV.8.2 –Confection des éprouvettes :

La préparation des mélanges a été effectuée suivant un dosage pondéral des granulats et conformément à la norme française (NF P 18-404, 1981), qui consiste à :

Introduire, en premier lieu, dans un malaxeur à béton, (voir Annexes **Photo A1-3**), les constituants dans l'ordre suivant : gravillons, liant, sable,

Malaxer à sec les éléments de l'ordre de 1 min,

Ajouter l'eau de gâchage et pour suivre le malaxage pendant 2 min.

On mélange et on homogénéise la gâchée exécutée et on en prélève la quantité voulue pour le remplissage des moules en deux couches pour les moules prismatiques et en trois couches pour les moules cylindriques. Le serrage du béton doit être effectué immédiatement après le remplissage, par table vibrante (voir Annexes **Photo A1-4**), pour chaque couche du béton introduite (le temps de vibration est de 30s).

IV.8.3 –Conservation des éprouvettes :

Après la mise en place du béton, les éprouvettes sont maintenues pendant 24 heures, dans leurs moules à l'intérieur du laboratoire. ($20 \pm 5^\circ\text{C}$, $\text{HR}=50\pm 5\%$).

Après démoulage, les éprouvettes sont entreposées dans de l'eau jusqu'au moment de l'essai, à une température de $20\pm 5^\circ\text{C}$, ou dans une salle en laboratoire à $20 \pm 5^\circ\text{C}$. La conservation des éprouvettes dans l'eau ou dans l'air libre a été faite selon le type d'essai.

(voir Annexes Photos A1-5 et A1-6).

La conservation des éprouvettes pour les essais de compression et traction dans l'eau et l'air libre.

La conservation des éprouvettes pour l'essai de retrait à l'air libre à une température ($T=20\pm 5^\circ\text{C}$) et une humidité relative ($\text{HR}=50\pm 5\%$).

IV.9- ESSAIS REALISES, RESULTATS ET INTERPRETATIONS :

Dans le présent partie, sont exposés les différents résultats expérimentaux relatifs aux différents essais effectués sur les bétons, conformément aux modes opératoires mentionnés au chapitre V. Une analyse et une discussion des résultats, suivies d'une comparaison avec ceux reproduits dans la littérature, seront également présentées.

Type de béton **BSD** avec 100% de sable de dune. Notre projet de magister.

Type de béton **BSA** avec 100% de sable alluvionnaire. Notre projet de magister

Les types des bétons étudié **BSR**.

IV.9. 1- Essais sur béton frais :

IV.9. 1. 1- Mesure de la consistance:

L'ouvrabilité du béton est déterminée à l'aide de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams de dimensions ($D=20$; $d=10$; $h=30$ cm) selon la norme française (NF P 18-451, 1990).

Le contrôle de l'ouvrabilité est effectué grâce à l'essai d'affaissement au cône d'Abrams qui consiste à :

- Remplir le cône en trois couches, tassées avec une tige d'acier pointue de 16mm de diamètre à raison de 25 coups par couche;
- Soulever le moule avec précaution et mesurer l'affaissement en cm (voir Annexes **Photos A1-1**) et la figure suivant.



Figure (IV-14) Essai d'affaissement au cône d'Abrams

IV.9. 1. 2- Masse volumique du béton frais :

La masse volumique du béton frais a été déterminée, pour les différents Bétons confectionnés, conformément à la norme européenne (NF EN 12350-2, 1999). Elle a été déterminée lors des essais d'étude et corrections de la formule des mélanges par la mise en place du béton frais dans un récipient rigide et étanche à l'eau de volume ($V=5 \text{ l}$) et de masse (m_1), puis pesé l'ensemble, soit la masse (m_2).

La masse volumique du béton frais, arrondie aux 10 kg/m^3 les plus proches, est Donnée donc par la formule suivante :

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (\text{IV-18})$$

V. 9. 2- Essais sur béton durci :

IV.9. 2.1- Masse volumique du béton durci:

Selon la norme européenne (NF EN 206-1, 2002), un béton de masse volumique normale, c'est un béton dont la masse volumique après séchage à l'étuve est supérieure à 2000 kg/m^3 mais inférieure ou égale à 2600 kg/m^3 .

La masse volumique du béton durci a été déterminée, pour les différents bétons confectionnés, conformément à la norme européenne (NF EN 12390-7, 2001).

Elle a été déterminée, à l'âge de 28 jours, sur une éprouvette prismatique ($7 \times 7 \times 28 \text{ cm}$) de masse (m) constante après séchage à l'étuve et de volume réel (V).

La masse volumique du béton durci mesurée en moyenne des trois éprouvettes est Donnée par la formule suivante.

$$D = m/v \quad (\text{kg/m}^3) \quad (\text{IV -19})$$

IV.9. 2.2- Teneur en eau:

La mesure de la teneur en eau consiste à :

- P1 le poids d'échantillon de béton frais (P₁) en Kg.
- P2 le poids d'échantillon de béton durci (P₂) en Kg.

La teneur en eau est alors donnée par :

$$W = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 (\%) \quad (\text{IV -20})$$

IV.9. 2.3- Essais de résistance mécanique:

IV.9. 2. 3. 1-Essai de compression :

L'essai de résistance à la compression du béton a été effectué conformément à la norme européenne (NF EN 12390-3, 2003).

Les essais de compression ont été réalisés laboratoire de l'institut de génie civil à l'Université Kasdi Merbah. L'essai de compression est l'essai le plus connu des essais mécaniques. Il s'effectue sur des éprouvettes cylindriques (Ø16 H32), Annexes **Photo A1-7**).

La résistance à la compression correspond à la contrainte maximale calculée par la formule suivante (DREUX G. FESTA J, 1998):

$$\sigma_C = \frac{P}{A} \quad (\text{IV -21})$$

Avec : - P : La charge appliquée ;

- A : La section de l'éprouvette.

La résistance en compression à 28 jours désignée par σ_{C28} .

IV.9. 2. 3. 2 -Essai de rupture de traction par flexion :

Les essais de la flexion ont été réalisés au laboratoire de l'institut de génie civil à l'Université Kasdi Merbah. Cet essai est établi suivant la norme française (NF P 18-407, 1981). Un dispositif à rouleau utilisé en flexion (4points), comportant deux appuis à rouleau distant de 210mm sur lesquels repose l'éprouvette prismatique 70x70x280 mm, et un troisième rouleau équidistant des deux premiers, transmettant une charge concentrée F_f .

Pour cet essai on utilise la machine de la résistance à la flexion qui est disponible au laboratoire de génie civil de l'Université Kasdi Merbah Ouargla (voir Annexes **Photo A1-8**).

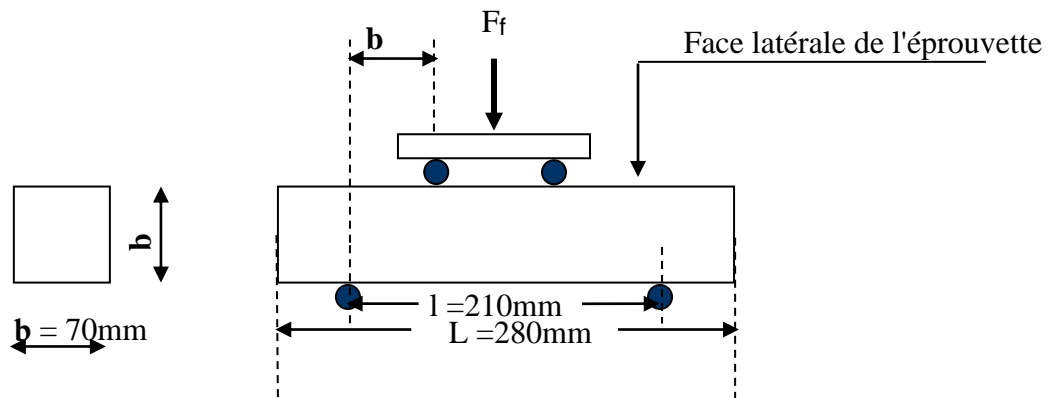


Figure (IV-15): Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (4 points)

la rupture par flexion est déterminée par la formule d'élasticité suivante :

$$Rf = M.V/I ; \text{ et avec } Rf = \frac{(Ff/2) \times b \times (b/2)}{b^4/12} \quad (\text{IV -22})$$

Alors la formule devient :

$$f_t = 1,8.P/a^2 \quad (\text{IV -23})$$

$$Rf = \frac{3Ff}{b^2}$$

Avec:

Rf : résistance à la flexion en MPa.

Ff : charge de rupture de l'éprouvette en flexion (N).

b : côte de l'éprouvette est égal à 70mm.

IV.9. 2. 3. 3-Mesure de retrait :

Les essais de retrait ont été réalisés au laboratoire de génie civil de l'Université Kasdi Merbah Ouargla.

En l'absence de toute charge, le béton se déforme spontanément. Ces déformations sont dues essentiellement à une perte d'eau, par évaporation, ce qui se traduit par une diminution du volume.

L'évaporation de l'eau est facilitée par une forte perméabilité du béton due aux vides d'air. Ces vides d'air sont beaucoup plus importants en présence des granulats poreux qui absorbent une quantité importante d'eau provoquant ainsi des retraits importants lors du durcissement ; d'où l'intérêt de l'étude du retrait.

Le retrait est, par définition, la différence entre la longueur de l'éprouvette aussitôt après démoulage et sa longueur, après séchage consécutif, dans des conditions parfaitement spécifiées (Clause technique, 2004).

L'essai de retrait a été réalisé conformément à la norme française (NF P 18-427, 1996). Il consiste à mesurer en fonction du temps la variation de longueur d'une éprouvette prismatique (7x7x28 cm), par rapport à sa longueur initiale. L'éprouvette est placée dans un rétrocontrôle (voir Annexes **Photo A1-9**) munis d'un comparateur qui permet la mesure du retrait à tout moment. La longueur initiale (longueur de référence) est celle du prisme, un jour après sa fabrication.

La variation de longueur relative « dl » pour chaque éprouvette, est calculée par la différence entre la mesure initiale au démoulage et la mesure finale aux échéances spécifiées (1, 2, 3, 7, 14 et 28 jours).

La variation dimensionnelle de l'éprouvette ou le retrait « Vd », est définie par la formule suivante :

Avec :
$$Vd = \frac{dl}{l} \text{ (en } \mu\text{m/m)} \quad \text{(IV -24)}$$

– dl : variation de longueur, exprimée en micromètres,

– l : longueur initiale entre les plots de mesure, exprimée en mètres.

Le retrait, à l'âge déterminé, est égal à la moyenne arithmétique, arrondie à la dizaine la plus proche, des valeurs mesurées sur chacune des trois éprouvettes. L'objectif de l'essai il s'agit d'évaluer le retrait, ou le gonflement, que provoque les différents bétons étudiés sur des éprouvettes de béton normal.

IV.9. 2. 3. 4-Essai ultrasonique :

C'est un essai non destructif très important qui nous permet de détecter - à la fois- plusieurs caractéristiques du béton durci telles que : le degré de compacité, le taux de fissuration, les dommages causés par le gel ou l'écart de température...etc.

Cet essai consiste à mesurer la vitesse longitudinale du son dans le béton à l'aide d'un appareil comportant une boîte de mesure, et deux têtes (une émettrice et l'autre réceptrice).

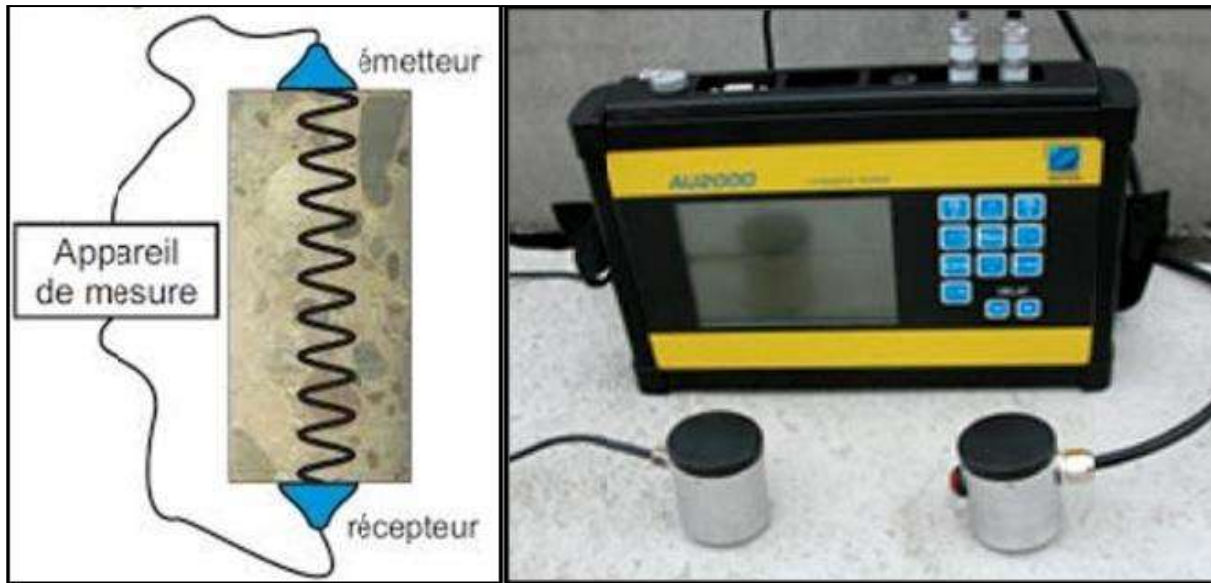


Figure (IV-16): Essai d'ultrason

Deux méthodes peuvent être utilisées pour mesurer la vitesse du son :

- Mesure en surface;
- Mesure en transparence.

Cette dernière présente la meilleure méthode. Elle consiste à presser les deux têtes de mesure sur les deux faces de l'éprouvette, en utilisant une pâte de contact qui facilite la transmission du son. La surface du béton doit être raisonnablement plane et bien nettoyée.

Une fois l'appareil mis en marche, on peut lire le temps de propagation en micro-seconde. La vitesse de propagation est donnée alors par l'équation suivante :

$$V = S/t$$

(IV -25)

- V : vitesse de propagation en m / sec.
- S : distance entre les têtes en (mètre) mesurée avec une précision de 1 %
- t : temps en micro-seconde.

La vitesse dans un béton normal est environ de 4000 à 4800 m/sec.

Pour estimer le module d'élasticité d'un ouvrage âgé en service, les mesures par ultrasons sont recommandées. La vitesse de propagation de l'onde ultrasonore dans un béton dépend du module d'élasticité du béton et de sa densité. (MUNZER H, 1994) à déterminer le module d'élasticité selon la vitesse du son et la masse volumique.

Le module d'élasticité dynamique peut être déterminé par l'équation

$$E = \rho V^2 \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{1 - \nu} \quad (\text{IV -26})$$

- ρ : masse volumique du béton en Kg/m³
- ν : coefficient de poisson du béton.
- v : vitesse de propagation du son dans le béton en m/sec.

IV.9. 2. 3. 5- L'essai d'absorption d'eau par capillarité:

L'absorption d'eau à l'intérieur du béton sec est connue pour dépendre de deux paramètres majeurs, la porosité effective du béton et la vitesse d'absorption par remontée capillaire (absorptivité) (HORNAIN H ARLIGUIE G, 2007)

Les mesures de masse et pénétration d'eau sont prises à des intervalles : 15min, 30min, 1heure, 2heurs, 4heurs, 6heurs, 8heurs et 24heurs . Le coefficient d'absorption capillaire est défini par la relation suivante (ASSIE STEPHAN, 2004):

$$Cat = \frac{Mt - M_0}{A} \quad (\text{IV -27})$$

- Avec : **Ca_t** : est le coefficient d'absorption à l'échéance t (kg/m²),
M_t : est la masse de l'éprouvette à une échéance donnée (kg),
M₀ : est la masse initiale de l'éprouvette (kg),
A : est la section de l'éprouvette au contact de l'eau (m²).

L'absorptivité est définie par la vitesse d'absorption par remontée capillaire, elle est obtenue par une régression linéaire de l'ensemble des mesures qui se trouvent dans un domaine d'évolution linéaire du coefficient d'absorption Cat, généralement, entre temps 1 et temps 2 . L'absorptivité est donnée par l'équation suivante.

$$S = \frac{Ca_2 - Ca_1}{\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}} \quad (\text{IV -28})$$

- Avec : **S** : est l'absorptivité (kg/m²/h^{1/2}),
Ca₂ et **Ca₁** : sont respectivement le coefficient d'absorption à t₂ et t₁.

Les essais d'absorption d'eau par capillarité ont été réalisés laboratoire de l'institut de génie civil à l'Université Kasdi Merbah. Il s'effectue sur des éprouvettes cubiques (10×10×10) cm³, norme française (NF P 18-400, 1981), Ces éprouvettes sont confectionnées pour la détermination les essais d'absorption capillaire. (voir Annexes **Photo A1-10**).

Dans le but d'étudier l'absorption d'eau des bétons à 7, 14, 28 jours du durcissement

Nous avons adopté un essai généralement appliqué à norme Française (NF P 10-502, 1990). Il s'agit de mettre en contact la base des l'éprouvettes (cubiques 10×10 x10 cm,) avec une nappe d'eau à 1 cm de profondeur et de suivre l'évolution de la masse de ces éprouvette au cours du temps. La nappe d'eau est maintenue à niveau constant par un trop-plein figure(V-14). Les faces latérales sont imperméabilisées à l'aide d'un film plastique (un ruban plastique adhésive) qui force l'eau à adopter un cheminement uni-axial et éviter l'évaporation par ces mêmes faces.

La masse d'eau absorbée est déterminée par des pesées successives des échantillons.

La seule précaution à prendre consiste à éliminer la pellicule d'eau retenue sur la face inférieure de l'échantillon avant chaque pesée à l'aide d'un papier absorbant (Castel A., 2001). La quantité d'eau absorbée au bout d'une heure par unité de surface est retenue comme grandeur représentative (BALAYSSAC J P. et al, 1993), (HALL C, 1989), (RILEM, 1994). de volume des plus gros capillaires présents dans la zone de peau, ces capillaires étant les plus efficaces. Les essais sont réalisés dans les conditions de laboratoire ($T= 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ et $\text{HR}= 45 \pm 10 \%$) (MEZGHICHE B, 2005).

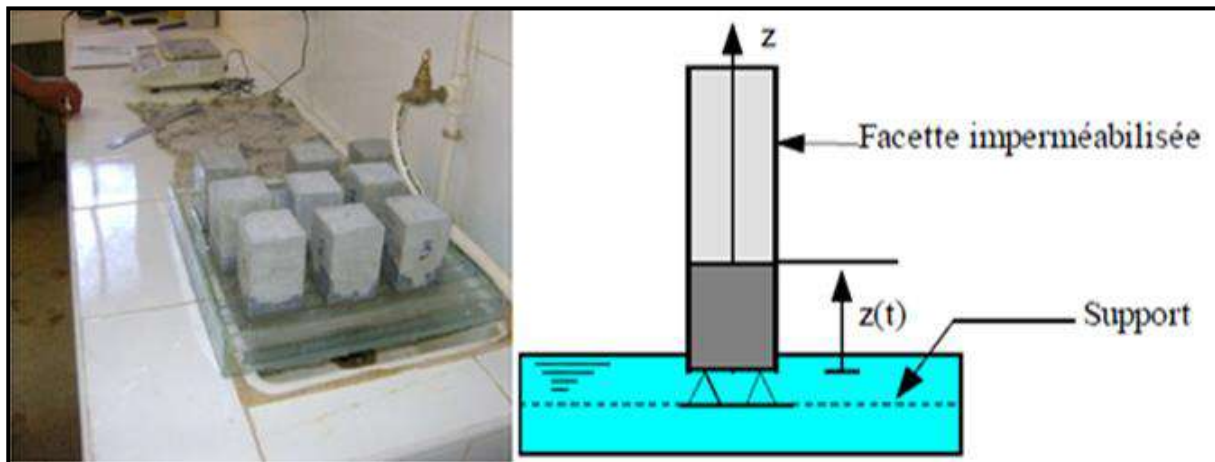


Figure V -17: Dispositif expérimental de l'essai d'absorption capillaire

Les résultats de la cinétique d'absorption sont explicités par les deux paramètres suivants :

- Par la hauteur du front d'imbibition capillaire $z(t)$.
- Par la quantité d'eau absorbée par unité de surface $\Delta M(t)/A$ (RABEHI M, 2014).

IV.9. 2. 3. 6-Essai de durabilité sur le béton:

Dans cette étude des éprouvettes cubiques de (10x10x10) cm³ , ont été exposées à des milieux agressifs : Sulfate de sodium (Na_2SO_4) et Acide chlorhydrique (HCl) (figure IV-18).

En effet, la dégradation des bétons par les sulfates représente un risque majeur d'agression chimique. Elle est due principalement à des phénomènes d'expansion en relation avec la cristallisation de gypse ou d'ettringite secondaire expansive, conduisant à la dégradation d'ordre macroscopique : chute de résistance, fissuration et déformation du matériau (GUETARI, Z. 2013).

L'action du sulfate de sodium peut être résumée comme suit: • Formation du gypse secondaire:

La formation du gypse secondaire résulte d'une réaction de substitution entre la portlandite et le sulfate, et ceci selon la relation ci-dessous :



Formation de l'ettringite secondaire :

La formation de l'ettringite secondaire peut résulter de la réaction chimique entre le gypse secondaire et les aluminates de calcium anhydres (C₃A) ou hydratés (C₄AH₁₃) selon la relation ci-dessous :



Le milieu d'immersion agressive est définie comme le programme suivant :

- Immersion les éprouvettes dans l'eau avec concentration de 5% de sulfate de sodium (Na₂SO₄).
- Immersion les éprouvettes dans l'eau avec concentration de 0.3 % d'acide chlorhydrique (HCl). Et immersion des éprouvettes dans l'eau sec comme témoin et comparaison les résultats.

Après immersion les éprouvettes nous renouvelons les produits tous les 15 jours.



Figure IV-18 : Conservation des éprouvettes exposées à des milieux agressifs

Ce protocole est le plus fréquent dans la bibliographie, il simule le cas typique de l'attaque des bétons par les sulfates à travers la pollution des sols comme par exemple les sols gypseux (M. R. Khelifa. 2009).

Au bout de 28 et 60 jours d'immersion dans les solutions agressives, les éprouvettes ont été écrasées. Les résistances à la compression issues de ces essais nous ont donné une idée sur la durabilité de ces bétons.



Figure IV-19: cure des éprouvettes sous l'eau



Figure IV-20:préparation des éprouvettes pour la pesé

Après 07 jours de cure sous l'eau (Figure IV-19), les éprouvettes sont pesées pour déterminer M_1 (Figure IV-20), puis elles sont immergées dans les différentes solutions. Les éprouvettes sont nettoyées bien avec l'eau douce pour éliminer le composite altéré et puis on les laisse sécher pendant une heure. Ensuite on procède à la pesée de ces dernières d'où la masse M_2 . cette opération est effectuée après 7, 14, 21, 28, 42, 60 jours après l'immersion. Et toujours la solution d'attaque chimique renouvelée chaque 14 jours. Enfin la résistante chimique est variée par la mesure de la perte et gain de masse de l'éprouvette:

$$\text{Variation de masse (\%)} = [(M_1 - M_2) / M_1] \times 100 \quad (\text{IV -29})$$

Avec M_1 , M_2 les masses des éprouvettes avant et après immersion, respectivement.

IV. 10 - FORMULATION DU BETON DE SABLE :

Pour la composition du béton de sable témoin (BSD), (BSA), et le sable étudié (BSR) nous avons utilisé un dosage en ciment et sable qui correspond à celui d'un mortier normalisé conformément à la norme EN 196-1; c'est à dire une part de ciment et trois part de sable. Concernant le dosage en eau nous avons utilisé l'essai de l'étalement à la table à secousses (Flow test) et l'essai Vébé, pour la détermination de la quantité d'eau correspondant à un mortier "plastique". Un rapport E/C de 0,62 pour béton des sable de dune et un rapport E/C de

0,58 pour le béton de sable alluvionnaire et $E/C = 0,59$ pour le béton de sable de oued Rtem sont obtenu à partir de ces tests.

Les compositions des échantillons utilisés dans l'étude pour un mètre cube de béton sont résumé le tableau suivant:

Tableau IV.15: Composition du béton de sable étudié

Types d'échantillon	Sable en (kg)	Ciment en (kg)	Eau en (l)	E/C
BSD	1376.62	458.87	284.50	0.62
BSA	1388.64	462.88	268.47	0.58
BSR	1385.62	461.87	272.50	0.59

IV. 10. 1 CONFECTION ET CURE DES ÉPROUVETTES :

IV. 10. 1. 1 Moules pour éprouvettes :

Conformément à la norme européenne (NF EN 12390-1, 2001), pour les besoins de notre étude et selon la nature de l'essai à réaliser, on a utilisé les moules suivants, pour la confection des éprouvettes :

Moule prismatique 4x4x16 cm, et un total de 45 éprouvettes ont été confectionné pour cette partie.

IV. 10. 1. 2 –Confection des éprouvettes :

Cette étude est menée sur des éprouvettes prismatiques (40x40x160mm). Les pâte sont préparées à la main, la procédure de mélange à été faite de la manière suivante :

- Malaxage du sable sec (S) pendant une durée de 30 secondes;
- Introduction du ciment (C) puis malaxage pendant 60 secondes;
- Ajout de la quantité d'eau (E) nécessaire mélangée, puis malaxage de l'ensemble (S) + (C) +(E) durant 3min.

Le remplissage des moules est réalisé en deux couches avec vibration pour chaque couche.

IV. 10.1.3 –Conservation des éprouvettes :

Les éprouvettes sont conservées à l'air libre aux conditions ($20 \pm 5C^\circ$, $HR=50\pm 5\%$), puis démoulées au bout de 24 heures Après démoulage, les éprouvettes sont entreposées dans l'air libre. jusqu'au moment de l'essai, à une température de $20\pm 5C^\circ$, ou dans une salle en laboratoire à $20 \pm 5C^\circ$. Le nombre d'éprouvettes par essai et par échéance est de trois (03).

La conservation des éprouvettes pour les essais de compression et traction par flexion dans l'air libre à différentes échéances (07, 14,28) pour subir les essais.

La conservation des éprouvettes pour les essais de rhéologiques (retrait) dans l'air libre à différentes échéances (01, 02, 03, 07, 14 et 28) pour subir les essais.

IV. 10. 2- ESSAIS REALISES, RESULTATS ET INTERPRETATIONS :

Dans le présent partie, sont exposés les différents résultats expérimentaux relatifs aux différents essais effectués sur les bétons de sable, conformément aux modes opératoires mentionnés au chapitre V. Une analyse et une discussion des résultats, suivies d'une comparaison avec ceux reproduits dans la littérature, seront également présentées.

Type de béton **BSD** avec 100% de sable de dune.

Type de béton **BSA** avec 100% de sable alluvionnaire.

Type de béton **BSR** avec 100% de oued Rtem.

IV. 10. 2. 1- Caractéristiques du béton à l'état frais:

IV. 10. 2. 1. 1- Les essais d'ouvrabilité:

Dans ce travail l'ouvrabilité du béton de sable est mesurée à l'aide de divers essais à savoir : la table à secousses (flow test), essai Vébé et l'essai d'écoulement au maniabilimètre (LCPC).

IV. 10. 2. 1. 1. 1- Essai de l'étalement à la table à secousses (Flow test)

Cet essai (Flow test) est une mesure testant plus particulièrement l'aptitude du béton avec ou sans gravier à s'étaler par écoulement (DREUX G. FESTA J, 1998), afin de déterminer la quantité d'eau nécessaire pour la composition de ce dernier (Figure IV-21). Il est défini et réalisé selon (NF EN 12350-5, 2009).

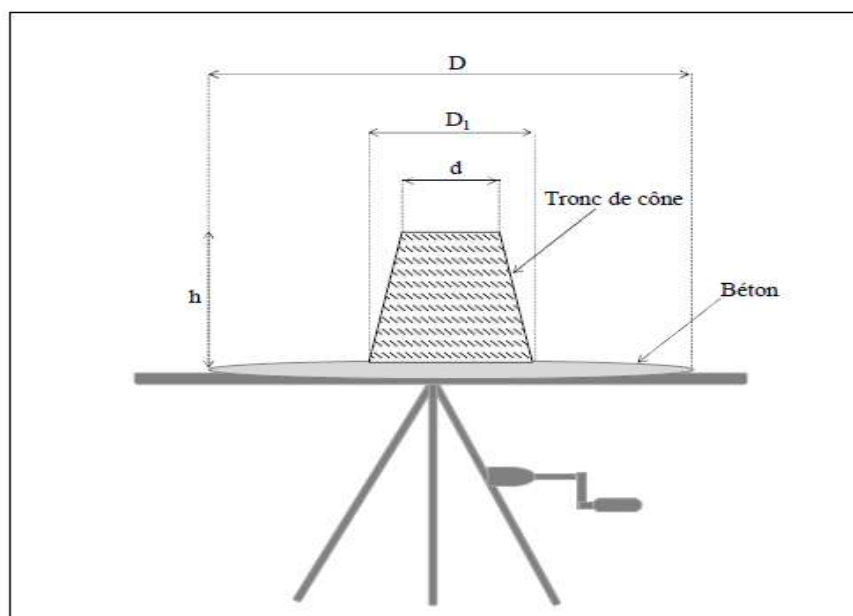


Figure IV-21: Table à secousses (Flow test) (DREUX G. FESTA J, 1998).

Tableau IV.16 montre les résultats du diamètre de l'étalement en fonction des rapports E/C variant entre 0,59 et 0,62. Ces résultats correspondent à la moyenne de trois mesures par chaque types de béton.

Tableau IV.16: Diamètre de l'étalement du béton de sable

Types des béton	E/C	Sable (kg)	ciment(kg)	Eau (l)	Etalement (cm)	Etalement %
BSD	0.58	1388.64	462.88	268.47	31.8	27.2
	0.60	1382.60	460.86	276.52	33.5	34
	0.62	1376.62	458.87	284.50	38.1	52.4
BSA	0.55	1397.80	465.93	256.26	31.55	26.2
	0.57	1391.68	463.89	264.42	34.5	38
	0.59	1385.62	461.87	272.50	38.2	52.8
BSR	0.57	1391.68	463.89	264.42	30.7	22.8
	0.58	1388.64	462.88	268.47	35.4	41.6
	0.59	1385.62	461.87	272.50	40.15	60.6

Les rapports E/C ayant les valeurs 0,58 et 0,60 pour le béton de sable de dune ne correspondent pas aux résultats souhaités, du fait, qu'après l'essai nous avons observé un manque de fluidité qui s'est manifesté par une discontinuité dans la pâte du béton de sable de dune (BSD). Quant au rapport E/C = 0,62, une meilleur fluidité du béton de sable que celle observée pour les deux rapports E/C de valeurs 0,58 et 0,60 a été obtenue, avec une forme circulaire et sans ségrégation de la pâte, possédant un diamètre de l'étalement moyen de 38,10 cm, qui correspond à un béton de classe F2 suivant la norme standard (Dupain et al, 2000). Pour ces derniers possédants les caractéristiques d'un béton plastique ou béton ayant une bonne ouvrabilité avec un temps d'écoulement situé entre 20 et 30 secondes.

Et le rapport E/C ayant les valeurs 0,55 et 0,57 pour le béton de sable alluvionnaire est donne un résultat négative pour la fluidité mais dans le rapport E/C= 0,59 est donne un meilleur résultat pour la fluidité possédant un diamètre de l'étalement moyen de 38,20 cm, qui correspond à un béton de classe F2. Et pour le béton de sable de oued Rtem en utilise des rapports de E/C des valeurs 0,57. 0,58 et 0,59. Après l'essai nous avons trouvé par les valeurs variant de 0,57 et 0,58 un résultats mauvais c'est-à-dire manque de fluidité et discontinuité dans la pate de béton de sable de oued Rtem, et le résultat obtenue par le valeur de 0,59 est donne un meilleur fluidité c'est-à-dire la pâte ce forme circulaire et sans ségrégation, possédant un diamètre de l'étalement moyen de 40,15 cm,

V. 10. 2. 1. 1. 2- Essai au maniabilimètre

L'appareil utilisé est appelé Maniabilimètre (figure IV-22 et la photo A2-11 dans l'annexe), il consiste en un boîtier parallélépipédique métallique (7.5cm x 7.5cm x 15cm), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible.

Cet essai permet d'estimer la fluidité des bétons (maniabilimètre A) et des mortiers (maniabilimètre B par la mesure du temps d'écoulement de ces derniers. Il est défini conformément à la norme (NF P 18-452, 1988) et (NF P15-433, 1994)

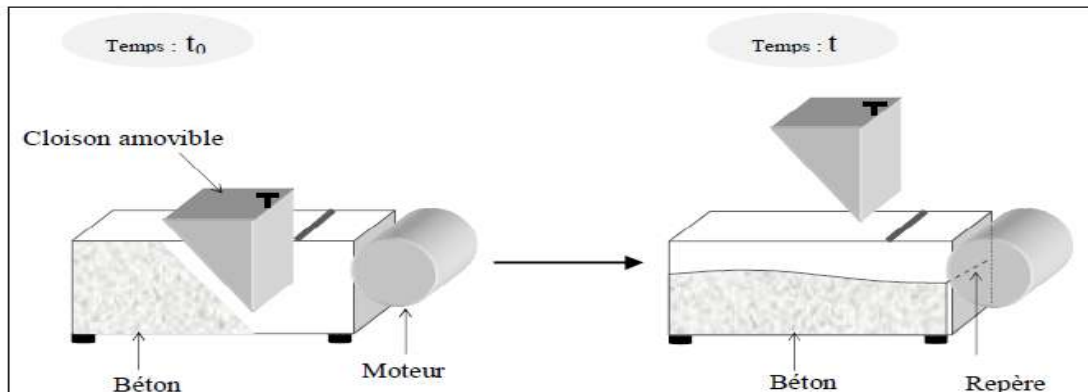


Figure IV-22: Principe de fonctionnement du maniabilimètre "B".

Le mortier est introduit dans la partie désigné sur la figure V.31, délimitée par la cloison et mis en place par piquage en quatre couches. Quatre minutes après la fin du malaxage, la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibreur et le déclenchement d'un chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule, le chronomètre est arrêté une fois le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier (Fig. IV-22).

Le temps t mis par le mortier pour s'écouler caractérise sa consistance, \leq $>$ ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide comme illustré au tableau IV.17 .

Tableau IV.17 : Classe de consistance des bétons (NF P 15-301, 1994).

Classe de consistance	Durée en (s)
Ferme	$t \geq 40$
plastique	$20 < t \leq 30$
Très plastique	$10 < t \leq 20$
Fluide	$t \leq 10$

Les résultats obtenus au niveau de laboratoire sont présentés sur le tableau IV.18

Tableau IV.18 : Les résultats de l'essai de maniabilité du béton de sable

Composition de béton de sable	E/C	Temps d'écoulement (s)
100% SD	0.62	24
100%SA	0.59	29
100%SR	0.59	28

Concernant la formulation du béton de sable utilisé, nous avons gardé le rapport E/C de la composition de la matrice du béton de sable selon les valeurs donnent un bon résultat voir le tableau IV.18. toutes les valeurs des temps entre 20 et 30s c'est-à-dire un béton plastique.

IV. 10. 2. 2- Caractéristiques du béton de sable à l'état durcis:

Généralement les bétons sont classés selon leurs résistances à 28 jours. Cette dernière est souvent influencée par plusieurs facteurs, entre autres le rapport E/C, le dosage et la classe de ciment, la nature et les proportions des granulats, les conditions climatiques et de mise en œuvre sans oublier l'influence des ajouts (Fillers, Fibres,...). La mesure de la résistance se fait par les essais de flexion et de compression permettant de déterminer la contrainte de rupture à la traction par flexion et la contrainte de rupture à la compression des bétons.

V. 10. 2. 2. 1- Essai de traction par flexion:

Cet essai est établi suivant la norme (NF EN 196-1, 2006). La figure IV.23 présente le dispositif à

rouleau utilisé en flexion trois points ; comportant deux appuis à rouleau distant de 100 mm sur lesquels repose l'éprouvette prismatique 40x40x160 mm, et un troisième rouleau équidistant des deux premiers, transmettant une charge concentrée F_f (Dupain et al, 2000).

La formule qui nous permet de calculer la résistance à la flexion est comme suit :

$$R_f = 1.5 \frac{F_f}{b^3} l$$

(IV. 30)

Où :

R_f : Résistance à la flexion en MPa ;

F_f : Charge de rupture de l'éprouvette en flexion N ;

l : Longueur qui sépare les deux appuis inférieurs en mm ;

b : Côté de l'éprouvette en mm.

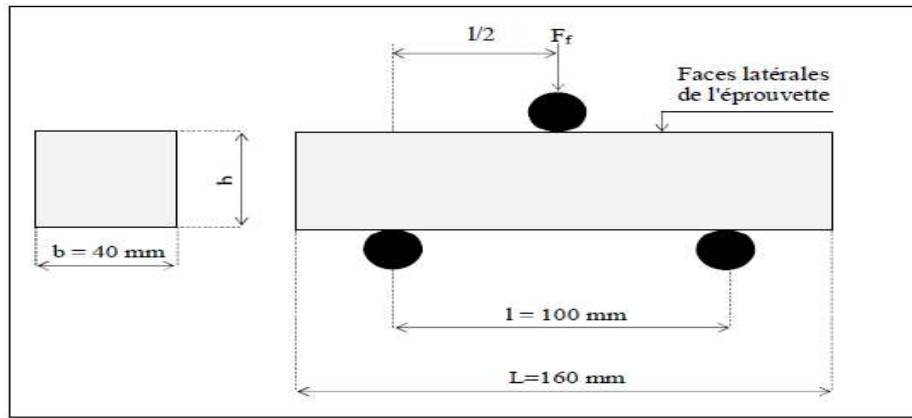


Figure IV.23 : Dispositif pour l'essai de traction par flexion (3 points)
(Dupain et al, 2000).

V. 10. 2. 2. 2- Essai de compression

Cet essai est régi suivant la norme (NF EN 196-1, 2006), exécuté avec une presse (Figure IV.24) pour matériaux durs, comportant une mâchoire inférieure fixe et une mâchoire supérieure mobile.

La résistance à la compression sera calculée selon l'équation IV.31 :

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

(IV. 31)

Où :

R_c : Résistance à la compression en MPa ;

F_c : Charge de rupture en N ;

b : Côté de l'éprouvette en mm.

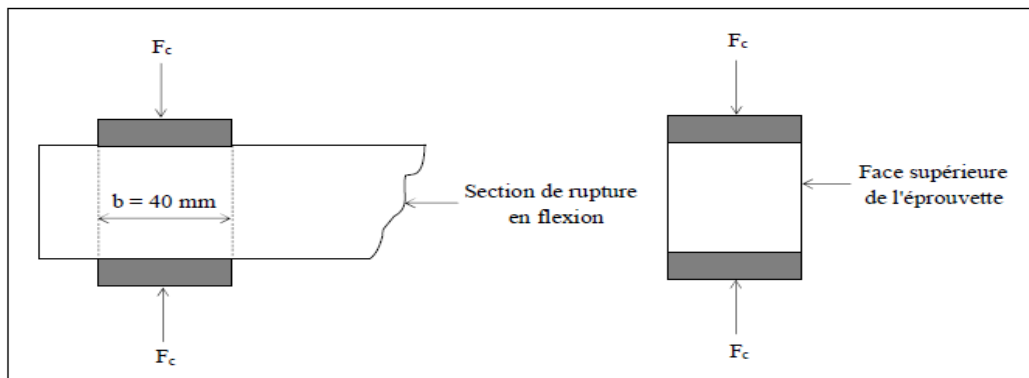


Figure IV.24 : Dispositif de rupture en compression (Dupain et al, 2000)

V. 10. 2. 2. 3- Essai de retrait :

Le retrait du béton est un phénomène très complexe du fait qu'il est lié à plusieurs paramètres à savoir la composition du béton, la qualité des granulats, la nature et le dosage en

ciment, la quantité d'eau de gâchage et les conditions de conservation.

Il est défini conformément à la norme (NF P15-433, 1994). La mesure du retrait ou du gonflement, se fait par le biais d'un appareil appelé rétractomètre (Figure IV.25), muni d'un comparateur digital servant à mesurer les variations suivant l'axe longitudinal des éprouvettes 40x40x160 mm, dotées à leurs extrémités de plots métalliques noyés dans le béton.

Dans ce travail, l'évaluation du retrait a été réalisée en prenant la moyenne de trois éprouvettes identiques pour chaque mixture suivant un échéancier bien défini au préalable à savoir : 1, 2, 3, 7, 14, et 28 jours.

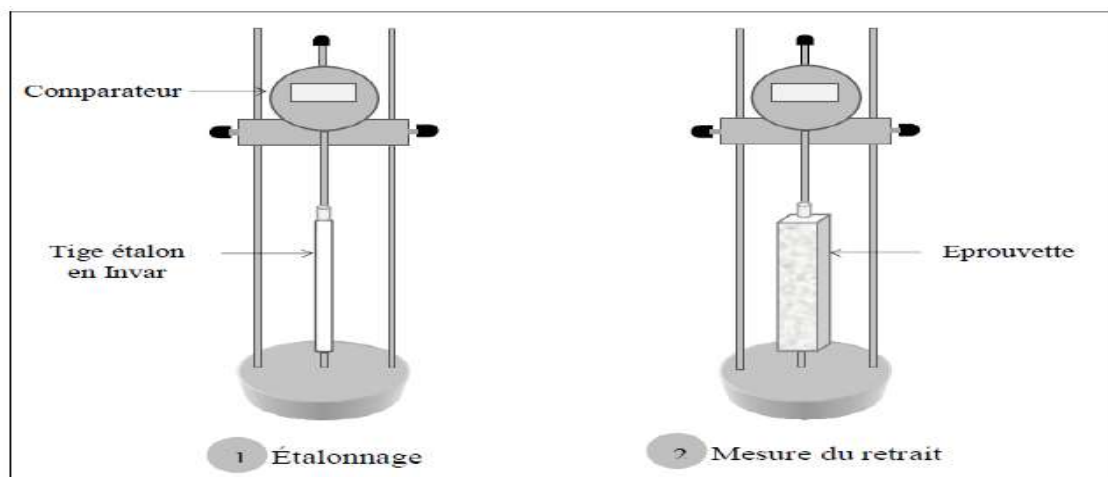


Figure IV.25: Appareillage pour la mesure du retrait (Rétractomètre).

Le retrait, à l'âge déterminé, est égal à la moyenne arithmétique, arrondie à la dizaine la plus proche, des valeurs mesurées sur chacune des trois éprouvettes. L'objectif de l'essai il s'agit d'évaluer le retrait, que provoque les différents bétons de sable étudiés sur des éprouvettes.

V. 10. 2. 2. 4- Essai de durabilité sur le béton de sable :

Dans cette étude des éprouvettes prismatiques de (4x4x16) cm³, ont été exposées à des milieux agressifs : Sulfate de sodium (Na₂SO₄) et Acide chlorhydrique (HCl) (figure IV-26).

Le milieu d'immersion agressive est définie comme le programme suivant :

- Immersion des éprouvettes dans l'eau avec concentration de 5% de sulfate de sodium (Na₂SO₄).
- Immersion des éprouvettes dans l'eau avec concentration de 0.3 % d'acide chlorhydrique (HCl). Et immersion des éprouvettes dans l'eau sec comme témoin et comparaison des résultats.

Après immersion des éprouvettes nous renouvelons les produits tous les 15 jours.



Figure IV-26 : Conservation des éprouvettes exposées à des milieux agressifs

Au bout de 28 et 60 jours d'immersion dans les solutions agressives, les éprouvettes ont été écrasées. Les résistances à la compression issues de ces essais nous ont donné une idée sur la durabilité de ces bétons.



Figure IV-27: cure des éprouvettes sous l'eau



Figure IV-28:préparation des éprouvettes pour la pesé

Après 07 jours de cure sous l'eau (Figure IV-27, les éprouvettes sont pesées pour déterminer M1 (Figure IV-28), puis elles sont immergées dans les différentes solutions ci-dessus. Les éprouvettes sont nettoyées bien avec l'eau douce pour éliminer le composite altéré et puis on les laisse sécher pendant une heure. Ensuite on procède à la pesée de ces dernières d'où la masse M2 . Cette opération est effectuée après 7, 14, 28, 60 jours après l'immersion. Et toujours la solution d'attaque renouvelée chaque 15 jours.

Enfin la résistante chimique est varié par la mesure de la perte et gain de masse de l'éprouvette voir la formule (IV -29).

IV. 11- CONCLUSION:

Nous concluons cet chapitre dans les caractéristiques des matériaux utilisés :

Le ciment utilisé est le CPJ₄₅-CEMII-A/42,5 de poids spécifique inférieur à la moyenne habituelle.

Les mélanges ont été réalisés par les mêmes types de gravier (3/8) et (8/15) provenant de la carrière Ben Brahim (Haoud El Hamra située entre Ouargla et Hassi Messaoud).

le sable de oued Rtem (SR), inscrit dans le fuseau granulaire, qui se caractérise par une granulométrie étalée d'une propreté et analyse chimique admissible, et un taux d'absorption d'eau faible, les autres sables des oueds(SN) ,(SM) sont riches des éléments fins caractérisés par une granulométrie très serrée, propreté mauvaise(sable argileuse),

Finalement les essais réalisés, sur les granulats des trois sables des oueds choisies, ont présenté un mauvaises propriétés physiques, physico- chimiques et mécaniques pour les sables des oueds N'sa et M'zab et donne un bonnes propriétés physiques, physico- chimiques et mécaniques pour le sable d'oued Rtem, qui répondent en général, aux spécifications exigées par la norme P 18-541 . Pour notre étude, L'utilisation donc de ces granulats présentant de bonnes caractéristiques permettra l'obtention de bétons de qualité, satisfaisant les critères de maniabilité, d'aspect des parements, de résistances et de durabilité.

Pour cette raison on propose de procédure et étude d'utilisation le sable d'oued Rtem dans le béton.

La méthode utilisé dans cet travail est la méthode de " Dreux Gorisse " cette méthode est très simple et efficace elle se base par l'obtention d'une bonne compacité avec une ouvrabilité adéquate, Préalablement le dosage de ciment dans cette étude est 400 kg/m³ dans le béton et pour le béton de sable nous avons utilisé un dosage en ciment et sable qui correspond à celui d'un béton de sable normalisé conformément à la norme; c'est à dire une part de ciment et trois part de sable. Dans le cinquième chapitre on étudiera les résultats des essais effectués.

CHAPITRE V

**ESSAIS EXPERIMENTAUX,
RESULTATS ET
INTERPRETATION**

V.1 INTRODUCTION:

Parmi les caractéristiques importantes du béton, nous avons choisi de déterminer les résistances à la compression et à la traction à 7, 14, 28 et 90 jours, et aussi d'étudier le phénomène de variation dimensionnelle (retrait, gonflement) à 1, 2, 3, 7, 14, 28 et 90 jours et l'absorption d'eau par capillarité à 7, 14 et 28 jours, durabilité à 60 jours pour le béton et béton de sable.

Généralement les bétons sont classés selon leurs résistances à 28, 60 et 90 jours. Cette dernière est souvent influencée par plusieurs facteurs entre autres nous citons :

le rapport E/C.

le dosage et la nature du ciment.

la nature et les proportions des granulats.

les conditions de conservation.

La mesure de la résistance se fait par les essais de compression et de flexion permettant de déterminer la contrainte de rupture de la compression du béton ou mortier et la contrainte de rupture de traction par flexion.

La variation dimensionnelle est souvent aggravée dans les conditions climatiques chaudes et sèches ; le béton présente dans ces conditions des retraits et des fissurations très importantes.

Dans le cadre de notre travail nous avons étudié l'influence des corrections réalisées sur le sable, sur le comportement du béton (résistance à la compression, à la flexion, retrait et ultrason, durabilité).

V. 2 - Résultats des essais sur béton frais :

Afin de faciliter la comparaison des bétons entre eux, tous les bétons ont été fabriqués à différente ouvrabilité par un affaissement au cône d'abrams.

- ◇ L'affaissement de type de béton (BSD) 100% sable de dune varie de 8cm, consistance des bétons plastiques.
- ◇ L'affaissement de type de béton (BA) 100% sable alluvionnaire varie de 10,5cm, consistance des bétons très plastiques.
- ◇ L'affaissement de type de béton (BSR) 100% sable de oued Rtem varie de 9.5cm, consistance des bétons plastiques.

Le tableau V-2 résume la variation de l'affaissement et la teneur en eau en fonction de type de béton.

Tableau (V-1): Variation de l'affaissement et la teneur en eau en fonction de type de béton

type de béton	affaissement (cm)	masse volumique du béton frais (M1) kg/m ³	masse volumique du béton durci (M2) kg/m ³	M1-M2	teneur en eau %
BSR	9.5	2418	2350	68	2,81%
BA	10,5	2410	2338	72	2,98%
BSD	8	2455	2348	107	4,35%

M1 : La masse volumique du béton frais.

M2 : La masse volumique du béton durci après 28 jours.

(M1-M2) : quantité d'eau évaporée.

La teneur en eau est égale à la quantité d'eau évaporée sur la masse volumique du béton frais.

Les résultats de l'affaissement et teneur en eau sont représentés par la figure V.1 et V.2.

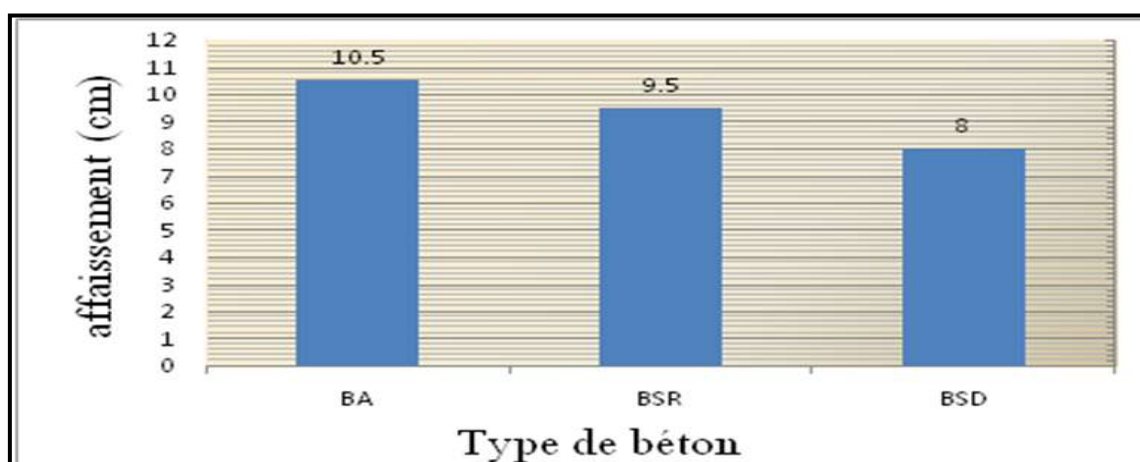


Figure (V-1) Variation de l'affaissement en fonction de type de béton.

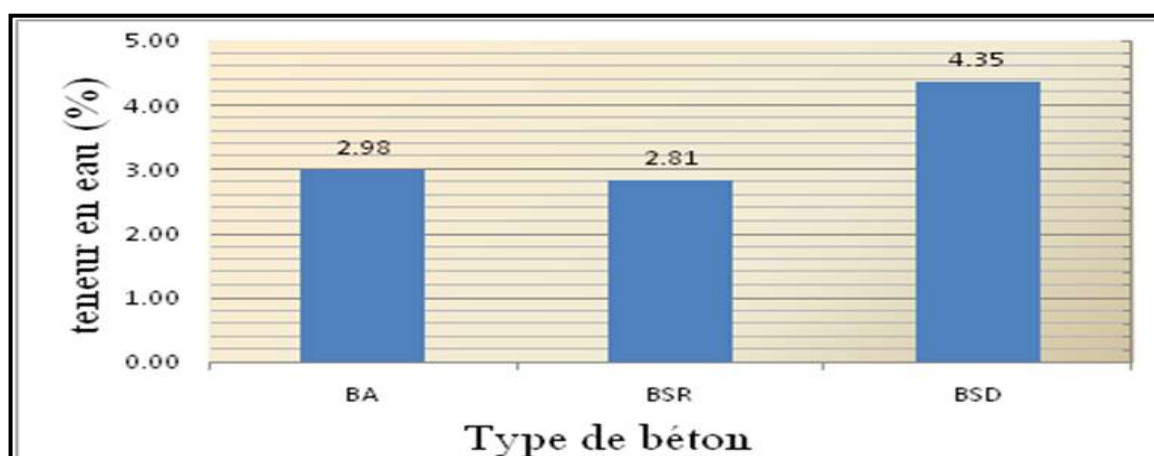


Figure (V-2) Variation de teneur en eau en fonction de type de béton.

La teneur en eau est égale la quantité d'eau évaporée sur la masse volumique du béton frais. Après extraire les résultats dénote une meilleur teneur en eau en béton de type de BSR. On remarque aussi que la teneur en eau plus grands dans le type de béton (BSD) par rapport les autres types, c'est à dire en effet l'augmentation de sable de dune dans la composition du béton augmente la teneur en eau. Le pourcentage de teneur en eau dénote une progression continue de type de béton successivement BSD.BA.BSR .

Nous concluons de ces résultats à l'augmentation des élément finis dans le composition du béton corresponde à une augmentation en eau évaporable, donc l'augmentation de dosage de grain fin produit une consommation en eau de gâchage.

C'est à dire toutes les caractéristiques des granulats, comme l'état de surface des éléments granulaires est influé sur la consommation d'eau.

V. 3- Résultats des essais sur béton durci:

V. 3. 1- Résultats des essais de compression :

Les figure V.3 , V.4 donnent les résultats de compression

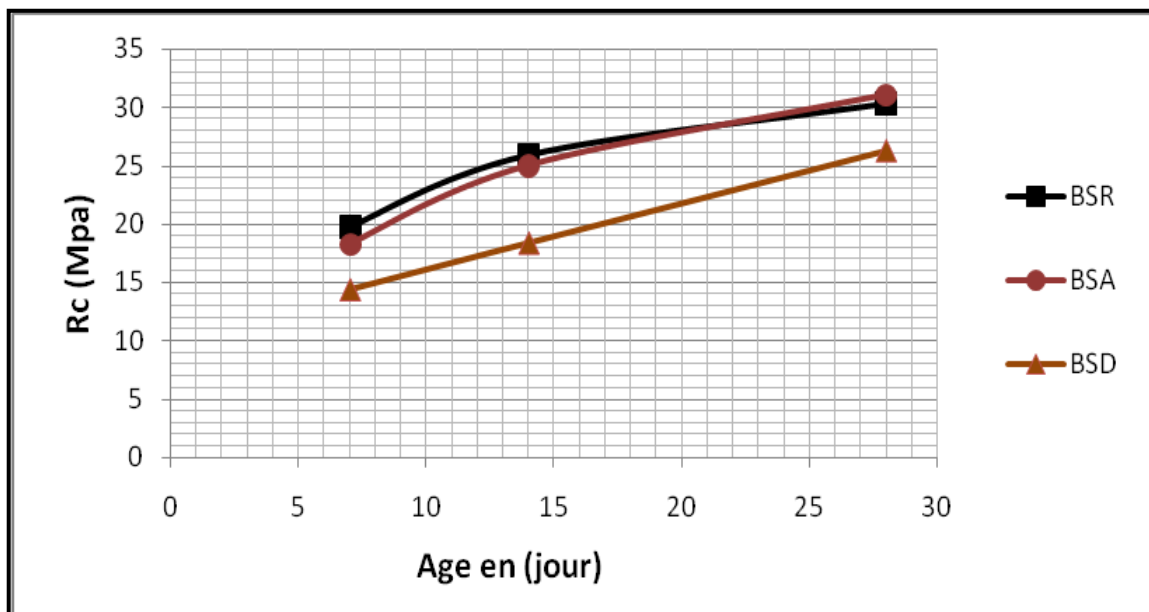


Figure (V-3) :Evolution de la résistance à la compression conservé dans l'air libre

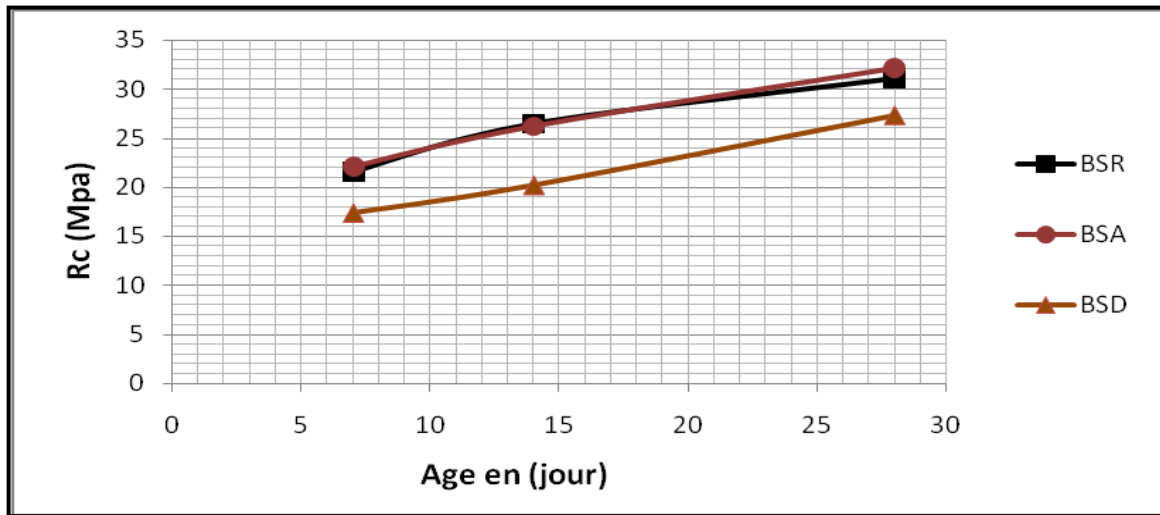


Figure (V-4) : Evolution de la résistance à la compression conservé dans l'eau

Les résultats trouvés dans Les figures V.3 et V.4, montrent les valeurs obtenues dans les deux types de cure dans l'eau et à l'air libre

Les types de béton (BA)et (BSR) présente une meilleure résistance à la compression à tous les âges d'essai et dans les deux cures

Nous remarquons ce que suit :

L'allure des courbes des bétons dénote une progression continue de la résistance en fonction de l'âge du béton ; 7, 14 et 28 jours.

L'augmentation de pourcentage les poussière dans la composition du béton, crée une diminution de la résistance à la compression du béton à l'âge de 28 jour dans tous les modes de cure.

Le tableau V-2 représente les résultats de résistance à la compression entre le béton de référence BSR et les différents bétons témoins.

Tableau V.2 : La différence des valeurs des résultats de résistance à la compression

Age	(BSR-BA)	%	(BSR-BSD)	%
7 jours	1,48	7,50	5,30	26,87
14 jours	0,93	3,58	7,51	28,98
28jours	- 0,71	-2,34	4,08	13,44

Le comportement des différents bétons BSR, BA et BSD se montre en progression contenue en fonction de l'âge 7, 14 et 28 jours néanmoins nous constatons une diminution de la résistance à la compression de béton BSD par rapport au BSR et BA qui sont notamment du BSD qui est 100% sable de dune et ceci dans les deux types de cures (voir tableau V .2), BA-BSR de l'ordre de 2,34% à 28 jours c'est-à-dire égalité presque.

Donc le béton de sable de oued Rtem est donne un résultat important dans le domaine de construction de béton comme le béton de sable alluvionnaire.

A cet égard on a trouve lors de la formulation du béton, que l'augmentation du dosage en éléments fins conduit à une augmentation en dosage en eau, pour le béton de sable de dune, ce qui va baisser la résistance à la compression. mais la différence entre les deux types de béton BA et BSR qui est négliger presque, justifie, par l'étude bibliographique qui donne les résultats suivants :

La résistance à la compression est influée par quelques caractéristiques du sable, à savoir, le module de finesse, l'équivalent de sable, et l'état de surface des grains.

Autre facteur, influe sur la résistance, c'est le dosage en eau, donc le béton de sable de oued Rtem (BSR)est donne un bonne résultat dans le domaine de construction de béton.

V. 3. 2 –Résultats d'essai de rupture de traction par flexion :

Les résultats de cet essai sont donnés par la figure V.5.

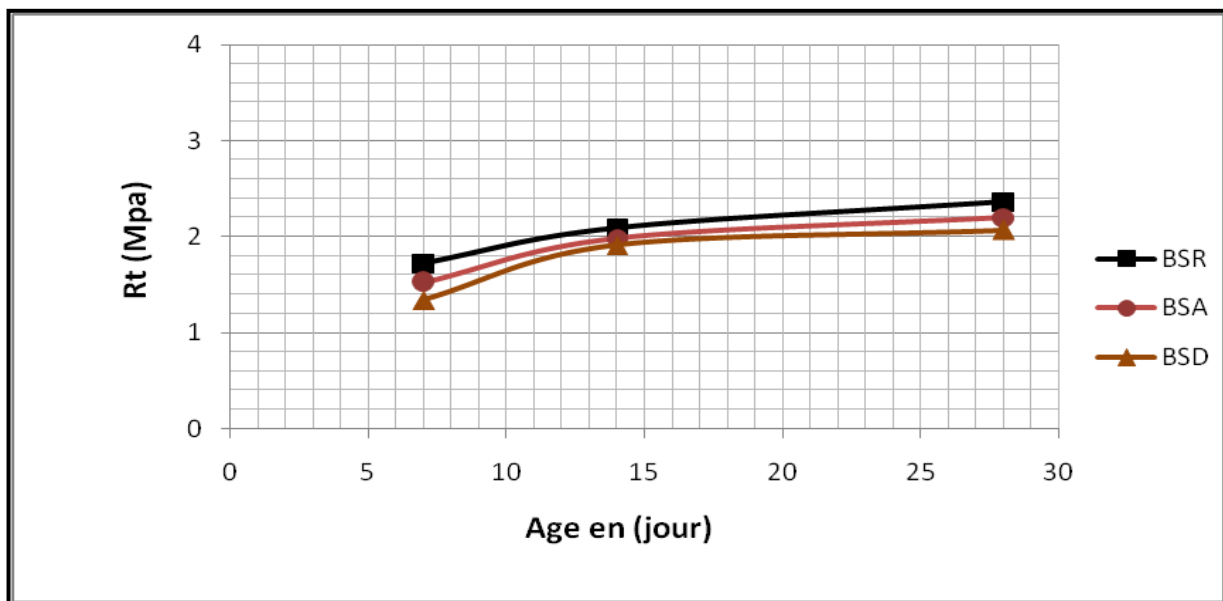


Figure (V-5) :Evolution de la résistance à la flexion dans l'air libre

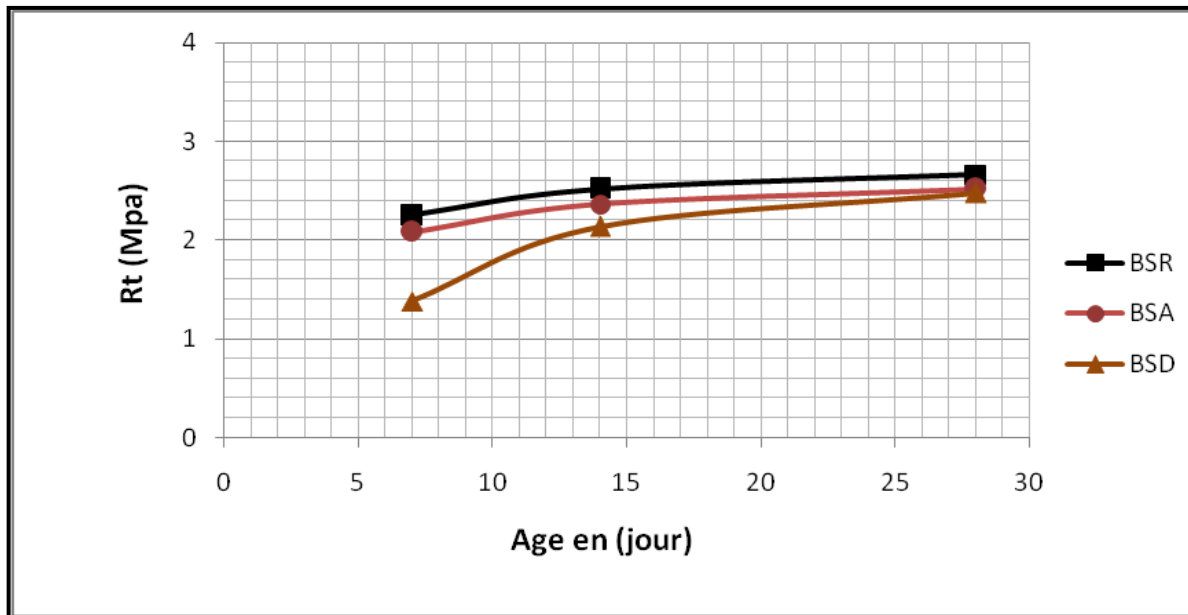


Figure (V-6) : Evolution de la résistance à la flexion dans l'eau

Les résultats donnés des courbes sur la figure V.5 et V.6, représentent la variation de la résistance à la traction des différents types de béton en fonction de l'âge :

L'allure des courbes des bétons dénote une progression croissante de la résistance à la traction en fonction de l'âge,

Les résistances enregistrées à 07, 14 et 28 jours des différents bétons sont très rapprochées entre eux et peu dispersés.

Le béton BSR a donné les meilleures résistances à 7, 14 et 28 jours, ce béton est constitué de 100% sable de oued Rtem par rapport aux autres bétons. Probablement l'augmentation de quantité de poussière diminue l'adhérence granulat/matrice, c'est-à-dire l'influence de pourcentage d'équivalent de sable et la propreté voir le tableau (IV-4), ce qui diminue par la suite la résistance à la traction. C'est pour cette raison que les bétons BA et BSD ont une résistance relativement plus faible par rapport au béton de type BSR. peut être à cause des caractéristiques de sable comme (composition chimique, minéralogique et distribution la dimension des grains de sable...ect).

L'analyse qu'en peut déduire sur la représentation graphique des différents résultats obtenue entre les compositions des bétons, nous remarquons que les courbes sont en progression continues avec l'âge 7, 14 et 28 jours.

le tableau V-3 représente la différence des résultats entre les béton (BA-BASD) et (BA-BSD) à 7, 14 et 28 jours d'âge.

Tableau V-3 La différence des valeurs des résultats de résistance à la traction

Age	(BSR-BA)	%	(BSR-BSD)	%
7 jours	0,20	11,62	0,38	28,35
14 jours	0,11	5,26	0,18	09,42
28 jours	0,16	6,77	0,29	14,00

D'après le tableau V-3 nous constatons une progression de la résistance à la traction en fonction des ages néanmoins il y a une diminution des béton BA et BSD par rapport au béton BSR de l'ordre de

BSR-BA → 6,77% à 28 jours

BSR-BSD → 14,00% à 28 jours

A cet différence justifié la traction de BSR peut être l'aide de traction des aciers dans le béton armées.

V. 3. 3- Résultats de retrait :

Les résultats des essais de retrait sont représentés les figure V-7 et V-8.

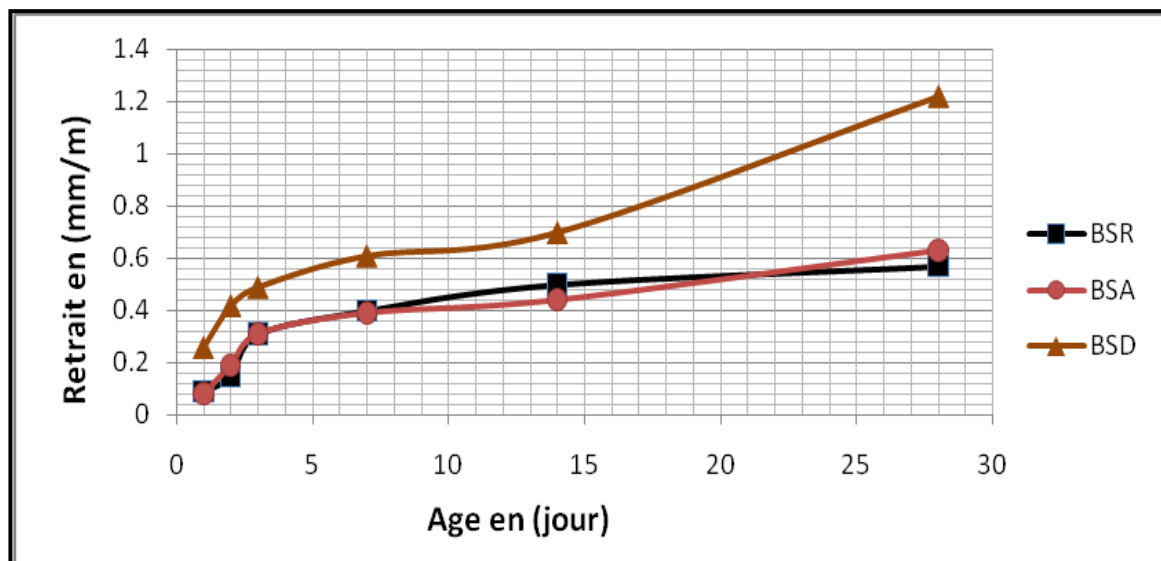


Figure (V-7): Evolution de Retrait en fonction d'âge

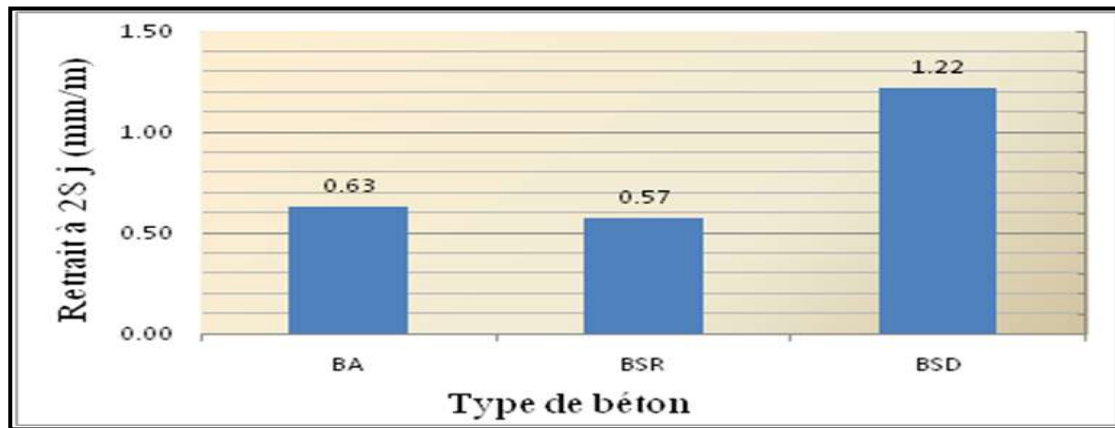


Figure (V-8): Variation de retrait en fonction de type du béton à 28 jours

Les résultats présentés sur la figure V.7, montre que le retrait à 1, 2, 3, 7, 14, 28, 90 jours des types de béton BSR étudié et leur comparaison par les deux types de béton BA, BSD qui est témoins , sont rapprochés les uns des autres, toute fois les résultats obtenus à 28 jours sont situés entre 0,57 et 1,22 (mm/m) On note que le retrait du béton à base de sable de dune est très grand de type de béton BSR.

Il faut préciser que les résultats obtenus sont au delà des tolérances spécifiques aux régions désertiques (0,5mm/m) (NF P 18-427, 1996) .

En faisant la comparaison des résultats entre les différents bétons proposée BA, BSD et BSR aux âges suivants 1, 2, 3, 7, 14, 28 et 90 jours (voir figure V.7) nous constatons que le retrait augmente avec le temps, mais ce qui est intéressant on remarque que l'écart devient plus important à partir de 1^{ère} , 2^{ème} et 3^{ème} jour entre le béton, mais au 28^{ème} jour les béton BA et BSR se rapproche 0,63 et 0,57 on peut dire que le béton pourrait être acceptable, par contre le BSD augmente jusqu'à 1,22mm/m c'est-à-dire supérieure au environ de 50% par rapport les autres types du béton.

le tableau V-4 représente la différence des résultats entre les béton (BSR-BA) et (BSR-BSD) à 1, 2, 3, 7, 14 et 28 jours d'age.

Tableau(V-4) :La différence des valeurs des résultats de retrait

Age	BSR-BA	%	BSR-BSD	%
1 jours	0,01	12,5	- 0,17	65,38
2 jours	- 0,04	21,05	- 0,27	64,28
3 jours	00	00	- 0,18	36,73
7 jours	0,01	2,56	- 0,19	31,14
14 jours	0,06	13,63	- 0,20	28,57
28 jours	- 0,06	9,52	- 0,65	53,27

Nous pouvons déduire que les résultats de différence entre les bétons BSR-BA sont inférieurs aux résultats de différence de béton BSR-BSD à cause du dosage en sable de dune. la conclusion qu'on peut faire de cette analyse c'est que le sable de dune a une faculté assez importante d'absorption d'eau pour l'ouvrabilité du béton, par conséquent la durée de retrait devient très importante dans le temps et plus grandes en valeur d'où fragilité du matériau.

Donc le retrait de béton a base de sable de oued Rtem BSR après 28 jours est donne meilleur résultat par rapport le béton a base de sable alluvionnaire de hassi sayeh a cause de facteur d'homogénéité des grains, nous remarquons a la figure de granulométrie des différents sables la plus parts de quantité de SR est moyen de dimension par contre le SA est homogène, c'est pour ça influe sur le retrait.

V. 3. 4-Résultats d'essai ultrasonique :

Les essais ultrasoniques ont été effectués sur des éprouvettes cylindriques (16*32cm) sur les trois types des bétons.

L'essai a été effectué conformément à la norme française (NF P 18-418, 1989). Les résultats des essais sont représentés sur la figure V-9.

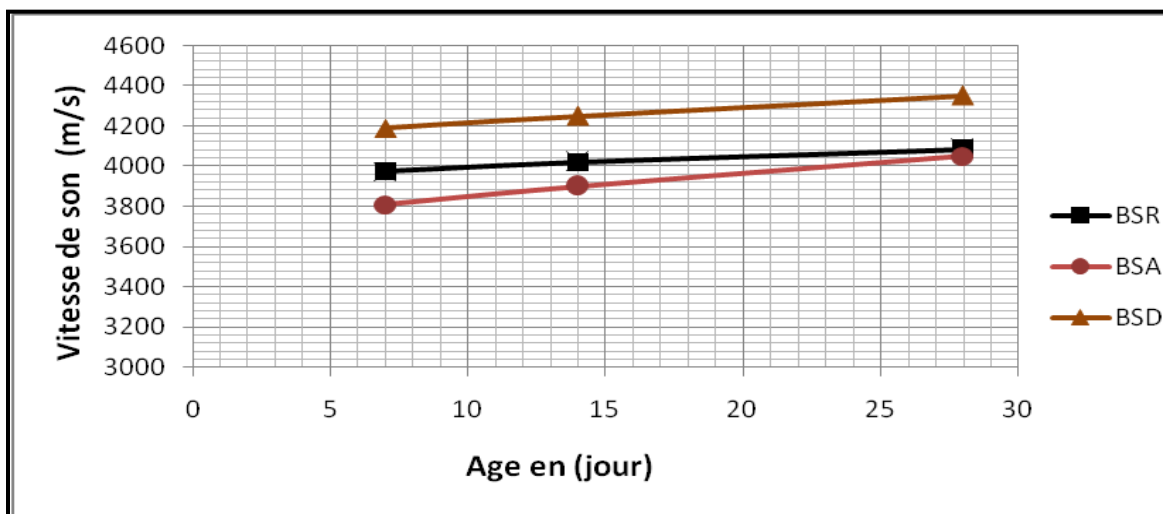


Figure (V-9): Variation de la vitesse du son en fonction d'âge d'essai

La figure (V -9) représente les résultats des essais de propagation du son à différents ages pour les bétons de type BSR, BA, BSD.

D'après les résultats, le béton de type (BSD) est le béton le plus compact dans cette étude.

Dans les différents essais, les bétons BSD donne un meilleur résultat , par contre le béton de type BA présente les résultats les plus faibles et BSR est donné moyen résultat .

A travers ces constatations, on peut traduire les résultats comme suit :

- Le béton de sable avec 100% sable de dune, donnent un béton plus compact que le béton avec sable alluvionnaire seulement.

L'allure des courbes des bétons ainsi que les résultats dénotent une progression continue de la vitesse de son en fonction de module de finesse et en fonction du temps

Après avoir (annexe 05) (CHERAIT Y . NAFAA Z E, 2007) on remarque toutes les bétons sont donnent bonne qualité.

le tableau V-5 représenter les résultats de différence de vitesse de son entre les bétons BSR-BA et BSR-BSD en fonction de l'âge du béton

Tableau (V-5) :La différence des valeurs des résultats de vitesse de son

Age	BSR-BA	%	BSR-BSD	%
7 jours	165	04,33	- 215	05,13
14 jours	120	03,07	- 230	05,41
28jours	36	00,88	- 264	06,06

Nous résumons les résultats de différence entre les bétons BSR-BA sont inférieur aux résultats de différence des bétons et BSR-BSD à cause d'augmentation de module de finesse voir le tableau(IV-8).

La conclusion qu'on peut faire de cette analyse c'est que le BSD a un excès important d'évaporation d'eau et les grains de sable de dune dans le béton BSD sont très compactes par rapport aux autres types de béton BSR et BA à cause de la finesse de ces sables.

V. 3. 5 -Mesure du module d'élasticité dynamique :

Les résultats de calcul obtenu de module d'élasticité dynamique en fonction de type du béton à différents d'ages en (GPa) sont représentés dans la figure V-10.

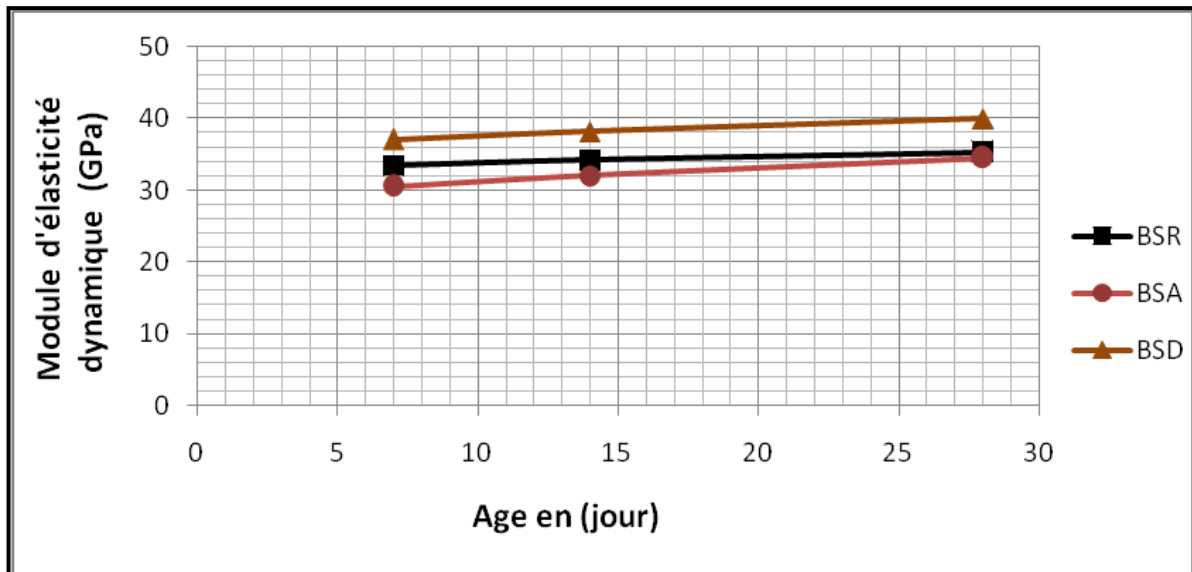


Figure (V-10) : Variation de module d'élasticité dynamique en fonction d'âge

La figure (V -10) représente les résultats des essais de module d'élasticité dynamique en différents ages pour les bétons de type BSR, BA, BSD.

L'allure des courbes des bétons dénote une progression continue de module d'élasticité dynamique en fonction de l'âge, La figure (V-10) représente les résultats des essais de variation du module d'élasticité dynamique en fonction du type de béton, la figure considérées à avec 100% sable de dune des résultats mieux que le béton de type de (BSR) et le béton avec 100% sable de oued Rtem (BSR) considérées mieux résultats que le béton de type de (BA). Plus la vitesse du son augmente plus le module d'élasticité devient plus grand.

on a remarqué une différence importante entre les valeurs de module d'élasticité obtenus en fonction de vitesse du son par rapport aux modules déterminés théoriquement.

La relation entre le module d'élasticité (figure V-10) et la résistance de compression (figure V.3 , V.4), pour même type de béton le module d'élasticité croissent en fonction de la résistances de compression . Autrement dit, plus la résistance augmente, plus module d'élasticité augmentent. Par contre pour différent types des bétons le module d'élasticité décroissent en fonction de la résistances de compression c'est-à-dire cet diminution à cause de granulométrie et distribution des grains.

On conclure le facteur qui est plus impact pour le module d'élasticité est la finesse de sable et la proportion des éléments fins.

V. 3 . 6 - Résultats d'absorption d'eau par capillarité:

La mesure des coefficients d'absorption capillaire en fonction de temps et la racine carrée du temps, sont représentés sur les figures V-11 et V-12.

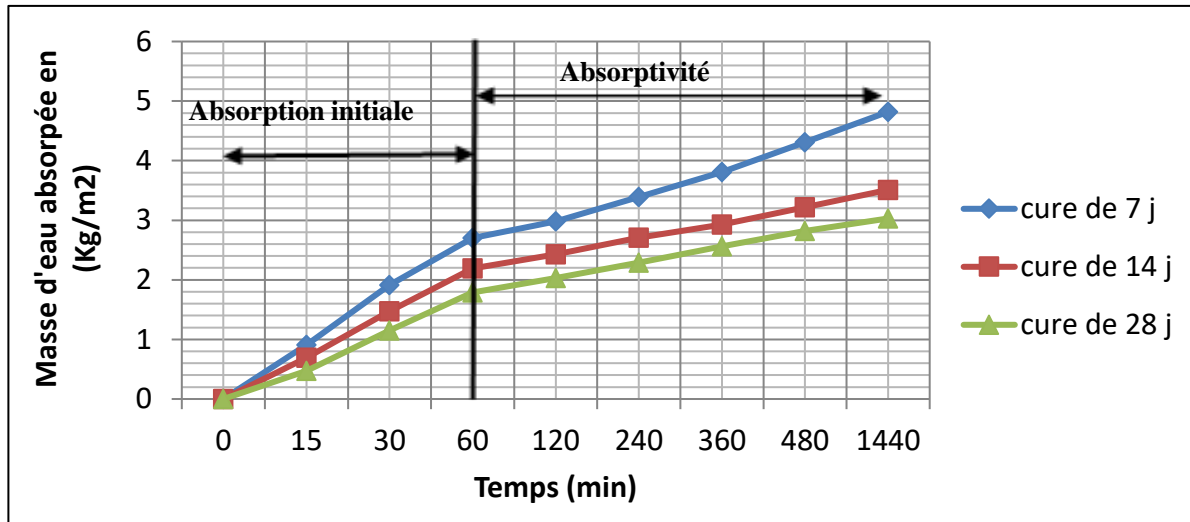


Figure V-11 : Absorption d'eau par capillaire pour différent cure de béton en fonction de temps

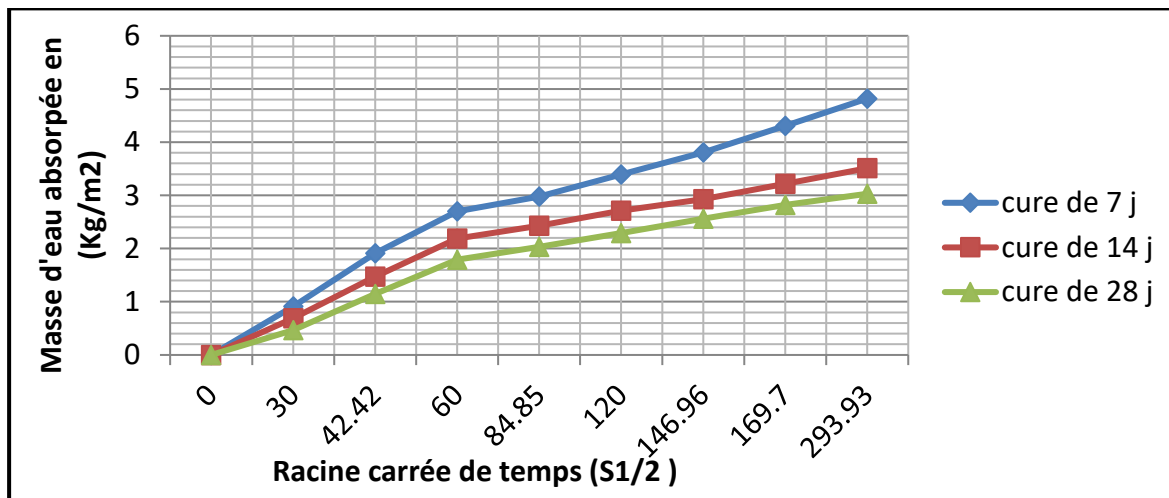


Figure V-12 : Absorption d'eau par capillaire pour différent cure de béton en fonction de racine carrée de temps

La figure (V-11) représente les résultats des essais de coefficient d'absorption d'eau en fonction de temps, L'allure de cet courbe de béton dénote une progression continue.

les résultats de la cinétique d'absorption exprimée en terme de masse d'eau absorbée par unité de surface en fonction de la racine carrée du temps des différents types de cure de temps.

On remarque dans la figure ci dessus , que dès la première heure de l'essai, la cinétique d'absorption capillaire de tous les cures augmente rapidement. Autrement dit, plus la durée de durcissement d'échantillon augmente, plus le taux d'absorption initiale diminue. A titre

d'exemple on observe clairement l'influence de la cure sur la diminution de ce taux d'absorption. Elle est d'environ 27 %, 36.6 % par rapport au béton à une cure de 7, 14 et 28 jours successivement après 24 heures après d'essai.

L'absorptivité désigne la vitesse d'absorption par remontée capillaire est calculé par la formule (IV -28) qui est extrait par la courbe en calculant la pente de la droite, la première phase l'absorption est enregistrée durant la première heure de l'essai et la deuxième phase calculent l'absorptivité sur la période comprise entre 1 h et 24 h Les résultats obtenues sont représentent dans le tableau suivant.

Tableau V.6: Absorptivité d'eau (S) obtenue pour les différents âges des cures

Age de durcissement (jours) Phase d'essai	Absorptivité d'eau initial S (Kg.m ⁻² .s ^{1/2})		
	Cure 7 j	Cure 14 j	Cure 28 j
1 ^{ère} phase(0-1heur)	0.045	0.037	0.030
2 ^{ème} phase(1-24heurs)	0.009	0.006	0.005

On remarque dans le tableau ci dessus , la première phase heure de l'essai, la cinétique d'absorption capillaire de tous les cures augmente rapidement par rapport au deuxième phase La pente de première phase assez forte caractérise l'absorption d'eau initiale Cette eau est retenue par les capillaires de plus grands diamètres situés en surface, et la pente de deuxième phase assez faible caractérise l'absorption d'eau le remplissage des capillaires de plus en plus fins.

C'est-à-dire le phénomène d'absorption d'eau par capillarité très importants dès la première heure de l'essai.

Le coefficient d'absorption caractérise la capacité d'absorption d'un béton dans le temps. Plus le réseau poreux est fin, plus la cinétique d'absorption et par conséquent le coefficient d'absorption sont faibles.

La comparaison des résultats d'essais d'absorption d'eau par capillarité après 28 jours entre le béton BSR par rapport aux autres béton de références BSD et BSA sont résumé dans les figures (V-13),(V-14)

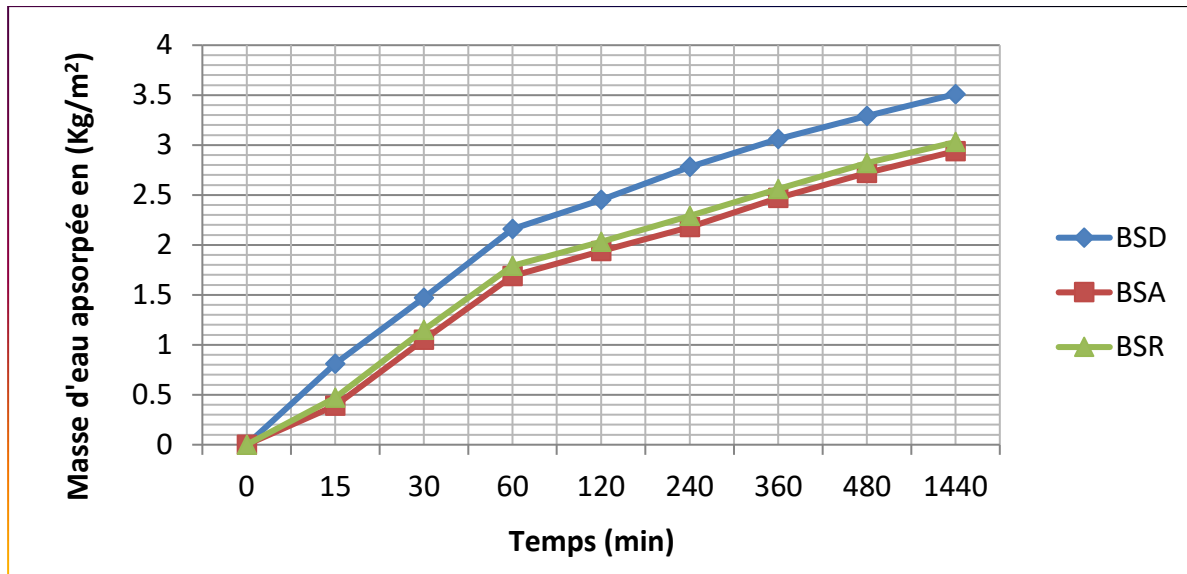


Figure V-13 : Absorption d'eau par capillaire pour différent types de béton en fonction de temps

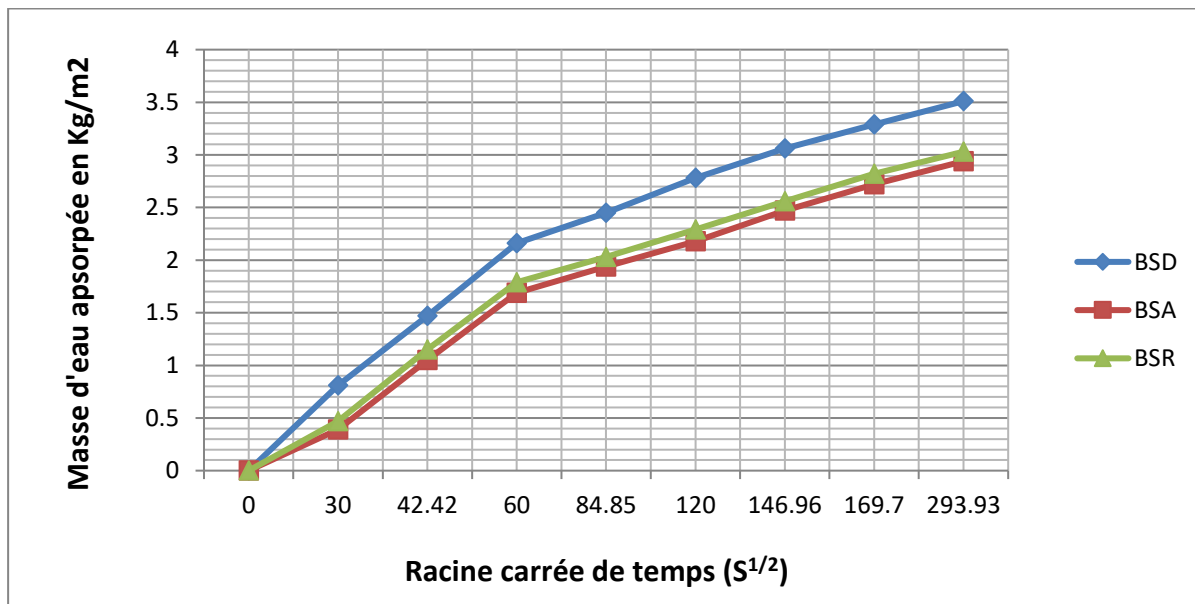


Figure V-14: Absorption d'eau par capillaire pour différent types de béton en fonction de racine carrée de temps

La figure V-14 présente les résultats de la cinétique d'absorption exprimée en terme de masse d'eau absorbée par unité de surface en fonction de la racine carrée du temps des différents types de béton. D'après les figures V-13 et V-14 on remarque que le coefficient d'absorption d'eau par capillarité clairement plus grand pour le béton avec 100% sable de dune BSD d'autre part, les résultats d'absorption plus proche pour les bétons BSA et BSR. L'augmentation des grains fins engendre une augmentation d'absorption d'eau.

L'augmentation de quantité des grains fins qui est provoqué un augmentation d'eau de gâchage ce dernier est provoqué un augmentation de quantité d'eau évaporé et les volumes des pores interne donc augmentation le coefficient d'absorption d'eau.

L'absorptivité d'eau des différents types des bétons sont représentent dans le tableau suivant

Tableau V.7: Absorptivité d'eau (S) en fonction de type du béton

Type de béton Phase d'essai	Absorptivité d'eau initial S (Kg.m ⁻² .s ^{1/2})		
	BSD	BSA	BSR
1 ^{ère} phase(0-1heur)	0.036	0.028	0.030
2 ^{ème} phase(1-24heurs)	0.006	0.005	0.005

On remarque dans le tableau ci dessus , l'absorptivité capillaire de tous les types des bétons est similaire.

Tout jour la phénomène d'absorption d'eau par capillarité très importants dès la première heure de l'essai.

L'augmentation des grains fins augmente, plus les coefficients d'absorptivité S augmentent.

On conclure Le phénomène d'absorption capillaire est régi par les pores capillaires (diamètre, répartition et quantité) et quelques caractéristiques influés pour l'absorption d'eau dans le béton comme la granulométrie la porosité ...ect

V. 3. 7- Résultats d'essai de durabilité sur le béton:

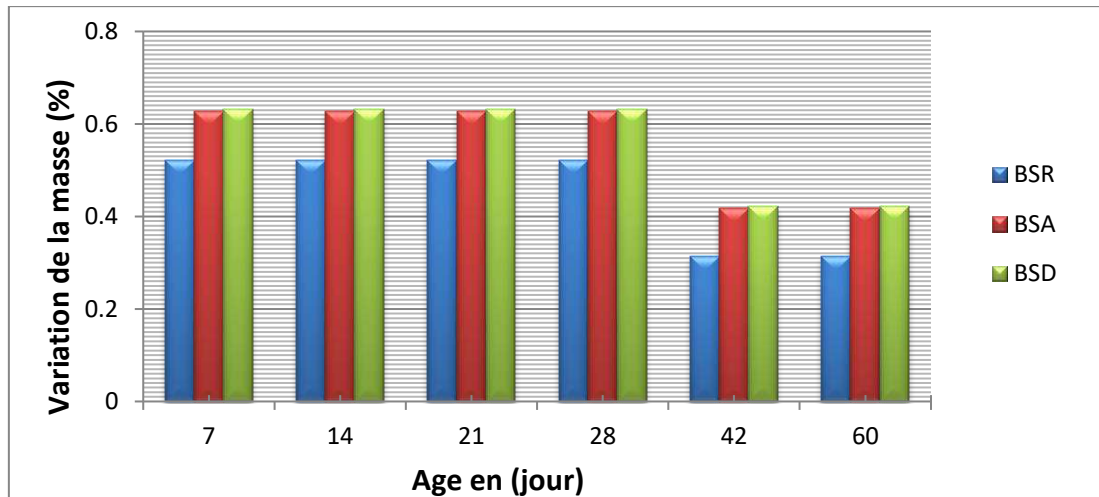
- **Effet d'immersion les éprouvettes du béton dans l'eau contenant Na₂SO₄ et HCl:**

Afin d'évaluer l'effet de l'attaque chimique, des bétons ont été immergé sans interruption dans les solution d'essai (sulfate de sodium Na₂SO₄ et d'acide chlorhydrique HCl). Les

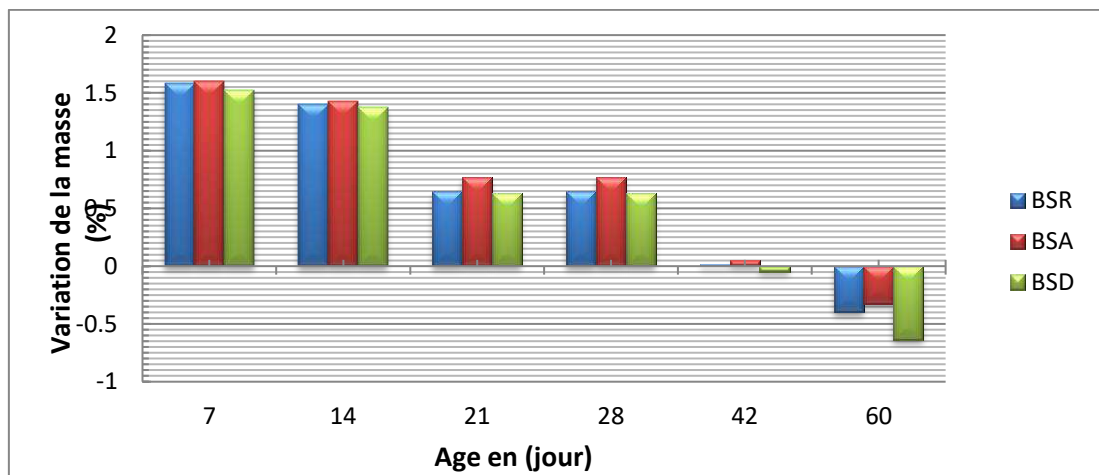
concentration de ces solutions ont été maintenues constantes pendant toute la période d'essai.

La masse es échantillons étudiés ont été évaluées dans le temps et mesurées les masses des échantillons toutes les périodes d'essais.

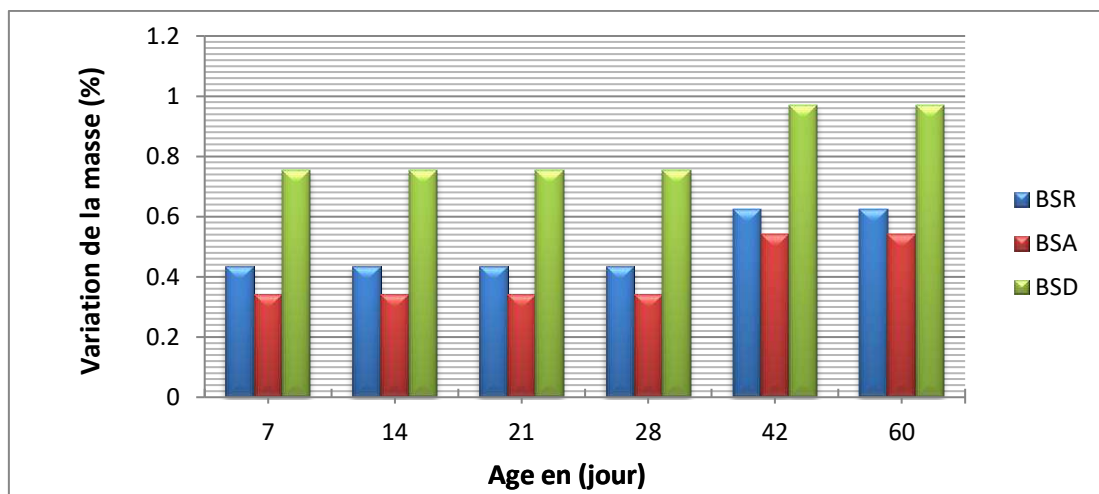
Les figures (V-15),(V-16), (V-17) montrent la variation de perte de masse des éprouvettes en fonction de la période d'immersion dans les solution de 5% de sulfate de sodium Na₂SO₄ , 0,3% acide chlorhydrique HCl et eau sans traitement chimique successivement.



Figures V-15: variation de la masse en fonction de la période d'immersion dans l'eau contenant 5% Na₂SO₄



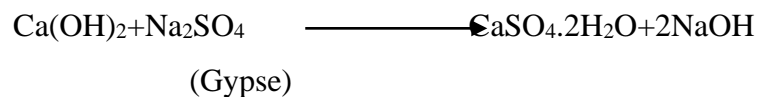
Figures V-16: variation de la masse en fonction de la période d'immersion dans l'eau contenant 0.3% HCl



Figures V-17: variation de la masse en fonction de la période d'immersion dans l'eau sans traitement chimique.

Les figures ci-dessus montrent que une augmentation constante importante de la masse remarquable dans tous les types de bétons jusqu'à 28 jours de l'ordre de 0.755% , 0.341% et 0.435% pour le béton BSD , BSA et BSR successivement immergé dans l'eau, puis un gain de masse important pour les trois types de béton de l'ordre de 0.216%, 0.202% et 0.191% après 42 jours. Pour les éprouvettes immergées dans le sulfate de sodium Na_2SO_4 . Nous remarquons qu'un gain de masse constant pour toutes les périodes d'essai jusqu'à 28 jours. Ce gain de masse peut provenir de l'eau qui remplit les fissures et les pores interne. Mais aussi une masse d'eau utilisée pour précipiter une phase hydrate telle que l'ettringite. Ces symptômes concordent parfaitement avec un cas de réaction de gonflement interne.

Après cette période on remarque une perte de masse d'ordre de 0.211%, 0.209% et 0.209% dans les types BSD, BSA et BSR respectivement. Cette perte est due au dépôt de gypse , qui se forme suite à la réaction entre la portlandite et le sulfate de sodium selon la réaction chimique:



Le gypse déposé est ensuite lessivé, nous donne une solution blanchâtre externe.

Les éprouvettes immergées dans l'acide chlorhydrique représentent une perte de masse très importants d'ordre de 0.633%, 0.329% et 0.400% dans les types du béton BSD, BSA et BSR successivement. Cette perte est plus élevée dans le béton avec sable de dune par rapport les autres types d'ordre de 0.304 et 0.233 respectivement à cause de la différence importante dans la surface spécifique des grains(teneur en fines) et la distribution granululaire.

• **Caractérisation mécanique des différents composites après les attaques chimiques:**

Les résultats des résistances à la compression des béton avec différents des sables étudiées en fonction d'âge et exposés à des milieux agressifs: sulfate de sodium (Na_2SO_4) et acide chlorhydrique (HCl), sont présentés sur la figure ci-dessous.

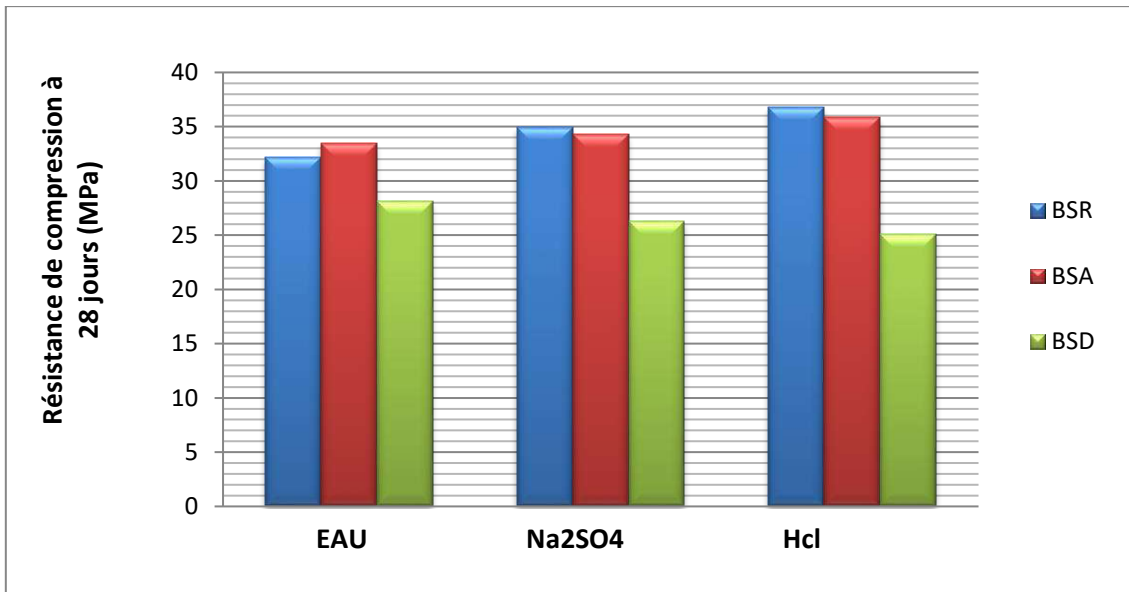


Figure V-18: Résistance à la compression à 28 jours des différents types du béton dans différents cures.

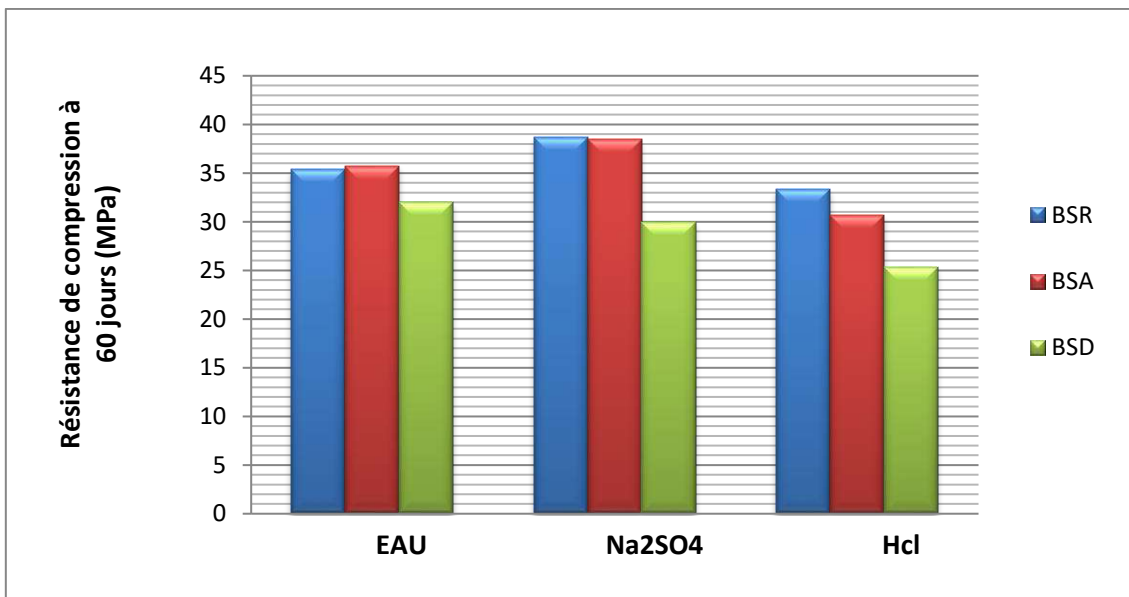


Figure V-19: Résistance à la compression à 60 jours des différents types du béton dans différents cures.

Dans le but d'une analyse comparative des propriétés mécaniques des différents types de bétons par vis-à-vis à l'immersion dans l'eau sec et l'eau traitée avec Na₂SO₄ et Hcl on a déterminé la variation de la résistance à la compression des différents types de béton et leurs influences par les cures des attaques chimiques après 28 et 60 jours Figure V-18-19.

D'après les figures Figure V-18 Figure V-19 qui exposent la variation de la résistance à la compression du béton en fonction de la différent cure de conservation dans les périodes de 28 et 60 jours successivement.

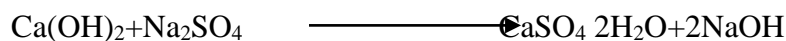
On remarque que la résistance à la compression évolué positivement jusqu'à 28 jours dans les deux types du béton BSA et BSR immergé dans l'eau traité avec Hcl et Na₂SO₄ on comparaison au milieu sans traité d'attaque chimique.

Après 60 jour d'essai on remarque un augmentation de résistance au niveau du béton de type BSA, BSR et BSD immergé dans l'eau sec et l'eau contenant le Na₂SO₄ d'ordre de 4.21, 3.75 et 3.73 pour le béton BSA , BSR et BSD successivement. D'autre part l'augmentation de la résistance des éprouvettes immergé dans Na₂SO₄ par rapport les éprouvettes immergé dans l'eau d'ordre de 2.76, 3.29 successivement pour le période de 60 jours d'essai.

L'augmentation de la résistance des deux types du bétons BSA et BSR immergé dans les deux solutions agressives à 28 jours par rapport l'immersion dans l'eau est poursuite processus d'hydratation du ciment et à la formation progressive du gel C-S-H qui est le premier responsable de la résistance du béton.

L'action de sulfate de sodium prend une forme d'expansion du béton suite à la forme de produit expansifs. Dans cette étude les produits résultants de l'action des deux solutions sulfuriques sont:

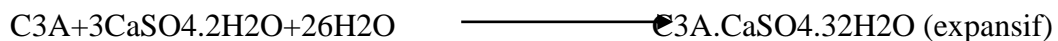
- Substitution ionique entre la portlandite et le sulfates selon la formule suivant:



NaOH: Alcalinité élevée ce qui assure la stabilité de C-S-H

CaSO₄.2H₂O: produit expansif mais qui se forme uniquement dans les espace internes de la pate de ciment hydraté, dans la majorité de cas, (pas ou peu expansif).

- Formation de l'ettringite secondaire, à partir du C₃A anhydre résiduel selon la formule chimique suivant



Les éprouvettes immergés dans l'acide de chlorgydrique donnent une chute de résistance dans toutes les types du bétons étudiés de l'ordre de 5.07, 2.04 et 9.67 pour les types du béton BSA, BSR et BSD successivement par rapport aux résultats obtenues après à 60 jour d'immersion.

Après cette chute dans le type de béton avec sable de dune on peut constater que le pourcentage optimal de fines dans le sable ferme et bloque les pores ainsi que la diffusion des

éléments agressives. De ce fait, le sable qui a une grande teneur en fines subie des pertes de résistance.

l'abaissement de résistance seront réduites par rapport un autre sable, les bétons faiblement poreux réduisent la perméabilité à l'eau et aux élément agressifs. Ce fait nous donne un béton durable.

L'examen visuel:

Les figures V-20, V-21 et V-22 montre l'état des échantillons des différents types du bétons après leur immersion dans l'eau sans et avec des attaques chimiques.



Figure V-20 Etat des éprouvettes aux différents types du bétons après leur immersion dans l'eau sans traité avec des attaques chimiques



Figure V-21 Etat des éprouvettes aux différents types du immergés dans Na2SO4



Figure V- 22 Etat des éprouvettes aux différents types du immergés dans Hcl

Ces résultats sont confirmés par l'état des éprouvettes après immersion à 60 jour dans les trois cures par les figures présentent dans les figures ce dessus visuellement, les éprouvettes en contact avec la solution d'acide chlorhydrique, est un moyen qu' évalue la détérioration et dégradation de l'aspect extérieur des éprouvettes. Cette solution décape la surfaces, des gros grains de sable qui se trouvent déchaussés.

Nous observons que les éprouvettes contact avec l'eau contenant Na_2SO_4 de concentration de 5% nous observons qu'un couche blanche sur la surface dans des pores externes qui est sur forme de gypse secondaire, cette forme résulte une réaction de substitution entre la portlandite et le sulfate de sodium.

V. 4- Résultats des essais sur béton de sable:

V. 4. 1- Résultats d'essai de traction par flexion:

Après l'application de cette essais nous configurons les résultats obtenues dans les figures V.23 et V.24

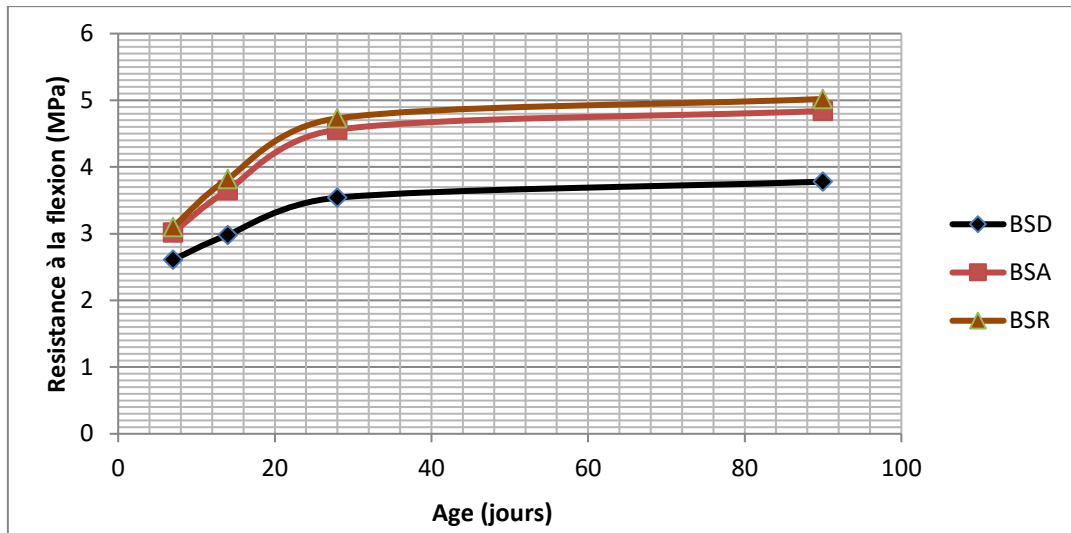


Figure V.23 : Résistance à la flexion en fonction d'âge.

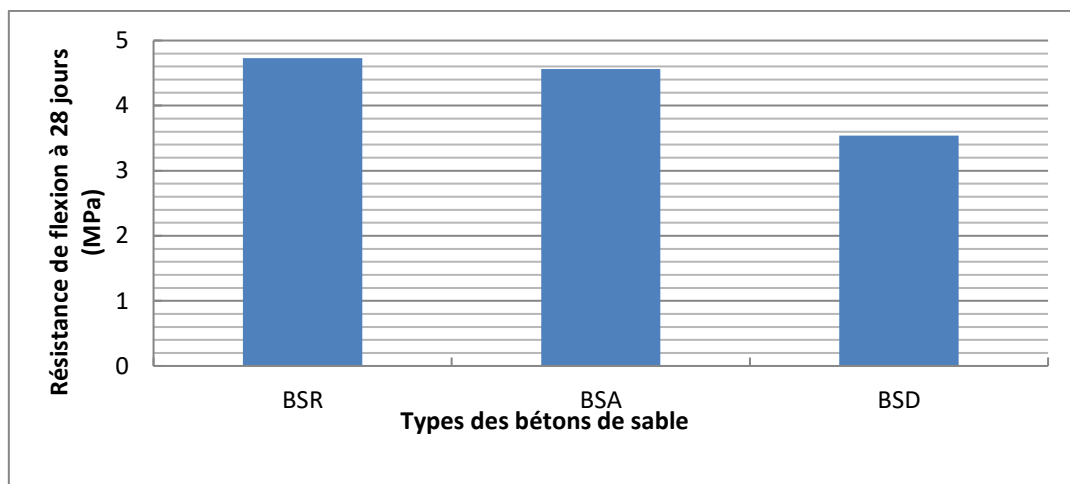


Figure (V-24): Variation de Résistance de flexion en fonction de type du béton de sable à 28 jours

Les résultats donnés des courbes sur la figure V.23 représenté la variation de la résistance à la traction par flexion des différents types de béton en fonction de l'âge :

L'allure des courbes dénote une progression régulier de la résistance à la traction en fonction de l'âge,

Les résultats exposés sur les figures V.23, V.24 montrent une amélioration de la résistance à la traction par flexion pour les deux types des bétons de sable BSA et BSR par rapport aux bétons de sable de dunes témoin (BSD) à l'ordre de 32.70% et 39.67% respectivement à 28 jours mais cette différence est un peu entre BSR et BSA .

A cet égard (Mani M et al, 2017). a remarqué dans son étude sur les caractéristiques de béton de sable, lorsqu'il utilise la correction granulométrique du sable de dune avec le sable alluvionnaire , il a remarqué lorsque l'augmentation de pourcentage de sable alluvionnaire la

résistance du béton de sable a augmenté à cause de l'analyse granulométriques très serré parce que le diamètre du granulat est entre 0,08 et 0,63mm et la plupart des granulats est limité à 0,315 mm et ça rend la surface spécifique est très grand avec des grands porosité et ça rend la compacité faible.

Mais lorsqu'on remarque que le sable de oued Rtem qui est étudié avec un module de finesse 2,35, donne des résultats mieux résistantes que le sable alluvionnaire avec un module de finesse de 2,78 on remarque que l'augmentation des valeurs des résistance ne sont pas influés au diamètre des grains uniquement. Puis que dans plusieurs études qui sont été faite pour améliorer les caractéristiques du béton de sable. Il existe qui a fait quelques additions comme l'ajout des fibres pour le béton de sable de dune pour améliorer la résistance de ce dernier, ça implique que les particularités et les composants des granulats influent directement sur la résistance du béton de sable, ainsi que l'équivalent de sable est un facteur positif sur la résistance.

Dans notre étude l'équivalent de sable de oued Rtem prend la valeur de 80,09 et le sable alluvionnaire de valeur de 75,60 voir le tableau IV-5 cette différence indique que la propreté est le facteur essentiel pour l'amélioration de la résistance du béton de sable.

V. 4. 2- Résultats d'essai de compression

Les figures V.25, V.26 montrent qu'il y a manifestement une amélioration de la résistance à la compression des types des bétons de sable BSA et BSR par rapport au béton de sable de dune. Cette résistance à la compression est en corrélation avec plusieurs paramètres parmi lesquelles nous trouvons :

- Le pourcentage des grains fines ;
- Le variation de module de finesse ;
- Le rapport E/C.

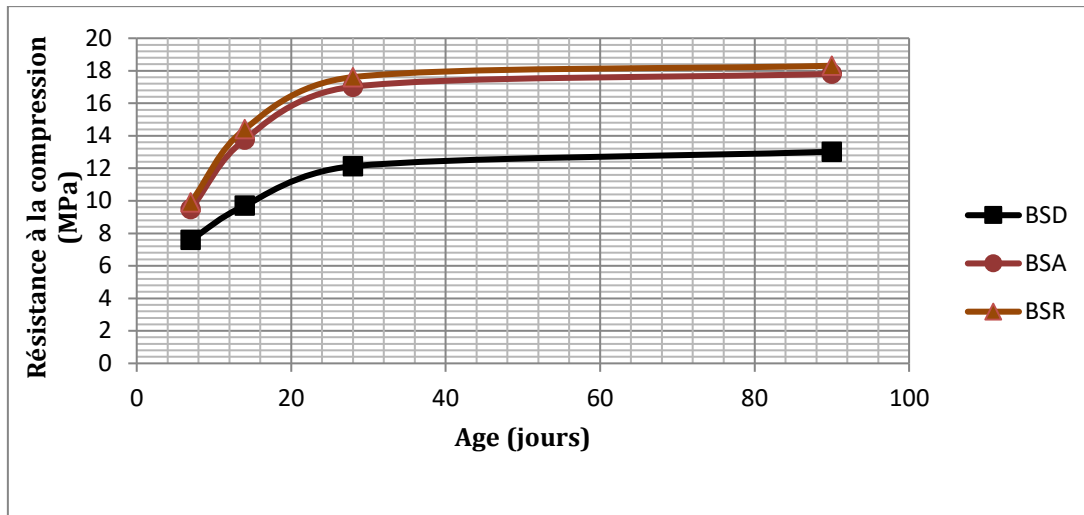


Figure V.25 : Résistance à la compression en fonction d'âge.

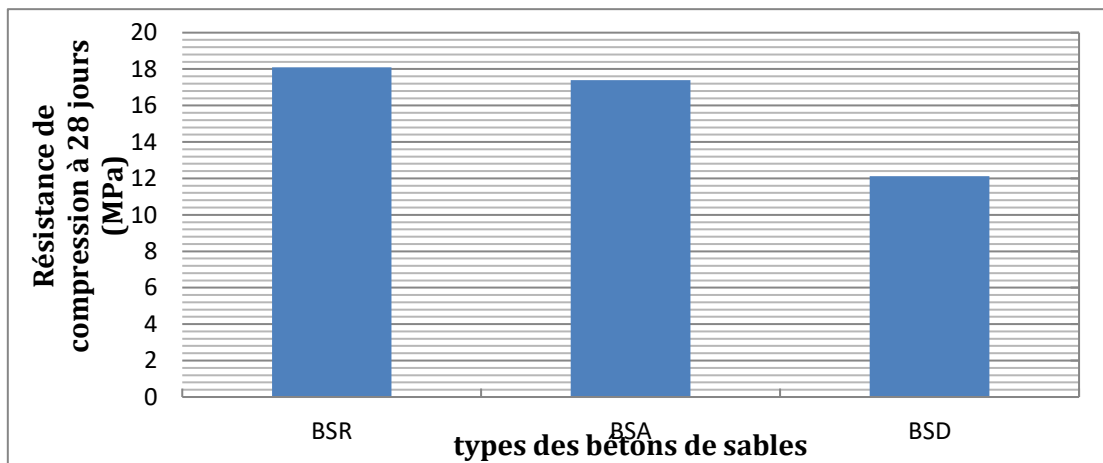


Figure (V-26): Variation de Résistance de compression en fonction de type du béton de sable à 28 jours

Les résultats donnés des courbes sur la figure V.25, représentent la variation de la résistance à la compression des différents types de béton de sable en fonction de l'âge.

L'allure des courbes des bétons dénote une progression croissante de la résistance à la compression en fonction de l'âge, et nous remarquons les types de béton de sable BSD, BSA et BSR indiqués sur la figure V.25 et V.26 témoignent d'une amélioration significative de la résistance à la flexion de type BSR et BSA respectivement de l'ordre de 49,13% et 43,36% par rapport au BSD à 28 jours, cette accroissement probablement l'augmentation de quantité de poussier diminue l'adhérence granulats-matrice cette effet entre BSR et BSA mais la différence entre BSR et BSD produit à la finesse de sable voir le tableau IV-8.

En 2016 (BELFERRAG A, 2016) Dans son étude sur l'amélioration des caractéristique du bétons de sable de dune, avec la correction granulométrique. Il a trouvé que lorsque le

pourcentage de sable de dune a augmenté la résistance de flexion diminuée. Aussi que le rapport $E/C=0,60$ dans le béton de sable de dune donne une valeur de résistance moins que $E/C=0,58$ dans le béton de sable alluvionnaire c'est pour ça (Luo et al , 2013), attestent aussi que le sable de dune présente une surface spécifique nettement plus élevée par rapport le sable de oued Rtem et alluvionnaire, ses particules absorbent une grande quantité d'eau. Dans le même ordre d'idées (Bouziani et al, 2012), témoignent qu'un ajout excessif de particules fines peut entraîner une augmentation considérable de la surface spécifique, qui se traduit par une augmentation de la demande d'eau pour l'obtention d'une consistance donnée.

V. 4. 3- Résultats de retrait :

Les résultats des essais de retrait sont représentés les figure V-27 et V-28.

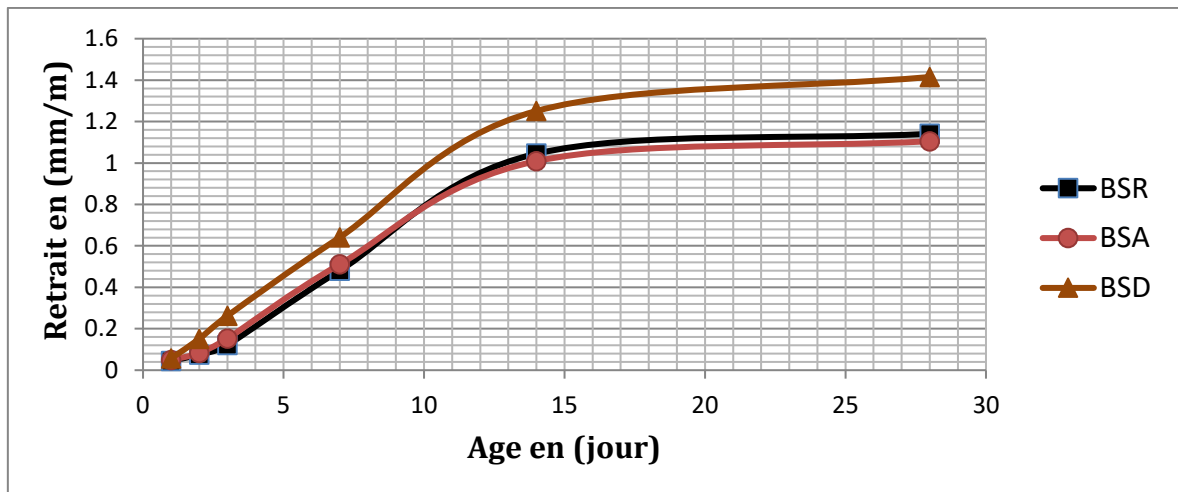


Figure (V-27): Evolution de Retrait en fonction d'âge

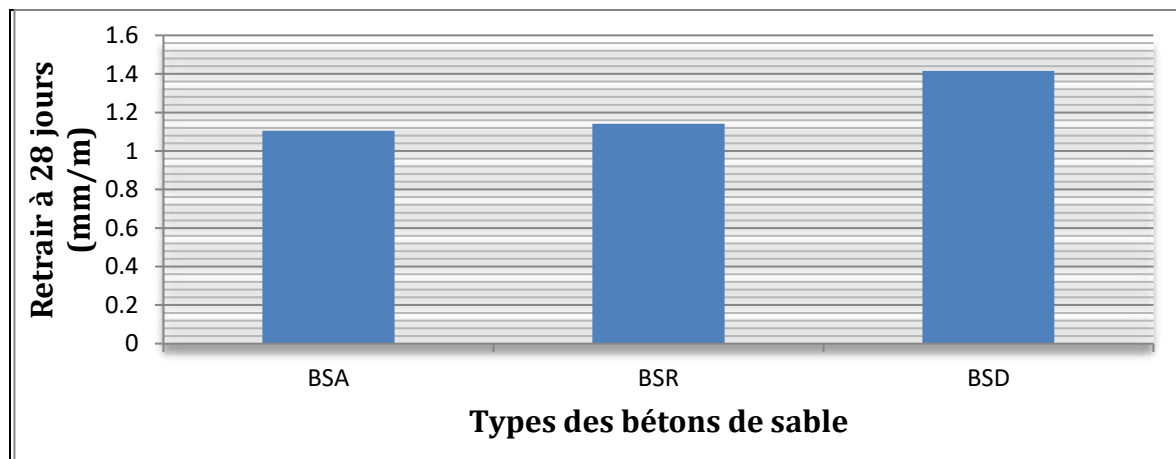


Figure (V-28): Variation de retrait en fonction de type du béton de sable à 28 jours

Les résultats présentés sur la figure V.27, montrent que le retrait à 1, 2, 3, 7, 14 et 28 jours des types de béton de sable BSR étudié et BA, BSD témoins ,

Les types de béton (BA) et (BSR) présentent une meilleure résultat à tous les âges d'essai et pour même cas de conservation

Nous remarquons ce que suit :

L'allure des courbes des bétons de sable dénote une progression continue de retrait en fonction de l'âge du béton ; 1, 2, 3, 7, 14 et 28 jours, néanmoins cette progression très forte dans les premiers jours d'essai, et après le 14 jours nous remarquons une progression faible dans la valeur de retrait pour les trois types des béton de sable.

Les résultats de retrait de dessiccation sont présentés sur la figure V.27. Ils révèlent que la différence granulométrique du sable utilisé ayant un module de finesse $M_f = 2,78$, $M_f = 2,35$ et $M_f = 1,07$ pour les béton de sable BSA, BSR et BSD successivement contribue d'une manière significative à la réduction du retrait. Cette diminution est respectivement de l'ordre de 29,30 et 30,80 % pour les types BSR et BSA par rapport au béton de sable de dunes (BSD) à 28 jours voir la figure (V-28). D'un autre côté, nous avons observé une amélioration du retrait du béton BSA par rapport au béton BSR de l'ordre de 1,50%.

Cette diminution du retrait est la conséquence directe de la différence de granulométrie du sable, ayant comme effet l'amélioration de son module de finesse par les types des sables.

Voir le paragraphe (II. 3. 2. 4. 3) Dans le même contexte, Bouziani et al. (2012) ont observé que le mélange du béton de sable réalisé avec du sable alluvionnaire et 15% de sable de dunes, donne une valeur du retrait plus élevée de l'ordre de 520 $\mu\text{m}/\text{m}$, par rapport au mélange préparé uniquement avec du sable alluvionnaire où la valeur du retrait est de l'ordre de 460 $\mu\text{m}/\text{m}$.

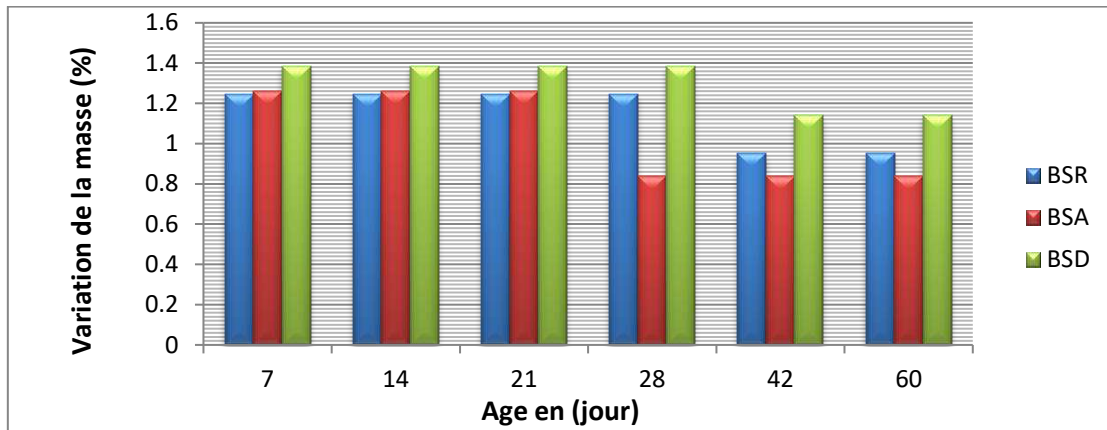
Cette observation est en commun accord avec nos résultats ; dans lesquels nous avons remarqué que l'augmentation de la quantité du fines de sable conduit à une augmentation du retrait. Même chose pour Tafraoui (2009) qui a rapporté que les bétons réalisés avec du sable de dunes présente un retrait élevé au cours des 100 jours d'étude. Les tests effectués par Bouaziz et al., (2013) ont montré l'effet bénéfique de la correction granulométrique du sable de dunes, avec une réduction significative du retrait de l'ordre de 54 % à 7 jours.

V. 4. 4 Essai de durabilité sur le béton de sable :

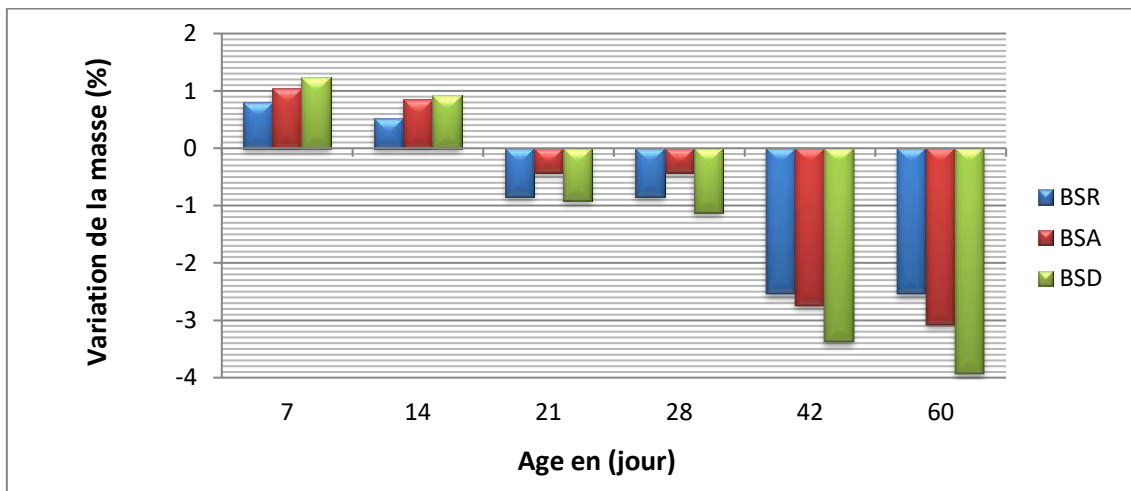
• Effet d'immersion les éprouvettes du mortier dans l'eau contenant Na_2SO_4 et HCl:

Les figures (V-29), (V-30), (V-31) montrent la variation de la masse des éprouvettes en fonction de la période d'immersion dans les solutions de 5% de sulfate de sodium Na_2SO_4 , 0,3% acide chlorhydrique HCl et eau sans traitement chimique respectivement. On constate

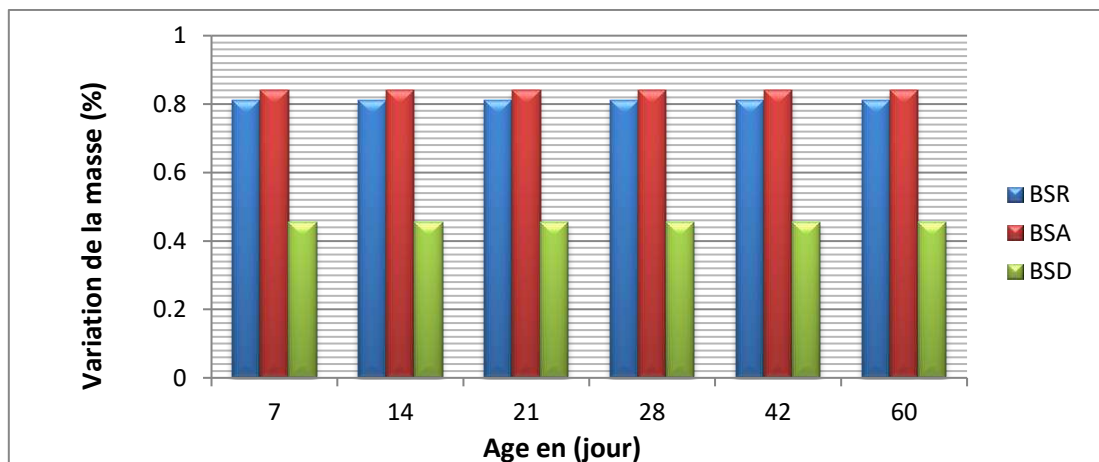
une perte de masses permanent concernant les éprouvettes du béton immergés dans les solutions .



Figures V-29: variation de la masse en fonction de la période d'immersion dans l'eau contenant 5% Na₂SO₄



Figures V-30: variation de la masse en fonction de la période d'immersion dans l'eau contenant 0.3% Hcl



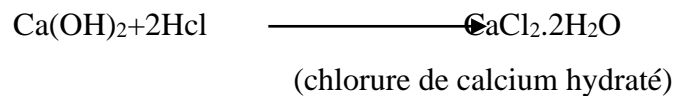
Figures V-31: variation de la masse en fonction de la période d'immersion dans l'eau sans traitement.

Les résultats dans les (Figures V-29, V-30 et V-31), montrent que les bétons à base de sable de dune BSD présentent un gain de masse constante dans l'éprouvettes sans traité avec des attaques chimiques pour tout les période d'essai, aussi on remarque un gain de masse constante pour les éprouvettes immergées dans le Na₂SO₄ jusqu' à 28 jour 1.382, 1.261 et 1.245 pour les types BSD,BSA et BSR successivement, et après le 42 jours d'essai nous remarquons un chute de masse pour le béton de type de BSD et BSR d'ordre de 0.24%, 0.295% .

Cette chute est Par conséquent, le variation de la masse est liée à la teneur en fines d'une part et à la nature minéralogique des sables d'autre part c'est-à-dire l'opération des réactions chimiques entre les minérales constitués des sables et les solution chimiques soit le sulfate ou l'acide.

Mais pour les échantillons immergées dans l'eau contenant l'acide (HCl) on remarque qu'une perte de masse progressive pour tout les périodes d'essai et arrivé un perte de masse d'ordre 3.94%, 3.08% et 2,54% pour le béton BSD, BSA et BSR successivement.

Cette perte qui est du au dépôt de chlorure de calcium hydraté, qui se forme suite à la réaction entre la portlandite et l'acide chlorhydrique selon la réaction chimique:



La perte qui s'en suit, est causée par l'expansion et la commencement de la microfissuration du matériau.

• **Caractérisation mécanique des différent composites après les attaques chimiques:**

Les résultats des résistances à la compression des béton de sable selon le type des sables étudiées en fonction d'âge et exposés à des milieux agressifs: eau avec (Na₂SO₄) et avec (HCl), sont présentés sur les figures suivante.

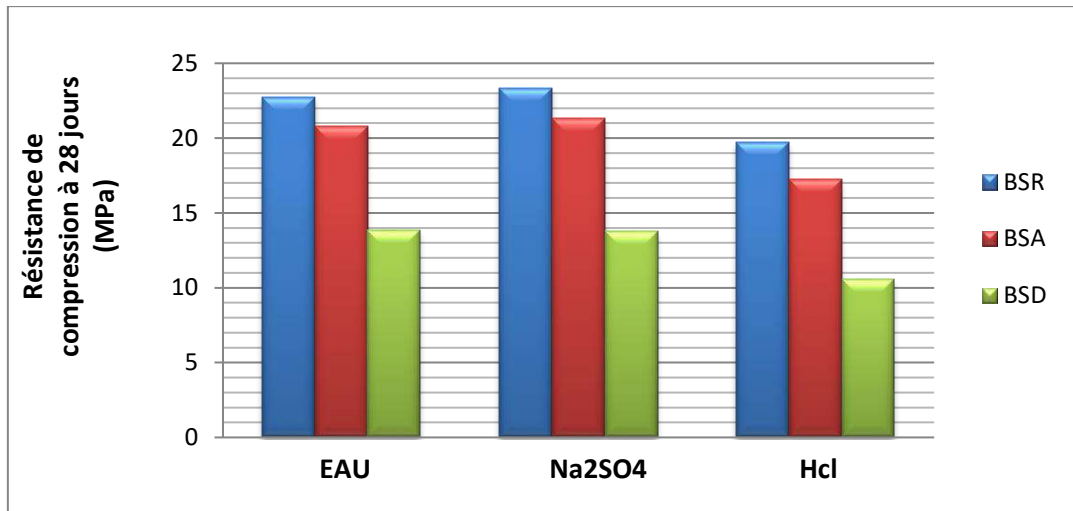


Figure V-32: Résistance à la compression à 28 jours des différents types des mortiers dans différents cures.

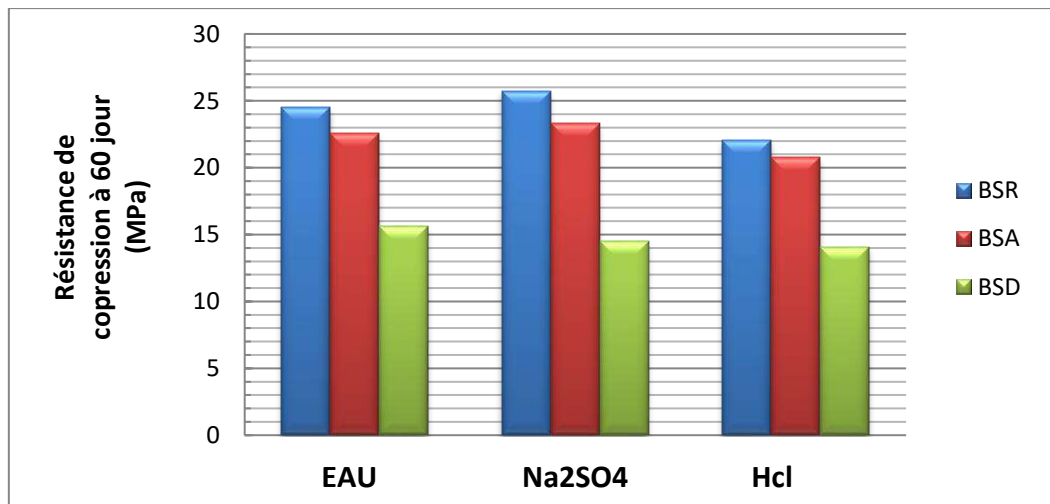


Figure V-33: Résistance à la compression à 60 jours des différents types des mortiers dans différents cures.

Après les résultats obtenue dans les figures V-32 et V-33 on remarque un peu d'augmentation de résistance entre les échantillons immergé dans l'eau et Na₂SO₄ au niveau des types de mortier BSA,BSR de l'ordre 0.52, 0.61 successivement on remarque une perte de résistance pour le mortier avec le sable de dune d'ordre de 0.1. Les échantillons immergés dans HCl représentent un diminution de résistance important par rapport les éprouvette sans traité avec des attaques chimiques de l'ordre de 3.53, 3.29 et 3.05 pour les béton de BSA, BSD et BSR respectivement.

L'augmentation de résistance de la compression dans le temps d'essais jusqu' à 60 jours est le résultats d'évolution du processus de l'hydratation du ciment de l'ettringite qui comble les vides par conséquent, augment la résistance.

Après 60 jour d'immersion on remarque un diminution claire pour les éprouvettes immergé dans l'eau contenant HCl.

La diminution de la résistance des éprouvettes après 60 jour d'exposition dans la solution de HCl est justifié par la formation des produit obtenue au réaction (chlorure de calcium hydraté).

• **L'examen visuel:**

L'examen visuel confirmés par mortiers de différent types de sable en contact avec la solution d'acide chlorhydrique, est un moyen pour évaluer la détérioration des propriétés et les dégradations de l'aspect extérieur des éprouvettes. Les solutions d'acide décapent les surfaces, les gros grains des sables se trouvent déchaussés et la formation des sels calciques et en placage entre les grains ces résultats sont confirmés par les états des éprouvettes avant et après immersion à 60 jours dans les différents types d'attaques chimiques HCl, Na₂SO₄

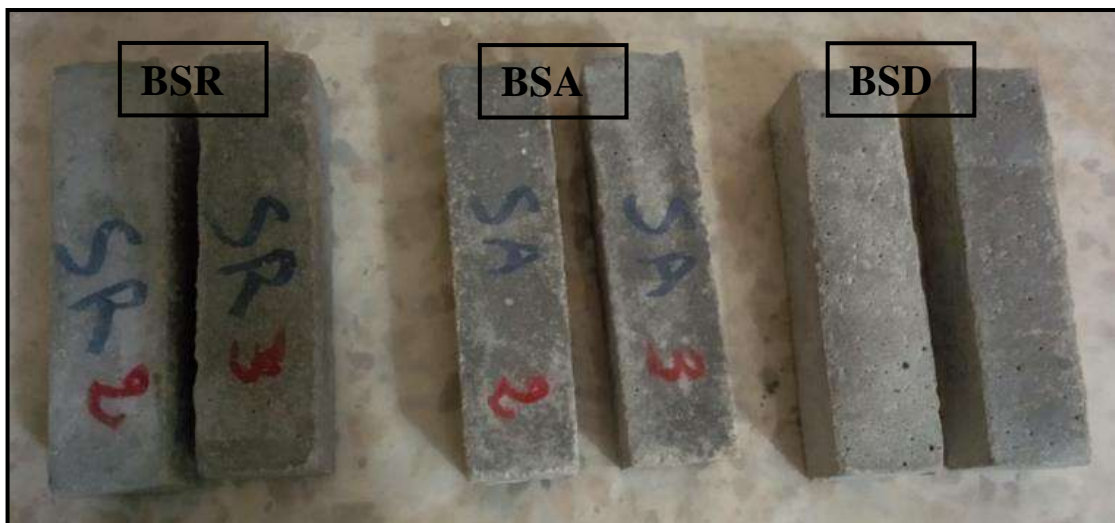


Figure V-34 Etat des éprouvettes aux différents types de mortiers après leur immersion dans l'eau sans traité avec des attaques chimiques



Figure V- 35 Etat des éprouvettes aux différents types des mortiers immergés dans Na_2SO_4

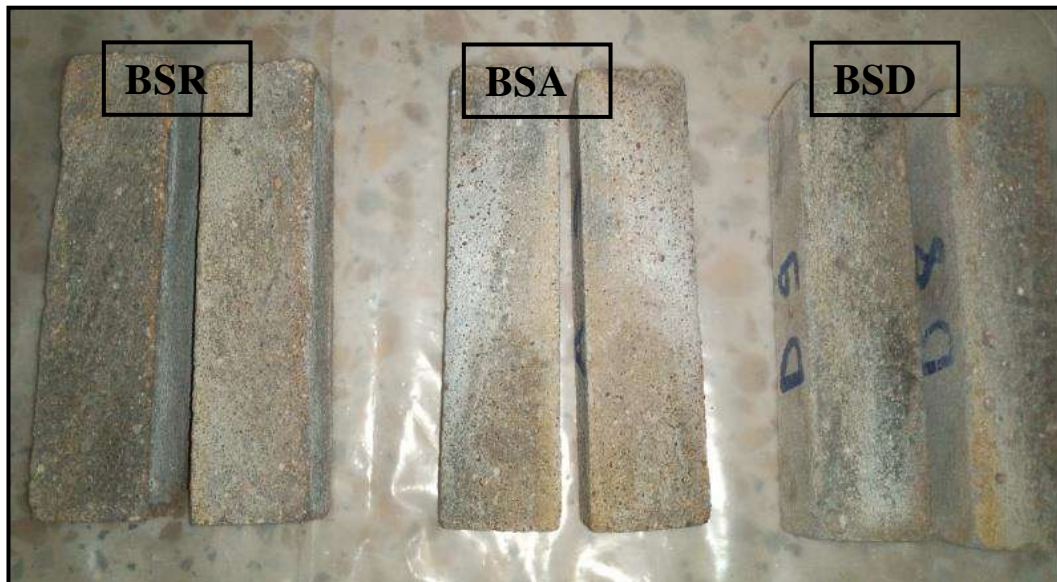


Figure V- 36 Etat des éprouvettes aux différents types des mortiers immergés dans Hcl

Chaque fois l'observation visuel sur les éprouvettes du mortiers immergés dans la solution d'acide chlorhydrique HCl sont donne un corrosion surfacique, parce que les solutions d'acide décapent les surfaces et les gros grains de sable qui se trouvent déchaussés. Pour les éprouvettes immergés dans la sulfate de sodium donnent une couche blanche surfacique sur tout les points des pores externes. Décapent

V. 5 -RECAPITULATIF ET DISCUSSION:

Afin de donner une image claire sur les propriétés du béton, le tableau V.8 à 28 jours présente un résumé de la comparaison entre les trois types de béton **BSR**, **BA**, **BSD**, dans le béton normal et le béton de sable.

Tableau (V.8) : Récapitulatif des résultats des différents bétons

Béton normal										
Propriétés		BA			BSD			BSR		
Ciment (kg/m ³)		400			400			400		
Eau (l/m ³)		250			250			250		
Rapport E/C		0.625			0.625			0.625		
S. dune (kg/m ³)		/			622			622		
S. Alluv (kg/m ³)		714			/			/		
S.oued Rteme (kg/m ³)		/			/			733		
G. 3/8 (kg/m ³)		128			220			183		
G. 8/15 (kg/m ³)		989			989			1120		
Affaissement (cm)		10,5			8			9.5		
Masse volumique durci(kg/m ³)		2338			2348			2350		
Teneur en eau %		2,98			4,35			2,81		
Rf ₂₈ (MPa)		2,20			2,07			2,36		
Rc ₂₈ (MPa)		31,05			26,26			30,34		
Retr.28j (mm/m)		0,630			1,220			0,570		
Vitesse de son (m/s)		4050			4350			4086		
Coefficient d'absorption d'eau		2.99			3.32			3.03		
Module d'élasticité (GPa)		34,52			39,98			35,31		
Absorptivité (kg.m ⁻² .s ^{1/2})	0 jusqu'a 1h	0.028			0.036			0.030		
	1 jusqu'a 24h	0.005			0.006			0.005		
Cure de conservation		EAU	Na2SO	Hcl	EAU	Na2SO	Hcl	EAU	Na2SO	Hcl
Rc ₂₈ (MPa)		33,46	34,26	35,85	28,08	26,22	25,09	32,17	34,92	36,79
Moule béton	Compression	Ø16H32			Ø16H32			Ø16H32		
	Vitesse de son	Ø16H32			Ø16H32			Ø16H32		
	Traction et Retrait	7×7×28			7×7×28			7×7×28		
	Absorption d'eau	/			/			10×10×10		

Béton de sable										
Rf ₂₈ (MPa)		4,95			3,73			5,21		
Rc ₂₈ (MPa)		17,39			12,13			18,09		
Retr.28j (mm/m)		0,901			1,302			0,921		
Cure de conservation		EAU	Na2SO4	HCl	EAU	Na2SO4	HCl	EAU	Na2SO4	HCl
Rc ₂₈ (MPa)		20,79	21,31	17,26	13,86	13,76	10,57	22,74	23,35	19,69
Moule béton de sable	Compression Traction Retrait	4x4x16			4x4x16			4x4x16		

N .B

Les différents types des bétons avec et sans gravier sont:

Béton BA : 100% sable alluvionnaire, échantillon témoin.

Béton BSD : 100% sable de dune, échantillon témoin.

Béton BSR : 100 % sable d'oued Rtem.

Après analyse et comparaison des résultats du tableau récapitulatif nous constatons ce qui suite:

- ❖ L'affaissement diminue en fonction de module de finesse de sable.
- ❖ La masse volumique augmenté en fonction de l'état de surface des granulats.
- ❖ La teneur en eau augmente en fonction de dosage de grain fin .
- ❖ La résistance à la compression diminue en fonction de l'augmentation de module de finesse.
- ❖ La résistance à la traction meilleur résultat dans le béton normal de oued Rtem.
- ❖ Le retrait augmente en fonction des éléments finis de facteur d'homogénéité des grains.
- ❖ La vitesse de son augmente en fonction de l'augmentation des grains finis.
- ❖ Le module d'élasticité augmente en fonction de l'augmentation des grains finis.
- ❖ L'absorption d'eau diminue par rapport a l'augmentation de la durée de durcissement d'échantillon.
- ❖ La résistance à la flexion meilleur résultat dans le béton normal de oued Rtem.
- ❖ La résistance à la compression meilleur résultat dans le béton normal de oued Rtem.

❖ La résistance à la compression dans les attaques chimique meilleur résultat dans le béton normal à base de sable d'oued Rtem.

❖ Les résultats trouvés sur les différents types de bétons, nous permettent d'avoir un aperçu sur l'effet de sable d'oued Rtem et sur la qualité du béton.

Pour mettre en évidence cette influence nous présentons dans le tableau V-13 une comparaison entre le béton de 100% sable alluvionnaire (type BA), le béton de 100 % sable de dune (BSD) et le béton de 100% sable d'oued Rtem (BSR).

Le tableau V-13 résume les avantages de sable de oued Rtem sur les qualités essentielles d'un béton, à cet effet nous constatons que, le facteur principale qui est influé sur la résistance à la compression, la résistance à la traction est l'équivalent de sable, la propreté mais la valeur du retrait augmente en fonction de teneur en eau c'est-à-dire en fonction de la quantité d'eau évaporé, l'augmentation de valeur du retrait, et provoque quelques fissurations dans les construction.

Le module d'élasticité dynamique augmente en fonction de l'augmentation du module de finesse.

la vitesse d'absorption d'eau par capillaire (absorptivité) dans le cure après 28 jours augmente rapidement par rapport au deuxième phase.

la résistance de compression diminué en fonction de la durée d'immersion dans les attaques chimiques

**CONCLUSION ET
RECOMMANDATIONS**

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le but visé par cette étude est la valorisation des matériaux locaux du sud Algérien en l'occurrence l'utilisation du sable d'oued Rtem dans la production du béton.

L'étude comporte une partie théorique résumant la recherche bibliographique, et une partie expérimentale réalisée en trois phases à savoir :

Identification des matériaux

L'identification des matériaux c'est basé essentiellement sur les essais physicochimiques (granulométrie, équivalent de sable, masses volumiques et analyses chimiques).

L'analyse granulométrique du sable d'oued a présenté une courbe (serrée étalé) entre 0.315 et 0.63mm, avec un coefficient d'uniformité $C_u=2$ et avec un module de finesse de l'ordre de 2.35 dénotant un sable moyen. La propreté du sable d'oued Rtem est de l'ordre de 82.46%.

Formulation de béton

La méthode opté pour la formulation de béton est celle de Dreux-Gorisse, cette méthode est très simple et efficace elle se base par l'obtention d'une bonne compacité avec une ouvrabilité adéquate.

Le rapport eau /ciment ($E/C=0.625$) étant gardé constant pour tout les mélanges réalisés et le mélange de béton de référence, dont le but de pouvoir comparer les résultats trouvés.

Le rapport gravier/sable ($G/S) =1.77 < 2$, il s'agit donc d'un béton plus courant ayant un pourcentage de vide relativement petit.

Tous les mélanges ont été réalisés à base de gravier 3/8, 8/15 provenant de la carrière Haoud el hamra Hassi-Messaoud, les pourcentages correspondants figurent dans le tableau V.1

Un total de 36 éprouvettes cylindriques et 45 éprouvettes prismatiques, 174 éprouvette cubique ont été confectionné pour le béton utiliser. Les bétons en question ont été réalisés dans les mêmes conditions de gâchage et de conservation (résistances de flexion et compression dans l'eau, et le retrait et la vitesse de son à l'air libre) .Les âges de test respectives sont 7, 14, 28 et 90 jours pour la résistance et 1,2,3,7,14,28 et 90 jours pour le retrait, et 7, 14 28 j pour l'absorption d'eau par capillarité.

Et pour le béton de sable ont été confectionné un total de 99 éprouvettes prismatique 4x4x16.

45 éprouvettes pour le retrait et le caractérisation mécanique dans l'air libre.

54 éprouvettes pour le caractérisation mécanique immergé dans les attaques chimiques.

Essai de contrôle et interprétation des résultats

Les éprouvettes de béton confectionné ont subit 05 essais de contrôle de performance, il s'agit de l'essai de résistance à la traction, résistance à la compression , le retrait et la vitesse de son, absorption par capillarité.

Les valeurs des essais de traction obtenues à 28 jours de l'ensemble des bétons sont comprises entre 2.07 et 2.36MPa dans l'air libre et entre 2.48 et 2.66MPa dans l'eau, ce qui dénote une résistance acceptable vis-à-vis de la déformabilités.

Les résultats des essais de compression à 28 jours d'âge ont révélés des résistances acceptables variant dans le type de béton BA(31.05 MPa), BSR(30.34 MPa), BSD (26.26 MPa). Et meilleur résultat dans le BA, BSR, ce qui laisse conclure un très bon comportement des matériaux locaux vis-à-vis à la résistance à la ruine (durabilité).

Les résultats des essais de retrait mis en évidence une faible résistance à la fissuration après 28 jours pour le BSD(1.22 mm/m), et résistance de fissuration acceptable pour le BA(0.63 mm/m) et BSR(0.57 mm/m).

Donc les bétons avec un pourcentage de fines optimales et des granulométries adéquates, présentent des valeurs réduites de retrait. De ce fait, on peut dire que l'évolution du retrait est liée à la teneur en fines des sable d'une part et à répartition de la distribution granulaire d'une autre part.

L'absorption capillaire est liée par les pores capillaires (porosité), la porosité du matériau est le premier indicateur de la durabilité, car la porosité est le siège des agressions extérieures : plus le matériau est poreux, plus la pénétration d'agents est facilitée, et donc plus sa durabilité est limitée.

Les résultats des essais d'ultrason à 28 jours d'âge ont révélés des vitesse de son acceptables variant entre 4050et 4350 m/s c'est-à-dire le béton à haute résistance.

la vitesse de propagation des ondes dépend des modifications de la pâte de ciment durci, telles qu'un changement du rapport Eau/Ciment qui influe le module d'élasticité de la pâte. De plus d'autres facteurs influencent la propagation des ondes sonores à savoir : le type de ciment, le dosage en ciment, la nature des granulats, la granulométrie, l'humidité du béton et les ajouts. La conclusion qu'on peut tirer de ces résultats c'est la prépondérance de la qualité du béton de sable d'oued. Avec l'expérimentales nous avons trouvé des résultats satisfaisants sur le coté résistance de compression ou traction, retrait, absorption d'eau, Néanmoins les résultats sont

très acceptables pour toute fabrication des bétons ayant une résistance égale ou supérieure à 30 MPa.

En plus, les caractéristiques du sable de oued Rtem dans le béton normal donnent des bonnes résultats de résistance malgré que son module de finesse est moins par rapport le module de finesse de sable alluvionnaire. C'est pour ça on peut l'utiliser dans le mortier pour les faces extérieures exemple : le crépissage et l'enduit extérieur...

Finalement, on peut dire que cette étude a mis en évidence qu'il est désormais possible d'obtenir un béton normal à base de sable d'oued Rtem.

Les résultats obtenues pour le béton à base de sable de oued Rtem après 90 jours plus approches par rapport les cures de 28 jours surtout à la côte de résistance et important à la côte de retrait à cause d'aridité de milieu, Ce qui aide d'entré les élément agressives donc le béton peut être obtenue probablement à tout les valeur maximale pour les essais des résistances.

Les résultats obtenues dans la partie de durabilité désigne la facteur principale qui influé sur la résistance est le paramètre granulaire (teneur en fines). Puisque l'augmentation des grain fines augmente la surface spécifique. Donc la quantité de ciment utilisé pour couvrir les granulats donne un peu d'épaisseur, en suivre que un facilité de pénétration des ions chimiques qui est produises des pores internes et influé sur la résistance mécanique, on peut utiliser aussi le sable fine comme sable de dune pour justifier la valorisation de ce type de sable concerné par la correction granulaire. Par contre les autres types du béton donnent un meilleur résistance parce que la surface spécifique est moindre par rapporte le sable de dune c'est-à-dire un grand épaisseur de ciment pour couvrir les grains donc la pénétration des attaques chimiques sont difficiles sauf que la durée d'immersion très grand.

On distingue aussi que après les résultats obtenues entre le béton à base de sable d'oued Rtem BSR et béton à base de sable alluvionnaire BSA. Il y'à une différence très claire entre les modules de finesse de sable utilisées (2.35 et 2.78) successivement,

Généralement, on peut constater un autre paramètre peuvent intervenir tels que: la distribution granulaire, la nature minéralogique ainsi que la forme des grains.

Dans l'attente de recherche encore plus approfondies. Malgré certaines insuffisance par rapport au béton ordinaire, à base de sable alluvionnaire on peut utiliser le BSR à base de sable de oued Rtem dans les bétons et béton de sable qui donnent une meilleur résistance et retrait moindre.

Nous recommandons de pousser encore les recherches afin d'obtenir le meilleurs résultats avec d'autre ajouts,

- La finesse du sable de dune exige un dosage en ciment élevé, donc nous recommandons d'utiliser des fillers inertes pour minimiser ce dosage.

- L'adaptation d'une formulation convenable et compatible pour le béton à base sable de oued Rtem, sur la base des études statistiques tiennent compte des trois facteurs «ouvrabilité - résistance – retrait- durabilité».

Dans le cadre d'une bonne optimisation, nous recommandons de compléter cette recherche

- ✓ Etude de la durabilité du béton à base des sables étudiées à différentes concentrations d'attaques chimiques et prolongation la durée d'immersion jusqu'à 360 jour ou plus, pour connaissance les impactes principales entre la pate du ciment et les ions agressives.
- ✓ L'étude de l'évolution des caractéristiques physico - mécaniques de ce béton un autres essais.
- ✓ Pour connaitre les résultats obtenues plus précisément en fixant le même essais de recherches , avec changements le rapports E/C.
- ✓ L'étude de l'évolution des caractéristiques physico - mécaniques de ce béton à long terme au moins de 12 mois.
- ✓ Augmenter des points des recherches et prospection surtout a grand profondeur
- ✓ Recherche et étude des sable aux autres oueds pour trouver des carriers des sable du construction.

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

-A-

A. YEGINOBALI, F.T. DILEK, Sulfate resistance of mortars containing Silica Fume as evaluated by different methods, Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pouzzolans concrete, Proceeding, Fifth International Conference, Milwaukee, Wisconsin, USA, Vol. 2 pp 795-813 (1995).

ABU SEIF E S Performance of cement mortar made with fine aggregates of dune sand, Kharga oasis, western desert, Egypt: an experimental study. - Jordan : Journal of Civil Engineering 7, 270-284,, 2013.

ACHOUR T Etude de l'influence de la nature des granulats sur les propriétés des bétons hydrauliques : cas des granulats calcaire tunisiens - UNIVERSITÉ Nancy 1 : Thèse de doctorat, 2007.

AHMED-CHAUCHE A Etude des caractéristiques de béton de sable de dune - ENP Alger : Mémoire de magister, 1993.

AKROUT K. MOUNANGA P. LITIF M. JAMAA N B Rheological, Mechanical and Structural Performances of Crushed Limestone Sand Concrete. - : International Journal of Concrete Structural and Materials, vol. 4, no 2, p 97-104, 2010.

AL-BAGHDADI H M. AL-AMEERI A S Using Different Types of Fine Aggregate to Produce High Strength Concrete - Université de Babylone : Magazine des sciences appliqués, vol. 2, no 18, p. 713-724, 2010.

ARNAUD C. GINETTE A. VERONIQUE BAROGHEL B La microfissuration superficielle a-t-elle une influence sur la profondeur de carbonatation des bétons - France : Revue de génie civil. Hermes, Vol 5, N°2-3, pp231-248, 2001.

ASSIE STEPHAN Durabilité des bétons autoplaçants - INSA de Toulouse, France : Thèse de Doctorat, 2004.

ATHIL Guide pratique pour l'emploi des ciments : Association technique de l'industrie des liants hydrauliques , 1998.

AZZOUZ H Etude des bétons à base des sables de dune - UNIVERSITÉ BISKRA : Thèse de magister, 2009.

-B-

BALAYSSAC J P. DETRICHE CH H. GRANDET J Intérêt de l'essai d'absorption d'eau pour la caractérisation du béton d'enrobage : *Materials and Structures*, Vol. 26, pp 226-230, 1993.

BALLAIS J L Des oueds mythiques aux rivières artificielles , l'hydrographie du Bas-Sahara Algérien. : *Physio-géo .vol 4 .2010.p107-127*, 2010.

BARKAT A Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton. - Université Ouargla : Mémoire de magister, 2006.

BARON J OLLIVIER J P Les Bétons, Bases et Données pour leur Formulation. - Paris : Éditions Eyrolles, 2ème Tirage, p. 188 –293, 1997.

BARON J. et OLLIVIER J.P., «La durabilité des bétons». Press de l'école national des ponts et chaussées, 1992.

BATATA A le béton de sable de dune – sa formulation et ces Propriétés : CNERIB, 1994.

BEDADI L Etude expérimentale d'un béton de sable de dune pour la fabrication des dalles et prédalles armées et faiblement armée - Université Ouargla : Mémoire de Magister, 2011.

BEDADI. L., BENTEBBA . M T. .,Characteristics of Sand of the Oueds in the Region of Oued Righ (Oued N'SA , Oued M'ZAB and Oued Rtem) in the Making of Concrete in the Arid Regions : *Energy Procedia* 119 .733–741, 2017.

BEGUE P. GAGNE R Relations écaillage/sorptivité des bétons confectionnés à l'aide de ciments aux ajouts: - Université de Sherbrooke : Étude préliminaire». Document interne, ,13 p, 2004.

BELFERRAG A Contribution à l'amélioration des propriétés mécaniques et rhéologiques des bétons de sable de dunes. - Université Biskra : Thèse de Doctorat en sciences, 2016.

BENABED B. KADI E H. AZZOUZ L. KENAI S Properties of self-compacting mortar made with various types of sand : *Cement and concrete composites* vol. 34,no 10, p. 1167-1173, 2012.

BENAISSA I « béton de sable fibré projeté pour panneau 3d». - Université Oran. : thèse de Doctorat, 2015.

BENCHAA B. AZZOUZ L. KADRI E. BELAIDI A S E. SOUALHI H Propriétés physico-mécaniques et durabilité des mortiers à base du sable de dunes: XXXe Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 2012.

BENMALEK M L contribution à l'étude des bétons de sable dunaire Pour éléments de structure. - ENP Alger : Mémoire de magistère, 1992.

BENMALEK M L. Bali A, Le béton de sable de dunes : un matériau performant pour le monde arab: Proceedings of First Arab Mechanical Congress. Damas, Syrie. 1-3 juin. pp 254 – 261, 1997.

BENMALEK M L. DERABLA R Elaboration et Caractérisation d'un Béton à base de sable dunaire et de sous-produits industriels. - Tunisie : Colloque Sols et Matériaux à Problèmes, 2007.

BENTATA A Étude Expérimentale d'un Béton avec Sable de Dune. - Université Ouargla : Mémoire de magister, 2004.

BENOSMAN .A S ., “ Performances Mécaniques et Durabilité des Matériaux Cimentaires Modifiés par Ajout de Polymère (PET) Thèse de Doctorat en Chimie Université Oran, 2011.

BERREDJEM L ARABI N MOLEZ L Contribution à l'étude des indicateurs de durabilité des bétons à base des granulats recyclés : HAL Id: HAL-0116772, 2015 b,.

BERREDJEM L. ARABI N. MOLEZ L. JAUBERTHIE R propriétés mécaniques et durabilité des bétons à base des graviers et sables recyclés issue de béton de démolition - France : Conférence Internationale Francophone NoMaD, Douai, 2015 a,.

BESSA B A Etude de la contribution des additions minérales aux propriétés physiques, mécaniques et de durabilité des mortiers. - Université de Cergy Pontoise France : Thèse de doctorat, 2004.

BONNEAU O Etude d'effet physico-chimiques des super plastifiant en vue d'optimiser le comportement rhéologique des béton à Ultra-Haute Performance. - école normale supérieure de Cachan et université de Sherbrooke : Thèse de doctorat en cotutelle, 1997.

BOUASKE M étude numérique et expérimentale du retrait endogène au très jeune âge des pâtes de ciment avec et sans inclusions - Université de Nantes : Thèse de Doctorat, 2007.

BOUAZIZ A. HAMZAOUI R. REZIGUE S. BENNABI A Valorisation du sable de dune dans les formulations des mortiers et des bétons - Cachan : 31èmes Rencontres de l'AUGC, E.N.S. 29 au 31 mai 2013, 2013.

BOUCETTA T contribution du laitier granulé et de la poudre de verre sur les propriétés d'écoulement et de durabilité des bétons autoplacants et de hautes performances - Université Annaba : Thèse de doctorat, 2014.

BOUDRISSA A K étude eco-épidémiologique de la leishmaniose cutanée du sud de l'Algérie [- Université-Setif 1 : Thèse de Doctorat, 2014.

BOUMARAF. B caractéristiques et fonctionnement des sols dans la vallée d'oued righ, Sahara nord oriental , Algérie - Université Biskra : Thèse de doctorat en sciences agronomiques, 2015.

BOUZIANI T. BEDERINA M. HADJOUJIA M Effect of Dune Sand on the Properties of Flowing Sand-Concrete (FSC) : International Journal of Concrete Structures and Materials 6, 59-64., 2012.

BOUZNAD I E Ressources en eau et Essai de la gestion intégrée dans la vallée Sud d'Oued Righ (W. Ouargla) (Sahara septentrional algérien) - Université Annaba : Mémoire de Magister, 2009.

Brahma A Le Béton - Alger : Éditions OPU, p. 80 –95, 1996.

-C-

C.T.T.P choix de formulation de sable de enrobé - Ouargla :, 1999.

CALGARO J. LACROIX R Maintenance et réparation des ponts : Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, p.11-19, 1997.

CASANOVA P Béton renforcés de fibres métalliques du matériau à la structure - France : Etudes et recherches des laboratoires des ponts et chaussées, Série ouvrages d'art OA20, 1996.

CASSAGNABERE Franck produits préfabriqués en béton file: vers l'amélioration des performances du matériau pour mieux gérer le procédé de production. - Université de Toulouse III : Thèse de Doctorat, 2007.

Castel A. Arliguie G. Chaussadent T. Baroghel-Bouny, La microfissuration superficielle a-t-elle une influence sur la profondeur de carbonatation des bétons : Revue Française de Génie Civil, 5(2–3), 231–248, 2001.

CDTA Centre Développé Technologie Avancé ,Baba Hasen Alger 2016.

HAUVIN J J. GRIMALDI G Les bétons de sable : Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées 157, 9-15, 1988.

CHELGOUM F. LOUATI M Béton de sable de dune: M.F.E –ENP, 1985.

CHEN Wei Etude expérimentale de la perméabilité du béton sous conditions thermiques et hydriques variables [Rapport]. - Lille : école centrale de Lille, 2011.

CHERAIT Y . NAFAA Z E Eléments des matériaux de construction et essais. - universitaire de Guelma : Collection le livre de génie civil, Direction de la publication, 2007.

Clause technique C.T.7/75 commission de normalisation Permanente de Normalisation des Matériaux de Construction - GRAND-DUCH de Luxembourg : Ministère des travaux publics, 2004.

COLLECTION TECHNIQUE CIMBETON. Les bétons : Durabilité des ouvrages en béton. Tome 1. Centre d'information

COSTA C Hydraulic Binders, in: Gonçalves , M. C., Margarido, F: Materials for Construction and Civil Engineering. Springer International Publishing, Switzerland, pp. 1-52, 2015.

-D-

De Larrard F Construire en Béton –L’essentiel sur les Matériaux - Paris : Presses ENPC, 199 p. p. 72 –76, 2002.

DE LARRARD F structure granulaires et formulation des bétons : Laboratoire centrale des ponts et chaussées, p.30-208, 2000.

Derbala A Contribution aux Possibilités d’Amélioration de la Qualité du Béton. - Université Blida : Mémoire de Magistère en Génie Civil, 1999.

DESOUZA S J. HOOTON R D. BICKLEY J A Evaluation of laboratory drying procedures relevant to field conditions for concrete sorptivity measurement : Cement, Concrete and Aggregates, Vol. 19, No 2, pp. 59-63, 1997.

DOUADI. A Contribution à l'analyse qualitative et quantitative de quelques polluants organiques dans les eaux usées de la région de Ouargla - Université de Ouargla : Mémoire de magister, 2002.

DREUX G. FESTA J Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants : Editions Eyrolles, 2002.

DREUX G. FESTA J Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants. - Paris : Editions Eyrolles, 8ème Edition, 1998.

DUBOST D Ecologie, aménagement des oasis algérienne", - Université François Rebellais, Tours, 548P : Thèse Doctorat de Géographie, 1991.

Dupain R., Lanchon, R., Saint Arroman, J.C., 2000 Granulats, sols, ciments et bétons - caractérisation des matériaux de génie civil par les essais laboratoire, 2nd ed. Casteilla, Paris. 240p. - 2000.

-E-

El Houssain R contribution a l'analyse du comportement mécanique de dalles en béton arme renforcées par matériaux composites. - Thèse de doctorat : université LYON , 2004.

-F-

FAGERLUND GORAN Critical degrees of saturation at freezing of porous and brittle materials. - LUND Universty Published :, 1973.

Fiche de Qualité Ciment CPJ – CEM II / 42.5A. : Conformément à la norme NA 442, 2000.

Fiche technique Tom 2 Collection technique CIM béton, Les béton formulation, fabrication et mise en œuvre : Edition octobre, 2006.

Fiches Techniques Cimbeton B1 Le Béton. - Paris : Centre d'Information de l'IndustrieCimentier, 1997.

Figoli Y l'Art de âtir: Modulo Éditeur, Volume 4, Québec, p. 108 –113., 1985.

-G-

GBB Technologie du béton Bruxelles. - Bruxelles : GBB - Groupement belge du béton, , 2006.

GHRIB A Etude d'un béton de sable de dunes pour pistes Aéronautique [Rapport]. - E.N.P Alger : Thèse de magistère, 1994.

GORCHAKOV G I Matériaux des constructions. - MOSCOU :, 1988.

GORISSE F Essais et Contrôle des Bétons »,., - Paris : Editions Eyrolles, p. 32 –139, 1978.

GOUA M S contribution à l'élaboration d'un procédé de valorisation de Co-produits argileux – cas du béton argileux cellulaire obtenu par réaction avec l'aluminium pulvérulent caractérisation et comportement thermohydrrique: Thèse de doctorat ENP, 2001.

GUETTALA S. MEZGHICHEB B Influence de l'addition du sable de dune en poudre au ciment sur les propriétés des bétons - Franse : 21ème Congrès Français de Mécanique Bordeaux, 2013.

GUETTALA S., “ Contribution à l'étude de l'influence de l'ajout du sable de dune finement broyé au ciment, sur les performances physico-mécaniques, la déformabilité & la durabilité du béton ”, -Thésee de Doctorat en Génie Civil – Université Biskra, 2012.

-H-

HACHANA A Etude des bétons à bases des agrégats de démolition. - Université Biskra : Mémoire de magistère, 2008.

Hachem Chaïb al Thermal study of earth bricks reinforced by date palm fibers - : Energy Procedia 74, 919 – 925, 2015.

HALL C Water sorptivity of mortars and concretes : a review Magconcrres;41(147):51–61, 1989.

HANNACHI S. GUETTACHE M N LE CONTROLE NON DESTRUCTIF DES OUVRAGES EN BETON- EVALUATION DE LA RESISTANCE DU BETON A LA COMPRESSION SUR SITE APPLICATION DE LA METHODE COMBINEE : Sciences et Technologie B – N°34, pp 9-14., 2011.

HERMIME H caractérisation expérimentale et numérique du béton auto plaçant utilisation des déchets de construction - Université Tizi-Ouzou : thèse de doctorat, 2016.

HORNAIN H ARLIGUIE G Grandubé Grandeurs associées à la Durabilité des Bétons - Paris : Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2007.

-I-

INRAA La vallée d'Oued Righ : une problématique, une approche, une tentative de diagnostic 13p., 2001.

-J-

JIANG. L., LIU. Z., YE. Y, Durability of concrete incorporating large volumes of low-quality fly ash, Cement and Concrete Research 34, 1467– 1469, 2004.

JENSEN O Autogenous phenomena in cement-based materials. - University of Denmark :, 2005.

-K-

KEDJOUR N Propriétés et Pathologie du Béton. - Alger : Éditions OPU, p. 129, 1993.

KHOUADJIA M L k. MEZGHICHE B étude du retrait et du gonflement des bétons à base de différents sables algérien. - SKIKDA-ALGERIA : international symposium on construction management and civil engineering (ISCMCE-2017), 15-16 Novembre 2017, 2017.

KOBAYASHI K. UNO Y Influence of alkali on carbonation of concrete : Part I, preliminary tests with mortar specimens. Cement and Concrete Research, vol 19, n°5 pp.821- 826.Part II, Influence of alkaline cement on rate of carbonation of concrete, Cement and Concrete Research, vol.20, n°4, pp.619-622, Copyright, 1990.

KOMAR A Matériaux et Éléments de Construction. - Moscou : ,Éditions Mir, 3ème Édition, p. 188, 1978.

KOTZIAZ concrete without coars aggregate : A.C.I journal, 1971.

KOU S C. POON C S properties of concrete prepared with crushed fine stone, furnace botom ash and fine recycled aggregate as fine aggregates - : Construction and Building Materials, vol. 23, no 8, p 2877-2886, 2009.

Kriker A., “ Durabilité du Béton à Base de Laitier ”, Mémoire de Magister en Génie Civil – ENP d’Alger, 1992.

-L-

LEC Rapports d’essai de Laboratoire Etude et Contrôle Ouargla. - Ouargla : Essai de Laboratoire, 2016.

LEGER C Vallée de Ouargla- Etude d'assainissement des eaux résiduaires pluviales et d'irrigation, Mission IIB: Caractérisation environnementale de la situation actuelle. - Algérie : National de L'assainissement des Ressources en eau Office, 2003.

Lin Y. Lai C. Yen T Prediction of Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) in Concrete: ACI Materials Journal, 21- 28. , 2003.

LTPS Rapports internes de laboratoire des travaux publics sud. - Ouargla :, 2005.

LURA P. DURAND F Proceeding of the international RILEM conference: Volume changes of hardening concrete: testing and mitigation : Ole Mejlhede Jensen, Pietro Lura and Konstantin Kovler, P 57-65, 2006.

Luo, F.J., He, L., Pan, Z., Duan, W.H., Zhao, X.L., Collins, F., Effect of very fine particles on workability and strength of concrete made with dune sand. Construction and Building Materials 47, 131-137, 2013.

-M-

Maillot R Mémento Technique des Granulats - Paris : Presses École des Mines de Paris p. 31 –39, 2001.

Malhotra V M. Carino N J .(Eds) Handbook on Nondestructive Testing of Concrete : CRC Press. , 1991.

Mani Mohammed, Kriker Abdelouahed, Belferrag Allaoua., . Compressive strength of dune sand reinforced concrete: Energy Procedia 1814, 020023-1–020023-8, 2017.

MELAIS F Z. ACHOURA D Formulation et propriétés des bétons de sable renforcé des fibres de polypropylène. - Tlemcen : XXIXe Rencontres Universitaires de Génie Civil., 2011.

MEZGHICHE B Les essais de laboratoire des matériaux de construction : Publication Universitaire Biskra, 2005.

MUNZER H Critères Découlant D'essais De Charge Pour L'évaluation Du Comportement Des Ponts En Béton Et Pour Le Choix De La Précontrainte. - Ecole Polytechnique Fédérale De Lausanne. : Thèse N° 1296 , 1994.

MUTONI A. FENNANDEZ RUIZ M Shear strength of member without transverse reinforcement as function of critical shear crack width,. - Etats-Unis : ACI structural journal, Vol. 105, No.2, pp. 163-172 Farmington Hills, Mars-Avril, 2008.

-N-

Neville Adam M Propriétés des Bétons. p. 103 – 726. - Paris : Éditions Eyrolles, 2000.

NF EN 12350-2 Norme Européenne Essai pour Béton Frais –Partie 2 :Essai d’Affaissement. - Paris : Éditions AFNOR, 1999.

NF EN 12350-5 Essai de l'étalement à la table à secousse (Flow test). Juin 2009.

NF EN 12390-1 Norme Européenne Essai pour Béton Durci –Partie 7 :Masse Volumique du Béton. - Paris : Éditions AFNOR, 2001.

NF EN 12390-3 Norme Européenne Essai pour Béton Durci –Partie 3 :Résistance à la Compression des Éprouvettes - Paris : Éditions AFNOR, 2003.

NF EN 12390-7 Norme Européenne Essai pour Béton Durci –Partie 7 :Masse Volumique du Béton - Paris : Éditions AFNOR, 2001.

NF EN 196-1 2006 Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : détermination des résistances mécaniques -. Avril 2006.. - 2006.

NF EN 196-3 Norme Européenne Méthodes d'essais des ciments - Partie 3 :détermination du temps de prise et de la stabilité. : Éditions AFNOR, 2006.

NF EN 206-1 Norme Européenne Béton –Partie 1 : Spécification Performances, Production et Conformité. - Paris : Éditions AFNOR, 2002.

NF EN 933-1 Norme Française Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats» Partie 1 : détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage. - Paris : Éditions AFNOR, 2012.

NF EN 933-2 Norme Française Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 2 : détermination de la granularité - Tamis de contrôle, dimensions nominales des ouvertures - 1996.

NF P 10-502 Norme Française Pierre - Essai d'absorption d'eau - Paris : Éditions AFNOR, 1990.

NF P 15-301 1994 Norme française, « Ciments courants», Juin 1994. - 1994.

NF P 15-476 Normes AFNOR, Méthodes d'essais des ciments. partie 6 : Détermination de la finesse - 1990.

NF P 18-301. Normes française "Granulats" Granulats naturels pour bétons hydrauliques. Homologuée décembre 1983.

NF P 18-304 Norme Française Granulats –Equivalent de sable - Paris : Éditions AFNOR, 1990.

NF P 18-400 Norme Française Béton –Moules pour éprouvettes cylindriques et prismatiques. - Paris : Éditions AFNOR, 1981.

NF P 18-404 Norme Française Bétons, Essais d'Étude, de Convenance et de Contrôle Confection et Conservation des Éprouvettes - Paris : Éditions AFNOR, 1981.

NF P 18-407 Norme Française Bétons –Essai de Flexion - Paris : Éditions AFNOR, 1981.

NF P 18-418 Norme Française Béton –Auscultation Sonique, Mesure du Temps de Propagation d'Ondes Soniques dans le Béton - Paris : Éditions AFNOR, 1989.

NF P 18-427 Norme Française Bétons –Détermination des Variations Dimensionnelles entre deux Faces Opposées d'Éprouvettes de Béton Durci. - Paris : Editions AFNOR, 1996.

NF P 18-451 Norme Française Béton –Essai d'affaissement. - Paris : Éditions AFNOR, 1990.

NF P 18-452 1988 Bétons-Mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers aux maniabilimètres (Indice de classement : P18-452). Mai 1988. - 1988.

NF P 18-554 Norme Française Granulats, Mesures des Masses Volumiques, de la Porosité, du Coefficient d'Absorption et de la Teneur en Eau des Gravillons et Cailloux - Paris : Éditions AFNOR, 1990.

NF P 18-555 Norme Française Granulats – Mesures des Masses Volumiques, Coefficient d'Absorption et Teneur en Eau des Sables. - Paris : Éditions AFNOR, 1990.

NF P 18-557 Norme Française Granulats –Éléments pour l'Identification des Granulats. - Paris : Éditions AFNOR, 1990.

NF P 18-598 Norme Française Equivalent de sable - Paris : Éditions AFNOR, 1991.

NF P15-433 1994 .Méthodes d'essais des ciments - Détermination du retrait et du gonflement.Février 1994. - 1994.

NF P15-433 1994 Méthodes d'essais des ciments - Détermination du retrait et du gonflement. - Février 1994.

NF P18-303 Norme AFNOR Liants hydrauliques –l'eau de gâchage - Paris : édition AFNOR, 1990.

NF P18-591 Norme Française Granulats –Détermination de la Propreté Superficielle - Paris : Éditions AFNOR, 1990.

-R-

R. GANE, Cours de durabilité et réparation des bétons (GCI-714), Chapitre 2 : La durabilité des bétons. Université de Sherbrooke, Canada, p.32, www.usherb.ca, 2002.

RABEHI M Apport à la caractérisation de la porosité ouverte du béton d'enrobage par l'utilisation des tests d'absorption capillaire - Université Biskra : Thèse de doctorat, 2014.

RAPOORT MISSION étude d'un système d'évacuation des eaux de crues de l'oued R'tem pour la protection du centre de m'rara - DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE DE LA WILAYA EL OUED : mission 1 : étude préliminaire, 2010.

Régle BAEL91 révisées. 99 Régle technique de conception et de calcul des ouvrages et construction en béton armé suivant la méthode des états limites)+amendement A1(CSTB ISBN 2-86891-281-8) fascule 62, titre1 du CCTG travaux section 1: béton armé: (DTU P18-702), 2000.

RENAUD H. LETERTRE F Ouvrages en béton armé - Paris. France : Edition Foucher., 1978.

RILEM Recommendations for the Testing and Use of Constructions Materials: CPC11.2. Water absorption of concrete by capillarity; (1982). - 1994.

-S-

SABLOCRETE Synthèse du Projet National de Recherche et Développement, Bétons de sable, caractéristiques et pratiques d'utilisation, - Paris : Presses de l'école Nationale des Ponts et Chaussées LCPC,, 1994.

SAIDI H. BRAHIM M. GUEDDARI M caractérisation granulométrique et minéralogique des sédiments de surface de la frange littorale sidi bousaid - la goulette - Université de Tunis El Manar : Article de publication, 2004.

Shaker. F A., El Dieb. A S., Reda. M M., Durability of styrene-butadiene latex modified concrete, Cement and Concrete Research, vol.27, n° 5, 711-720, 1997.

Sidi Mohammed El Amine BOUKLI HACENE contribution a l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemce - Université Tlemcen : Thèse de Doctorat, 2009.

SLIMANI R Contribution à l'évaluation d'indicateurs de pollution environnementaux dans la région de Ouargla: Cas des eaux de rejets (agricoles et urbaines - Université Ouargla : Thèse de Magistère, 2006.

-T-

TAFRAOUI A Contribution à la valorisation du sable de dune de l'erg occidental (Algérie). Application aux nouveaux bétons. - Université de Toulouse France : Thèse de doctorat, 2009.

Technologie du béton durabilité des bétons par la maîtrise de l'absorption d'eau - 2009.

Technologie du béton Technologie du béton Bruxelles : GBB - Bruxelles : Groupement belge du béton, 2006.

TEST SOCIETE BERA instrument de contrôle pour génie civil - Suisse : Catalogue Laboratoire, 2005.

TOUIL Y Etude des possibilités de la réutilisation des eaux de drainage dans la cuvette de Ouargla - Ecole Nationale supérieure d'hydraulique Blida : Mémoire de magiste, 2002.

Turcry Philippe Retrait et Fissuration des Betons Autoplaçants Influence de la Formulation - Université de Nantes : thèse de Doctorat, 2004.

TYLER R Sandcrete blocks. - west Africain building : Research institut, 1961.

-U-

UNO P J Plastic shrinkage cracking and evaporation formulas. : ACI Materials Journal, 95(4) :365_375, July-August, 1998.

UZOMAKA O J Some factors with effet the cruching strenght of sandcrete blocks - 1977.

-V-

VERONIQUE BAROGHEL B. AMMOUCHE A. HUGUES H Analyse de la microstructure et propriétés de transfert : Revue de génie civil. Hermes, France. Vol 5, N°2-3, pp149-177, 2001.

VIERA M Concrete in: Gonçalves, M.C., Margarido, F : Materials for Construction and Civil Engineering. Springer, Switzerland, pp. 185-236, 2015.

VIMANE PHOUMMAVONG Cours en béton armé : Essais de laboratoire, page. 1à 146.

-W-

WESTERHOLM M. LAGERBLAD B. SILFWERERAD J. FORSSBERG E Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars : Cément and concrète composites, vol. 30, no 4, p. 274-282, 2008.

WIERIG H Longtime studies on the carbonation of concrete under normal outdoor exposure : RILEM Seminar, Hannover, 1984.

-X-

XP P 18-540 Norme Française Granulats –Définitions, Conformité et Spécifications. - Paris : Éditions AFNOR, 1997.

-Y-

Yamani L cours de construction (1). - Alger : Edition OPU, 1993.

-Z-

ZATOUT M Etude géochimique et minéralogique du chott de Ain El Beida et de la sebka d'Oum Erraneb Cuvette de Ouargla - Bas Sahara - université Ouargla : Mémoire de magister, 2012.

ANNEXES

Annexe (01) valeurs approximatives du coefficient granulaire G (DREUX G. FESTA J, 2002)

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins ($D \leq 16$ mm)	Moyens ($20 \leq D \leq 40$ mm)	Gros ($D \geq 50$ mm)
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Annexe (02) Relation entre la granularité et le dosage de ciment (DREUX G. FESTA J, 2002)

Granularité	$^5\sqrt{D}$	$550/^5\sqrt{D}$	$700/^5\sqrt{D}$	
0/25	1,904	290	370	BETON
0/20	1,821	300	385	
0/16	1,741	315	400	
0/8	1,516	360	460	
0/6,3	1,445	380	480	
0/4	1,320	415	530	MORTIER
0/2	1,149	480	610	
0/1	1,000	550	700	

Annexe (03) Coefficient K: terme correcteur qui dépend du dosage en ciment (DREUX G. FESTA J, 2002)

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400 + Superplastifiant	- 2	0	- 4	- 2	- 6	- 4
	400	0	+ 2	- 2	0	- 4	- 2
	350	+ 2	+ 4	0	+ 2	- 2	0
	300	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4	0	+ 2
	250	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4
	200	+ 8	+ 10	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6

Annexe (04) Coefficient de compacité: (DREUX G. FESTA J, 2002)

Consistance	Serrage	γ coefficient de compacité						
		D = 5	D = 10	D = 12,5	D = 20	D = 31,5	D = 50	D = 80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,730	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

Ces valeurs sont convenables pour des *granulats roulés* sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes :

- sable roulé et gravier concassé = - 0,01,
- sable et gravier concassé = - 0,03.

Annexe (05) Qualité du béton en fonction de la vitesse de propagation des implosions:

(CHERAIT Y . NAFAA Z E, 2007)

Qualité du béton	Vitesse de propagation (m/sec)
Excellente	Supérieure à 4575
Bonne	3660 à 4575
Douteuse	3050 à 3660
Mauvaise	2135 à 3600
Très mauvaise	Inférieure à 2135

MATÉRIELS ET ESSAIS DE BÉTONS

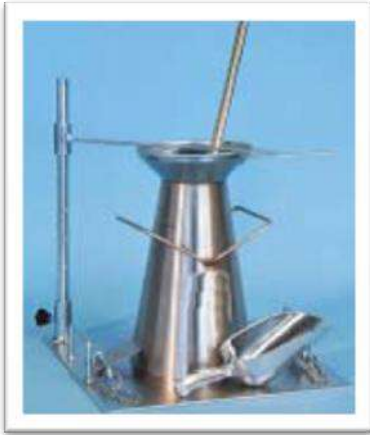


Photo A1-1
Appareillage du cône d'Abrams



Photo A1-2
Moules et Éprouvettes Utilisés



Photo A1-3
Malaxeur à Béton



Photo A1-4
Table Vibrante



Photo A1-5
Conservation des éprouvettes à l'eau.



Photo A1-6
Conservation des éprouvettes à l'air libre.



Photo A1-8
Machine d'Essai de Flexion



Photo A1-7
Machine d'Essai de Compression



Photo A1-9
Essai de Retrait



Photo A1-10
Éprouvettes cubiques



Photo A1-11 *Essai de maniabilité (Maniabilimètre)*



Photo A1-12 *moule 4x4x16cm*



Photo A1-13 *Eprouvettes écrasé traction par la flexion*



Photo A1-14 *Dispositif d'écrasement*



Photo A1-15 *Eprouvettes destinées à la mesure du retrait.*