

M GC 07/13

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

FACULTÉ DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE L'HYDRAULIQUE

ET DE GÉNIE CIVIL



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

INGENIEUR D'ETAT

EN GENIE CIVIL

OPTION : C.C.I

Par

M^{me} HAMMADI DALILA

M^r BAKHOUCHE ZOHEIR

Thème



Soutenu Publiquem

ent le : 24 / 06 / 2007

Devant le Jury composé de:

Mr ELOUGBI Abdelaziz

Mr BELFERRAGUE Allaoua

Mr DJOUHRI Mohammed

Dr KRIKR Abdelouahed

Mr MOUDJAHED Noredidine

MACC

MC

Magister

MC

Ingenieur

Université de Ouargla

Université de Ouargla

Université de Ouargla

Université de Ouargla

LTP Sud Ouargla

President

Examinateur

Examinateur

Promoteur

Co- Promoteur

ANNEE UNIVERSITAIRE 2006/2007

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTÉ DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGÉNIEUR
DÉPARTEMENT DE L'HYDRAULIQUE
ET DE GÉNIE CIVIL

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de
INGÉNIEUR D'ÉTAT
EN GENIE CIVIL
OPTION : C.C.I

Par

M^{me} HAMMADI DALILA
M^r BAKHOUCHE ZOHEIR

Thème



Soutenu Publiquement le :

21 / 06 / 2007

Devant le Jury composé de:

Mr LOGBI Abdelaziz	MACC	Université de Ouargla	Président
Mr BELFERRAG Allaoua	MC	Université de Ouargla	Examineur
Mr DJOUHRI Mohamed	Magister	Université de Ouargla	Examineur
Dr KRIKER Abdelouahed	MC	Université de Ouargla	Promoteur
Mr MOUDJAHED Noredine	Ingénieur	LTP Sud Ouargla	Co- Promoteur

ANNEE UNIVERSITAIRE 2006/2007

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

- ▲ La mémoire de mon père et mon beau -père
- ▲ Ma mère et ma belle- mère
- ▲ Mon mari et mon fils Youcef
- ▲ Mes sœurs, mes belles-sœurs, Mes frères et mes beaux frères
- ▲ Mes nièces et mes neveux
- ▲ Toute ma grande Famille, mes Proches et mes Amis fidèles.
- ▲ Mon binôme Z.Bakhouche
- ▲ Pour notre promotion de génie civil sans exception.
- ▲ Tous mes camarades de travail au laboratoire LTPS.

D.HAMMADI

DEDICACES

Je dédie ce mémoire d'Ingénieur à :

- ▲ Mes Très Chers Regrettés Parents et beau père que Dieu les bénisse,
- ▲ Ma Femme pour sa patience et tout ce qu'elle m'a apporté avec bonne grâce,
- ▲ Mes Enfants Abderzak et Nour el Imen, que Dieu les guide dans le bon chemin,
- ▲ Ma Belle Mère
- ▲ Mes Frères, mes Beaux Frères, mes Sœurs et mes Belles Sœurs,
- ▲ Mon Binôme D.HAMMADI.
- ▲ Toute ma Famille, mes Proches et mes Amis fidèles,
- ▲ Pour notre promotion de génie civil.
- ▲ Tout le personnel du laboratoire LTPS
- ▲ Mes collègues de travail.
- ▲ Tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin.

Z. BAKHOUCHE

REMERCIEMENTS

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

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur Dr A. Kriker, maître de conférences à l'université de Ouargla pour ces conseils, son suivi et orientation tout au long de ce travail.

Nous remercions notre co-promoteur Mr N. Moudjahed chef de service technique à LTPSud pour ces conseils et ces directives.

Nos remerciements vont également à tous les membres de jury de nous avoir fait l'honneur d'examiner ce modeste travail et faire leurs suggestions.

Nos pensées vont à tous nos enseignants de l'université de Ouargla, qu'ils trouvent ici nos sincères reconnaissances.

Egalement nos sincères remerciements à Mrs :

- ▲ K. Zekri directeur du laboratoire LTPS
- ▲ A. Guettaïa directeur du lycée polyvalent Béni Tour.
- ▲ A. Hafsi chef de département du laboratoire LTPS
- ▲ A. Kennouche chef de service béton du laboratoire LTPS
- ▲ H. Benattia ingénieur au laboratoire Et sans oublié le personnel et les travailleurs pour leurs soutien et patiences tout au long de l'exécution de ce travail.

LISTE DES TABLEAUX

<u>Tableau N°</u>	<u>Titre</u>	<u>Page</u>
Tableau I-1	Qualité du sable en fonction de la valeur de l'ES.....	5
Tableau I-2	Teneur en fines (f) de la fraction 0/4 mm.....	6
Tableau I-3	Valeurs spécifiées supérieures du coefficient d'absorption d'eau.....	8
Tableau II-1	Appréciation de la consistance par l'affaissement au cône d'abrams.....	11
Tableau II-2	Résistances moyennes en compression sur les bétons.....	13
Tableau II-3	Dimensions de fabrication des moules et éprouvettes cylindriques.....	15
Tableau II-4	Dimensions de fabrication des moules et éprouvettes prismatiques.....	16
Tableau II-5	Dimensions de fabrication des moules et éprouvettes cubiques.....	16
Tableau III-1	Les valeurs des modules de finesse de quelques sables dunaires.....	22
Tableau III-2	Les masses volumiques apparentes et absolues des sables dunaires.....	23
Tableau III-3	Propreté du sable de dune.....	24
Tableau III-4	Composition chimique de sable dunaire.....	26
Tableau III-5	Résultats de résistance obtenue par les mélanges proposés par Kotzias..	28
Tableau III-6	Compositions des bétons étudiés.....	28
Tableau III-7	Résultats de résistance du béton 3 (Environnement II).....	29
Tableau IV-1	Granulométrie de sable de dune.....	33
Tableau IV-2	Analyse granulométrique du sable concassé.....	33
Tableau IV-3	Analyse granulométrique du sable concassé après élimination des fines	36
Tableau IV-4	Analyse granulométrique du sable corrigé.....	37
Tableau IV-5	Analyse granulométrique du sable corrigé rectifié.....	39

Tableau IV-6	La granulométrie du gravier utilisé.....	40
Tableau IV-7	Équivalent de sable des différents sables corrigé et rectifié.....	42
Tableau IV-8	Masse volumique apparente et absolus des granulats utilisés.....	46
Tableau IV-9	Analyse chimique.....	51
Tableau IV-10	Composition chimique du ciment en % massique.....	52
Tableau IV-11	Composition minéralogique du clinker.....	53
Tableau IV-12	Caractéristiques mécaniques de ciment.....	53
Tableau IV-13	Essai de prise.....	55
Tableau V-1	Différents mélanges.....	57
Tableau V-2	Valeurs de A.....	59
Tableau V-3	La variation du coefficient K.....	59
Tableau V-4	Pourcentages des agrégats.....	60
Tableau VI-1	La résistance à la flexion du béton.....	72
Tableau VI-2	La résistance à la compression.....	74
Tableau VI-3	Résultats d'essai de retrait.....	76
Tableau VI-4	Comparaison entre les bétons.....	77

LISTE DES FIGURES

<u>Figure N°</u>	<u>Titre</u>	<u>Page</u>
Figures IV.1	Analyse granulométrique du sable de dune.....	33
Figures IV.2	Courbe granulométrique de sable concassé.....	35
Figures IV.3	Granulométrie du sable concassée après élimination des fines.....	36
Figures IV.4	Fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton.....	38
Figures IV.5	Fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton rectifié...	39
Figures V.1	Courbe granulométrique du sable 2'.....	61
Figures V.2	Courbe granulométrique du sable 3'.....	62
Figures V.3	Courbe granulométrique du sable 4'.....	63
Figures V.5	Courbe granulométrique du sable 5'.....	64
Figures V.6	Courbe granulométrique du sable 6'.....	65
Figures VI.1	Evolution de la résistance à la flexion du béton.....	72
Figures VI.2	Evolution de la résistance à la compression du béton.....	74
Figures VI.3	Evolution du retrait en fonction d'âge.....	76

LISTE DES PHOTOS

<u>Photo N°</u>	<u>Titre</u>	<u>Page</u>
Photo A1-1	Diviseur à couloirs pour granulats.....	V
Photo A1-2	Tamiseuse électrique.....	V
Photo A1-3	Tamis à mailles carrées.....	V
Photo A1-4	Appareillage d'équivalent de sable.....	V
Photo A1-5	Appareillage d'essai de la valeur du bleu.....	VI
Photo A1-6	Appareillage de la masse volumique absolue.....	VI
Photo A1-7	Appareillage de la masse volumique apparente du sable.....	VI
Photo A1-8	Appareillage de la masse volumique apparente du gravier.....	VI
Photo A1-9	Analyses chimiques.....	VI
Photo A1-10	Appareil de Vicat.....	VI
Photo A2-1	Appareillage du cône d'Abrams.....	VII
Photo A2-2	Moules et éprouvettes utilisés.....	VII
Photo A2-3	Malaxeur à béton.....	VII
Photo A2-4	Table vibrante.....	VII
Photo A2-5	Conservation des éprouvettes à l'eau.....	VIII
Photo A2-6	Conservation des éprouvettes à l'air libre.....	VIII
Photo A2-7	Machine d'essai de flexion.....	VIII
Photo A2-8	Machine d'essai de compression.....	VIII
Photo A2-9	Essai de retrait rétractomètre.....	VIII

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX	I
LISTE DES FIGURES	III
LISTE DES PHOTOS	IV
ANNEXES A1.....	V
ANNEXES A2	VII
INTRODUCTION GENERALE	1

PREMIERE PARTIE

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

CARACTERISTIQUES DU MATERIAU GRANULAT

I.1 -INTRODUCTION	2
I.2 -DEFINITIONS.....	2
I.3 -CARACTERISTIQUES DES GRANULATS	3
I. 3.1 -Caractéristiques de fabrication.....	4
I. 3.1.1 -Granularité.....	4
I. 3.1.2 - Module de finesse des sables « Mf »	4
I. 3.1.3 - Propreté des granulats	4
I. 3.2 -Caractéristiques intrinsèques.....	6
I. 3.2.1 -Masses volumiques.....	7
I. 3.2.2 -Porosité.....	7
I. 3.2.3 -Absorption d'eau.....	8
I.4 -CONCLUSION	9

CHAPITRE II

PROPRIETES ESSENTIELLES DU BETON

II. 1 -INTRODUCTION	10
II. 2 OUVRABILITE.....	10
II. 3 -RÉSISTANCE	12

II. 3.1 –Introduction.....	12
II. 3.2 –Résistance en compression.....	12
II. 3.3 –Résistance à la traction.....	13
II. 3.3.1 –Essai en traction directe.....	13
II. 3.3.2 –Essai de traction par fendage.....	14
II. 3.3.3 –Essai de traction par flexion.....	14
II. 3.4 –Moules et éprouvettes utilisés.....	15
II.3.5 –Conclusion.....	17
II.4 –RETRAIT	17
II.4.1 –Introduction.....	17
II.4.2 –Différents types de retrait.....	17
II.4.2.1 –Retrait avant et en cours de prise.....	17
II. 4.2.2 –Retrait thermique.....	18
II. 4.2.3 –Retrait hydraulique.....	18
II. 4.3 –Facteurs agissant sur le retrait.....	18
II. 4.4 –Mesure du retrait.....	19
II. 4.5 – Conclusion	20
II. 5 –DURABILITÉ	20
II. 5.1 –Introduction.....	20
II. 5.2 –Résistance aux agents agressifs.....	20
II. 5.3 –Résistance aux cycles de gel –dégel.....	21
II. 5.4 –Conclusion.....	21

CHAPITRE III

LES SABLES DE DUNES ET LEUR UTILISATION DANS LE BETON

III.1 –INTRODUCTION	22
III.2 –CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES SABLES DUNAIRES	22
III.2 .1– Granulométrie.....	22
III.2.2 -Masses volumiques	23
III.2.3 –Propreté.....	24
III.3- COMPOSITION MINERALOGIQUE DES SABLES DUNAIRES	24
III.4 -ANALYSES CHIMIQUES DES SABLES DUNAIRES	25

III.5 -CHOIX D 'UN SABLE DE DUNE	26
III.6 -L'UTILISATION DE SABLE DE DUNE DANS BETON OU MORTIER	26
III.7 -CONCLUSION.....	30

DEUXIEME PARTIE

ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV

ESSAI D'IDENTIFICATION DES MATERIAUX

IV.1-INTRODUCTION.....	31
IV.2-LES GRANULATS	31
IV.2.1 -Analyse granulométriques par voie sèche.....	31
IV.2.1.1-Notions de bases.....	31
IV.2.1.2-Résultats de l'essai.....	33
IV.2.1.3 -Correction du sable de dune par le sable concassé.....	37
IV.2.1.4 -Analyse granulométrique du gravier utilisé.....	40
IV.3 -ESSAI D'EQUIVALENT DE SABLE.....	41
IV.4 -ESSAI AU BLEU DE METHYLENE.....	43
IV.5 -DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE ET APPARENTE D'UN SABLE OU D'UN GRAVIER	45
IV.5.1 -Détermination de la masse volumique absolue d'un sable ou d'un gravier.....	45
IV.5.2 -Détermination de la masse volumique apparente d'un sable ou d'un gravier.....	45
IV.6 -MESURE DU COEFICIENT D'ABSORPTION DU SABLE	47
IV.7-LA TENEUR EN EAU DES AGRÉGATS.....	47
IV.8 -ANALYSES HIMIQUE	48
IV.8.1-Détermination des corps insolubles.....	48
IV.8.2-Détermination des sulfates.....	49
IV.8.3- Essai de détermination des chlorures.....	50
IV.8.4 -Essai de détermination du taux des carbonates d'un sol.....	51
IV.9 -LE CIMENT.....	52
IV.10-LES ESSAIS PHYSIQUES SUR LA PATE DE CIMENT.....	53
IV.10.1 -Consistance normale avec l'appareil de Vicat.....	53
IV.10.2- Essai de prise.....	54
IV.11-L'EAU DE GACHAGE.....	55

CHAPITRE V
ETUDES DE FORMULATION DES BETONS

V.1-INTRODUCTION.....	56
V.2 -PRINCIPE DE LA METHODE.....	57
V.2.1 -Détermination de la quantité de l'eau de gâchage.....	59
V.2.2 -Détermination de volume absolu des agrégats sec.....	60
V.2.3 -Détermination de pourcentage de ciment.....	60
V.2.4 -Détermination des pourcentages des agrégats	60
V.2.5 -Affaissement au cone d'abrams	66
V. 3 -CONFECTION ET CURE DES EPROUVETTES.....	66
V. 3.1 -Moules pour éprouvettes.....	66
V. 3.2 -Confection des éprouvettes.....	66
V. 3.3 -Conservation des éprouvettes.....	67

CHAPITRE VI
**COMPORTEMENT MECANIQUE
ET RHEOLOGIQUE DU BETON**

VI.1 -INTRODUCTION.....	68
VI.2 -ESSAI DE RUPTURE PAR FLEXION.....	68
VI.3 -ESSAI DE COMPRESSION.....	69
VI.4 -ESSAI DE RETRAIT.....	70
VI.5-RÉSULTATS ET INTERPRETATIONS.....	71
VI.5.1-Résistance à la flexion.....	71
VI.5.2 -Resistances à la compression.....	73
VI.5.3- Retrait.....	75
VI.5.4- Conclusion.....	78

**CONCLUSIONS GENERALES
ET RECOMMANDATIONS**

1- CONCLUSIONS GENERALES	79
2- RECOMMANDATIONS	81
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	82

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le granulat est une matière première indispensable dans l'industrie du bâtiment et des travaux publics. Il est produit et utilisé en très grandes quantités, dans tous les pays du monde; toutefois les ressources naturelles ne sont pas inépuisables et les lieux d'extraction ne cessent de s'éloigner des lieux de consommation.

Le sable de dune constitue en Algérie un gigantesque gisement, il couvre presque 60% de son sahara. Cette quantité peut-être adopté en tant que matériau de construction tel que dans la production de brique et/ou de verre.

Le béton est le matériau le plus utilisé dans le domaine de la construction, les granulats représentent presque 75% du volume du béton. Le taux de sable peut aller jusqu'à 40% de la masse totale du béton. A cet effet, il est intéressant d'étudier la possibilité de valorisation de sable de dune dans la composition du béton.

L'objectif principal de cette recherche est de vérifier la possibilité de corriger la granulométrie de sable de dune par le sable de concassage dans le but de l'utiliser comme sable dans les bétons ou mortiers. Et cela dans le but de contribuer ainsi à la valorisation de ces deux sables dans la construction. Aussi d'étudier les caractéristiques physico mécaniques et chimiques des granulats, ainsi que des bétons à base de ces granulats, afin de pouvoir les utiliser, dans certains domaines de la construction.

PREMIERE PARTIE

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

CARACTERISTIQUES DU MATERIAU GRANULAT

CHAPITRE I

CARACTERISTIQUES DU MATERIAU GRANULAT**I. 1 – INTRODUCTION**

On appelle « granulats » ce qui constitue l'ensemble des matériaux granulaires, non cohérents et qui, agglomérés par un liant, forment le squelette du béton.

Il s'agit donc des éléments inertes entrant dans la composition des bétons : sables, gravillons, graviers, cailloux, etc. [1]

Les granulats représentent les trois quarts du volume du béton et selon leur qualité, peuvent non seulement limiter la résistance du béton, mais d'affecter sa durabilité et ses performances structurales. [2]

L'ensemble des matériaux granulaires, agglomérés par un liant, confère au béton sa compacité. Cette dernière ne sera maximale qu'en présence des granulats présentant des caractéristiques (qui seront indiquées par la suite) dont les unes sont intrinsèques et les autres découlent des techniques de fabrication. [3]

I. 2 – DEFINITIONS

Selon Maillot [20], la plupart des définitions relatives aux granulats sont empruntées au texte de la norme XP P 18 - 540 d'octobre 1997.

Un granulats est un ensemble des grains compris entre 0 et 125 mm.

Ils sont dits:

- « *Naturels* », lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives et qu'ils ne subissent aucun traitement autre que mécanique ;
- « *Artificiels* », lorsqu'ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou de minerais ;
- « *Recyclés* », lorsqu'ils proviennent de la démolition d'ouvrages ou lorsqu'ils sont réutilisés.

Les granulats sont dits « *courants* » lorsque leur masse volumique réelle est supérieure ou égale à 2 t/m³. Ils sont dits « *légers* » dans le cas contraire.

Ils sont désignés par d/D , où d et D représentent respectivement 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 [4].

La norme française XP P 18 - 540 [9] indique la terminologie usuelle des classes granulaires suivantes selon leurs dimensions :

- Fillers $0/D$ où $D < 2 \text{ mm}$ avec au moins 70 % de passant à $0,063 \text{ mm}$,
- Sables $0/D$ où $1 < D \leq 6,3 \text{ mm}$,
- Gravillons d/D où $d \geq 1$ et $D \leq 125 \text{ mm}$.

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 [4].

I. 3 – CARACTERISTIQUES 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 [5].

I.3.1 – Caractéristiques de fabrication

Elles résultent en général des conditions de fabrication. A savoir : Granularité, aplatissement, angularité, propreté des sables, propreté superficielle des gravillons, etc [6].

I. 3.1.1 – Granularité

La *Granularité* est la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. La *Granulométrie* ou *Analyse Granulométrique* est la méthode d'essai qui a pour but de déterminer la granularité. Elle permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes classes granulaires constituent l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats dont la dimension nominale est au plus égale à 63 mm, à l'exclusion des fillers [7].

I. 3.1.2– Module de finesse des sables « Mf »

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 [7].

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 [8].

Le module de finesse des sables « Mf » est égal au centième de la somme des refus cumulés, exprimés en pourcentage, aux tamis de 0,16 – 0,315 – 0,63 – 1,25 et 5 mm [9].

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 [9].

I. 3.1.3 – 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 [8].

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

a – Propreté des sables : Elle 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 lavante, les sables, qui décantent, et les éléments fins qui restent en suspension.

On détermine ainsi un « équivalent de sable » dont la valeur est d'autant plus élevée que le sable est exempt d'impuretés argileuses [10].

Le *Tableau I-1* donne la qualité du Sable en fonction de la valeur de l'ES [7].

Tableau I -1 : Qualité du Sable en Fonction de la Valeur de l'ES [7]

ES à vue	ES piston	Renseignement sur la qualité 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
$75 \leq \text{ESV} \leq 85$	$70 \leq \text{ESP} \leq 80$	Sable propre ; un ESV > 75 permet en fait d'obtenir des bétons de résistance relativement élevée, mais le fascicule 65 A spécifie un $\text{ESV} \geq 80$ pour les bétons de résistance > 30 MPa.
$65 \leq \text{ESV} \leq 75$	$60 \leq \text{ESP} \leq 70$	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 $\text{VB} \leq 1$.
$\text{ESV} \geq 85$	$\text{ESP} \geq 80$	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 granulat est définie par le passant à 0,08 mm, d'après la norme XP P 18 - 540 [9]. 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 I-2 Donne la fraction en fines (f) de la fraction 0/4mm.

Tableau I -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.

- **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 [7].

b – 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 [7].

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 [11].

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.

I.3.2 – Caractéristiques intrinsèques

Elles sont liées en général à la qualité de la roche exploitée. A savoir masse volumique réelle, Porosité, absorption d'eau, Los Angeles, etc. [9].

I. 3.2.1 – Masses volumiques

a) La masse volumique apparente d'un granulats est la masse du granulats 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 [1].

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) [12].

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

c) La masse volumique absolue d'un granulats est le rapport de sa masse sèche par le volume de matière solide sans aucun vide contenu dans les grains « *volume absolu* » [10].

Elle varie assez peu pour la plupart des granulats naturels courants : en moyenne 2450 à 2650 kg/m³. Sa détermination est nécessaire pour le dosage pondéral des granulats [1].

I. 3.2.2 – Porosité

La porosité des granulats contribue à la porosité globale du béton, vu qu'ils représentent environ les trois quarts du volume du béton [2].

La porosité est le rapport du volume des vides contenus dans les grains et accessibles à l'eau, au volume réel de l'échantillon [13].

Selon la norme française P 18 - 557 [14], la porosité ne se détermine que pour les classes de grains supérieures à 4 mm. En dessous de cette dimension, la porosité tend vers zéro et joue un rôle moins important dans l'ensemble du granulats.

D'après René Lesage [3], 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*.

I. 3.2.3 – Absorption d'eau

Certains matériaux granulaires peuvent présenter une porosité interne qui est préjudiciable, en particulier, à la résistance au gel des bétons. En effet, la présence de l'eau dans les pores des granulats provoque l'éclatement de ces derniers, donc du béton lorsque celui-ci est soumis de manière prolongée à des basses températures [7].

Selon Dreux et Festa [8], les différents textes réglementaires, pour définir la qualité des granulats, prennent en considération leur coefficient d'absorption d'eau, plutôt que d'imposer des valeurs limites de porosité.

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 [15]. 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 [8].

La norme XP P 18 - 540 [9] indique les valeurs spécifiées supérieures du coefficient d'absorption d'eau « A_b » en fonction de la catégorie des granulats :

Tableau I-3 : Valeurs Spécifiées Supérieures du Coefficient d'absorption d'eau

Catégorie	Vss en %
A	2.5
B	5
C	6
D	Pas de specifications

I. 4 – CONCLUSION

Pourqu'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* » [3].

CHAPITRE II

PROPRIETES ESSENTIELLES DU BETON

CHAPITRE II

PROPRIETES ESSENTIELLES DU BETON**II. 1 –INTRODUCTION**

Ce chapitre est consacré, aux recherches dans les propriétés essentielles d'un béton à base de sable de dune ou de construction, à savoir, l'ouvrabilité, la résistance, le retrait et la durabilité, pour mettre en relief l'influence des constituants sur le comportement du béton.

Généralement le béton est un matériau composite, formé de ciment, d'eau, de granulats (sable et gravillons) et éventuellement d'ajouts (additions ou adjuvants) destinés à améliorer certaines de ses propriétés.

La qualité d'un béton dépend de ses constituants qui ont une influence sur son comportement à l'état frais (ouvrabilité), ses performances à l'état durci (résistances, retrait), etc...

Dans ce qui suit nous allons présenter quelques propriétés des bétons.

II. 2 –OUVRABILITE

L'ouvrabilité est une qualité essentielle du béton, elle peut se définir comme la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour :

- Le remplissage parfait du coffrage,
- L'enrobage des aciers,
- Et l'obtention d'un parement brut de belle apparence [8].

L'ouvrabilité peut s'apprécier de diverses façons et en particulier par des mesures de plasticité. En pratique, on considère qu'un béton est ouvrable s'il a la consistance requise pour les conditions de mise en œuvre considérée.

L'ouvrabilité peut, en général, être appréciée à partir des tests de consistance par affaissement au cône d'Abrams. Elle doit être mesurée et ajustée avant toute opération de bétonnage.

Le *Tableau II-1* suivant indique les quatre classes de consistance, en fonction de l'affaissement mesuré, définies selon les classes de la norme ENV 206 et les notations de la norme NF P18 305 [7].

Tableau II-1 : Appréciation de la Consistance par l’Affaissement au Cône d’Abrams [7].

Classes	Consistance du Béton	Note	Affaissement au Cône (cm)
C1	Ferme	F	4
C2	Plastique	P	5 à 9
C3	Très Plastique	TP	10 à 15
C4	Fluide	FL	16

L’ouvrabilité dépend de nombreux facteurs, plus particulièrement :

- Granulométrie, surtout pour les éléments fins,
- Angularité des constituants ; granulats concassés ou non,
- Dosage en ciment,
- Emploi d’un plastifiant,
- Dosage en eau [1].

Cependant, il ne faut pas :

- Augmenté le dosage en eau au-delà d’une certaine valeur dans le seul but d’améliorer l’ouvrabilité.
- Trop augmenter la cohésion du béton qui rend difficile la pénétration de celui-ci dans les moules.

Une bonne ouvrabilité comporte une marge de sécurité permettant sans conséquences fâcheuses, une certaine et nécessaire latitude par rapport aux bonnes et plus ou moins rigoureuses règles à appliquer pour une exécution optimale [8].

De l’ouvrabilité dépendent, en effet, la plupart des qualités de l’ouvrage: compacité et, corrélativement, résistance réelle du béton dans l’ouvrage lui-même, enrobage et adhérence des armatures, cohésion du béton entraînant un moindre risqué de ségrégation, parements de belle apparence, étanchéité, ... etc.

C'est pourquoi l'ouvrabilité, lors des essais d'étude, doit être considérée comme une qualité aussi importante que la résistance. Il arrive encore trop fréquemment d'avoir modifié sur le chantier, par défaut d'ouvrabilité, des formules de composition qui ont peut-être permis en laboratoire la confection de belles éprouvettes [8].

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 [16].

Il y a une consistance optimale à déterminer et à maintenir constante pendant toute la durée du bétonnage.

II. 3 –RÉSISTANCE

II. 3.1 –Introduction

Ouvrabilité et 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 [8].

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.

II. 3.2 –Résistance en 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 [2].

La résistance en compression, désignée par f_c 28, 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 $4D$ [8]. Selon la norme européenne NF EN12390 -1[17], 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 [18].

Le Tableau II -2 représente les résistances moyennes que l'on doit obtenir en compression sur les bétons, d'après Gérard Baud [19].

Tableau II -2 : résistances moyennes en compression sur les bétons [Kg/cm²].

Dosage (Kg/cm ²)	C.P. (C.P.A) Béton normal				C.P.H.R. (H.R.I) Béton à haute résistance			
	3jours	7jours	28jours	90jours	3jours	7jours	28jours	90jours
150	31.5	49	70	80.5	/	/	/	/
200	49.5	77	110	126.5	/	/	/	/
250	72	112	160	184	99	154	220	253
300	99	154	220	253	130	210	300	345
350	126	196	280	323	171	266	380	438

II. 3.3 –Résistance à la traction

La résistance en traction à 28 jours est désignée par f_{t28} . Elle est contrôlée, actuellement, par trois techniques d'essais différentes.

II. 3.3.1 –Essai en traction directe

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 [8].

On obtient alors directement :

$$Ft = \frac{F}{S} \text{ (MPa)} \quad (\text{II.1})$$

Avec :

F : La charge appliquée ;

S : La section de l'éprouvette.

II. 3.3.2 –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 [10].

« L'éprouvette se rompt suivant un plan diamétral sous l'influence des contraintes de traction qui se développent normalement à la direction de la compression. On obtient ainsi, à la rupture, deux demi-cylindres. Si P est la charge décompression maximale produisant l'éclatement du cylindre en kg, la résistance en traction sera » [20] :

$$ft = 2 \times \frac{P}{\pi \cdot \emptyset \cdot L} \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

P : charge lue au moment de la rupture,

\emptyset : Diamètre de l'éprouvette.

II. 3.3.3 –Essai de traction par flexion

C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre une éprouvette prismatique, de côté « a » et de longueur « $4a$ », par application d'un moment de flexion constant en « flexion 4 points » :

$M = (P \times a)/2$ entre les deux points d'application de la charge totale de rupture (en N) [8].

La contrainte de rupture en traction par flexion est :

$$ft = \frac{1,8 \times P}{a^2} \text{ (MPa)} \quad (\text{II.3})$$

Avec :

P : charge appliquée,

a : Le coté de l'éprouvette prismatique ($a \times a \times 4 a$)

Ceci suppose que la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure, calculée par la formule de l'élasticité, $f_t = (M \times V)/I$ est affectée d'un coefficient 0,6 dont il valable en moyenne pour le prisme (7x7x28cm), mais ne l'est plus pour les autres prismes [1].

II. 3.4 –Moules et éprouvettes utilisés

Les tableaux suivants résument les dimensions géométriques des moules et éprouvettes utilisés pour la mesure des résistances du béton :

**Tableau II -3 : Dimensions de Fabrication des Moules et Eprouvettes
Cylindriques [8]**

Format	Dimension de fabrication (mm)		Section (cm ²) Format Par un plan		D (mm)
	Diamètre a	Hauteur	Orthogonal	Diamétral	
Cylindre 11×22	112.8	220	100	248	≤16
Cylindre 16×32	159.6	320	200	511	≤40
Cylindre 25×50	252.5	500	500	1262	≤80

Tableau II -4 : Dimensions de Fabrication des Moules et Eprouvettes Prismatiques [8]

Prisme de	Dimension de fabrication (mm)		Section a ² (cm ²)	Distance entre appuis Inférieurs l = 3 a (mm)	Abouts $\frac{L-1}{2}$ (mm)	D (mm)
	Arête a de la base	Longueur L = 4 a				
7	70.7	282.8	50	212.1	35.3	≤16
10	100	400	100	300	50	≤25
14	141.4	565.6	200	424.2	70.7	≤31.5
20	200	800	400	600	100	≤50

Tableau II -5 : Dimensions de Fabrication des Moules et Eprouvettes Cubiques [8]

Format cube de	Dimension de fabrication Arête a (mm)	Section (cm ²)	D (mm)
10	100	100	≤25
14	141.4	200	≤31.5
20	200	400	≤50
30	300	900	≤80

II. 3.5 – 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 [21].

II. 4–RETRAIT

II. 4.1 –Introduction

Au cours de son évolution, le matériau béton est l'objet de modifications physico-chimiques qui entraînent des variations dimensionnelles [21].

En l'absence de toute charge appliquée, le béton se déforme spontanément. Ces déformations sont liées à l'humidité du milieu de conservation [22]. 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* [20].

On distingue plusieurs types de retrait :

II. 4.2 –Différent types de Retrait

II. 4.2.1 –Retrait avant et en cours de prise

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 causant un retrait rapide au béton qui perturbe également l'hydratation du ciment.

Ce retrait sera limité par une bonne compacité du béton ou par un traitement de cure (revêtements superficiels, produits de cure) [21].

II. 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 [20].

II. 4.2.3 –Retrait hydraulique

a –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.

b –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 [7].

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 [5].

II. 4.3 –Facteurs agissant sur le retrait

Les facteurs agissant sur le retrait sont : [20] [8].

- 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 granulats : A même granulométrie, les granulats concassés provoquent un retrait plus élevé que les matériaux roulés,
- L'hygrométrie de l'ambiance : Le retrait croît quand l'humidité relative diminue.

II. 4.4 – Mesure du retrait

La mesure du retrait sur béton se fait par différentes méthodes. On peut accéder aux déformations de retrait sur éprouvettes cylindriques en béton à l'aide d'extensomètre [7].

Pour les études comparatives du béton en laboratoire, on a souvent recours aux éprouvettes prismatique (7 × 7 × 28 cm) pour lesquelles on utilise des rétractomètres.

Le retrait mesuré sur béton est plus faible que celui mesuré sur mortier normal pour deux raisons principales :

- Le volume de la pâte liante dans un béton est généralement beaucoup plus faible que dans un mortier. Or c'est la pâte qui se rétracte et non le squelette granulaire qui, au contraire, s'oppose au retrait,
- Les dimensions des granulats d'un béton sont plus importantes que celles du sable utilisé dans un mortier. Or ce sont les plus gros grains du granulat qui sont déterminants dans la limitation du retrait. Plus le granulat est gros et mieux il limite les effets du retrait [7].

Le phénomène de retrait peut être assimilé à l'effet d'un abaissement de température entraînant un raccourcissement.

En Algérie, on peut retenir les valeurs limites suivantes dans le cas de pièces non massives à l'air libre : [12].

- Dans les régions humides (zone A) : $\frac{\Delta l}{l} = 2 \times 10^{-4}$

- Dans les régions tempérées (zone B) : $\frac{\Delta l}{l} = 3 \times 10^{-4}$

- Dans les régions chaudes et sèches (zone B', C et D₁) : $\frac{\Delta l}{l} = 4 \times 10^{-4}$

- Dans les régions très sèches ou désertiques (zone D₂ et D₃) : $\frac{\Delta l}{l} = 5 \times 10^{-4}$

II. 4.5 – 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) [8] [23].

II. 5–DURABILITÉ

II. 5.1 –Introduction

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 [2].

La durabilité du béton dépend de plusieurs facteurs (d'actions physiques, chimiques ou mécaniques) qui affectent sa durée de vie. Plus particulièrement le gel, les agents chimiques et l'abrasion. La résistance du béton à ces différents facteurs dépend essentiellement de sa qualité générale et de la qualité de chacun de ses constituants [24].

II. 5.2 –Résistance aux agents agressifs

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 [24].

La résistance à l'agressivité du milieu ambiant est fonction de l'étanchéité d'un béton qui dépend en premier lieu de sa compacité et de la cure humide du béton qui consiste à tenter de limiter l'évaporation d'eau préjudiciable à la compacité [7].

II. 5.3 – Résistance aux cycles de gel-dégel

Le matériau béton résiste d'autant mieux aux cycles de gel - dégel que son rapport eau - ciment est faible et donc sa résistance plus élevée [7].

La résistance au gel et dégel du béton dépend de la qualité d'air entrainé, de la teneur en eau totale et des conditions d'humidité.

La durabilité du béton est très sensiblement améliorée par la présence d'air entrainé et qu'en effet le béton à air entrainé offre une meilleure résistance au gel et aux agents chimiques tels que les sels fondants.

Le facteur de durabilité correspond au nombre de cycles de gel et de dégel pour produire une détérioration donnée, mesurée en laboratoire. On remarque que des bétons à faible rapport eau/ciment et à un pourcentage adéquat d'air entrainé, résisteront à un nombre très grands de cycles de gel et de dégel [24].

II. 5.4 – Conclusion

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 entrainé,
- Une attention particulière à la cure avant son exposition au milieu agressif.
- Et une porosité plus faible.

CHAPITRE III
LES SABLES DE DUNES
ET LEUR UTILISATION DANS LE BETON

CHAPITRE III

**LES SABLES DE DUNES ET LEUR UTILISATION DANS LE
BETON****III.1 -INTRODUCTION**

Le sable de dune se trouve en grande quantité dans les régions sahariennes. Actuellement se sable est très utilisé localement dans les travaux de remblais, dans la fabrication des produits rouges. Les gisements des granulats de sable de construction diminuent d'une année à l'autre, de point de vue économique, il est intéressant de valoriser le sable de dune dans le béton ou mortier.

En effet se sable est disponible localement en quantité quasi-inépuisable et peut être adoptée en tant que matériau de construction si ces caractéristiques physico-chimiques répondent aux spécifications normative des sables entrant dans la formulation des bétons classiques.

Pour cette raison, nous allons explorer les caractéristiques des sables dunaires de quelques régions saharienne du pays et pour déduire leurs qualités et defaults.

III.2 -CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES SABLES DUNAIRES**III.2.1 -Granulométrie**

Les sables, que l'on trouve dans les dunes mouvantes, sont composés de particules siliceuses pratiquement de même taille et de petites dimensions. Le module de finesse des sables de dunes de diffentes régions du Sahara Algérien, qui ne dépasse pas en générale 1,5 confirme le manque de grains moyens et gros. Et le *Tableau III.1* donne Les valeurs des modules de finesse de quelques sables dunaires [25].

Tableau III.1 : Les valeurs des modules de finesse de quelques sables dunaires [25].

Régions	Ouargla	El-Golea	Ghardaia	Ain safra	Hassi Berkine	El-Oued
Module de finesse M_f	0.78	1.55	1.10	0.5	0.72	0.5

Il est à noter que les courbes granulométriques des différents sables de dunes se situent au-dessus des fuseaux limites proposés par Dreux [8], de même leurs modules de finesse n'atteignent pas les limites proposées pour un bon sable de béton qui sont comprises entre 2,2 à 2,8.

III.2.2 - Masses volumiques

Les masses volumiques apparentes et absolues déterminées selon les méthodes classiques sont regroupées dans le *Tableau III.2*.

Les caractéristiques très importantes vis-à-vis de la résistance mécanique du béton sable : la compacité et la porosité, sont liées intimement à ses deux masses volumiques.

On rappelle que la compacité est le résultat du quotient des deux masses volumiques apparente et absolue, exprimée en pourcentage, la porosité est le complément à l'unité de la compacité.

Tableau III.2 : Les masses volumiques apparentes et absolues des sables dunaires [25]

Régions	Ouargla	El-Golea	Ghardaia	Ain safra	Hassi Berkine	El-Oued
Mv. appaante Kg/m ³	1500	1590	1520	1485	1523	1420
Mv. absolues Kg/m ³	2560	2500	2764	2660	2640	2610
Compacité (%)	58.6	63.6	55	55.8	57.7	54.4
Porosité (%)	41.4	36.4	45	44.2	42.3	45.6

Rappelons que Dreux admet pour les sables à bétons hydrauliques des compacités de l'ordre de 60% à 70%. Dans ce cas, les sables de dunes cités ci-dessus ne présentent pas de bonnes compacités. [8]

III.2.3 -Propreté

Les sables de dunes ne contiennent pratiquement pas de traces d'argile. Ils ont un équivalent de sable noté « Es » supérieur à 70% et une valeur au bleu de méthylène notée « VBm » de l'ordre de 0,1. [25]

Tableau III.3: Propreté du sable de dune [25]

	Ouargla	El-Golée	Ghardaia	Ain safra	Hassi Berkine	El-Oued
Es à vue (%)	87.25	93	88	-	93.85	-
VBm	0.03	0.09	0.1	-	0.05	-

Les spécification exigent pour la propreté des sables les valeurs suivantes: [6]

- Es (à vue) $\geq 75\%$
- Es (piston) $\geq 70\%$
- VBm ≤ 1

On constate que les sables dunaires sont des sables très propres et par conséquent, ils peuvent être utilisés en construction.

III.3- COMPOSITION MINÉRALOGIQUE DES SABLES DUNAIRES

La composition minéralogique des sables de dunes de différentes régions sahariennes est donnée comme suit : [25]

- Le quartz forme plus de 85% du sable, les sont généralement arrondis et parfois anguleux.

- La calcite se manifeste par des grains de couleurs différentes n'excédant pas les 10% et variant autour de 55%.
- Le gypse se trouve sous forme de grains fins, de couleurs blanchâtres avec des pourcentages ne dépassant pas les 3%. On peut trouver dans certains gisements le feldspath où son pourcentage ne dépasse pas les 4%.

III.4 -ANALYSES CHIMIQUES DES SABLES DUNAIRES

Se sont des sables dont la composition chimique est simple : plus de 90% de silice (SiO_2), de 1 à 2% de calcaire et des traces de différents oxydes. [25]

Du fait de cette composition, le sable à une couleur blanchâtre jaunâtre et ocre, il se dessèche et perd facilement sa cohésion en surface. Le *Tableau III.4* donne la composition chimique de sable dunaire.

Tableau III.4 : *Composition Chimique De Sable Dunaire [25].*

Régions Eléments (%)	Ouargla	El-Golea	Ghardaia	Ain safra	Hassi Berkine	El-Oued
SiO ₂	98,24	94,88	96,86	90,46	98,31	86,85
Al ₂ O ₃ et Fe ₂ O ₃	1,04	1,82	1,28	1,25	0,82	1,55
Sulfates	Traces	Traces	Traces	Traces	Traces	Traces
Chlorures NaCl	0,18	0,04	0,03	0,23	0,29	0,04
Anhydre carbonique CO ₂	0,75	/	/	1,86	0,74	/
Pert au feu 1050°	0,82	1,00	/	4,00	0,85	4,60
Matière organiques	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant	Néant

Cette analyse concerne la détermination des proportions des matières organiques, sulfates, sulfures et chlorures dans les sables. Ses éléments présents au-delà d'un certain seuil peuvent être nuisibles aux propriétés des bétons formulés avec les sables.

III.5 -CHOIX D 'UN SABLE DE DUNE

Le choix d'un sable comme matériau de construction entrant dans la formulation des bétons a recours à des prescriptions normatives. En se référant à ses derniers, on peut classer les sables de dunes hors-normes :

- Granulométrie fines.
- Modules de finesse très petits.
- Faibles compacités et grandes porosité.

Par contre, ces sables présentent des critères exploitables qui peuvent les qualifier pour les bétons de sables :

- Courbe granulométrique continues.
- Sables propres (très bon équivalent de sable).
- Présence insignifiante d'éléments nocifs.

III.6 -L'UTILISATION DE SABLE DE DUNE DANS BETON OU MORTIER

Le sable de dune était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblais, de fondations et les travaux routiers. Mais l'utilisation de cette matière avec sa forme actuelle comme constituant principal du béton, n'apparaissait qu'après la naissance du béton de sable en 1853 par Goignet.F [27].

Dans ce qui suit on donne quelques travaux et recherches menés dans le sens de valorisation du sable de dune. [27].

- L'étude de **Chauvin.J-J** montre que le béton de sable de dune est destiné à :
 - La préfabrication des dalles et pavés pour piétonniers, pieux, et toitures.
 - Au béton projeté : travaux de rénovation avec ferrailage des surfaces et une couche de béton de sable.
- **Kotzias** a préparé un béton a 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 III.5*

Tableau III.5 : Résultats de résistance obtenue par les mélanges proposés par Kotzias. [27]

Mélanges	Sable (kg/m ³)	Ciment (kg/m ³)	E/C	RC285 (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.

- Un autre travail a été mené dans ce sens par **AZZOUZ.L** et **KENALS** et **BOUHICHA**. Cette étude a présenté les propriétés de béton de sable de dune ainsi que l'influence des ajouts calcaire sur ce béton. Les matériaux utilisés sont :

- Sable de dune de Laghouat au diamètre maximale qui n'excédait pas 0.63 mm ;
- Ciment CPA 325 ;
- Des calcaires fins

Après une série d'essais préliminaires en vue d'obtenir une composition optimale par la variation du rapport E/C de 0.6 jusqu'à 1.2.

Les compositions obtenues sont représentées dans le *Tableau III.6* :

Tableau III.6 : Compositions des bétons étudiés [27]

Béton	Sable (kg/m ³)	Ciment (kg/m ³)	Fines (kg/m ³)	Eau (l/m ³)	E/C
1	1486	330	-	264	0.8
2	1336	330	150	264	0.8
3	1286	330	200	264	0.8
4	1236	330	250	264	0.8

Ces compositions sont obtenues pour des consistances plastiques avec une résistance variant de 13 à 18 MPa à 28 jours.

Les éprouvettes confectionnées sont conservées dans les trois environnements suivants :

- Environnement I : à l'air libre de $20 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Environnement II : dans l'eau potable à $15 \pm 2^\circ\text{C}$.
- Environnement III : dans l'étuve à $40 \pm 5^\circ\text{C}$.

Deux durées sont proposées pour chaque environnement ; de 5 et 7 jours.

Les meilleurs résultats de résistance sont obtenus avec le béton 3 dont les éprouvettes sont conservées dans l'eau. (Voir le *Tableau III.7*)

Tableau III.7 : Résultats de résistance du béton 3 (Environnement II)

Durée de cure (jours)	Résistance à la compression F_{c28} (MPa)	Résistance à la flexion F_{f28} (MPa)
5	17.73	7.90
7	18.30	8.68

Cette étude est achevée par les conclusions suivantes :

- Quel que soit le mode de conservation et le dosage en fillers, l'âge du béton semble influencé positivement sur les résistances.
- La conservation dans l'eau est meilleure que celle à l'étuve et à l'air libre quelque soit le dosage et la nature des fillers.
- L'essai de retrait a montré que le béton de sable de dune présente de fort retrait hydraulique. Ces retraites sont essentiellement dus à la finesse des fillers calcaires.

III.7 -CONCLUSION

Nous pouvons conclure que les sables de dunes du Sahara possèdent pratiquement les mêmes caractéristiques physicochimiques avec quelques qualités (granulométrie, propreté, composition chimique,...), ces sables peuvent former le squelette granulaire des bétons de sables afin que leurs majeurs inconvénient, la porosité, soit réglée par l'une des deux solutions :

- L'ajout de gravillon en faibles proportions et/ou l'apport d'un sable correcteur.
- L'ajout d'un sable concassée pour corriger la granulométrie.

DEUXIEME PARTIE

ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV

ESSAI D'IDENTIFICATION

DES MATERIAUX ELEMENTAIRES

CHAPITRE IV

**ESSAIS D'IDENTIFICATIONS DES MATERIAUX
ELEMENTAIRES****IV.1-INTRODUCTION**

L'identification des matériaux entrant dans la composition des bétons est indispensable. Pour connaître les caractéristiques physicochimiques de chaque matériau à part. Les analyses et les essais normalisés effectués au laboratoire, nous donne les résultats et nous permet d'obtenir les interprétations nécessaires.

IV.2-LES GRANULATS

Dans ce qui suit nous allons donner les différents essais réalisés.

IV.2.1 -Analyse granulométrique par voie sèche (NF P 18-560)**IV.2.1.1-Notions de bases**

a) But de l'essai : C'est la détermination de la grosseur et les pourcentages des différentes familles des grains constituant l'échantillon.

b) Principe de l'essai : l'essai consiste à classer les différents grains de l'échantillon avec l'utilisation d'une série des tamis emboîtés les uns sur les autres sachant que les dimensions des ouvertures sont décroissantes de haut vers le bas.

c) Équipement nécessaire :

- Tamis : constitué d'un maillage métallique définissant des trous carrés des dimensions normalisées. Voir (*Photo A1-3*)
- Tamiseuse électrique : pour la vibration des tamis, Voir (*Photo A1-2*)

Remarque : dans le cadre de notre étude on a utilisé les tamis avec vibration manuel.

d) Conduite de l'essai :

Les étapes suivantes sont réalisées :

- Préparation de l'échantillon.
- Sécher le matériau à l'étuve à une température maximale de 105°C.

- Emboite les tamis les une sur les autres.
- Tamiser à l'aide d'une tamiseuse électrique.
- On appellera tamisât le poids de matériau passant à travers un tamis donné, et le refus c'est le poids de matériau retenu par ce même tamis.
- Peser chaque refus.
- Calculer la somme des refus cumules mesurés sur les différents tamis et du tamisât sur le fond qui doit coïncider avec le poids de l'échantillon introduit en tête de colonne.

Remarque : Les notations utilisées sont les suivantes :

M : masse de l'échantillon en Kg

D : diamètre du plus gros granulat exprimé en (mm)

e) Expression des résultats :

Après avoir calculé les pourcentages des tamisas cumulés sur un reperd D : ouvertures des tamis, nous traçons la courbe granulométrique.

f) Module de finesse : c'est un module qui nous permet de caractériser la finesse des différents types de sable par la somme des pourcentages des refus cumulés pour les tamis de série suivant (0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5 mm).

$$Mf = \frac{\sum \% \text{ refus}}{100} \quad (\text{IV.1})$$

g) Facteur d'informaté : 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.

$$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (\text{IV.2})$$

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

$(D_{60}/D_{10}) > 2$ la granulométrie est dite étalée.

IV.2.1.2-Résultats de l'essai

Le *Tableau IV.1* et la *Figure IV.1* ci-dessous montrent le résultat de l'analyse granulométrique de sable de dune :

Tableau IV.1 : Granulométrie de sable de dune

Ouverture des tamis	Refus partiel	Refus cumulés	% refus	% passant
0.63	0.08	0.08	0.11	100
0.315	258.65	258.73	40.09	60
0.160	330.56	589.29	91.32	9
0.080	55.10	644.39	99.85	0

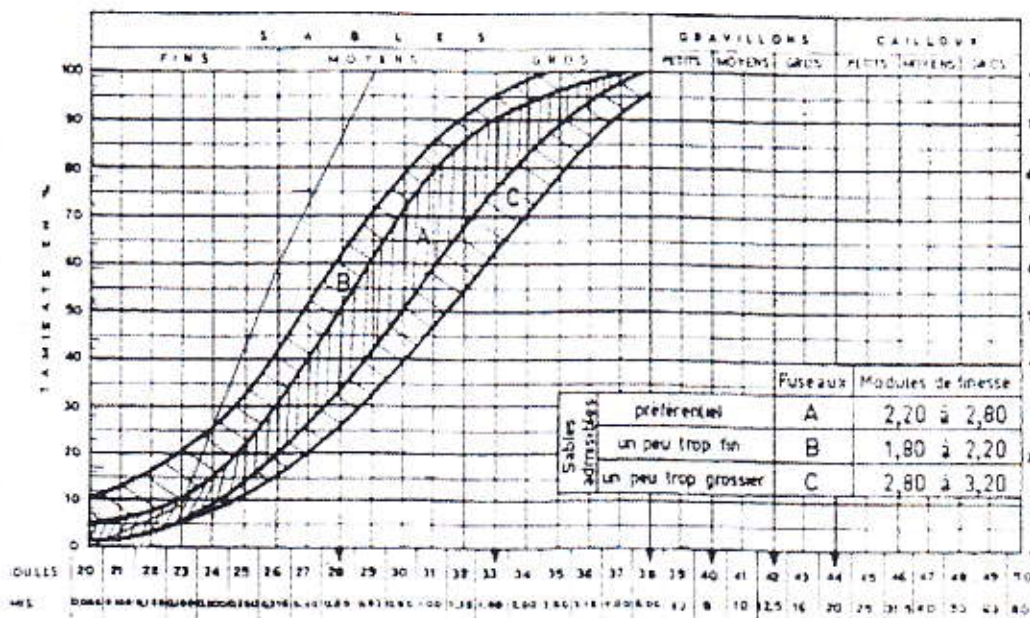


Fig. IV.1 -Analyse granulométrique du sable de dune

L'analyse granulométrie de sable de dune utilisé montre que la granulométrie est très serrée ($Cu=1.96$) et son module de finesse est de l'ordre 1.31. Ce sable n'est pas inscrit dans le fuseau granulaire réglementaire pour les bétons ordinaires comme le montre la *Figure IV.1*. Pour cette raison on propose de procéder à la correction de la granulométrie du sable de dune par le sable concassée (0/3).

Ce dernier est un sable (déchet) que nous avons prélevés presque (100 kg) de la station de concassage de Haoud el Hamra à proximité de Hassi Messaoud.

Le *Tableau IV.2* et la *Figure IV.2* montrent la granulométrie de sable concassé utilisé.

Tableau IV.2 : Analyse granulométrique du sable concassé

Ouverture des tamis	Refus partiel	Refus cumulés	% refus	% passant
5	0.14	0.14	0.013	100
2.5	16.37	16.51	1.602	98
1.25	183.85	200.36	19.444	81
0.63	156.57	356.93	34.638	65
0.315	167.20	524.13	50.864	49
0.160	172.08	696.21	67.553	32
0.080	330.82	1027.1	99.675	0

Mf = 1.72

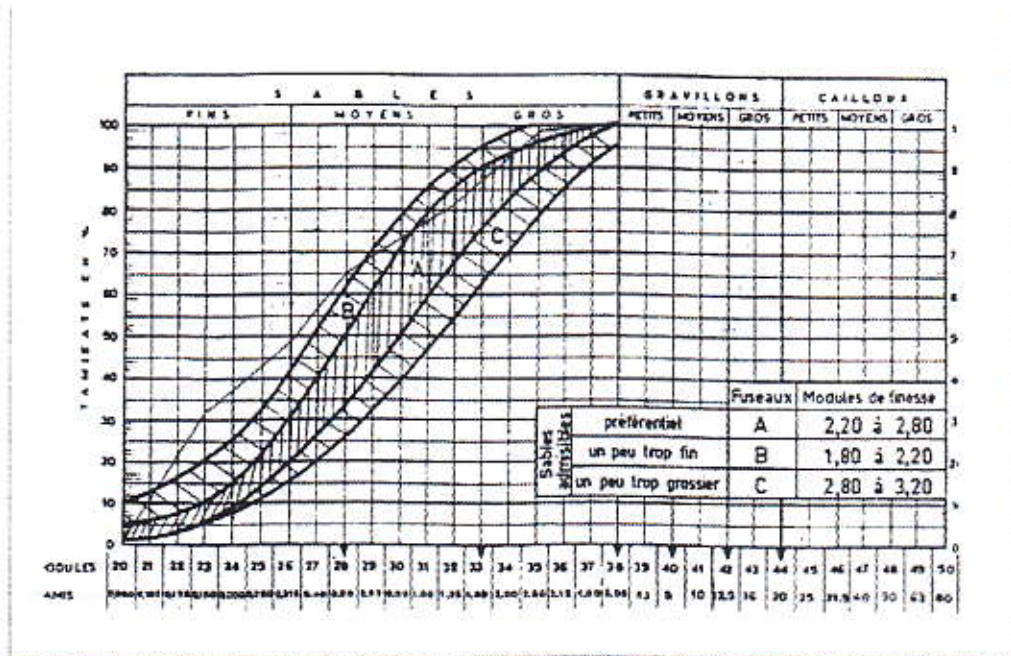


Fig IV.2- La courbe granulométrique de sable concassé

L'analyse granulométrie de sable concassée montre que la granulométrie est très étalée (Cu=8).

d'après la courbe granulométrique on constaté que le sable concassé contient une quantité importante des fines et ne s'inscrit pas dans le fuseau granulaire règlementaire pour les bétons ordinaires. Et dans le but d'une correction de sable de dune par le sable concassée, l'élimination des fines du sable concassée par tamisage de se dernier dans le tamis de diamètre 0.2 μ devient très nécessaire.

Le tableau IV.3 et la figure IV.3 montrent la granulométrie de sable concassé utilisé après élimination des fines. Nous remarquons que la courbe granulométrique de ce dernier s'inscrit bien dans le fuseau granulaire.

Tableau IV.3 : Analyse granulométrique du sable concassé après élimination des fines

Ouverture des tamis	Refus partiel	Refus cumulés	% refus	% passant
5	1.40	1.40	0.14	100
2.5	65.13	66.53	6.62	93
1.25	287.05	353.58	35.18	65
0.63	240.80	594.38	59.14	41
0.315	229.80	824.18	82	18
0.160	144.15	968.33	96.35	4
0.080	30.05	998.38	99.34	1

Mf = 2.8

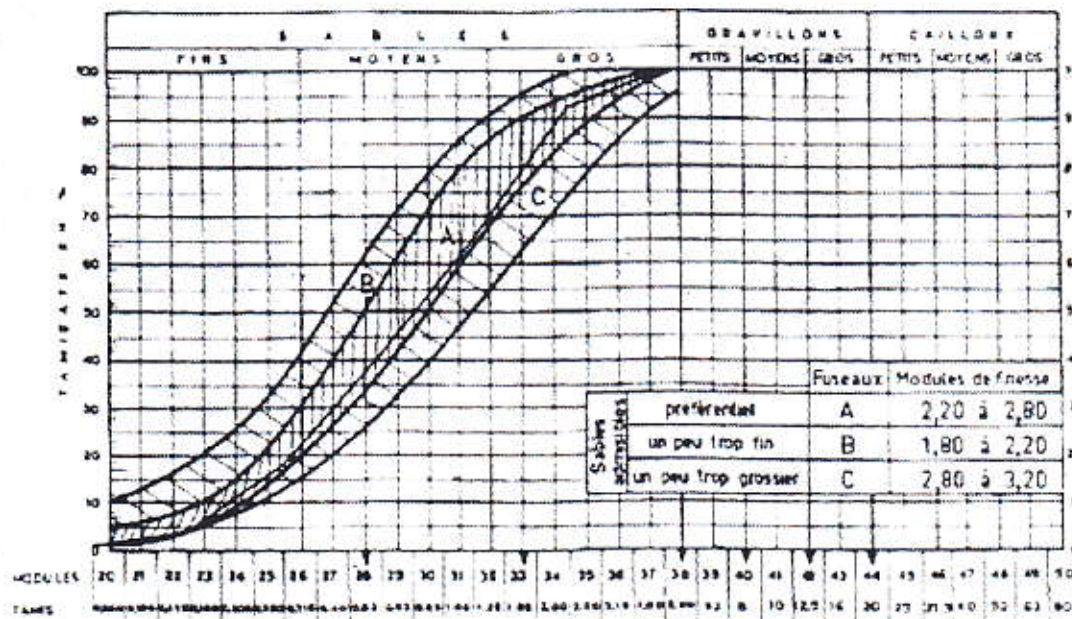


Fig IV.3- Granulométrie du sable concassée après élimination des fines

IV.2.1.3 -Correction du sable de dune par le sable concassé

En vue d'une correction de la granulométrie du sable de dune par le sable concassé, les mélanges suivants sont préparés :

S_2 : 50 % de sable concassé plus 50 % sable de dune (1/2SC+1/2SD).

S_3 : 33 % de sable concassé plus 67 % sable de dune (1/3SC+2/3SD).

S_4 : 25 % de sable concassé plus 75 % sable de dune (1/4SC+3/4SD).

S_5 : 20 % de sable concassé plus 80 % sable de dune (1/5SC+4/5SD).

S_6 : 17 % de sable concassé plus 83 % sable de dune (1/6SC+5/6SD).

Le Tableau IV.4 et la Figure IV.4 montrent la granulométrie de sable corrigé.

Tableau IV.4 : Analyse granulométrique du sable corrigé

Ouverture des tamis	S2	S3	S4	S5	S6
	% passant				
5	100	100	100	100	100
2.5	96	99	99	99	100
1.25	81	89	91	94	95
0.63	68	80	82	89	91
0.315	44	49	49	47	53
0.160	10	11	12	11	13
0.080	1	1	1	1	1
M_f	2.00	1.72	1.66	1.59	1.47

Avec M_f : module de finesse.

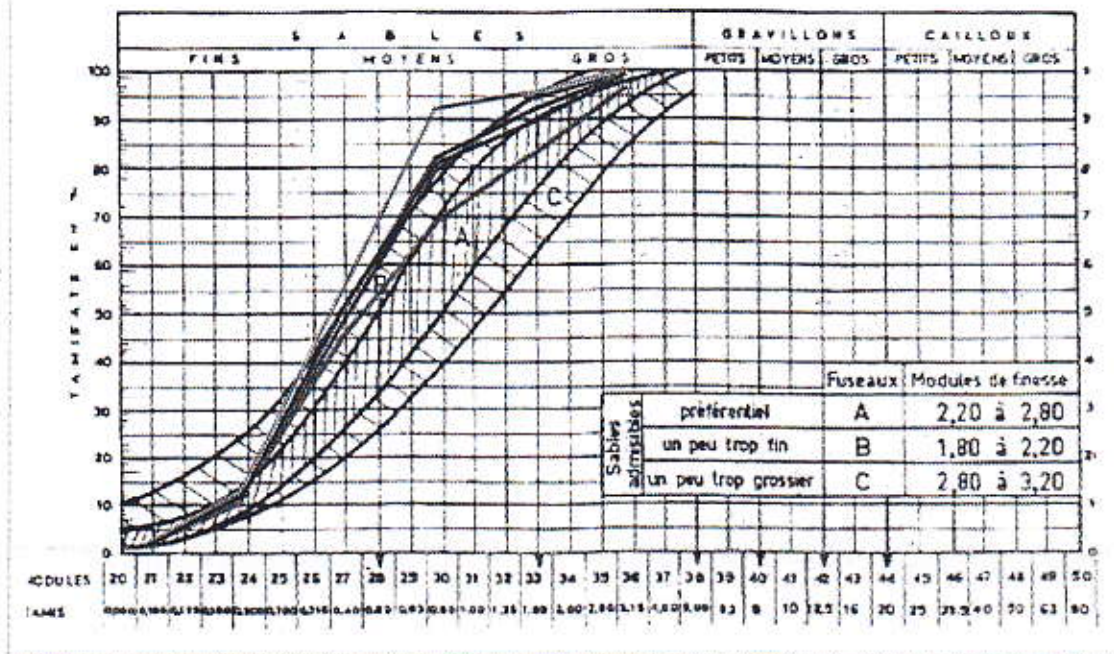


Fig. IV.4- Fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton (Mélanges: S6, S5, S4, S3, S2)

D'après l'analyse granulométrique du mélange on remarque que la majorité des mélanges des sables réalisés ne rentrent pas dans le fuseau de référence de béton à l'exception du mélange S2 qui présente une courbe totalement inscrite dans le fuseau en question. Les mélanges S3, S4, S5, S6 ne répondent pas aux exigences des sables utilisés pour la composition de béton, pour cette raison on a proposé de refaire la réalisation des mélanges comme suit :

S2' : 50 % sable de dune plus 50 % sable concassé (1/2SD+1/2SC).

S3' : 33 % sable de dune plus 67 % sable concassé (1/3SD+2/3SC).

S4' : 25 % sable de dune plus 75 % sable concassé (1/4SD+3/4SC).

S5' : 20 % sable de dune plus 80 % sable concassé (1/5SD+4/5SC).

S6' : 17 % sable de dune plus 83 % sable concassé (1/6SD+5/6SC).

Le Tableau IV.5 et la Figure IV.5 montrent la granulométrie de sable corrigés rectifiés.

Tableau IV.5 : Analyse granulométrique du sable corrigé rectifié.

Ouverture des tamis (mm)	S2'	S3'	S4'	S5'	S6'
	% passant				
5	100	100	100	100	100
2.5	96	94	96	97	95
1.25	81	73	72	71	63
0.63	68	57	52	52	43
0.315	44	36	31	30	23
0.160	10	9	6	6	5
0.080	1	1	0	1	0
M_f	2.00	2.32	2.41	2.44	2.69

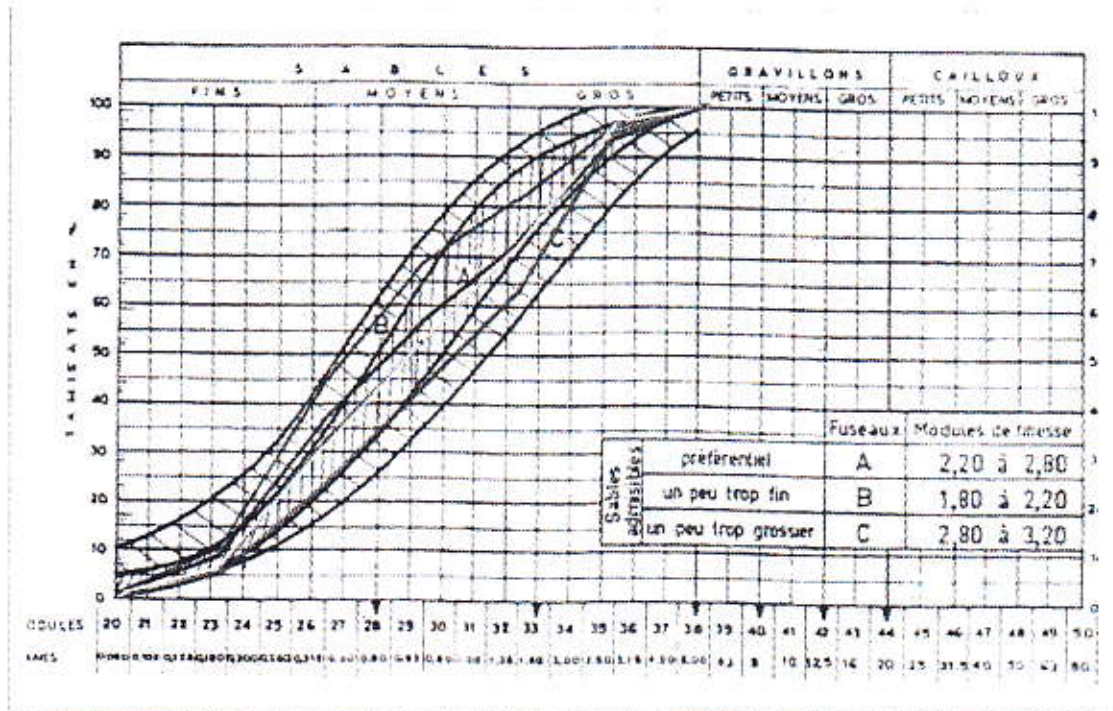


Fig. IV.5- Fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton (Mélanges: S2' -S3'-S4' - -S6') rectifié.

D'après la figure IV.5 on remarque que tous les sables corrigés entrent dans le fuseau proposé pour la granularité des sables à béton. On constate aussi que le Mf correspond à un sable moyen.

IV.2.1.4 -Analyse granulométrique du gravier utilisé

Le gravier utilisé pour la confection du béton est un gravier de la classe 3/8 et 8/15 prélevés de la station de concassage situé à Haoud el hamra, Hassi-Méssaoud Ouargla.

Le *Tableau IV.6* montre la granulométrie du gravier utilisé.

Tableau IV.6 : La granulométrie du gravier utilisé

Ouverture des tamis (mm)	% passant	
	3/8	8/15
20	/	100
16	/	83
12.5	/	52
10	100	32
8	99	11
6.3	69	2
5	39	1
2.5	1	0
1.25	0	/

IV.3 -ESSAI D'EQUIVALENT DE SABLE (NF P 18-597)

a) **But de l'essai :** l'essai de l'équivalent de sable utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons.

Cet essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le granulat des éléments sableux plus grossier. Une procédure normalisée permet de terminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

b) **Principe de la manipulation :** L'essai est effectuée sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide pour ne pas perdre d'éléments fins.

c) **Mode opératoire de l'essai :**

- Remplir les éprouvettes avec la solution lavante, jusqu'au premier trait.
- Verser la quantité de sable 120 ± 1 g et laissé au repos 10mn.
- Boucher les éprouvettes et les agiter par des mouvements rectilignes horizontaux de 20 cm d'amplitude, 90 allés en 30 secondes (effectués de manière automatique par la machine, si possible).
- Laver et remplir les éprouvettes, avec le tube plongeur.
- Sortir le tube, fermer le robinet lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur puis laisser reposer 20mn en évitant toute vibration. La tolérance sur le temps de repos est faible (plus ou moins 10sec) car la hauteur du floculat dépend fortement de celui-ci.
- Mesurer a vue les hauteurs h_1 et h_2 .

Procéder à la mesure à l'aide d'une règle la hauteur h_1 du niveau supérieur du floculat et à l'aide d'un piston descendu jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (IV.3)$$

d) **Matériel utiliser :** Voir (*Photo A1-4*)

- Eprouvettes en plexiglas avec deux traits repères et leurs bouchons.
- Entonnoir pour introduire le sable.
- Bonbonne de solution la vante avec son bouchon, le siphon et le tube souple.

- Tube laveur métallique plongeant.
- Règle métallique pour la mesure des hauteurs des sables.
- Piston taré à masse de 1 Kg pour la mesure de l'ES.
- Un chronomètre.

e) **Résultats d'essai** : dans le cadre de notre étude on a réalisé l'essai d'équivalent de sable pour contrôler la propreté des matériaux suivant :

Le sable de dune, sable concassée et les mélanges des sables :

S2', S3', S4', S5', S6'.

Les résultats de l'équivalent de sable sont présentés dans le tableau IV.6 suivant :

Tableau IV.7 : Équivalent de sable des différents sables corrigé et rectifié.

Échantillons	ES %	observation
Sable de dune	92.64	Très propre
Sable concassé	72.91	Propre
Le mélange des sables S2'	83.55	Propre
Le mélange des sables S3'	82.66	Propre
Le mélange des sables S4'	79.32	Propre
Le mélange des sables S5'	75.13	Propre
Le mélange des sables S6'	73.76	propre

D'après les résultats obtenus on remarque que le sable de dune est le matériau le plus propre parmi les autres matériaux analysés.

Tous les matériaux présentés dans le tableau ci-dessus présentent un ES supérieur à 70% qui caractérise un sable propre donc ils peuvent être utilisés dans le béton ordinaire.

IV.4-ESSAI AU BLEU DE METHYLENE (NF EN 933-9)

a) But de l'essai : Cet essai, utilisé d'une manière courante pour caractériser l'activité des argiles contenues dans les sols, est également utilisé pour évaluer l'influence des fines d'origines argileuses contenues dans les sables et gravies d'origine naturelle ou artificielle.

Cet essai est un test performant pour quantifier d'une manière précise et simple la propreté des granulats

b) Principe de l'essai : Il consiste à introduire, dans le bain contenant la prise d'essai, des quantités croissantes de bleu de méthylène, par doses successives, et à contrôler après chaque ajout l'absorption du bleu du test « de la tache » jusqu'à ce que les particules argileuses du matériau soient saturées de bleu (test de la tache devenant positif).

c) préparation de l'échantillon : Cet essai s'effectue sur la fraction granulométrique 0/5mm. Ce sont principalement les éléments inférieurs à 2mm qui contiennent la fraction argileuse. Cette fraction donne l'essentiel de la réaction au bleu de méthylène et donc quantifié la sensibilité du sol à l'eau.

On prélève 100g de fraction 0/5mm sèche que l'on met à tremper dans 200ml d'eau déminéralisée, le mélange est maintenu à l'aide de l'agitateur à ailette. Une fois cette procédure effectuée on passe au « *test de la tache* ». Voir (*Photo A1-5*)

Cet essai consiste à injecter, successivement des dosages précis de bleu de méthylène jusqu'à avoir saturation des particules d'argiles.

- Si la goutte centrale bleue est cerclée d'une zone incolore avec ce résultat le test est négatif.
- Si la goutte centrale bleue est cerclée d'une zone teintée de bleu plus claire, avec ce résultat, le test est positif

Pour la lecture du résultat on procède de la manière suivante :

Ajout de 2 cm³ de bleu et faire la tache

- Si le test est négatif répéter l'opération jusqu'à l'obtention d'un test positif,
- Si le test est positif, fin du dosage.

d) Exploitation des résultats :

Une fois le test effectuer est positif on exploite les résultats :

$$V_{bs} = \frac{n}{M} \quad (IV.4)$$

n : Volume (en ml) de solution de bleu utilisé jusqu'à obtention du test positif.

M : Masse sèche de la prise d'essai (g).

Classification des sols :

- $V_{bs} = 0,1$ sol insensible à l'eau.
- $V_{bs} = 0,2$ apparition de la sensibilité à l'eau.
- $V_{bs} = 1,5$ seuil distinguant les sols sablo limoneux des sols sablo argileux
- $V_{bs} = 2,5$ seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sol limoneux de plasticité moyenne.
- $V_{bs} = 6$ seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux.
- $V_{bs} = 8$ seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux.

Résultats d'essai : dans notre travaille on a réalisé l'essai de bleu de méthylène

Pour le sable concassée pour s'assurer de sa propreté.

Pour 100 g sable concassée on a trouvé un volume de 18 ml en bleu de méthylène ;

$$V_{bs} = 0.18 \text{ ml/g}$$

e) Interprétation de résultat :

$V_{bs} = 0.18$ ml/g caractérise un matériau insensible à l'eau et signifier que notre sable concassée ne contient pas des fines argileuses.

Remarque : Un matériau comportant une forte quantité de fines argileuses n'est pas bons pour un mortier ou un béton car il diminue la résistance mécanique, et il y a une perte d'adhérence granulats / pâte.

IV.5 -DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE ET APPARENTE D'UN SABLE OU D'UN GRAVIER

La masse volumique absolue et apparente permet le passage de la masse au volume des différentes classes granulaires, elle est souvent très nécessaire dans la composition du béton.

IV.5.1 -Détermination de la masse volumique absolue d'un sable ou d'un gravier

a) **Définition :** La masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

b) **Méthode de l'éprouvette graduée :** Cette méthode est très simple très rapide et elle utilise du matériel très courant de laboratoire, Voir (*Photo A1-6*) toutefois sa précision est faible.

- Mettre dans une éprouvette un volume V_1 d'eau.
- Pèse une masse M du corps (de l'ordre de 300 g), et l'introduire dans l'éprouvette.
- Lire de nouveau le volume V_2 .
- Le volume absolu est $V = V_2 - V_1$

La masse volumique absolue est :

$$MV_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1} \quad (IV.5)$$

IV.5.2 -Détermination de la masse volumique apparente d'un sable ou d'un gravier

a) **Définition :** C'est la de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

b) **Le mode opératoire de l'essai :** (*Photo A1-7 et A1-8*)

- Prendre l'échantillon dans les deux mains.
- Verser l'échantillon toujours au centre de la mesure, jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône, raser à la règle et Pesé le contenue.
- Calculer la masse volumique apparente à partir de la formule suivante :

$$MV_{app} = \frac{M_T - M_0}{V} \quad (IV.6)$$

Avec : M_0 : la masse du récipient de mesure vide.

M_T : la masse du récipient avec l'échantillon.

V : le volume du récipient de mesure.

Les résultats des masses volumiques absolues et apparentes des matériaux utilisés sont présentés dans le tableau IV.8 suivant :

Tableau IV.8 : Masse volumique apparente et Absolus des granulats utilisés

Matériaux	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Masse volumique Absolues (g/cm ³)
0Sable de dune	1.55	2.57
Sable concassé sans fines	1.24	2.55
Le mélange des sables S2'	1.51	2.60
Le mélange des sables S3'	1.47	2.59
Le mélange des sables S4'	1.45	2.57
Le mélange des sables S5'	1.43	2.56
Le mélange des sables S6'	1.38	2.58
Le gravier 3/8	1.43	2.62
Le gravier 8/15	1.30	2.63

Nous constatons que le sable de dune est le granulat le plus lourd.

IV.6 -MESURE DU COEFICIENT D'ABSORPTION DE SABLE (NFP 18-555).

a) **But de l'essai :** Les granulats peuvent présenter des fissures ou des vides appelés porosité, il y a deux formes de porosité :

Porosité ouverte et porosité fermée.

La porosité ouverte qui pose un problème en construction, puisque l'eau pénètre dans ces vides et geler, et par la suite provoque l'éclatement de la roche de béton.

b) **Principe de l'essai :** calculer le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après l'imbibition par l'eau de la masse sèche de l'échantillon.

On fait imbiber l'échantillon dans pendant 24h et après, l'étaler sur surface plane non absorbante et on le met à l'air chaud à fin d'obtenir un échantillon avec des surfaces externes des grains séchées et pesé M_a .

Et après on le passe à l'étuve à 105° et on pèse M_s .

$$Ab = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100 \quad (IV.7)$$

Ab : coefficient d'absorption

M_a : masse de l'échantillon imbibé.

M_s : masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105° .

Les résultats des essais :

Après la réalisation de l'essai d'absorption de sable de dune on a remarqué que :

$Ab = 0.071 \%$ et signifier que la capacité d'absorption de sable de dune est faible.

IV.7-LA TENEUR EN EAU DES AGRÉGATS

a) **Le but de l'essai :** C'est la détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux .Et par la suite calculé la quantité réelle de l'eau de gâchage du béton.

b) **principe de l'essai :** La teneur en eau c'est le rapport du poids de l'eau libre présenté dans un certain volume d'échantillon au poids des éléments solides compris dans ce volume.

- Préparer un échantillon représentatif, Pèse et noter M_h

- Sécher l'échantillon dans l'étuve de séchage (105°) jusqu'au poids constant.
- Pèse l'échantillon sec et noter M_s .
- La teneur en eau est déterminée par la formule suivante :

$$\%W = \frac{M_h - M}{M_s} \quad (IV.8)$$

Avec :

$$W_{3/8} = 0.12 \%$$

$$W_{8/15} = 0.18 \%$$

D'après les résultats obtenus on remarque que la teneur en eau des agrégats est négligeable.

IV.8 -ANALYSE CHIMIQUE

IV.8.1-Détermination des corps Insolubles (NFP 15-461)

a) Définition : les insolubles sont des corps insolubles dans l'acide chlorhydrique et ce sont des silicates.

b) Principe de l'essai : l'essai consiste à bouillir l'échantillon avec l'acide chlorhydrique et filtrer le mélange pour déterminer les corps qui ne sont pas solubles dans l'acide chlorhydrique.

c) Les étapes de l'essai : (*Photo A1-9*)

- On prend $m_e = 2g$ de l'échantillon et le met dans un bêcher de 250 ml.
- On ajoute 100 ml de l'acide chlorhydrique HCL 10%.
- On chauffe le bêcher contenant le mélange jusqu' à l'obtention d'une couleur jaune claire.
- On fait refroidir le mélange à la température ambiante.
- On filtre le mélange sur un papier filtre sans cendre.
- On lave le bêcher à l'aide de l'eau distillée.
- On réserve le filtrat qui servira à l'essai de détermination de sulfate.

- On met le papier filtre contenant les insolubles dans un creuset qu'est déjà peser vide m_0 dans un four à 900°C.
- On pèse le creuset après calcination m_1 .

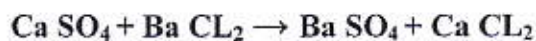
$$Insol = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (IV.8)$$

IV.8.2-Détermination des Sulfates (NBS 1377/1975)

a) Définition : On trouve les sulfates dans les sols sous formes de sodium ($Na_2 SO_4$) et sous forme de sulfate de magnésium ($Mg SO_4$) et sous forme de sulfate de calcium ($Ca SO_4$).

L'essai de détermination de sulfate est très important puisque le sulfate peut attaquer le béton et par la suite chuter la résistance des constructions.

b) Principe de l'essai : l'essai consiste par l'obtention d'une précipitation blanche à l'aide de chlorure de baryum ($Ba Cl_2$).



Soluble + soluble \rightarrow précipitation insoluble + soluble

c) Les étapes de l'essai :

- Prend le filtrat obtenu par l'essai des insolubles (voir l'essai de détermination des insolubles).
- Ajuster ce filtrat jusqu'à 250 ml avec l'eau distillée, puis agiter.
- Prendre 100ml du filtrat dans un bêcher
- Ajouter 10ml de $Ba Cl_2$ diluée à 5% (détecteur)
- Bouillir doucement 4 à 5 min
- Refroidir à température ambiante.
- Filtrer la solution avec le papier filtre N° 541
- Peser un creuset vide P1
- Mettre le papier filtre dans le creuset
- Peser le creuset après calcination et après refroidissement P2.

$$So3 = 34,3 \times \frac{(P2-P1)}{PE} \quad (IV.8)$$

$$CaSO4.2H2O = \frac{184,23(P2-P1)}{PE} \quad (IV.9)$$

PE : la prise d'essai.

IV.8.3- Essai de détermination des Chlorures : Norme BS BOWLY (Version 1979).

a) Principe de l'essai : on fait agir en milieu neutre de PH une solution à titre de nitrate d'argent sur une prise d'essai en présence de chromate de potassium K_2CrO_4 . La solution est de couleur jaune, quand on verse la solution $AgNO_3$, le chlorure précipite à l'état de $AgCl$ la couleur rouge brique persistante est due à la formation de (CrO_4Ag_2) .

b) L'étape de l'essai :

- Prendre 1Kg d'un échantillon représentatif (les particules $\leq 20 \mu m$)
- Étuver l'échantillon à 105-110°C
- Écraser l'échantillon et tamisé au tamis 600 μm
- Placer 100g de l'échantillon dans une fiole de 500 ml
- Ajouter à l'échantillon 200 ml de l'eau distillée, et agiter pendant 24heures.
- Filtrer la solution dans le papier filtre
- Prendre 100ml de filtrat
- Ajouter 03 gouttes de l'acide nitrique HNO_3
- Ajouter pincé de carbonate de calcium $CaCO_3$
- Ajouter 03 gouttes de chromate de potassium à 10%
- Titrer goutte à goutte par le nitrate d'argent $AgNO_3$ jusqu'à l'obtention d'une couleur rouge brique.

- lire le volume d'Ag No3

$$\%Nacl = VAgNO3 \times 0,585 \quad (IV.10)$$

IV.8.4 -Essai de détermination du taux des Carbonates d'un sol

(Norme NFP15- 461)

a) Définition et but de l'essai :

On détermine le taux des carbonates d'un sol pour déterminer le taux de calcaire une teneur en carbonate élevée signifiée une faible teneur en minéraux argileuse et généralement indique une résistance au cisaillement relativement élevée.

b) L'étape de l'essai :

- Prendre un échantillon et le tamiser au tamis 0,4 μ .
- Etuvé 24h à T° 110 à 115 °C
- Prendre une prise d'essais me = 0,5g (échantillon représentatif).
- Ajouter un volume Va = 10ml de l'acide chlorhydrique Hcl 1N
- Chauffer le mélange pour activer la réaction.
- Ajouter 02 gouttes de phénophtaléine 0,1% (détecteur)
- Titrer avec NaoH 1N jusqu'à l'obtention d'une couleur violet.
- Prendre le volume de titrage de NaoH 1N (Vb).

$$\%CaCO3 = \frac{5(Va-Vb)}{me} \quad (IV.11)$$

Les résultats des analyses chimiques sont résumés dans le *Tableau IV.9* suivant :

Tableau IV.9 : Analyse Chimique

	Sable de dune	Sable concassé	Gravier 3/8	Gravier 8/15
% insoluble	97.15	40.32	30.69	31.78
% Sulfates	0.11	0.49	0.56	0.61
% gypse	0.56	2.65	3.20	3.51
% Carbonate	0	56.5	63.23	62.96
% Chlorures	0.023	0.009	0.011	0.013

D'après les résultats des analyses chimiques indiqués sur le tableau on peut dire que :

La composition chimique de sable de dune est siliceuse avec absence des matières nuisibles, ce qui permet son utilisation dans le béton.

Le sable concassé et les graviers 3/8 et 8/15 sont des matériaux d'origine calcaire.

IV.9 -LE 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 [29] la composition chimique de ciment, la composition minéralogique du clinker et les caractéristiques mécaniques de ciment sont représentés dans les Tableaux IV.10 suivants :

Tableaux IV.10 : Composition chimique du ciment en % massique [29]

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

Tableau IV.11 : Composition minéralogique du clinker [29]

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, Al₂O₃):illuminante tricalcique

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

Tableau IV.12 : Caractéristiques mécaniques de ciment [29]

Jour	2j	7j	28j
Résistance à la compression (Mpa)	22.57±2.24	37.61±2.77	48.24±2.89
Résistance à la traction (Mpa)	04.97±0.41	07.11±0.43	08.48±0.52

IV.10-LES ESSAIS PHYSIQUES SUR LA PATE DE CIMENT

Nous avons effectué les essais physiques sur la pâte de ciment au laboratoire LTPS.

IV.10.1 -Consistance normale avec l'appareil de Vicat (EN 196-3).

a) **Définition** : la consistance de la pâte de ciment est une caractéristique qui évalue au cours du temps. Pour pouvoir étudier l'évolution de la consistance en fonction des différents paramètres il faut pouvoir partir d'une consistance qui soit la même pour toutes les pâtes étudiées [7].

b) Objectif de l'essai :

L'objectif de cet essai est de définir une telle consistance dite « *consistance normalisée* » [7]

c) Les étapes de l'essai :

- introduire 500g de ciment dans la cuve de malaxeur.
- ajouter la quantité de l'eau nécessaire au ciment (cette opération avec une durée comprise entre 5 et 10 second).
- Mettre immédiatement le malaxeur en marche à vitesse lente pendant 90s.
- Arrêter le malaxeur pendant 15s, et ramener avec une petite truelle la pâte adhérant à la cuve qui se trouve au de la de la zone de malaxage.
- Remettre le malaxeur en marche à une vitesse lente pendant 90s
- Introduit la pâte dans le moule tronconique de l'appareil de Vicat qui est posé sur une plaque ne verre.
- Enlever l'excès de pâte par une truelle maintenue perpendiculairement à la surface du moule.
- Placer l'ensemble dans l'appareil de Vicat.
- Amener la sonde à la surface supérieure de la pâte et lâchée sans élan
- La sonde s'enfonce alors dans la pâte
- Mesurer la distance d entre l'extrémité de la sonde et le fond du moule,
- Si $d = 6\text{mm} \pm 1\text{mm}$, la consistance est dite normalisée.
- Si d n'atteint pas cette valeur, il faut refaire l'essai avec une valeur différente du rapport E/C jusqu'à atteindre la valeur recherché.

d) Résultats : Le résultat de la consistance normale est donné dans le *Tableau IV.13*

IV.10.2- ESSAI DE PRISE (NFP 15-431).

a) Définition : dans un temps plus ou moins long qui suit le gâchage, le matériau est plastique ; il peut être aisément transporté. [30]

Les délais de prise, doivent correspondre au temps de confection des éléments.

En générale, pour les ciments ordinaires, la prise du ciment se définit comme étant l'épaississement et la perte de mobilité de la pâte, selon la norme NFP 15-431, un début de prise correspond à une durée de temps supérieur à une heure trente minute (1h 30mn)

Alors qu'une fin de prise est inférieure à sept heures (7h).

b) Appareillage :

Appareillage de Vicat, Chronomètre, (voir *Photo A1-10*)

c) Mode Opérateur : L'opération consiste à faire pénétrer l'aiguille de l'appareil de Vicat dans la pâte déjà préparée avec une consistance normale, le début de prise correspond au moment où l'aiguille est à (1mm) du fond du moule tronconique c'est-à-dire ne touche plus le fonds.

La fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne pénètre plus qu'à (1mm) dans la pâte.

Les résultats obtenus sont inscrits dans *Tableau IV.13* suivant :

Tableau IV.13 : Essai de prise

CN (%)	Début de prise (h)	Fin de prise (h)
25	1h58'	4h36'

D'après les résultats des essais de consistance normale et de délais de prise nous constatons que la prise du ciment est satisfaisante à la spécification des ciments courants.

IV.11-L'EAU DE GACHAGE

Associée au ciment, l'eau remplit deux fonctions : d'une part elle sert à l'hydratation du ciment et d'autre part elle permet la fluidification de la pâte [7].

Les eaux naturelles conviennent comme eaux de gâchage de béton, à moins qu'elles ne contiennent des substances qui gênent le durcissement comme certaines eaux usées ou des eaux marécageuses. En cas de doute, une analyse chimique s'impose [31]. En effet l'eau potable est considéré comme appropriée pour la fabrication du béton et ne nécessite aucun essai [32].

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des différents bétons est une eau potable de robinet du laboratoire LTPS unité de Ouargla.

CHAPITRE V

ETUDES DE FORMULATION DES BETONS

CHAPITRE V

ETUDES DE FORMULATION DES BETONS

V.1-INTRODUCTION :

Lorsqu'on mélange du ciment, du sable et de l'eau, on obtient un béton. Mais on peut obtenir une infinité de bétons, en faisant varier les proportions des constituants ; et il est certain que, parmi ces bétons, tant par leur nature propre qu'en raison du travail à exécuter, certains seront nettement mauvais, d'autres seront acceptables, d'autres (les moins nombreux) seront bons.

Les méthodes d'études de composition de bétons ont donc pour but, à partir de constituants donnés, de déterminer la composition d'un bon béton.

De nombreux spécialistes se sont penchés sur cette question. Mais quelques méthodes sont plus utilisées que d'autres, parmi elles :

- La méthode de Bolomey
- La méthode de Faury
- Méthode de Dreux-Gorisse

l'objectif de ce chapitre est d'étudier expérimentalement la formulation du béton à base de sable de dune provenant de Sidi Khouiled-Ouargla et corrigé par un sable concassé. les résultats seront comparés au béton ordinaire usuel (dosage en ciment 350 kg/m^3).

Cinq mélanges de béton dont on fait varier seulement le pourcentage du sable de dune corrigé par le sable concasse 0/3 sont étudiés.

Nous avons opté pour l'utilisation de deux méthodes pratiques pour la composition de béton, « bolomy et faury ». En effet, pour la méthode de Bolomy les calculs de E/C on donnés un pourcentage d'eau très élevé. Par contre par la méthode de Faury les calculs on donnés un E/C acceptable de l'ordre de 0,6.

C'est pour cette raison nous avons adopté la méthode de Faury.

Remarque : cette méthode est applicable à tous les granulats, quelle qu'en soit la masse volumique. [30]

Les mélanges ont été réalisés par les mêmes types de gravier provenant de la carrière Ben Brahim (Haoud El Hamra située entre Ouargla et Hassi Messaoud). Le dosage en ciment et en eau de gâchage est aussi le même.

Pour éviter l'influence des conditions de gâchage sur les résultats, on a réalisé les mélanges dans les mêmes conditions d'environnement.

Tableau V.1 : Différents mélanges

Types de béton	Mélange de Sable %		Gravier1	Gravier2	Ciment 350 kg/m ³	Eau
	S-dune	S-concas				
BS2'	50 %	50 %	3/8	8/15	CPJ	Potable
BS3'	33 %	67 %	3/8	8/15	CPJ	Potable
BS4'	25 %	75 %	3/8	8/15	CPJ	Potable
BS5'	20 %	80 %	3/8	8/15	CPJ	Potable
BS6'	17 %	83 %	3/8	8/15	CPJ	Potable

V.2 -PRINCIPE DE LA METHODE

a) Déterminer la courbe du mélange des éléments secs, et chercher de se rapprocher le plus possible de la « courbe optimale » déterminée par la méthode de calcul classique.

b) Formulation et dosage des bétons :

c) Courbe optimale

Deux segments de droites, formant une ligne brisée.

Il faut donc définir :

L'Origine : Point de l'axe des abscisses correspondant au tamis de 0,0055 mm.

L'Extrémité : Point d'abscisses D et d'ordonnée 100.

Point de brisure :

- Abscisse : $D/2$.
- Ordonnée $Y D/2$, donnée par formule :

$$Y D/2 = A + 17.8 \sqrt[5]{D} \quad (V.1)$$

Avec :

A = constante, traduisant la maniabilité du béton ;

D = plus grande dimension de tamis

$$D_{max} = D1 + (D1 - D2) \times \frac{X}{Y} \quad (V.2)$$

Avec :

$D1$: le diamètre de l'avant dernier tamis

$D2$: le diamètre de tamis qui est après le tamis $D1$

On trouve : $D_{max} = 16 + (16 - 12.5) \times [(100 - 83) / (83 - 52)]$;

Donc $D_{max} = 17.91 \text{ mm}$

Et on a :

$X = 100 - \% D1$

$Y = \% D1 - \% D2$

Donc $D_{max}/2 = 8.95 \text{ mm}$

Et avec :

$Y D/2 = A + 17.8 \sqrt[5]{D}$

$Y D/2 = 30 + 17.8 \sqrt[5]{17.91}$

On aura $Y D/2 = 61.69 \%$

A : dépend de la consistance du béton désiré et de la provenance des granulats.

Le *Tableau V.2* nous montre les valeurs de A .

Tableau V.2 : Valeurs de A. [23]

Consistance du béton	Sable roulé		S.concassé
	G. roulé	Gravier concassé	
Assez plastique	24 à 26	26 à 28	30 à 32
Plastique	26 à 28	28 à 30	32 à 34

$D < 25\text{mm}$: Béton armé courant pour Bâtiment et Ouvrages d' Art.

V.2.1 -Détermination de la quantité de l'eau de gâchage

$$E = \left(\frac{K}{\sqrt[5]{D}} \right) \times 1000 \quad (\text{V.3})$$

K : coefficient qui dépendant des agrégats, de la consistance et de la mise en place de béton.

Le Tableau V.3 donne la variation de K. [23]

Tableau V.3 : La variation du coefficient K. [23]

Consistance	Serrage	Sable et gravier roubles	Sable roulé et gravier concasse	Sable et gravier concasse
Tres fluide	Inexistant	≥ 0.37	≥ 0.405	≥ 0.46
Molle	Moyen	0.35 – 0.37	0.375 – 0.405	0.43 – 0.46
Ferme	Très soigné	0.33 – 0.35	0.350 – 0.375	0.40 – 0.43

$$E = (0.375/\sqrt[5]{17.91}) \times 1000 = 210.61$$

V.2.2 -Détermination de volume absolu des agrégats sec

Volume absolue des éléments secs = 1000 dm³ - volume de l'eau.

$$V_{as} = 1000 - 210.6 = 789.4 \text{ l.}$$

V.2.3 -Détermination de pourcentage de ciment

$$C = 350/3.1 = 112.9$$

$$\% C = (112.9 / 789.4) \times 100 = 14.3\%$$

$$\text{Masse volumique absolue du ciment} = 3,1 \text{ g/cm}^3.$$

V.2.4 -Détermination des pourcentages des agrégats

Faury a mis au point une méthode particulière, la « Méthode des Indices Pondéraux », qui traite le problème par le calcul.

On applique la méthode graphique, le *Tableau V.4* montre les Pourcentages des agrégats pour les différents types de béton, (voir les figures V.1, V.2, V.3, V.4 V.5).

Tableau V.4 : Pourcentages massique des agrégats

Types de bétons	% Ciment	% sable corrigé	% gravier 3/8	% gravier 8/15	Quantité de l'eau (l)	Affaissement cône d'Abrams (cm)	E/C
BS6'	14.3	27.7	16	42	210.6	8.5	0.6
BS5'	14.3	26.7	17	42		8	
BS4'	14.3	25.7	18	42		8.5	
BS3'	14.3	24.7	19	42		8.5	
BS2'	14.3	23.7	20	42		8	

On note que la quantité de sable est obtenue par :

$\% \text{ sable} = 100 - (\% 3/8 + \% 8/15 + \% C)$. Et la figure VI montre comment on obtient graphiquement le pourcentage du gravier 3/8 et le gravier 8/15. Et ainsi de suite.

Figure V.1: Courbes Granulométriques du sable 2'
(selon FAURY)
Dosage à 350Kg/m³

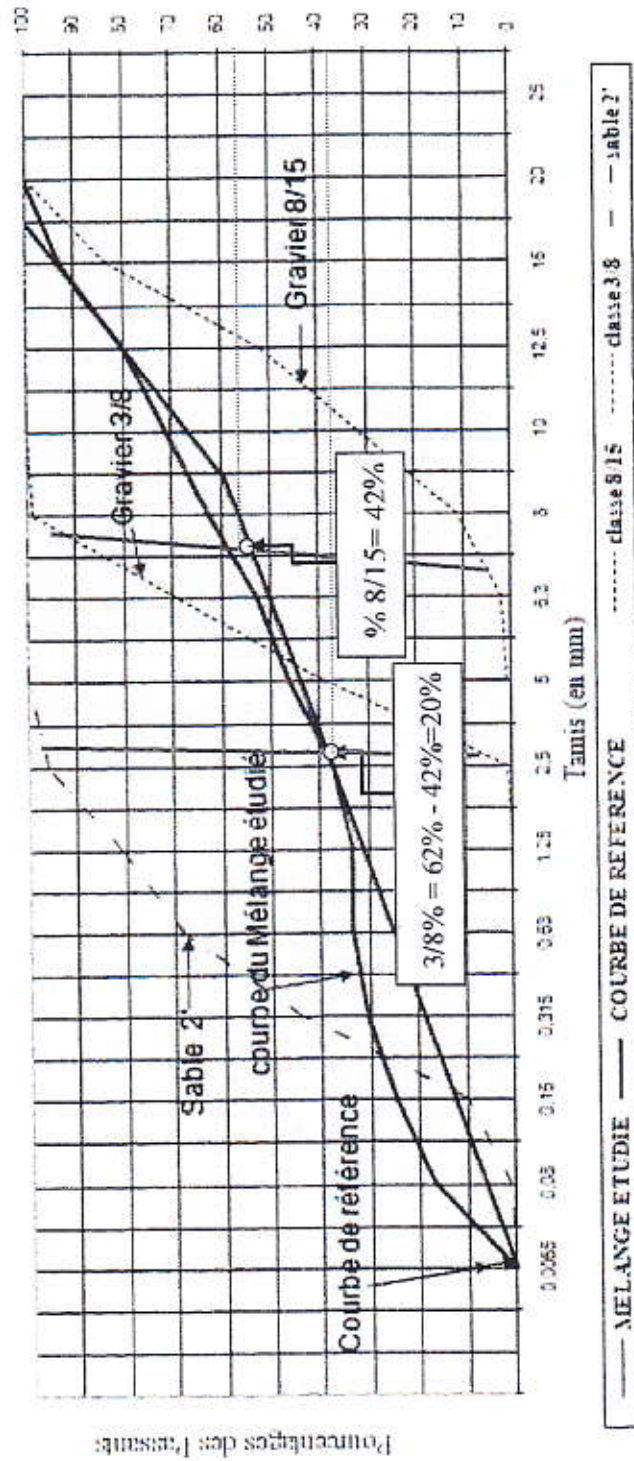


Figure V-2: Courbe granulométrique du sable 3'
(selon Faury)
Dosage à 350 kg/m³

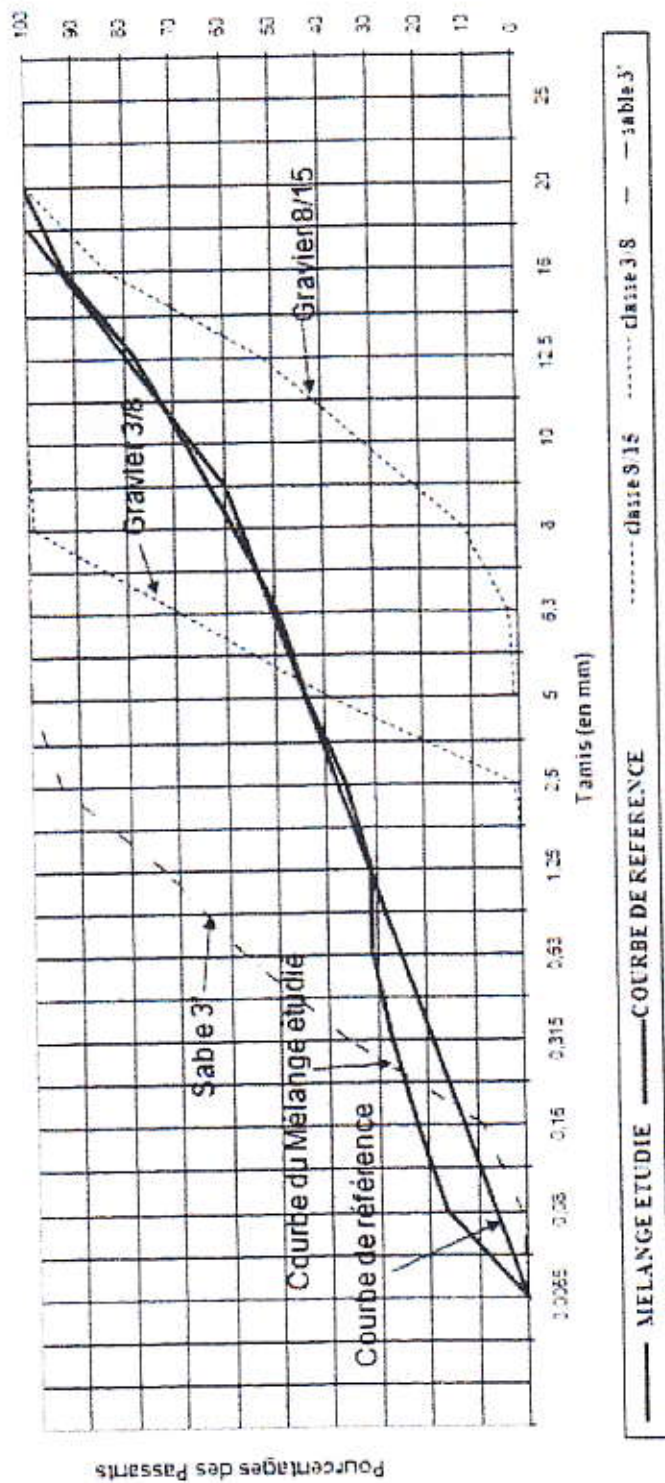


Figure V.3-Courbes Granulométriques du Sable 4'
(Selon FAURY)
Dosage à 350 kg/m³

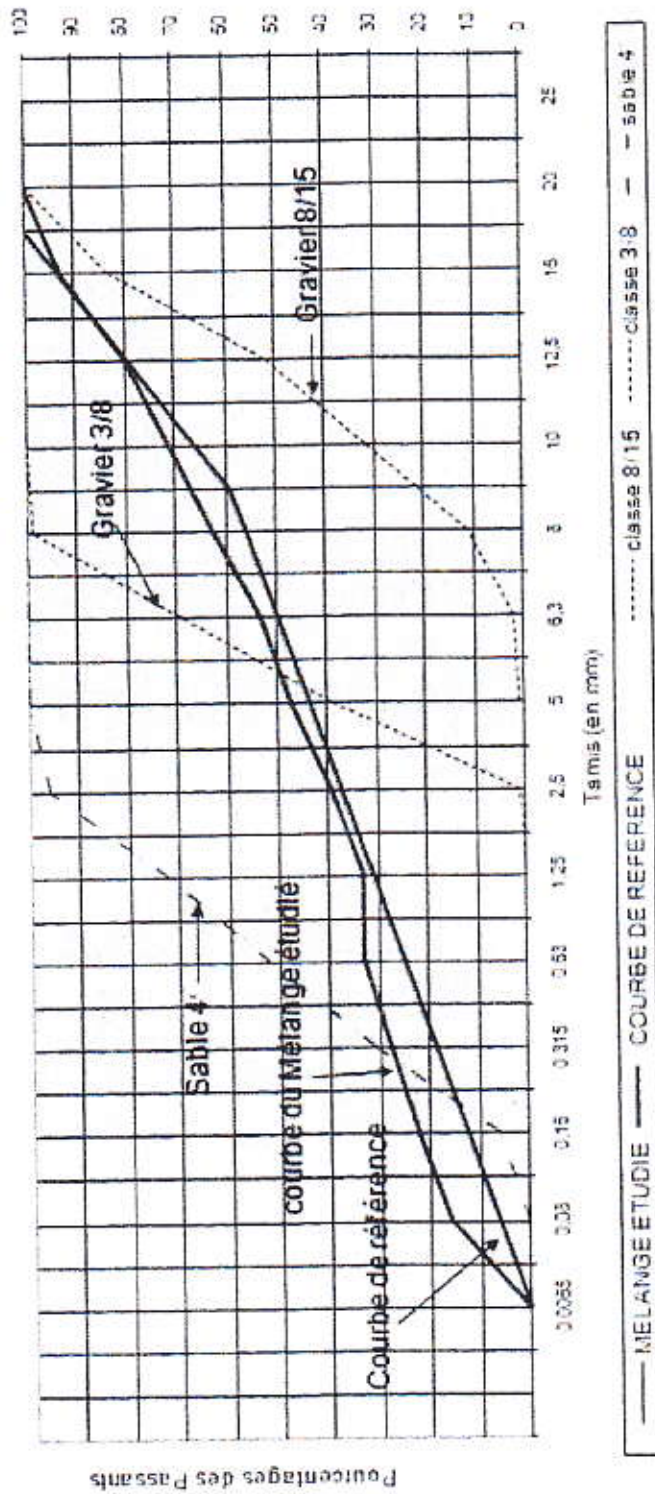
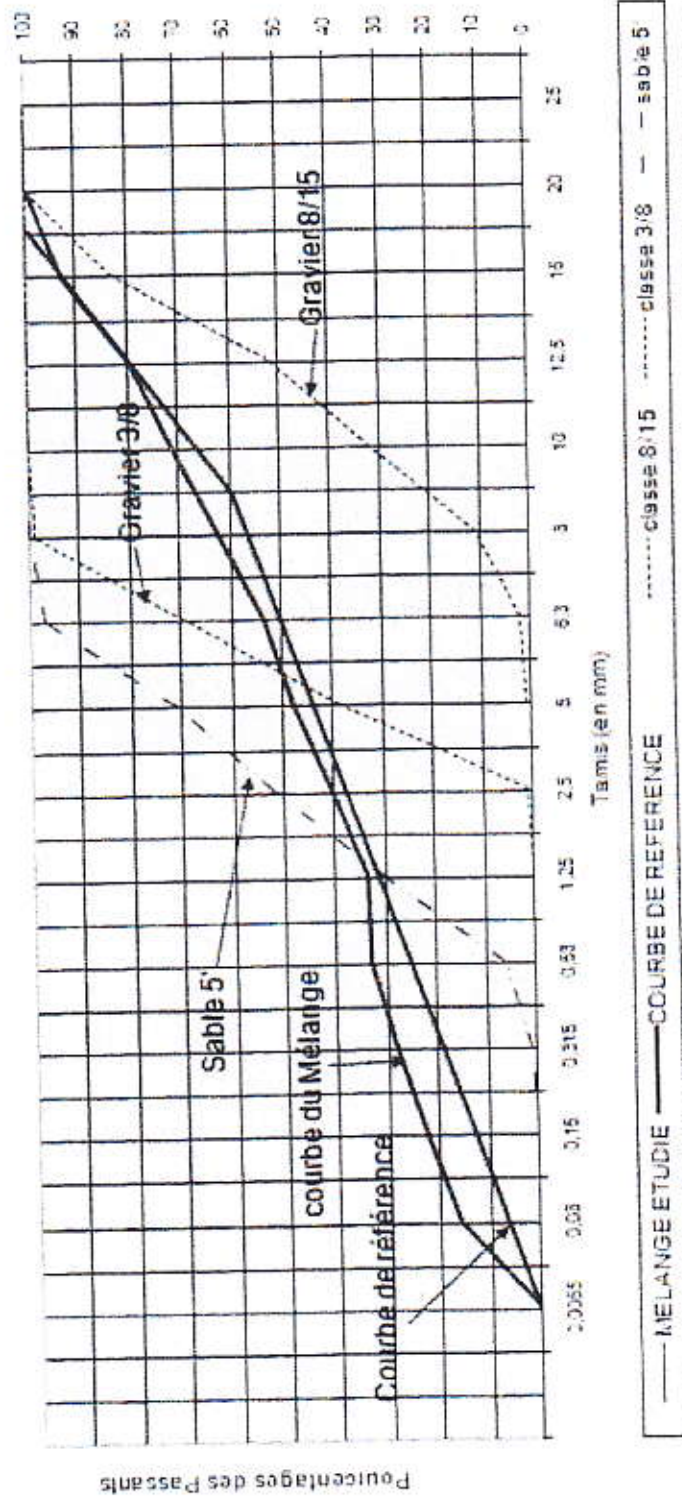


Figure 1.4- Courbes Granulométriques du Sable 5'
(Selon F.AURY)
Dosage à 350 kg/m³



V.2.5 -Affaissement au cône d'Abrams

On remplit en trois couches, piquées chacune de 25 coups par une tige de $\varnothing 16\text{mm}$, un moule tronconique en tôle ($D = 20\text{cm}$; $d = 10\text{ cm}$; $h = 30\text{ cm}$). (voir *Photo A2-1*)

Le moule est retiré lentement et la mesure de l'affaissement est réalisée.

La valeur de l'affaissement est exprimée en centimètre. A titre indicatif, avec un béton dont la composition doit procurer la meilleure maniabilité, l'affaissement au cône sera de 8 à 12 cm pour du béton vibré destiné au bâtiment courant. [1]

V. 3 – CONFECTION ET CURE DES ÉPROUVETTES

V. 3.1 – Moules pour éprouvettes

Conformément à la norme européenne NF EN12390 -1[17], pour les besoins de notre étude et selon la nature de l'essai à réaliser, on a utilisé les moules suivants (voir *Photo A2-2*), pour la confection des éprouvettes :

- Moule prismatique $7 \times 7 \times 28\text{ cm}$,
- Moule cylindrique $\varnothing 16\text{ H}32\text{ cm}$.

V. 3.2 – Confection des éprouvettes

La préparation des mélanges a été effectuée suivant un dosage pondéral des granulats et conformément à la norme française NF P18 - 404 [18], qui consiste à :

- Introduire, en premier lieu, dans un malaxeur à béton, (voir *Photo A2-3*), 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 poursuivre 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 *Photo A2-4*), pour chaque couche du béton introduite (le temps de vibration est de 30s).

.V. 3.3 –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 *Photos A2-5 et A2-6*).

- La conservation des éprouvettes pour les essais de compression et flexion dans l'eau.
- 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 ($\text{HR}=50\pm 5\%$).

CHAPITRE VI
COMPORTEMENT MECANIQUE
ET RHEOLOGIQUE DU BETON

CHAPITRE VI

COMPORTEMENT MECANIQUE ET RHEOLOGIQUE **DU BETON**

VI.1 -INTRODUCTION

Parmi les caractéristiques importantes du béton, nous avons choisi de déterminer les résistances à la compression et à la traction à 7, 28 et 90 jours, et aussi d'étudier le phénomène de variation dimensionnelle (retrait, gonflement) à 3, 7, 14, 21, 28 et 90 jours.

Généralement les bétons sont classés selon leurs résistances à 28 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 flexion et de compression permettant de déterminer la contrainte de rupture de traction par flexion et la contrainte de rupture à la compression du béton ou mortier.

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.

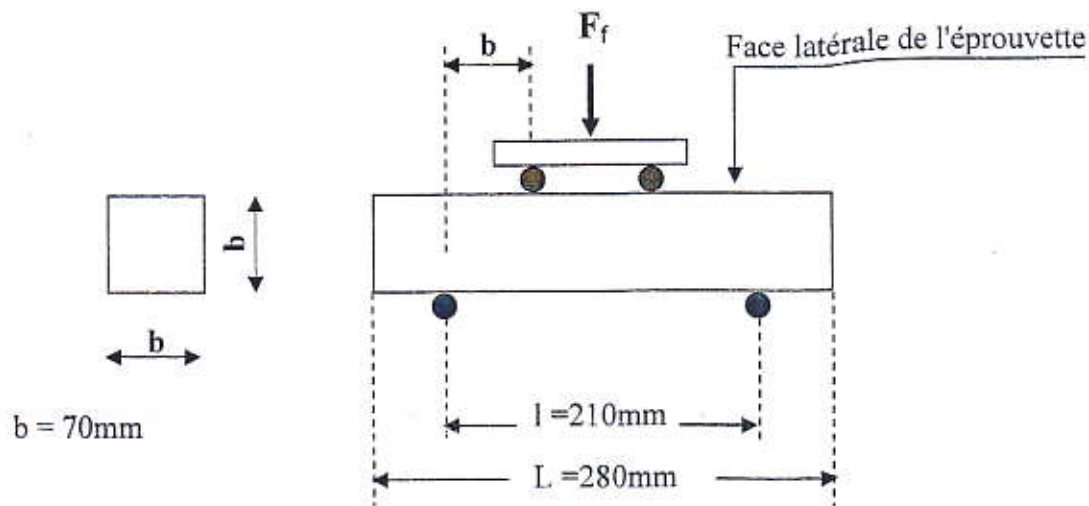
Dans le cadre de notre travail nous avons étudié l'influence des corrections réalisées sur le sable, sur le comportement du béton (résistance à la compression, à la flexion et retrait).

VI.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 EN 196-1. Un dispositif à rouleau utilisé en flexion (4points), comportant deux appuis à rouleau distant de 210 mm sur lesquels repose l'éprouvette prismatique 70x70x280 mm, et un troisième rouleau équidistant des deux premiers, transmettant une charge concentrée F_f [33].

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 *Photo A2-7*).



Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (4 points)

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

$$Rf = M.V/I ; \text{ et avec } Rf = \frac{(Ff/2) \times b \times (b/2)}{b^4/12} \quad (VI.1)$$

Alors la formule devient :

$$Rf = \frac{3Ff}{b^2} \quad (VI.2)$$

Avec:

Rf : résistance à la flexion en MPa.

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

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

Les résultats de cet essai sont donnés par le *Tableau VI.1* et la *Figure VI.1*.

VI.3 -ESSAI DE COMPRESSION (Norme NF P 18.406)

Les essais de compression ont été réalisés à l'LTPSud Ouargla.

L'essai de compression est l'essai le plus connu des essais mécaniques. Il s'effectue sur des éprouvettes cylindriques (Ø16 H32), (voir *Photo A2-8*).

La résistance à la compression correspond à la contrainte maximale calculée par

la formule suivante [1] :

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (\text{VI.3})$$

Avec : - P : La charge appliquée ;

- A : La section de l'éprouvette.

La résistance en compression à 28 jours désignée par σ_{c28} .

Les résultats de cet essai sont représentés dans le *Tableau VI.2* et la *Figure VI.2*

VI.4 -ESSAI DE RETRAIT

Les essais de retrait ont été réalisés au laboratoire du Lycée Polyvalent Béni tour.

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 [31].

L'essai de retrait a été réalisé conformément à la norme française NF P18 - 427 [34]. 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 rétractomètres (voir *Photo A2-9*) 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 (3, 7, 14, 28 et 90 jours).

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

$$Vd = \frac{dl}{l} (\text{en } \mu\text{m}/\text{m}) \quad (\text{VI.4})$$

Avec :

- 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 éprouvette.

VI.5 –RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Dans le présent chapitre, 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.

- Béton témoin **BSC** avec 100% de sable de construction. **BOUHNİK. B** [27].
- Béton **E** avec 100% de sable de dune. **BENTATA. A** [22].
- Béton normal de référence **BN** selon. **BAUD. G** [19].
- Et les Béton **BS2'**, **BS3'**, **BS4'**, **BS5'**, **BS6'**.

VI.5.1–Résistance à la Flexion

Les normes ne donnent pas des valeurs minimales à obtenir pour la résistance à la flexion, les exigences doivent être précisées de cas en cas. Pour le contrôle de l'aptitude au service, les normes recommandent d'utiliser pour les bétons dosés à 350 kg/m^3 une résistance à la flexion valant à 4.16 MPa [35]

Les résultats sont donnés sur le *Tableau VI.1* ainsi que les courbes sur la *Figure VI.1*, on constate que :

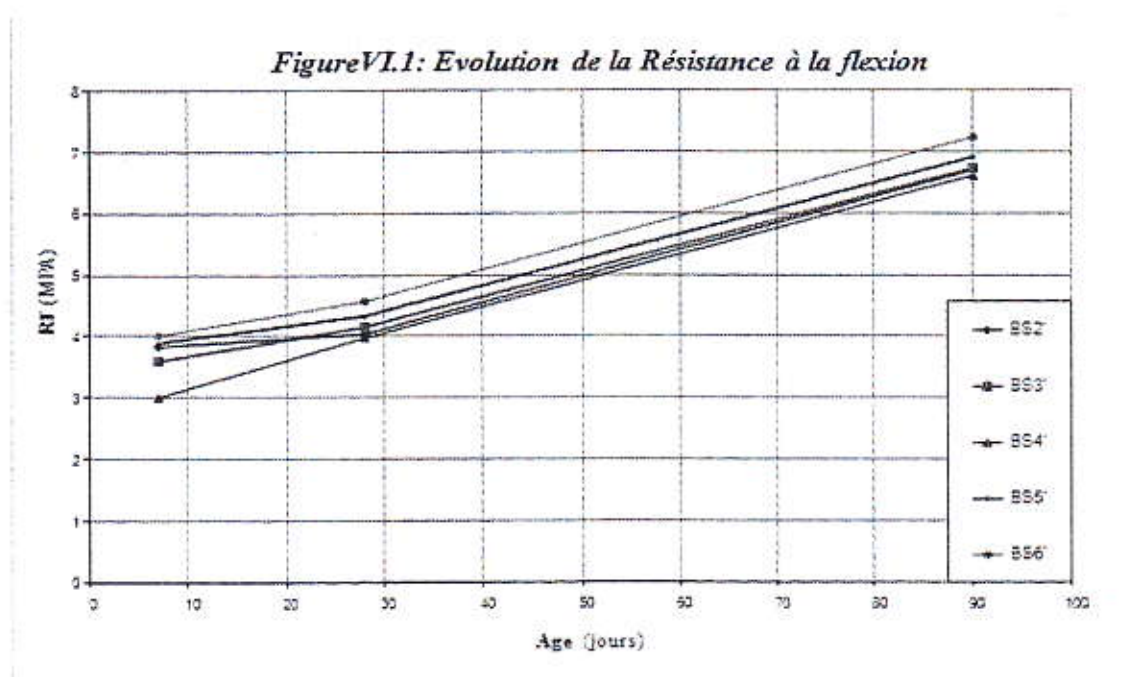
- L'allure des courbes des bétons dénote une progression croissante de la résistance à la flexion en fonction de l'âge,
- Les résistances enregistrées à 07, 28 et 90 jours des différents bétons sont très rapprochées entre eux et peu dispersés.
- Les valeurs obtenues à 28 jours de l'ensemble des bétons sont compris entre 4 et 4.55MPa, ce qui dénote une résistance acceptable vis-à-vis des normes.
- En comparaison avec les résultats de la bibliographie nous constatons que nos valeurs sont situées au dessus de celles trouvées par Bentata (4 MPa) [22] relative à celle d'un béton composé à 100 % de sable de dune.
- Le béton **BS6'** a donné la meilleure résistance à 7,28 et 90 jours, ce béton renferme le plus faible pourcentage en sable de dune. Probablement l'augmentation des dosages en

- Le béton **BS6'** a donné la meilleure résistance à 7,28 et 90 jours, ce béton renferme le plus faible pourcentage en sable de dune. Probablement l'augmentation des dosages en sable de dune diminue l'adhérence granulat/matrice, ce qui diminue par la suite la résistance à la flexion c'est pour cette raison les bétons avec un grand pourcentage de sable de dune ont une résistance relativement faible par rapport à **BS6'**.

Le *Tableau VI.1* et la *Figure VI.1* représentent les résultats de la flexion

Tableau VI.1 : La résistance à la flexion du béton(MPa)

Type de Bétons	7 jours	28 jours	90 jours
BS6'	4±0.10	4.55±0.02	7.23±0.01
BS5'	3.88±0.02	4.32±0.21	6.91±0.12
BS4'	3.02±0.07	4±0.08	6.61±0.07
BS3'	3.60±0.17	4.16±0.09	6.72±0.23
BS2'	3.82±0.004	4.03±0.37	6.70±0.10



VI.5.2 – Résistances à la Compression

D'après la *Figure VI.2*, nous remarquons que l'augmentation de la résistance à la compression des bétons à base de sable de dune corrigé, au cours du temps, se fait de la même manière que le béton ordinaire. Ceci est dû à la confection de tous les bétons avec un rapport eau / ciment constant. Selon Neville [2], la relation entre la résistance du béton et le rapport eau / ciment n'est valable que pour un type de ciment (c'est-à-dire une hydratation identique du ciment) et un âge donné et suppose également que le béton a été mûri dans des conditions humides.

Nous remarquons aussi que pour un âge donné :

- L'allure des courbes des bétons dénote une progression continue de la résistance en fonction de l'âge.
- La résistance des bétons à 07 jours en particulier **BS6'** (24.33 MPa) est nettement supérieur à celle des bétons réalisés, de même **BS5'** (20.75MPa) qui est légèrement supérieur au béton normal **BN** (19.6MPa), par contre il ya diminution de la résistance des autres bétons **BS4'**, **BS3'** et **BS2'**, on note que la résistance du **BS2'** (15.16MPa) est la valeur la plus faible de tous les bétons réalisés.
- A 28 jours la résistance à la compression de **BS6'** (28.83MPa) et **BS5'** (27.66MPa) sont très proche à celles du béton normale de référence (28MPa) et du béton **BSC** de **Bouhnik** (28.91MPa). Les résistances des bétons **BS4'** (26.41MPa), **BS3'** (25.16MPa), **BS2'** (25MPa) demeurent inférieure au **BN**.
- A 90 jours les valeurs des bétons **BS6'**, **BS5'**, **BS4'**, **BS3'**, **BS2'** sont supérieur à celle de **BN**, et ils tendent vers une valeur commune à l'exception du **BS6'** qui présente toujours une valeur élevée (42.8MPa).
- Nos résultats trouvés ont donné de bonnes valeurs en comparaison avec les résultats trouvés par Bentata (100% sable de dune), ce qui montre l'effet positif de la correction. Ainsi la résistance des bétons ayant le plus faible pourcentage de sable de dune sont ceux le plus résistants. Ce qui confirme les résultats de la littérature.

En effet l'augmentation de sable de dune augmente la porosité ce qui empêche une bonne compacité et diminue la résistance.

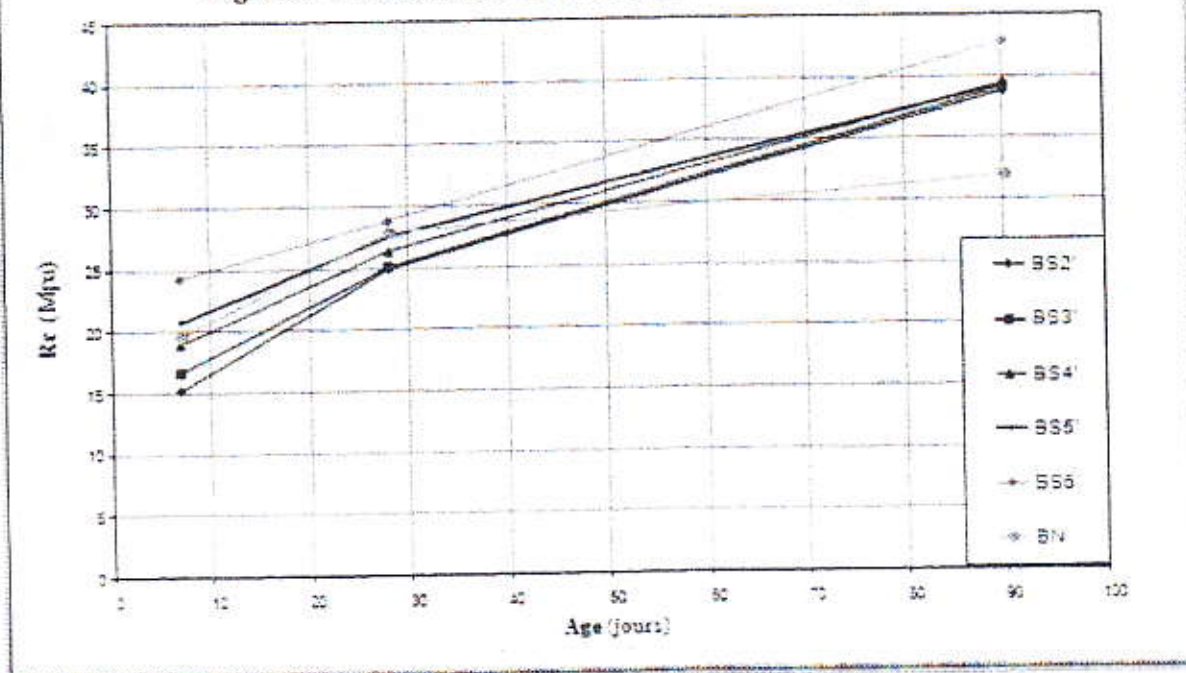
Le *Tableau VI.2* et la *Figure VI.2* donnent les résultats de compression

Tableau VI.2 : La résistance à la compression(MPa)

Types de Bétons	7 jours	28 jours	90 jours
BS6'	24.33±0.38	28.83±0.77	42.83±0.22
BS5'	20.75±0.16	27.66±0.55	39.33±0.44
BS4'	18.96±0.35	26.41±0.72	39.5±0.33
BS3'	16.58±0.61	25.16±0.22	39.16±0.22
BS2'	15.16±0.22	25.0±0.66	38.83±1.88
BN	19.60	28.00	32.30

Avec BN béton normal selon [19]

Figure VI.2: Evolution de la Résistance à la compression



VI.5.3 -Retrait

D'après les résultats présentés sur Le *Tableau VI.3* et la *Figure VI.3*, nous constatons que le retrait à 3, 7,14 jours des bétons **BS6'**, **BS5'**, **BS4'**, **BS3'** sont rapprochés les uns des autres, à l'exception du béton **BS2'** qui présente des valeurs élevées situées entre 389.68 et 844.78 $\mu m/m$, ceci s'explique par la présence de forte proportion de sable de dune (50%) dans la fraction sable du **BS2'**.

Toute fois les résultats obtenus à 28 jours situés entrent 748.8 et 1190.25 $\mu m/m$ qui restent nettement supérieur à celle trouvés dans le béton **BSC** (434 $\mu m/m$). On note que le retrait du béton à base de sable de dune **BSD** donne une valeur de l'ordre de 1200 $\mu m/m$ qui largement supérieure à nos résultats, ce qui confirme que l'augmentation de sable de dune augmente le retrait. C'est pour cette raison que le béton **BS6'** présente un retrait intermédiaire (748.8 $\mu m/m$) entre le béton **BSC** et le **BSD**.

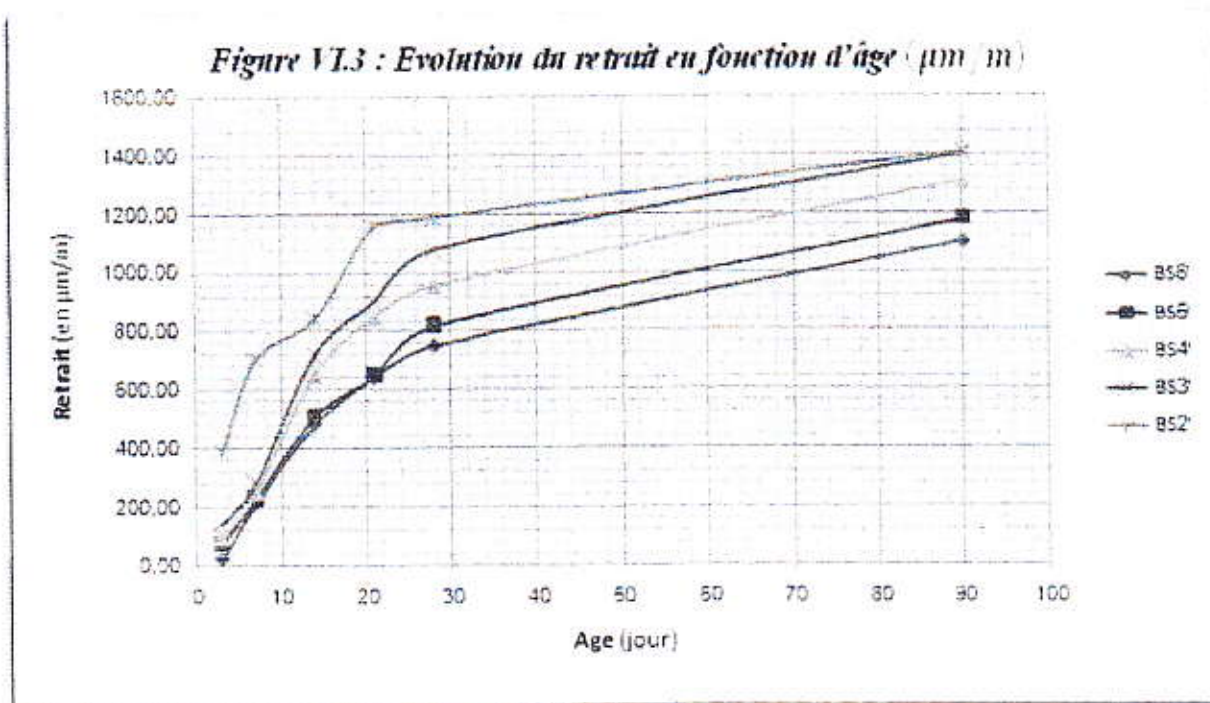
On note que les résultats obtenus sont au delà des tolérances spécifiques aux régions désertiques (500 $\mu m/m$) [12].

D'autres précautions sont donc nécessaire lord de l'utilisation de nos bétons dans les régions sahariennes.

Le *Tableau VI.3* et la *Figure VI.3* montre l'évolution du retrait avec l'âge.

($\mu\text{m}/\text{m}$) Tableau VI.3 : Résultats d'essai de Retrait

Age Bétons	3	7	14	21	28	90
BS6'	21,40	213,82	481,37	641,83	748,80	1098,24
BS5'	74,88	231,76	509,62	648,61	819,67	1177,184
BS4'	99,79	254,56	653,25	852,17	956,01	1308,56
BS3'	142,62	285,25	720,36	902,5	1076,8	1399,23
BS2'	389,68	706,03	844,78	1159,55	1190,25	1410,58



Afin de donner une image claire sur l'influence du sable de dune concernant les propriétés du béton, le *Tableau VI.4 à 28 jours* présente un résumé de la comparaison de nos résultats avec ceux de la littérature. BSC, E et BN voir page 71

Tableau VI.4 : Comparaison entre les bétons

Propriétés	BS2'	BS3'	BS4'	BS5'	BS6'	BSC [27]	E [22]	BN [19]	
Ciment (kg/m ³)	350	350	350	350	350	400	400	350	
Eau (l/m ³)	210.6	210.6	210.6	210.6	210.6	232	220	/	
Rapport E/C	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.58	0.55	/	
S. dune (kg/m ³)	/	/	/	/	/	/	586	/	
S.const (kg/m ³)	/	/	/	/	/	565	/	/	
S.corr (kg/m ³)	486	505	521	540	564	/	/	/	
G. 3/8 (kg/m ³)	413	393	372	352	331	189	380	/	
G. 8/15 (kg/m ³)	872	872	872	872	872	960	832	/	
G/S	2.64	2.50	2.38	2.26	2.13	2.03	2.05	/	
Rf ₂₈ (MPa)	4.03	4.16	4.00	4.55	4.32	3.21	4.00	/	
Rc ₂₈ (MPa)	25.00	25.16	26.41	27.60	28.83	28.91	20	28	
Retr.28j (µm/m)	1190.25	1076.80	956.01	819.67	748.80	434	1200	/	
moule	Com	Ø16H32	Ø16H32	Ø16H32	Ø16H32	Ø16H32	7×7	Ø16H32	/
	Trac	7×7×28	7×7×28	7×7×28	7×7×28	7×7×28	7×7×28	7×7×28	7×7×28

VI.5.4 -Conclusion

D'après les résultats effectués sur la résistance à la flexion, la résistance à la compression et le retrait nous concluons que :

L'augmentation de sable de dune dans les dosages des bétons a un effet néfaste sur la résistance et le retrait, d'où la nécessité de la correction de la granulométrie.

Avec la correction, la composition des bétons BS6' et BS5' sont celle qui ont donné de bon résultat mécanique et de faible retrait quoi qu'il reste supérieur à 500 $\mu\text{m}/\text{m}$ selon

la norme [12].

Donc avec la correction nous avons trouvé des résultats bénéfiques uniquement sur le côté résistance. De point de vue retrait d'autres solutions sont à envisager, tel que le renforcement de nos bétons par des fibres.

CONCLUSIONS GENERALES
ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSIONS GENERALES

ET RECOMMANDATIONS

1- CONCLUSIONS GENERALES

L'objectif de ce mémoire est la valorisation des matériaux locaux du sud Algérien en l'occurrence l'utilisation du sable de dune et le sable concassé dans la production du béton.

L'étude comporte une partie théorique résumant la recherche bibliographique, et une partie expérimentale réalisée en quatre 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 de dune a présenté une courbe serrée entre 0.16 et 0.63mm, avec un coefficient d'uniformité $C_u=1.96$ et avec un module de finesse de l'ordre de 1.31 dénotant un sable un peu trop fin. La propreté du sable de dune est de l'ordre de 92.64%.

En guise de ces analyses il s'avère que le sable de dune nécessite une correction de sa granulométrie pour pouvoir l'utiliser dans la confection du béton, à cet effet nous avons opté à l'apport du sable concassé 0/3 issu de l'opération de concassage de gravier comme matériau de correction.

L'analyse granulométrique du sable concassé présente une courbe étalée ($C_u=8$). Le module de finesse de l'ordre de 2.8 montrant un sable grossier. La propreté du sable de dune est de l'ordre de 73%.

▪ Correction de la granulométrie de sable de dune par le sable concassé

La correction du sable de dune a été réalisée d'une manière expérimental (par tâtonnement), la seule condition nécessaire et suffisante est l'insertion de la courbe granulométrique du mélange corrigé à l'intérieur du fuseau de référence.

Les mélanges retenus sont les suivants :

S2' : 50 % sable de dune plus 50 % sable concassé (1/2SD+1/2SC).

S3' : 33 % sable de dune plus 67 % sable concassé (1/3SD+2/3SC).

S4' : 25 % sable de dune plus 75 % sable concassé (1/4SD+3/4SC).

S5' : 20 % sable de dune plus 80 % sable concassé (1/5SD+4/5SC).

S6' : 17 % sable de dune plus 83 % sable concassé (1/6SD+5/6SC).

▪ **Formulation de béton**

La méthode opté pour la formulation de béton est celle de Faury, cette méthode est très utilisée dans la région, est applicable à tous les granulats, quelle que soit la masse volumique.

Le rapport eau /ciment ($E/C=0.6$) étant gardé constant pour tout les mélanges réalisés dont le but de pouvoir comparer les résultats trouvés.

Le rapport gravier/sable (G/S) varie entre 2.13 et 2.64, il s'agit donc d'un béton ordinaire ayant un pourcentage de vide relativement grand.

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 VI.

Un total de 09 éprouvettes cylindriques et 12 éprouvettes prismatiques ont été confectionné pour chaque béton. 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 à l'air libre) .Les âges de test respectives sont 7, 28, et 90 jours.

▪ **Essai de contrôle et interprétation des résultats**

Les éprouvettes de béton confectionné ont subit 03 essais de contrôle de performance, il s'agit de l'essai de résistance à la flexion, résistance à la compression et le retrait.

Les valeurs des essais de flexion obtenues à 28 jours de l'ensemble des bétons sont comprises entre 4 et 4.55MPa, ce qui dénote une résistance acceptable vis-à-vis de la déformabilités.

Les résultats des essais compression à 28 jours d'âge ont révélés des résistances acceptables variant entre 25et 28.8 MPa. Ces résistances continues à progresser pour atteindre des valeurs maximales comprises entre 38.8 et 42.8 MPa à 90 jours d'âge, 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 des bétons réalisés, les valeurs à 28 jours sont comprises entre 748.8 et 1190.25 $\mu m/m$. En Algérie, dans les régions désertiques sèches le retrait recommandé ne doit pas dépasser 500 $\mu m/m$.

Tous les résultats obtenus ont été comparés à ceux des bétons réalisés à base de matériaux classique de la région de Ouargla (Bouhnik) **BSC** 100% sable de construction, et le béton normal de référence (Gerard Baud) **BN**, et béton à base de sable de dune (Bentata) **BSD** 100% sable de dune.

2- RECOMMANDATIONS :

Dans le cadre d'une bonne optimisation de la valorisation de sable de dune et le déchet de sable de concassage, nous recommandons pour compléter cette recherche :

- Optimisation du béton de sable corrigé par les différentes méthodes de formulation.
- Pour réduire le rapport E/C il faut utiliser un adjuvant (réducteur de l'eau).
- Pour réduire le retrait de ce béton il faut le renforcer par des fibres d'acier, de verre ou végétale.
- Etudier la durabilité de ce béton dans différents milieux agressifs.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1]-**Gorisse F.**, “ Essais et Contrôle des Bétons ”, Editions Eyrolles, Paris, 1978.
- [2]-**Neville Adam. M.**, “ Propriétés des Bétons ”, Editions Eyrolles, Paris, 2000.
- [3]-**Baron J. et Sauterey R.**, “Le Béton Hydraulique, Connaissance et Pratique”, Presses ENPC, Paris, 1995.
- [4]-**Michel F.**, “ les Granulats – Industrie, Géologie et Environnement ”, UNICEM,
[en ligne], 2004, Disponible sur : [http : //www.unicem.fr/fr/documentaire/pdf/granulats.pdf](http://www.unicem.fr/fr/documentaire/pdf/granulats.pdf).
- [5]-**De Larrard F.**, “ Construire en Béton –L’Essentiel sur les Matériaux ”, Presses ENPC, Paris, 2002.
- [6]-**Baron J. et Ollivier J.-P.**, “Les Bétons, Bases et Données pour leur Formulation ”, Editions Eyrolles, 2ème Tirage, Paris, 1997.
- [7]-**Dupain R, Lanchon R. et Saint-Arroman J.-C.**, “ Granulats, Sols, Ciments et Bétons – Caractérisation des Matériaux de Génie Civil par les Essais de Laboratoire ”, Editions Casteilla, 2ème Édition, Paris, 2000.
- [8]-**Dreux G. et Festa J.**, “ Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants ”, Editions Eyrolles, 8ème Edition, Paris, 1998.
- [9]-**Norme Française XP P 18-540**, Oct. 1997, “Granulats –Définitions, Conformité et Spécifications”, Editions AFNOR, Paris, 1997.
- [10]-**Maillot R.**, “Mémento Technique des Granulats”, Presses Ecole des Mines de Paris, Paris, 2001.
- [11]-**Norme Française P 18-591**, Sept. 1990, “Granulats –Détermination de la Propreté Superficielle”, Éditions AFNOR, Paris, 1990.
- [12]-**Huberty J. M.**, “Cours Spécialisé de Technologie du Béton, Chapitre XII: Les Bétons Spéciaux”, Editions Centre de Formation Professionnelle de la Technologie du Béton a.s.b.l. Kraainem, 1950.
- [13]-**Norme Française P 18-554**, Déc. 1990, “Granulats – Mesures des Masses

- Volumiques, de la Porosité, du Coefficient d'Absorption et de la Teneur en Eau des Gravillons et Cailloux ", Edition AFNOR, Paris, 1990.
- [14]-**Norme Française P 18-557**, Sept. 1990, "Granulats –Eléments pour l'Identification des Granulats ", Edition AFNOR, Paris, 1990.
- [15]-**Norme Française P 18-555**, 1990, "Granulats – Mesures des Masses Volumiques, Coefficient d'Absorption et Teneur en Eau des Sables", Editions AFNOR, Paris, 1990.
- [16]-**Derbala A**, " Contribution aux Possibilités d'Amélioration de la Qualité du Béton", Thèse de Magistère en Génie Civil, Université de Blida, 1999.
- [17]-**Norme Européenne NF EN 12390-1**, Oct. 2001, "Essai pour Béton Durci –Partie 1 Forme, Dimensions et autres Exigences relatives aux Eprouvettes et aux Moules ", Éditions AFNOR, Paris, 2001.
- [18]-**Norme Française NF P 18-404**, Déc. 1981, "Bétons – Essais d'Etude, de Convenance et de Contrôle –Confection et Conservation des Eprouvettes ", Edition AFNOR, Paris, 1981.
- [19]-**Gérard B**, « La Construction du Bâtiment ». Editions AFNOR, Paris, 1981.
- [20]-**Brahma A**, "Le Béton ", Editions OPU, Alger, 1996.
- [21]-**Fiches Techniques**, Cimbeton B1 " Le Béton ", Centre d'Information de l'Industrie Cimentier, Paris, 1997.
- [22]-**Bentata A**, " Etude Expérimentale d'un Béton avec Sable de Dune ", Mémoire de Magister en Génie Civil –Université de Ouargla, 2004.
- [23]-**Kedjour N**, " Propriétés et Pathologie du Béton ", Editions OPU, Alger, 1993.
- [24]- **Figoli Y**, " l'Art de Bâtir ", Modulo Editeur, Volume 4, Québec, 1985.
- [25]-**Amirat A**, 'formulation et comportement d'un béton de sable de dune pour structures'- Mémoire d'ingenieur polytech d'Alger, 2004.
- [26]-**Kriker A**, " Durabilité du Béton à Base de Laitier ", Thèse de Magister en Génie Civil – ENP d'Alger, 1992.
- [27]-**Bouhnik B**, 'Contribution à la valorisation du sable de dune dans la formulation en milieux sahariens'. Mémoire de magister 2007. Ouargla.
- [28]-**Yamani L**, « cours de construction (1) » Edition OPU, Alger 1993.

[29]-**Beleferrag A**, « valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de dunes » mémoire de Magister Université Ouargla.

[30]-**Lonchon R**, « cours de laboratoire », Brevets de Technicien, Baccalauréat, B.T.S, D.U.T.

[31]-« **Clause technique C.T.7/75** », GRAND-DUCH de Luxembourg, Ministère des travaux publics, commission de normalisation des matériaux de construction.
<http://www.etat.lu/pch/public/structueeorg/labomater>.

[32]-**Normes Européenne**, NF EN 1008, juillet 2003 « Eau de Gâchage pour Bétons – Spécification d’Echantillonnage, d’Essai et d’Evaluation de l’Eptitude à l’Emploi y Eompris les Eaux des Processus de l’Industrie du Béton, telle que l’Eau de Gâchage pour Béton » Edition AFNOR, paris 2003

[33]-**Kedjour N**, « Laboratoire du Béton » Edition OPU, ALGERIE ,2005

[34]-**Norme Française NF P 18-427**, Déc. 1996, “Bétons –Détermination des Variations Dimensionnelles entre deux Faces Opposées d’Eprouvettes de Béton Durci”, Editions AFNOR, Paris, 1996.

[35]-**Institut des Matériaux**, « Essais sur Béton Durci et d’un Elément en Béton Armé », Ecole Polytechnique de Lausanne.pdf.

ANNEXES

ANNEXE A1
MATÉRIELS ET ESSAI D'IDENTIFICATION
DES GRANULATS

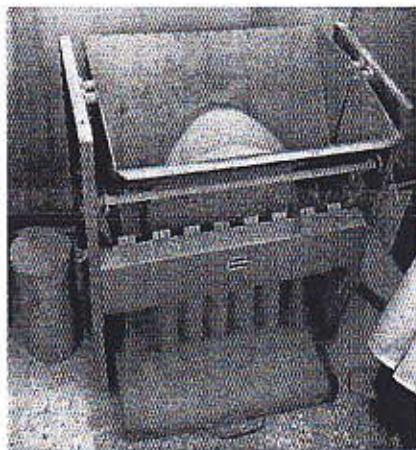


Photo A1-1
Diviseur à Couloirs pour Grmulats

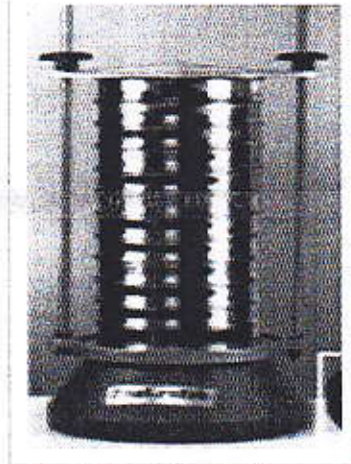


Photo A1-2
Tamiseuse électrique

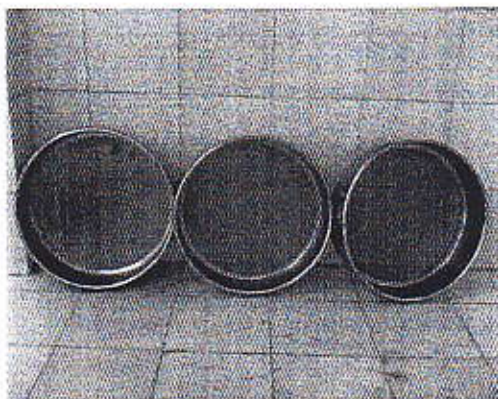


Photo A1-3
Tamis à Mailles Carrées

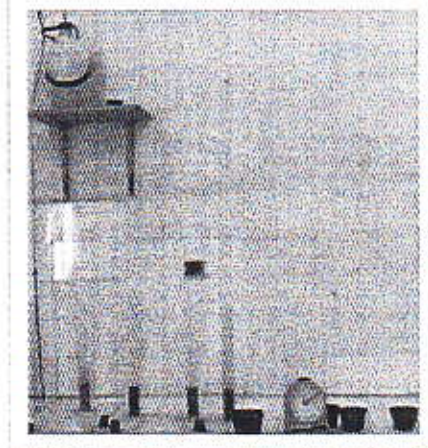


Photo A1-4
Appareillage d'Équivalent de Sable



Photo A1-5
*Appareillage d'Essai de la valeur
du bleu*

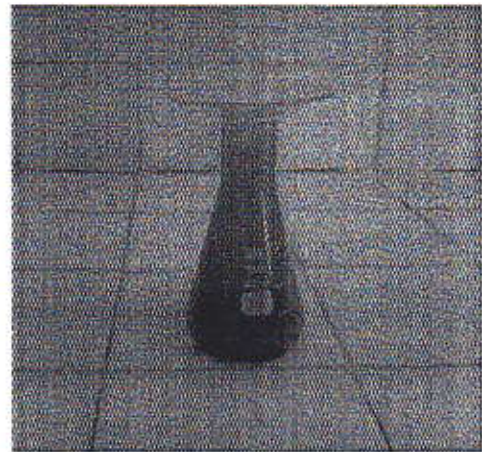


Photo A1-6
*Appareillage de la masse volumique
absolue*



Photo A1-7
*Appareillage de la masse volumique
apparente du sable*



Photo A1-8
*Appareillage de la masse volumique apparente
du gravier*

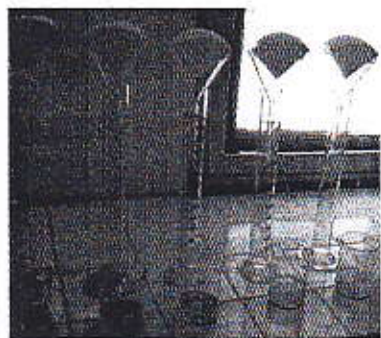


Photo A1-9
Analyses chimiques



Photo A1-10
Appareil de Vicat

ANNEXE A2
MATÉRIELS ET ESSAIS DE BÉTONS

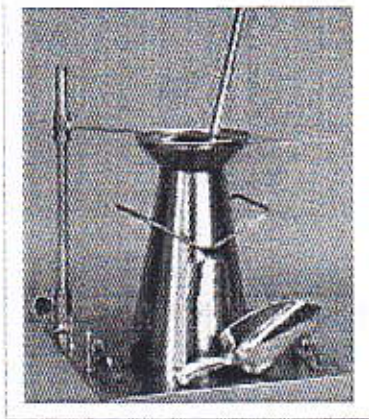


Photo A2-1
Appareillage du cône d'Abrams

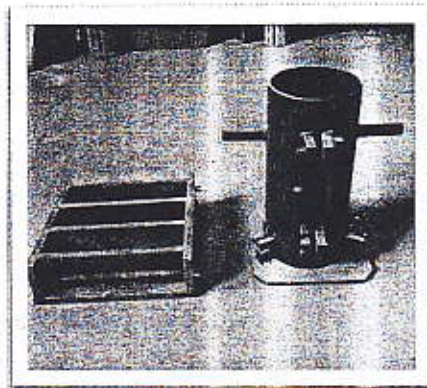


Photo A2-2
Moules et Éprouvettes Utilisés



Photo A2-3
Malaxeur à Béton



Photo A2-4
Table Vibrante

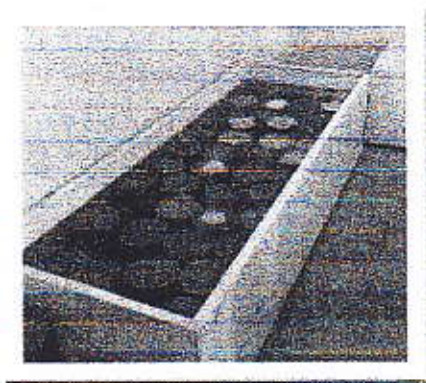


Photo A2-5
Conservation des éprouvettes à l'eau.



Photo A2-6
Conservation des éprouvettes à l'air libre.



Photo A2-9
Essai de Retrait

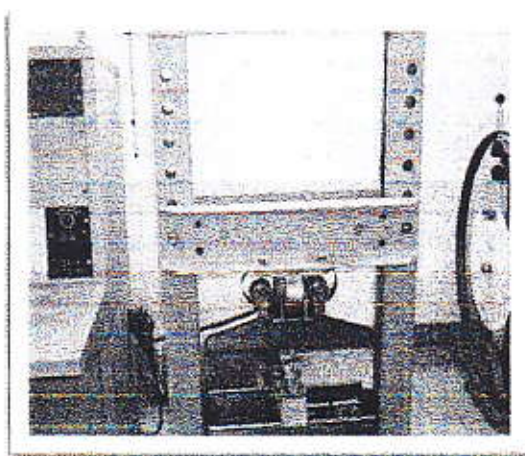


Photo A2-7
Machine d'Essai de Flexion



Photo A2-8
Machine d'Essai de Compression