
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL
Laboratoire Construction et Environnement

Mémoire De Magister

Présenté par :

Omar MEZIDI

Ingénieur d'état en Génie Civil de l'Ecole Nationale Polytechnique

Thème :

**Etude comparative des caractéristiques et du comportement
d'un béton de sable de dunes et d'un béton ordinaire
modifiés à la poudrette de caoutchouc.**

Devant le jury composé de :

Président :	Mr. SILHADI. K	Maître de conférences (ENP).
Directrice du mémoire	Mme. KETTAB. R	Maître de Conférences (ENP).
Co-Directeur du mémoire :	Mr. BALI. A	Professeur (ENP).
Examineurs :	Mr. BOUTEMEUR. R	Chargé de Cours (ENP).
	Mme. MORSLIM	Maître de Conférences (ENP).
	Mme. CHIKH. A	Chargée de Cours (ENP).

Année universitaire 2007 / 2008.

10, Avenue Hassen Badi El-Harrach, Alger

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الإهداء

" وَمَا بِكُمْ مِنْ نِعْمَةٍ فَمِنَ اللَّهِ "

أحمد الله الذي لا إله إلا هو على توفيقه في إكمال هذه المذكرة، وعلى باقي نعمه علينا.

إلى:

أولاً:

من خفهما واجب بعد خف الله،

إلى الوالدة الكريمة التي أصرت على الطابقتنر، حرصت وشجعت بك وساعدت بما تقدر عليه، فكان لها ما أرادت،

إلى الوالد الفاضل على دعمه وإعانتة،

داعيا أطول أن يحفظهما ويطيد عمرهما في طاعته.

ثانياً:

إلى الإخوة والأخوات وعلى رأسهم أخي الكبير "محمد" على ما قدمه لنا،

سائلاً القدير أن يسدد ويوقف الجميع ما يحبه ويرضاه.

ثالثاً:

إلى الأصحاب والأصدقاء وعلى رأسهم محمد، عبد الكريم، عبد القادر، عمر وغيرهم...

إلى رفقاء حي يوراوي عمار دون ذكر الأسماء لأن القائمة سنطول....

رابعاً:

إلى كل من أعان في هذه المذكرة ولو بكلمة تشجيع أو تحفيز دون نسيان أساننني في جميع الأطوار.

إلى كل من سبف ذكرهم....

إلىكم عملي المثنواضع وهو جهد المقل.

Remerciements

Je remercie tout d'abord **ALLAH** le tout puissant de m'avoir donné le courage de surmonter les moments les plus difficiles de ma vie et la volonté de mener à terme ce travail.

Et « quiconque ne remercie pas les gents, ne remercie pas **ALLAH** »,

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements, à Mme **R.KETTAB** pour son suivi, ses précieux conseils et orientations qui m'ont été d'une grande utilité tout au long de ce travail.

Mes sincères remerciements vont également au professeur **A.BALI** pour son soutien, et ses aides précieuses.

Mes remerciements à Mr. **SILHADI. K**, Mr. **BOUTEMEUR. R**, Mme. **MORSLIM** et Mme. **CHIKH. A** pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant de l'examiner.

Je remercie le personnel du LCTP Hussein Dey, et LNHC sans oublier le directeur de la société Algérienne de Ciment « ACC », la société d'adjuvants « GRANITEX » et la société algérienne d'élastomère «SAEL». Ainsi que tous les personnels qui m'ont apporté leur aide.

Je remercie tous les enseignants de l'ENP pour le savoir qu'ils m'ont transmis

Je remercie toute personne ayant, à divers titres, contribué à faire avancer ce travail, et plus particulièrement : Ahmed **Laichaoui**, Rachid **Amri**, Salah **hadji**, Mourad **Serikma** et tous les étudiants de l'école doctorale ainsi que les étudiants de ma promotion.

Je profite aussi de cette occasion solennelle pour adresser mes remerciements à toute **ma famille** qui m'a toujours encouragé et soutenu tout au long des années d'étude.

Je remercie enfin tous ceux qui n'ont pas été cités dans ces quelques lignes et qui ont contribué de près ou de loin par leur aide au bon déroulement de ce travail.

ملخص

هذا العمل يساهم في مجال تثمين واستغلال المواد المحلية، وكذا استعمال النفايات الصناعية. يتمحور بحثنا هذا حول مقارنة خصائص و سلوك كل من خرسانة رمل الكثبان و الخرسانة العادية مغيرتين بالمسحوق المطاطي. تتمثل هذه الدراسة التجريبية المخبرية في تشكيل مادة مركبة لكل من (خرسانة عادية ، المطاط) و (خرسانة رمل الكثبان، المطاط) من أجل نسب كتلية من المسحوق تتراوح بين 1 و 5 % بخطوة 1 % ، أثبتت التجارب أنّ النسبة الأمثل للمسحوق المطاطي هي 3 % . كما بينت النتائج المحصل عليها أنّ ثابت مرونة خرسانة رمل الكثبان أصغر بكثير من ثابت مرونة الخرسانة العادية مغيرتين بالمسحوق المطاطي (تقريبا 54 %)، لضعف ثابت مرونة خرسانة رمل الكثبان مغيرّة بالمسحوق المطاطي فإنّه لا يُسمح باستعمالها في عناصر المنشآت، لكن يمكن استعمالها في حواف الطرق والأرصفة، طبقة الأساس... أعطت تركيبة الخرسانة العادية بالمسحوق المطاطي بإضافة (مساعدات) نتائج مقبولة من أجل استعمالات منشآتية.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، خرسانة رمل الكثبان ، متعدد الأجزاء، المسحوق المطاطي، ثابت مرونة ، تثمين، الخصائص الريولوجية.

Résumé

Ce travail consiste en une contribution dans la valorisation des matériaux locaux et dans l'utilisation des déchets industriels. Il a pour but de comparer les caractéristiques ainsi que le comportement d'un béton de sable de dunes et d'un béton ordinaire modifiés à la poudrette de caoutchouc. Cette étude expérimentale porte sur la mise au point de composites (béton ordinaire, caoutchouc) et (béton de sable de dunes, caoutchouc) avec des teneurs pondérales en poudrette de caoutchouc de 1 à 5 % (par pas de 1). Le pourcentage optimal de l'incorporation de la poudrette de caoutchouc est de 3 %. De plus, les résultats obtenus ont montré que le module d'élasticité du béton de sable de dunes modifié à la poudrette de caoutchouc est plus faible que celui d'un béton ordinaire modifié environ 54% ; par conséquent on ne peut pas l'utiliser pour des éléments structuraux mais par contre on peut l'utiliser pour d'autres éléments tels que les bordures de trottoirs, en couche de fondation,... La formulation d'un béton ordinaire avec incorporation de poudrette de caoutchouc et avec adjuvant a donné des performances acceptables pour une éventuelle utilisation en structures.

Mots clés: béton, béton de sable de dunes, polymères, poudrette de caoutchouc, le module d'élasticité, valorisation, caractéristiques rhéologiques.

Abstract

This work consists of contribution in the valorization of local materials and the use of the industrial waste. It has for goal to compare the characteristics as well as the behavior of a sand concrete of dune and an ordinary concrete modified with the rubber fine powder. This experimental study relates to the development of a composite (ordinary concrete, rubber) and (sand concrete of dune, rubber) for weigh contents of rubber fine powder from 1 to 5 % (by step of 1) ,The optimal percentage of the incorporation of the rubber fine powder is 3 %. The results obtained showed that the elasticity constant of sand concrete of dune modified with the rubber fine powder is lower than that of a modified ordinary concrete almost 54 %. Consequently, the low elasticity constant of sand concrete of dune modified to the rubber fine powder does not allow its use for the structural elements but on the other hand one could use it for kerbs, grade of foundation...The formation of an ordinary concrete with incorporation of rubber fine powder and addition to give acceptable performances for possible structures utilization.

Key words: Concrete, sand concrete of dune, polymers, crumb tyre rubber, elasticity constant, valorization, rheological characteristics.



Sommaire

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : BETON ORDINAIRE	
I.1. Introduction	3
I.2. composants du béton	3
I.2.1. Ciments	3
I.2.2. Graviers	4
I.2.3. Sable	4
I.2.4. Adjuvants	5
I.2.5. Eau de gâchage	5
2.6. Les additions	5
I.3. Préparation de béton	6
I.3.1. Malaxage	6
I.3.2. Coulage	6
I.3.3. Vibration	6
I.3.4. Durcissement	6
I.3.5. Décoffrage	7
I.4. méthodes de formulation	7
I.4.1. Méthode de Bolomey	7
I.4.2. Méthode d'Abrams	7
I.4.3. Méthode de Faury	8
I.4.4. Méthode de Vallette	8
I.5. les essais sur le béton	9
I.5.1. Essais sur béton frais	9
I.5.1.1. L'essai d'affaissement au cône d'Abrams	10
I.5.1.2 Mesure de la masse volumique du béton frais	10
I.5.2 Essai sur béton durci	10
I.5.2.1 Détermination de la masse de l'éprouvette et de sa masse volumique	10
I.5.2.2 Essais mécaniques	11
I.5.2.2.1 Essai de compression	11
I.5.2.2.2 Essai de traction par flexion	11
I.6- Déformation du béton	12
I.6.1. Déformations instantanées : le retrait	12
I.6.1.1 Différents types de retrait	12
I.6.1.2 Les facteurs agissant sur l'amplitude de retrait	13
I.6.2 Déformations différées	13
I.6.2 Déformations différées	13
I.6.2.1 Le fluage	13
6.2.1.1 Facteurs influençant le fluage	14
a. Influence de la contrainte et de la résistance	14
b. Influence des propriétés du ciment	14
I.6.2.1.2 la relation entre le fluage et le temps	15
I.6.2.2 Le gonflement	15
I.7. L'élasticité du béton	16
I.7.1 L'effet de Poisson	16
I.7.2 Modules de déformation longitudinale du béton	16

I.7.3 Diagramme Contrainte Déformation du béton	17
---	----

CHAPITRE II : BETON DE SABLE

II.1. Introduction	18
II.2. Historique	18
II.3. Définition	19
II.4. Constitution du béton de sable	19
II.4.1. Les sables	19
II.4.2 Les ciments	19
II.4.3 L'eau	19
II.4.4. Les fines d'ajouts	20
II.4.5. Les adjuvants	22
II.4.5.1 les plastifiants ou super plastifiants	22
II.4.5.2 les entraîneurs d'air	22
II.4.6 Autres ajouts	22
II.4.6.1 La poudrette de caoutchouc	22
II.4.6.2. Les fibres	23
II.4.6.3. Les gravillons	23
II.4.6.4. Les colorants	23
II.5. Propriétés spécifiques des bétons de sable	24
II.5.1 Caractéristiques physiques et mécaniques	24
II.5.1.1 Comportement à la fatigue	25
II.5.1.2. Retrait et fluage	25
II.5.1.3. Durabilité des bétons de sable	26
II.5.1.4. Fissuration	26
II.6. Propriétés essentielles du béton de sable	27
II.6.1. Maniabilité du béton frais	27
II.6.2. Résistance	28
II.6.3. La finesse des fines d'addition	28
II.6.4. La nature de fines l'addition	29
II.6.5. La dimension du D_{max}	29
II.6.6 Résistance au gel et au dégel	30
II.6.7 Phénomène de ségrégation des constituants	30
II.7. Domaines d'application du béton de sable	31
II.8. Les méthodes de formulation	31
II.8.1 Définition	31
II.8.2 Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable	31
II.8.2.1 Dosage en fines d'un béton de sable	32
II.8.2.2 Dosage en eau d'un béton de sable	33
II.8.2.3. Dosage en sable	35
II.8.2.4 Estimation de la résistance en compression	36
II.8.3. Méthode expérimentale de formulation	38
II.8.3.1. Les différentes étapes de la formulation	38

II.8.3.1.1. Détermination d'une formule de base sans fines d'addition	38
a) Dosage en ciment	38
b) Dosage en eau	38
c) Détermination du dosage en sable	39
d) Réglage de la maniabilité et du rendement de la formule	39
II.8.3.1.2. Détermination du dosage en fines d'addition	39

CHAPITRE III : Poudrette de Caoutchouc

III.1. Introduction	42
III.2. Définition de la pollution	42
III.3. Caractérisation de la pollution	42
III.4. Indicateurs de la pollution industrielle	43
III.5. Définition d'un déchet	43
III.6. Gestion des déchets solides en Algérie	43
III.6.1. Généralité	43
III.6.2. Le pneu et sa valorisation	44
III.7. Le Caoutchouc	45
III.7.1. Présentation	45
III.7.2. Caoutchouc naturel	45
III.7.2.1. Historique	45
III.7.2.2. Vulcanisation	45
III.7.2.3. Durée de vie du caoutchouc	45
III.7.2.4. Propriétés physiques et chimiques	46
III.7.2.5. Utilisations	46
III.7.3 Caoutchouc synthétique	47
III.7.4. Production mondiale	47
III.8. La poudrette de caoutchouc	48
III.8.1. Introduction :	48
III.8.2. Fabrication de la poudrette de caoutchouc	48
III.8.3. Utilisation dans le béton	49
III.9. Les pneus	49

CHAPITRE IV : Identification Des Matériaux

IV.1. Introduction	51
IV.2. Essais d'identification des matériaux	51
IV.2.1. Analyse granulométrique	51
IV.2. 2 Module de finesse	52
IV.2.3 Equivalent de sable	52
IV.2.4 Essai au bleu de méthylène	52
IV.2.5 Friabilité	52
IV.2.6 Analyse chimique	52

IV.2.7 Micro-Deval	52
IV.2.8 Coefficient d'aplatissement des gravillons	53
IV.2.9 Masses volumiques absolue et apparente	53
IV.2.10 Essai Los-Angeles	53
IV.2.11 La compacité	53
IV.2.12 La Porosité	53
IV.3. les matériaux identifiés	53
IV.3.1 Sable de dune (SD)	53
IV.3.1.1 Caractéristiques physiques	54
a)Analyse granulométrique	54
b) Propriétés physiques	54
IV.3.1.2 Analyse chimique	55
IV.3.2 Sable naturel	55
IV.3.2.1. Caractéristiques physiques	55
a)Analyse granulométrique	55
b) Propriétés physiques	56
IV.3.2.2 Analyse chimique	56
IV.3.3 Gravillon	57
IV.3.3.1 Caractéristiques physique	57
a)Analyse granulométrique	57
b) Propriétés physiques	58
IV.3.3.2 Analyse chimique	58
IV.3.4 Gravier 8/15	58
IV.3.4.1 Caractéristiques physiques	58
a)Analyse granulométrique	58
b) Propriétés physiques	59
IV.3.4.2 Analyse chimique	60
IV.3.5 La poudrette de caoutchouc	60
IV.3.5.1 Caractéristiques physiques	61
a)Analyse granulométrique	61
b) Propriétés physiques	62
IV.3.6 Eau de gâchage	63
IV.3.7 L'adjuvant	63
IV.3.8 Le ciment	63

CHAPITRE V : Caractéristiques de Béton ordinaire et Béton de sable de dunes modifiés avec poudrette de caoutchouc

Introduction	64
V.1. Béton Ordinaire	64
V.1.1 Composition granulaire du béton	64
V.1.1.1 Méthode de Faury :	64
V.1.1.2 Tracé de la Courbe granulométrique de référence	65
V.1.1.3 Détermination des pourcentages absolus des agrégats	66

V.1.1.4 Calcul de l'indice de vides	66
V.1.1.5 Calcul du volume absolu des matières sèches	68
V.1.1.6 Détermination en poids de la composition du béton pour 1m ³ de béton	68
V.1.1.7 Calcul de la densité théorique	68
V.1.2 Mode opératoire et malaxage	69
V.1.3 Incorporation du caoutchouc	69
V.1.4 Eprouvtes utilisées et poids nécessaires pour chaque coulage	70
V.1.5 Essais sur béton frais	71
V.1.5.1 Affaissement au cône d'Abrams	71
V.1.5.2 La masse volumique	71
V.1.6 Essais sur béton durci	72
V.1.6.1 La résistance à la compression	72
V.1.6.2 La résistance à la traction par flexion	74
V.2. Formulation des bétons de sable	77
V.2.1 Confection du béton de sable :	78
V.1. Malaxage	78
V.2-Serrage de béton de sable	78
V.2.2. Formulation de base (100% sable de dunes)	80
V.2. 3. Étude de composition témoin modifiées avec la poudrette de caoutchouc	83
Conclusion	89

CHAPITRE VI : Comportement du Béton ordinaire et Béton de sable de dunes modifiés avec poudrette de caoutchouc

VI.1. Introduction	90
VI.2. Comportement du béton en compression	90
VI.2.1. Module d'élasticité en compression	90
VI.2.2. Coefficient de poisson	90
VI.2.3. Relation module d'élasticité-résistance caractéristique du béton	91
VI.3. Etude de la variation Contrainte - Déformation	91
VI.3.1. Courbes Contraintes déformations.	93
VI.3.2. Interprétation	93
VI.3.3. Valeurs des modules d'élasticité tangents à l'origine	94
Conclusion générale	96
Bibliographie	
Annexe	

Liste des figures

Fig I.1 : Essai de compression.	11
Fig I.2 : Essai de traction par flexion.	11
Fig I.3 : Chargement et déchargement (Déformation réactive de retour).	13
Fig I.4 : Diagramme Contrainte Déformation du béton.	17
Fig II.1 : Fines anguleuses. (Leur usage conduit à une quantité d'eau supérieure).	21
Fig II.2 : Fines sphériques. (Leur usage conduit à une réduction d'eau).	21
Fig II.3 : Granulats de caoutchouc.	22
Fig II.4 : Différence entre béton de sable et béton ordinaire.	23
Fig II.5 : Temps découlement en fonction du module de finesse.	27
Fig II.6 : Influence de la nature des fines sur la maniabilité.	28
Fig II.7 : Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance.	28
Fig II.8 : Influence de rapport (Eau /Ciment) et nature des fines sur le niveau de résistance.	29
Fig II.9 : Effets de la granularité sur la résistance.	29
Fig II.10 : Eprouvettes non vibrées non piquées.	30
Fig II.11 : Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines.	33
Fig II.12 : Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles de sable.	34
Fig II.13 : Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée.	35
Fig II.14 : Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle).	37
Fig II.15 : Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition.	40
Fig II.16 : Masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition.	41
Fig IV.1 : Analyse granulométrique du sable de dunes de Boussâada.	54
Fig IV.2 : Courbe granulométrique du sable naturel.	56
Fig IV.3 : Courbe granulométrique du gravillon.	57
Fig IV.4 : Courbe granulométrique du gravier.	59
Fig IV.5 : Déchet sous forme de poudrette.	60
Fig IV.6 : Courbe granulométrique de la poudrette de Caoutchouc.	61
Fig IV.7 : Résultats Infra Rouge de la poudrette de Caoutchouc.	62
Fig V.1 : Courbe comparative des affaissements mesurés pour le béton ordinaire.	71
Fig V.2 : Courbe comparative de masse volumique pour le béton ordinaire modifié.	72
Fig V.3 : Evolution de la résistance à la compression par rapport au témoin en fonction du pourcentage de caoutchouc pour BOPC.	73
Fig V.4 : Evolution de la résistance à la traction par flexion par rapport au témoin en fonction du pourcentage de caoutchouc pour BOPC.	75
Fig V.4 Bis : Compacité en fonction de dosage de poudrette de caoutchouc (BOPC)	75
Fig V.5 : Avant l'essai de maniabilité.	77
Fig V.6 : Fin de l'essai maniabilité.	77
Fig V.7 : Courbe comparative de la masse volumique de BDPC.	85

Fig V.8 : Maniabilité de BSDPC en fonction du pourcentage de caoutchouc.	86
Fig V.9 : Evolution de la résistance à la compression par rapport au témoin en fonction du pourcentage de caoutchouc pour BSDPC.	87
Fig V.10 : Evolution de la résistance à la traction par flexion par rapport au témoin en Fonction du pourcentage de caoutchouc pour BSDPC.	88
Fig V.10 Bis : Compacité en fonction de dosage de poudrette de caoutchouc (BSD PC).	88
Fig VI.1 : Produits de nettoyage	92
Fig VI.2 : Pont d'extensiométrie	92
Fig VI.3 : Courbe contrainte-déformation du Béton Ordinaire modifié	93
Fig VI.4 : Courbe contrainte-déformation du Béton de sable modifié	93

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Valeurs optimales du module de finesse des compositions granulaires des bétons.	8
Tableau I.2 : Appréciation de la consistance du béton en fonction de l'affaissement.	10
Tableau I.3 : Différents types de retrait.	12
Tableau II.1 : Relation entre le dosage minimal en ciment et le Dmax.	21
Tableau IV.1 : Analyse granulométrique du sable de dunes.	54
Tableau IV.2 : Propriétés physiques du sable de dunes.	54
Tableau IV.3 : Analyse chimique sommaire du sable de dunes.	55
Tableau IV.4 : Analyse granulométrique du sable naturel.	55
Tableau IV.5 : Propriétés physiques du sable naturel.	56
Tableau IV.6 : Analyse chimique sommaire du sable naturel.	56
Tableau IV.7 : Analyse granulométrique du gravillon.	57
Tableau IV.8 : Propriétés physiques du gravillon.	58
Tableau IV.9 : Analyse chimique sommaire du gravillon.	58
Tableau IV.10 : Analyse granulométrique du gravier.	59
Tableau IV.11 : Propriétés physiques du gravier.	59
Tableau IV.12 : Analyse chimique sommaire du gravier.	60
Tableau IV.13 : Analyse granulométrique de la poudrette de Caoutchouc.	61
Tableau IV.14 : Propriétés physiques de la poudrette de Caoutchouc.	62
Tableau V.1 : Composition du béton ordinaire modifié avec poudrette de caoutchouc pour 1m ³ .	69
Tableau V.2 : Poids nécessaires de composition du béton ordinaire modifié avec poudrette de caoutchouc pour chaque coulage.	70
Tableau V.3 : Mesure de l'affaissement pour chaque teneur au caoutchouc.	71
Tableau V.4 : Masse volumique du béton frais.	71
Tableau V.5 : Résistance à la compression du béton à 7, 28 et 90 jours.	72
Tableau V.6 : Pourcentage de la résistance à la compression par rapport au béton témoin.	73
Tableau V.7 : Résistance à la traction par flexion du béton à 28 jours.	74
Tableau V.8 : Pourcentage de la résistance à la traction par rapport au béton témoin.	74
Tableau V.9 : Domaines de consistance du mortier.	78
Tableau V.10 : Maniabilité en fonction du dosage en eau.	81
Tableau V.11 : Composition et caractéristiques de la formulation de base.	82
Tableau V.12 : Composition et caractéristiques de la formulation de base de (BSD PC) pour 1m ³	83
Tableau V.13 : Poids nécessaires de composition du béton de sable de dunes modifié avec poudrette de caoutchouc pour chaque coulage (BSD PC).	84
Tableau V.14 : Caractéristiques des compositions BSDPC.	84
Tableau V.15 : Variation de La masse volumique apparente en fonction de pourcentage de poudrette de caoutchouc(%).	84
Tableau V.16 : Comparaison des Maniabilité (s).	85
Tableau V.17 : Résistance à la compression du béton de sable de dunes à 7, 28 et 90 jours.	86
Tableau V.18 : Pourcentage de la résistance à la compression par rapport Au béton témoin pour BSDPC.	86
Tableau V.19 : Résistance à la traction par flexion du béton de sable de dunes modifié.	87
Tableau V.20 : Pourcentage de la résistance à la traction par flexion par rapport Au béton témoin pour BSDPC.	87

Liste des symboles

M_f : Modules de finesse.
P : Pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d.
D : Diamètre du plus gros grain.
E/C : Rapport (eau / ciment).
 ρ : Masse volumique.
P : Charge de rupture.
S : Section de l'éprouvette.
 σ_c : Résistance à la compression.
V : Volume des vides du mélange granulaire.
V₀ : Constante expérimentale comprise entre 0,7 et 0,8.
d : La dimension du plus petit grain de l'étendue granulaire.
D_{max} : La dimension de plus gros grain de l'étendue granulaire.
B.O : Béton ordinaire.
B.S : Béton de sable.
BSD PC : Béton de sable de dune modifié à la poudrette de caoutchouc.
BOPC : Béton ordinaire modifié à la poudrette de caoutchouc.
E_{vj} : Module de déformation longitudinale instantanée du béton.
E_{ij} : Module de déformation instantanée.
E_{flu} : Fluage.
ES : Equivalent de sable.
C: Quantité de ciment en (Kg/m³).
F : Le dosage en fillers et k représente le coefficient qui prend en compte la nature du filler.
V₀ : Constante expérimentale comprise entre 0,7 et 0,8.
Ps(V) : Porosité du sable d'étendue 80 μ m et D_{max}.
f : Surface spécifique exprimée en cm²/g du constituant.
 ρ : Densité du constituant exprimée en g/cm³.
K₁ : Coefficient pouzzolanique.
K₂ : Coefficient d'activité du filler calcaire.
V_{air}: Volume d'air.
MVAR: La masse volumique apparente réelle.
MVAT : La masse volumique apparente théorique.
IR : Infra rouge.
NBR: Acrylonitrile butadiène rubber (poudrette de caoutchouc).

Introduction générale

Introduction

La demande en matériaux de construction connaît une croissance considérable en rapport avec le développement du pays. Cette demande reste insatisfaite devant une offre insuffisante.

Ce déséquilibre, qui semble persister pour les prochaines années, ne peut être surmonté qu'en assurant une exploitation des matériaux locaux dont dispose notre pays.

La valorisation des matériaux locaux, peu ou pas exploités, est devenue actuellement une solution nécessaire aux problèmes économiques des pays en voie de développement.

Par ailleurs, les grandes quantités de déchets résultant des pneus usagés nous mènent à leur utilisation dans la construction pour résoudre un double problème : d'une part environnemental et d'autre part économique et technique rencontré dans le domaine de la construction. En effet, certains déchets possèdent des qualités très importantes et leur introduction dans certains matériaux de construction amélioreraient certainement leurs propriétés mécaniques, thermiques etc.

Le béton est le matériau de construction le plus répandu à l'époque actuelle, à cause de ses performances et parce qu'il donne en plus un monolithisme à la construction.

Un béton de sable est un béton ne comportant pas de gravillons ou ne comportant qu'une proportion telle que le rapport massique (Sable / Gravillon) soit supérieur à 1. Le béton de sable présente beaucoup d'avantages tels que : la petite granularité, la bonne résistance, le bel aspect de surface, l'absence de ségrégation, la facilité de mise en œuvre, etc. Différentes études ont été menées sur ce matériau et il a été montré notamment que les bétons de sable peuvent remplacer le béton traditionnel dans certains usages.

La méthodologie de notre travail consiste à comparer un béton ordinaire et un béton de sable de dunes modifiés par une poudrette de caoutchouc résultant de pneus usagés.

Ces derniers sont conseillés quand la mécanique de résistance n'est pas la caractéristique principale mais par exemple la résistance à l'impact.

Notre objectif, est de connaître l'influence de l'ajout de la poudrette de caoutchouc avec des faibles pourcentages sur le comportement de béton de sable de dunes et de béton ordinaire.

Pour atteindre ces objectifs, le travail présenté poursuit une démarche progressive s'articulant autour de deux parties principales: l'une bibliographique et l'autre expérimentale.

La première partie se compose de trois chapitres:

Le chapitre I, est consacré à la connaissance des bétons ordinaires (définition, constituants, préparation, caractéristiques, méthode de formulation, utilisations...).

Le chapitre II: On suit la même procédure pour le béton de sable que pour le béton ordinaire à savoir (historique, définition, constituants, préparation, caractéristiques, méthodes de formulation, domaine d'application)

Le Chapitre III, s'est intéressé à la poudrette de caoutchouc (historique, différents types de caoutchoucs, granulats de caoutchouc, propriétés physiques et chimiques...etc.).

La deuxième partie expérimentale comporte trois chapitres:

Le chapitre IV, présente une identification des constituants du béton de sable de dunes et du béton ordinaire.

Dans le chapitre V: nous étudions le béton de sable de dunes, le béton ordinaire, ainsi que l'effet de paramètre (dosage en ajouts) sur la qualité du béton (résistance et maniabilité, masse volumique ...), et nous choisissons les formulations optimales.

Enfin dans le Chapitre VI, des essais sont effectués sur les compositions optimales pour déterminer le comportement du béton de sable de dunes et le béton ordinaire (loi de comportement, Coefficient de poisson, ...)

Et nous avons terminé ce travail par une conclusion générale et des recommandations.

Première partie :
Synthèse
bibliographique

1

Chapitre I :

BETON ORDINAIRE

I.1. Introduction

Le béton est le matériau de construction le plus répandu à l'époque actuelle, à cause de sa résistance en donnant un monolithisme à la construction ; il est destiné à réaliser des éléments structuraux dans le domaine du bâtiment et du génie civil. Il est composé de plusieurs constituants élémentaires tels que : le ciment, les Agrégats et l'eau. Pour répondre aux besoins de certains usages des ajouts peuvent être envisagés tels que : les adjuvants, les fines, les additions....etc.

Comme tous les matériaux, un bon béton se distingue du mauvais béton par plusieurs qualités telles que :

- Résistance mécanique élevée (25 ÷ 40 MPa) ;
- Imperméabilité à l'eau et absence de réaction chimique avec l'acier ;
- Bonne mise en œuvre (facile à couler) et
- Bonne tenue dans le temps.

Ces résultats seront obtenus, en jouant sur les paramètres suivants :

- La qualité ciment, Agrégats ;
- Le dosage (quantité) et
- Un bon mélange (homogénéité).

I.2. composants du béton

La composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents Agrégats dont on dispose, ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un béton dont les qualités sont recherchées pour la construction d'un ouvrage ou d'une partie d'ouvrage. Toute méthode de composition de béton doit être guidée par trois critères essentiels : [1]

- la résistance ;
- l'ouvrabilité (facilité de mise en œuvre) et
- La durabilité ;

La destination du béton à un usage déterminé fixe le dosage des différents constituants de celui-ci, caractérisés par leurs propriétés physiques, chimiques, et mécaniques.

I.2.1. Ciments

Les ciments sont des poudres fines obtenues par cuisson à haute température (vers 1450⁰ c) et broyage d'un mélange minéral (calcaire + argile en général). Lorsqu'ils sont mélangés à l'eau, ils forment une pâte susceptible de faire prise et de durcir grâce à une réaction d'hydratation en général exothermique.

Ces principaux constituants sont:

- Le clinker portland ;
- Le laitier granulé de haut fourneau ;
- Le filler calcaires ;
- Le sulfate de calcium et
- Les additifs ;

I.2.2. Graviers

Les graviers sont définis par la norme P 18-101 comme un ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 5 et 125mm, destinés à la confection des bétons, des couches de fondation, de base de roulement des chaussées et des assises ainsi que des ballasts de voies ferrées.

On distingue:

- Les Agrégats naturels, issus de roches meubles ou massives extraites in situ et ne subissant aucun traitement autre que mécanique (c'est-à-dire concassage, broyage, criblage, lavage, sélection) ;
- Les Agrégats artificiels qui proviennent de la transformation thermique de roches, de minerais, de sous produits industriels (laitiers, scories, etc.)ou encore de la démolition d'ouvrages ou de bâtiments divers en béton, souvent appelés Agrégats recyclés.

I.2.3. Sable

On définit les sables comme étant la fraction des Agrégats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 80 μ m et 05 mm; il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une classification à une autre. Ce sont aussi les matériaux dont le diamètre maximal est inférieur à 6,3mm et dont le passant à 80 microns n'excède pas 30%.

Dans le sens le plus courant, on entend par "sable" les éléments de dimensions 0 à 5 mm, non compris les fillers. A cette définition se rattachent les sables de concassage ; mais lorsque l'on dit sable, on pense essentiellement aux sables naturels abondants dans de nombreux pays et dont les réserves sont quasi inépuisables.

En fait, la définition granulométrique du sable est plus compliquée, elle varie suivant les époques et diffère suivant les pays et selon la destination. [2]

I.2.4. Adjuvants

L'adjuvant est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à dose inférieure ou égale à 5 % en masse de la teneur en ciment du béton, pour modifier les propriétés à l'état frais et/ou à l'état durci. [1]

Les adjuvants sont généralement classés selon leur période d'actions principales, et favorables. Ils sont destinés à agir sur la composition :

- ✧ **A l'état frais** : L'exigence principale concerne la facilité de mise en œuvre, sans affecter le rapport eau / ciment.

Sont classés dans cette catégorie :

- Les agents réducteurs d'eau ;
- Les agents hautement réducteurs d'eau (superplastifiants).

Durant la prise : Selon la situation du chantier, on peut demander d'accélérer ou de ralentir la prise du béton, du mortier ou du coulis :

- Accélérateur de prise et de durcissement ;
- Retardateur de prise.

- ✧ **Durant le durcissement** : Ici, en général, l'intérêt est porté sur le raccourcissement du délai de décoffrage ou de mise en service.

- ✧ **Après durcissement** : Il s'agit généralement de donner des performances concernant la durabilité du béton et en particulier sa résistance aux cycles de "gel/dégel".

I.2.5. Eau de gâchage

Toutes les eaux ne peuvent pas être utilisées pour gâcher du béton parce qu'elles contiennent, dans certains cas, un excès d'impuretés qui détériore les propriétés du béton, notamment les propriétés physiques et mécaniques (prise et résistance), les propriétés esthétiques (taches, efflorescences) et la durabilité (corrosion des armatures, stabilité du béton).

Ces impuretés, éventuellement contenues dans l'eau de gâchage, sont soit des composés chimiques qui peuvent être actifs vis-à-vis du ciment, des Agrégats ou des armatures, soit des particules en suspension qui, du fait de leur quantité ou de leur qualité, sont indésirables.

I.2.6. Les additions

Ce sont les cendres volantes, les additions calcaires, les laitiers vitrifiés moulus de haut fourneau et les fumées de silice. Ces poudres sont utilisées comme constituants du ciment ou additions dans le béton.

I.3. Préparation de béton

I.3.1. Malaxage

On mélange les composants à la main, à la pelle, ou au moyen d'engins mécaniques, tels qu'une bétonnière. Pour des grands travaux, le béton est fabriqué dans une centrale qui mélange automatiquement les constituants selon une composition programmée à l'avance. La production peut atteindre plus de 300 m³/h. L'objectif est de mélanger suffisamment les composants pour obtenir une pâte homogène, au sein de laquelle les éléments les plus fins, sable et ciment, comblent les vides laissés par l'agglomération des Agrégats ; on doit également envelopper complètement les graviers pour obtenir, une fois sec, un matériau constructif d'une roche.

I.3.2. Coulage

Le béton peut être transporté jusqu'au chantier par des toupies, bétonnières montées sur camion. Une pompe à béton achemine le matériau en hauteur ou sur des sites difficilement accessibles aux camions. Sur les gros chantiers, le pompage du béton permet des cadences beaucoup plus importantes que si l'on emploie des bennes amenées par grue sur le lieu de coulage. Le béton peut également être projeté au moyen de compresseurs pneumatiques. Ce matériau, qui ne nécessite pas de coffrage, est utilisé lors de la construction de piscines, ou pour reconforter des talus de terre instables risquant de s'écrouler.

I.3.3. Vibration

Une fois dans un coffrage, le béton est vibré à l'aide d'aiguilles ou par des vibreurs électriques montés sur le coffrage. L'air expulsé durant cette phase provient des cavités entre les graviers, qui se remplissent de la pâte fine de ciment et de sable. La vibration permet un mélange efficace et améliore le durcissement.

I.3.4. Durcissement

La température ambiante a une grande influence sur le durcissement ou prise du béton. Par temps de gel, il peut être nécessaire de chauffer l'eau, parfois même les Agrégats, avant de malaxer et de couvrir le matériau pour retenir la chaleur dégagée par les réactions exothermiques lors de la prise du ciment. Par temps très chaud, au contraire, on doit arroser à la prise afin que l'eau ne s'évapore et provoque un retrait, c'est-à-dire une diminution de volume de la pièce. Ce phénomène engendre des fissures dans le béton. Plus le béton est maintenu humide sur une longue période, plus sa résistance sera importante. La prise a lieu en quelques heures.

I.3.5. Décoffrage

Pour les pièces préfabriquées et les éléments non porteurs, il est possible de décoffrer quelques heures seulement après le coulage. En général, par temps doux, on coule le béton le soir pour décoffrer le lendemain matin. Les éléments porteurs, comme les poutres ou les planchers, doivent rester plusieurs jours dans leur coffrage : le béton doit durcir suffisamment pour supporter leur propre poids, ainsi que les charges qui y seront appliquées.

I.4. méthodes de formulation

I.4.1. Méthode de Bolomey

Par une formule appropriée, on trace une courbe granulométrique de référence et l'on s'efforce de réaliser, avec les Agrégats dont on dispose, une composition granulaire totale (ciment compris) dont la courbe est aussi proche que possible de la courbe de référence théorique.

La formule de base est la suivante : $p = A + (100 - A) * \sqrt{\frac{d}{D}}$ Éq. (I.1)

P : pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d,

D : diamètre du plus gros grain,

A : varie de 8 à 16, sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort.

Cette méthode aboutit, théoriquement tout au moins, à une granularité continue.

I.4.2. Méthode d'Abrams

C'est une règle de mélange fondée sur l'obtention d'un certain module de finesse global pour le mélange d'Agrégats à partir de la connaissance des modules de finesse des Agrégats à employer.

Le module de finesse du mélange est choisi de telle manière que les vides dans ce mélange sont, en principe, réduits au minimum. Les modules optimaux pour béton d'Agrégats roulés, déterminés expérimentalement par Abrams, sont indiqués dans le tableau I.1 en fonction du dosage en ciment et de la dimension D de l'Agrégat le plus gros.

Nous rappelons ici la règle du mélange d'Abrams ; elle permet de calculer les pourcentages relatifs d'Agrégats de modules de finesse Mf_1 et Mf_2 pour obtenir un module Mf choisi pour le mélange.

Tout réside donc, dans cette méthode, sur le choix judicieux du Module de finesse du mélange à réaliser (avec les Agrégats seuls).

Ce module dépend évidemment de nombreux paramètres tels que : forme, nature et dimension des Agrégats, dosage en ciment, résistance et plasticité désirées, etc.

Tableau I.1 : Valeurs optimales du module de finesse des compositions granulaires des bétons [3]

Dosage en ciment (kg/m ³)	Dimension maximale D des Agrégats (mm)						
	10	15	20	25	30	40	60
275	4,05	4,45	4,85	5,25	5,6	5,8	6
300	4,2	4,6	5	5,4	5,65	5,85	6,2
350	4,3	4,7	5,1	5,5	5,73	5,88	6,3
400	4,4	4,8	5,2	5,6	5,8	5,9	6,4

I.4.3. Méthode de Faury

En 1942, J. Faury proposa, suite à une étude générale du béton, une nouvelle loi de granulation du type continu. Il s'inspirait pour cela d'une théorie de Caquot relative à la compacité d'un Agrégat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen. La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de $\sqrt[5]{D}$ c'est pourquoi Faury adopta une échelle des abscisses graduée en $\sqrt[5]{D}$. La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est alors, théoriquement, une droite ; cependant, Faury a distingué les grains fins et moyens ($< D/2$) des gros grains ($> D/2$) et la pente de la droite de référence n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories.

On trace donc pour l'ensemble du mélange, ciment compris, une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites si l'on opère sur un graphique gradué, en abscisse, en $\sqrt[5]{D}$ (sera bien détaillé au chapitre 4)

I.4.4. Méthode de Vallette

Vallette a mis au point une méthode essentiellement expérimentale mais qui nécessite cependant un certain nombre de calculs préparatoires. Cette méthode est souvent désignée par dosage des bétons à compacité maximale ou dosage des bétons à minimum de sable ou dosage des bétons à granularité discontinue.

La méthode Vallette proprement dite est quelquefois utilisée avec certaines variantes, elle se résume par son principe, où on partira, en général, de deux Agrégats (bétons binaires) : un sable 0/5 mm et un gravier présentant le plus souvent une certaine discontinuité avec le sable,

On calcule le dosage de sable et de ciment devant donner, en principe, le mortier plein à minimum de ciment ; ce dosage s'obtient en mesurant les vides du sable mouillé et en calculant le dosage en ciment permettant de remplir le volume des vides du sable par un volume égal de pâte pure de ciment.

On ajoute ensuite le maximum de gravier mouillé compatible avec une ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en œuvre facile dans les conditions du chantier. C'est la partie essentiellement expérimentale de la méthode et elle repose sur l'appréciation de l'opérateur en ce qui concerne la convenance du béton. On obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé en ciment.

Les dosages en ciment auxquels on aboutit ainsi sont presque toujours très nettement au-dessous des dosages nécessaires pour obtenir les résistances souhaitées.

Remarque :

- Il n'y a pas une formulation précise mais un ensemble de formules qui satisfont plus ou moins parfaitement à l'ensemble des exigences de l'utilisateur ;
- Il y a lieu d'abord de mesurer les caractéristiques des constituants disponibles (granulométrie, propreté, type de grains, teneur en eau des graviers, sables et additions...) ;
- Ensuite, il y a lieu de procéder à des premières formulations au moyen de méthodes décrites ci-après. Finalement, il y a lieu d'évaluer les formulations par des gâchées d'essais ;
- Il y aura donc lieu de rechercher des relations complémentaires entre les termes de la formulation.

I.5. Les essais sur le béton

Il existe deux types d'essais sur béton :

- ✓ Les essais sur béton frais et
- ✓ Les essais sur béton durci.

La plupart des ces essais sont normalisés ou font l'objet de recommandations ou de directivités.

I.5.1. Essais sur béton frais

Tous ces essais mesurent la consistance et la maniabilité de béton.

Les trois principaux essais sont :

- L'essai d'affaissement au cône d'Abrams ;
- L'essai d'étalement à la table à secousse et
- L'essai d'écoulement au maniabilimètre.

I.5.1.1. L'essai d'affaissement au cône d'Abrams

La consistance est une grandeur qui sert à caractériser l'aptitude à la mise en œuvre d'un béton. Sa mesure, s'effectue avec différents dispositifs dont le plus répandu est le cône d'Abrams qui consiste à :

- Remplir le cône en trois couches, tassées avec une tige en acier pointue de 16 mm de diamètre à raison de 25 coups par couche ;
- Soulever le cône avec précaution et mesurer l'affaissement ;

Plus l'affaissement est important et plus le béton est mou ou fluide.

Le tableau I.2 montre le type du béton et sa mise en œuvre en fonction de l'affaissement :

Tableau I.2 : Appréciation de la consistance du béton en fonction de l'affaissement. [4]

Affaissement (Cm)	Béton	Mise en œuvre
0 à 2	Très ferme	Vibration puissant
3 à 5	Ferme	Bonne vibration
6 à 9	Plastique	Vibration courante
10 à 13	Mou	Piquage
10 à 14	Très mou à liquide	Léger piquage

I.5.1.2 Mesure de la masse volumique du béton frais

La mesure consiste à :

- Prendre le poids de récipient à vide, soit M_0 .
- Remplir un récipient d'un échantillon de volume V et de poids M_0 connu par un échantillon du béton frais, qui a subi vibration.
- Araser et lisser les surfaces et prendre le poids de ce récipient du béton, soit M_1 .

La masse volumique du béton frais est : $\rho = \frac{M_1 - M_0}{V}$ (kg / m^3) Éq. (I.2)

I.5.2 Essai sur béton durci

I.5.2.1 Détermination de la masse de l'éprouvette et de sa masse volumique

Avant de procéder aux essais mécaniques, les éprouvettes sont pesées avec une erreur relative inférieure à 0,1 %. On mesure la masse des éprouvettes à 7, 28 et 90 jours et ceci pour connaître l'évolution de la masse volumique du béton durci.

$$\rho = \frac{M}{V_{réel}} \quad (kg / m^3) \quad \text{Éq. (I.3)}$$

I.5.2.2 Essais mécaniques

I.5.2.2.1 Essai de compression

L'essai s'effectue sur machine à compression conformément à la norme NF P 18-406 L'essai consiste à soumettre à l'écrasement par compression axiale une éprouvette cylindrique ou cubique et à déterminer sa résistance à la compression

La résistance à la compression est déduite par la moyenne d'écrasement des éprouvettes pour chaque âge.

La résistance à la compression correspondant à la contrainte maximale est :

$$\sigma_c = \frac{P}{s^2} \text{ (MPa)} \quad \text{Éq. (I.4)}$$

P : Charge de rupture,

S : Section de l'éprouvette,

σ_c : Résistance à la compression.

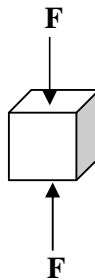


Fig I.1 : Essai de compression [5]

I.5.2.2.2 Essai de traction par flexion

La résistance à la traction est mesurée par la méthode de traction par flexion conformément à la norme NF P 18-407

L'essai s'effectue sur une machine automatique de flexion, sollicitant l'écrasement d'éprouvette prismatique ($7 \times 7 \times 28$) et ($4 \times 4 \times 16$) cm⁶ à une flexion directe.

La résistance à la traction par flexion se calcule par la formule:

$$\sigma_t = 1,8 \frac{P}{a^2} \text{ (MPa)} \quad \text{Éq. (I.5)}$$

P : Charge de rupture,

a : Côté de l'éprouvette prismatique ($a \times a \times 4a$).

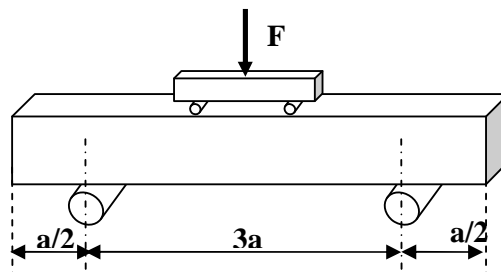


Fig I.2 : Essai de traction par flexion [6]

I.6- Déformation du béton

I.6.1. Déformations instantanées : le retrait

Dès la fin de sa mise en œuvre, le béton est soumis à des déformations, même en absence de charges. C'est un matériau en évolution avec le temps ; en effet ses propriétés se modifient au cours de son existence suivant l'état de l'atmosphère, la température et les charges appliquées. Il sera le siège de transformations diverses.

En l'absence de toute charge, les bétons en général subissent des déformations plus ou moins importantes quand leur contenu en eau ou l'humidité du milieu environnant varie. Pour les bétons conservés à l'air, on observe une diminution des dimensions initiales. Cette variation est due principalement à l'évaporation de l'eau contenue dans les gels. Ce phénomène porte le nom de retrait.

I.6.1.1 Différents types de retrait

On distingue plusieurs types de retrait :

Tableau I.3: Différents types de retrait [7]

Types	Causes	Constatations	Remèdes
Avant Prise	Causé par l'évaporation d'une partie de l'eau que contient le béton.	Des fissures peuvent s'ensuivre car le béton se trouve étiré dans sa masse.	Il s'agit de s'opposer au départ brutal de l'eau par : l'utilisation d'adjuvants ou de produits de cure.
Après, la prise (retrait thermique)	Dû au retour du béton à la température ambiante après dissipation de la chaleur de prise du ciment.	On constate une légère diminution de longueur.	Il faut éviter de surdoser en ciment. Les ciments de classe 45 accusent moins de retrait que ceux de classe 55 de durcissement plus rapide.
Le retrait hydraulique	Dû à une diminution de volume résultant de l'hydratation et du durcissement de la pâte de ciment.	Le retrait croît avec la finesse de ciment et le dosage.	Le béton aura d'autant moins de retrait qu'il sera plus compact ; ce qui dépend de la répartition granulaire, car un excès d'éléments fins favorise le retrait ainsi que les impuretés (argiles, limons).

I.6.1.2 Les facteurs agissant sur l'amplitude de retrait

Tout paramètre influant sur le bilan de l'eau dans le béton, influera sur son retrait puisque ce dernier est lié, en grande partie, aux migrations d'eau. Ces facteurs qui agissent sont:

- ✓ Le dosage en ciment: le retrait augmente avec le dosage en ciment;
- ✓ La quantité d'eau de gâchage.
- ✓ Les vides d'air: l'évaporation de l'eau est facilitée par une forte perméabilité du béton;
- ✓ La finesse de mouture du ciment: cela nécessite une plus grande quantité d'eau de mouillage;
- ✓ La présence d'éléments fins: proviennent en général de l'emploi de Agrégats argileux ou de Agrégats de broyage non dépoussiérés;
- ✓ Nature du ciment: facteur de toute première importance. Les ciments à forte proportion de laitier conduisent à des valeurs de retrait plus élevées (cas d'une conservation dans l'air).
- ✓ Hygrométrie de l'ambiance: le retrait croît quand l'humidité relative diminue.

I.6.2 Déformations différées

I.6.2.1 Le fluage

Lorsqu'il est soumis à l'action d'une charge de longue durée, le béton se comporte comme un matériau viscoélastique. La déformation instantanée qu'il subit au moment de l'application de la charge est suivie d'une déformation lente ou différée qui se stabilise après quelques années.

C'est ce que l'on appelle le fluage.

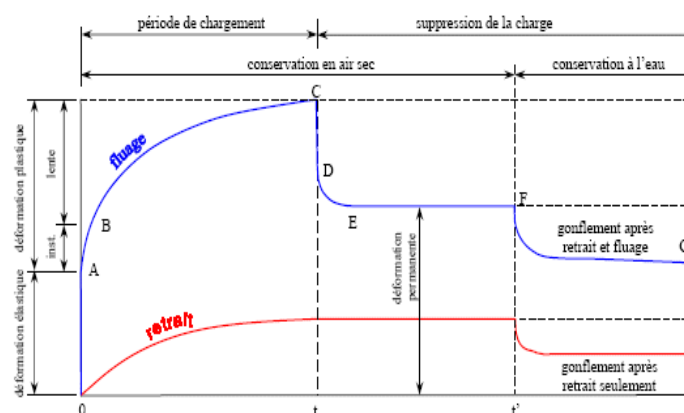


Fig I.3 : Chargement et déchargement. (Déformation réactive de retour). [7]

I.6.2.1.1 Facteurs influençant le fluage

Certains des facteurs influençant le fluage sont liés intrinsèquement aux propriétés du béton, d'autres viennent des conditions extérieures. En premier lieu, il faut bien comprendre que c'est la pâte de ciment qui subit le fluage.

a. Influence de la contrainte et de la résistance

Il y a une proportionnalité directe entre le fluage et la contrainte appliquée. Il n'y a pas de limite inférieure à cette proportionnalité du fait que le béton subit un fluage sous de très faibles contraintes. Tandis que la limite supérieure est atteinte lorsque se développe une importante microfissuration, ce qui se produit pour une contrainte, exprimée comme une fraction de la résistance, qui est d'autant plus faible que le matériau est hétérogène.

Au-delà de la limite de proportionnalité, le fluage augmente avec la contrainte à une vitesse croissante et il existe un certain rapport contrainte/résistance au-delà duquel le fluage provoque une rupture avec le temps.

Ce rapport contrainte/résistance se situe aux alentours de 0,8 à 0,9 de la résistance statique à court terme. Dans cette situation, le fluage augmente la déformation totale jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur limite qui correspond à la déformation ultime du béton considéré.

La résistance du béton a une influence majeure sur le fluage. A l'intérieur d'une large plage, le fluage est inversement proportionnel à la résistance du béton au moment de l'application de la charge. Il est donc possible d'exprimer le fluage comme une fonction linéaire du rapport contrainte/résistance. Cette proportionnalité a été largement confirmée. Elle est commode parce que, en pratique, la résistance du béton est spécifiée et la contrainte sous charge constante est calculée par le concepteur. Pour cette raison, la prise en compte d'un rapport contrainte/résistance est plus pratique que la considération des facteurs tels que le type de ciment, le rapport eau/ciment et l'âge.

b. Influence des propriétés du ciment

Le type de ciment influence le fluage dans la mesure où il a un effet sur la résistance du béton au moment de l'application de la charge. On peut dire que les différents types de ciment portland, tout comme le ciment alumineux, présentent à peu près le même fluage.

La finesse du ciment affecte le développement de la résistance au jeune âge et influence, par là même, le fluage. Toutefois, il ne semble pas que la finesse en soi constitue un paramètre du fluage, produit un ciment dont le temps de prise a été modifié, et pour lequel on constate un retrait et un fluage élevés. Les ciments extrêmement fins, avec une surface spécifique allant jusqu'à 740 kg/m²,

provoquent un fluage plus important au jeune âge, mais plus faible un ou deux ans sous charge. Le gain rapide de résistance du ciment le plus fin a sans doute pour effet de diminuer rapidement le rapport contrainte/résistance réellement appliqué. [7]

I.6.2.1.2 La relation entre le fluage et le temps

Le fluage est normalement mesuré par la variation de la déformation en fonction du temps d'une éprouvette soumise à une contrainte constante et conservée dans des conditions appropriées.

Pour cette mesure, on peut utiliser une méthode simple; elle consiste à ajuster la charge de temps à autre, sachant que la valeur de la charge est déterminée par un dynamomètre placé en série avec les éprouvettes de béton.

Cette méthode peut être employée pour des essais accélérés de fluage par immersion dans de l'eau chauffée à une température comprise entre 45⁰C et 65⁰C. Une température plus élevée provoque un fluage plus élevé de sorte que, après 7 jours, toute différence entre un béton inconnu et un béton de référence peut être facilement détectée. Toutefois, le taux de fluage décroît avec le temps à un taux continu et on suppose généralement que le fluage tend vers une valeur limite après un temps infini sous charge.

L'une des équations les plus pratiques reliant le fluage et le temps est celle de **Ross** et **Lorman**:

$$C = \frac{t}{a + b * t} \quad \text{Éq. (I.6)}$$

Où

C : Le fluage.

t : Le temps.

a et **b**: Des constantes déterminées à partir des expériences.

I.6.2.2 Le gonflement

La pâte de ciment ou le béton mûri continuellement dans l'eau après leur mise en place augmentent en volume et en masse. Ce gonflement est dû à l'absorption d'eau par le gel de ciment. Les molécules d'eau agissent contre les forces de cohésion et tendent à éloigner les particules du gel, créant ainsi une pression de gonflement. De plus, l'intrusion de l'eau réduit la tension de surface du gel, provoquant par la suite une petite expansion.

Le gonflement du béton est nettement plus faible que celui de la pâte de ciment, soit à peu près 100×10⁻⁶ à 150×10⁻⁶ pour un béton dont le dosage en ciment est de 300kg/m³.

Cette valeur est atteinte 6 à 12 mois après la mise en place et on observe très peu de gonflement par la suite.

Le gonflement s'accompagne d'une augmentation de la masse de l'ordre de 1%. Le gain de masse est donc considérablement plus grand que celui du volume, car l'eau qui pénètre occupe l'espace créé par la diminution de volume du système eau-ciment due à l'hydratation.

Le gonflement est plus important dans l'eau de mer et sous de hautes pressions, conditions qui existent dans les structures sous-marines profondes. Sous une pression de 10Mpa (qui correspond à une profondeur de 100m), le gonflement peut être environ 8 fois plus important que celui mesuré à la pression atmosphérique. Il est également occasionné par l'infiltration d'eau de mer (intrusion des chlorures).

I.7. L'élasticité du béton

Le module d'élasticité E est défini par le rapport:

$$E = \text{Contrainte unitaire} / \text{Déformation relative}$$

Pour les projets courants, on admet

$$E_{ij} = 11000f_{cj}^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Module de déformation longitudinale instantanée du béton}) \quad \text{avec } f_{cj} : \text{résistance caractéristique à } \ll j \gg \text{ jours.} \quad \text{Éq. (I.7)}$$

$$E_{ij} = 3700f_{cj}^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Module de déformation différée}) \quad \text{avec } f_{cj} : 1,1 f_{28} \quad \text{Il s'ensuit que } E_{vj} \approx \frac{1}{3} E_{ij}$$

$$\text{Notes : } E_{vj}; E_{ij}; f_{28}; f_{cj} \text{ sont exprimés en MPa.} \quad \text{Éq. (I.8)}$$

I.7.1 Coefficient de Poisson

En compression comme en traction, la déformation longitudinale est aussi accompagnée d'une déformation transversale.

Le coefficient de Poisson est le rapport :

$$\text{Déformation transversale/Déformation longitudinale} \quad \text{Éq. (I.9)}$$

Dont la valeur varie entre 0,15 et 0,30.

$\nu=0,2$ béton non fissuré;

$\nu=0$ béton fissuré.

I.7.2 Modules de déformation longitudinale du béton

$$\text{Module de déformation instantanée : } E_{ij} = 12000f_{cj}^{\frac{1}{3}} \quad \text{Éq. (I.10)}$$

$$\text{Module de déformation différée : } E_{vj} = 4000 + f_{cj}^{1/3} = \frac{E_{ij}}{3} \quad \text{Éq. (I.11)}$$

$$\text{Fluage : } E_{flu} = \frac{E_{ij}}{2} \quad \text{Éq. (I.12)}$$

I.7.3 Diagramme Contrainte Déformation du béton

Cette loi rhéologique est donnée dans la figure I.4.

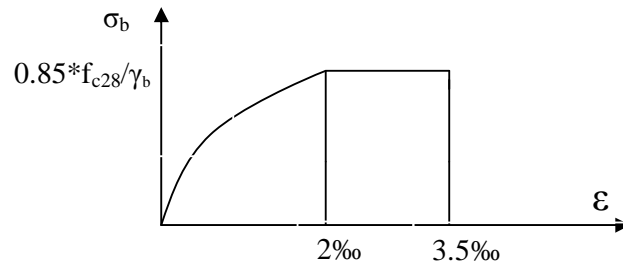


Fig I.4: Diagramme Contrainte Déformation du béton [1].

$\gamma_b = 1.5$ (sauf pour combinaison accidentelle = 1.15)

Dans le cas où la section n'est pas entièrement comprimée, on utilise le diagramme rectangulaire simplifié.

2

Chapitre II :

BETON DE SABLE

II.1. Introduction

L'Algérie est un gros consommateur de agrégats. Cette consommation s'accroît d'une année à l'autre. Les gros agrégats ont tendance à être épuisés dans certaines régions. D'autres régions ne disposent plus de ce matériau. Par ailleurs, notre pays, et notamment le sud algérien, dispose de grands gisements de sables de différentes natures (de dune, alluvionnaires et de concassage), ainsi que de grands gisements de fines naturelles et artificielles. La réflexion sur la l'élaboration de nouveaux bétons, tels que les bétons de sable, est donc devenue nécessaire [9].

Le béton de sable a fait l'objet d'une norme expérimentale **P18-500 AFNOR** et se compose de sable, de fines d'ajout, de ciment et d'eau. Il se distingue des bétons ordinaires par son moindre dosage en gravillons et des mortiers par son moindre dosage en ciment le béton de sable possède des propriétés physiques et mécaniques qui lui permettent de remplacer le béton ordinaire dans certains usages et résoudre certains problèmes économiques et techniques posés par le béton traditionnel [8].

II.2. Historique

La technique des bétons de sable était tombée en sommeil vers les années 1920 aussi bien en Europe Occidentale qu'en ex URSS pour redevenir d'actualité pendant la deuxième guerre mondiale grâce au comportement de certaines pistes réalisées par l'Allemagne. A travers les différents secteurs (routes, autoroutes, aérodromes, bâtiments et composants du génie civil, ouvrages d'art), les Soviétiques ont développé une méthodologie de formulation et surtout de mise en œuvre dans la préfabrication et la projection [2] [15]

Le béton de sable trouve en effet ses origines dans "le béton aggloméré", mis au point par le Français **Coignet F.** Dans le troisième quart du XIX^e siècle. Ce matériau se composait à l'époque de sable, de ciment, de chaux et d'eau. Plusieurs ouvrages ont été réalisés à partir de ce matériau et constituent les premières applications de cette technique **rapport- sablo crête (1987-1991)**.

On peut citer à titre d'exemple : le mur de soutènement à Passy, la maison COIGNET à Saint Denis, la tour de port Saïd (h=52m) en Egypte et le pont de New York.

La possibilité d'obtenir des niveaux élevés de résistance avec l'utilisation des gros agrégats a fait tomber, à une certaine époque, le béton de sable dans l'oubli. A la fin de la deuxième guerre mondiale, le béton de sable revient en force grâce à ses propriétés spécifiques, à la pénurie des gros agrégats dans certaines régions et bien entendu à la disponibilité de gros gisements de sable. [9], [15]

II.3. Définition

Un béton de sable est un béton, constitué de sable, de ciment, d'eau et/ou de fines d'ajout. Par rapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certains usages, d'autres ajouts peuvent être envisagés tels que : des adjuvants, des fibres, des gravillons, poudrette de caoutchouc etc. Comme son nom l'indique, ce mélange est composé de sable comme élément majoritaire, au lieu des agrégats de gros calibres.

Ce qui distingue les bétons de sable des bétons classiques réside essentiellement en leur faible dosage ou non en gravillons tandis qu'un dosage en ciment est similaire aux bétons entre (300 et 400 kg/ m³) et leur destinations.

On les distingue des mortiers destinés à la réalisation des joints et des enduits.

Ce béton est destiné à réaliser des éléments structuraux, dans le domaine du bâtiment et du génie civil, il doit avoir une résistance caractéristique suffisante, qui est liée à la compacité des constituants mélangés. [14].

II.4. Constitution du béton de sable

II.4.1. Les sables

Les sables utilisables sont ceux conformes aux définitions des normes NFP18-541 ($ES \geq 75$ si le sable est roulé et $ES \geq 65$ s'il est broyé) [CIMBETON]. Il peut s'agir d'un sable alluvionnaire, de ballastière ou de concassage 0/D.

Aucun critère granulométrique n'est exigible à priori, la seule restriction d'emploi réside dans la propreté ; les sables riches en fines naturelles nécessitent généralement beaucoup plus d'eau, ce qui entraîne une chute de résistance. Les sables de plage ou des dunes pourraient donc être utilisés [2].

II.4.2 Les ciments

Ceux utilisés sont confirmés à la norme NFP15-301, ils sont utilisés comme liants hydrauliques, servent à combler les vides entre les grains de sable et jouent le rôle de fillers.

II.4.3 L'eau

Elle est conforme à la norme NFP18-303. La proportion élevée d'éléments fins nécessite un volume de mouillage plus important, élevant le rapport E/C au dessus de celui des bétons ordinaires ; l'incorporation de plastifiant réducteur d'eau et la sélection de fillers adéquats peuvent réduire la quantité d'eau dans des proportions non négligeables.

II.4.4. Les fines d'ajouts

Une qualité essentielle du béton de façon générale est sa compacité; les principaux paramètres l'influençant sont:

- ❖ La granulométrie du mélange et sa teneur en eau et
- ❖ L'énergie de mise en place.

La différence entre le béton ordinaire et le béton de sable réside principalement dans la gamme granulaire. Des fillers de dimensions majoritairement inférieures à 80 µm sont utilisés pour remplir les vides entre les grains de sable afin de réduire la quantité de ciment.

Dans le cas d'un béton classique, on a les éléments les plus gros qui sont les gravillons (10 à 30 mm), ils créent des macro vides que l'on peut remplir par du sable et les vides créés par ce dernier par des fines. Ces fines sont du ciment, puisque la quantité nécessaire de ciment pour assurer les performances mécaniques coïncide avec celle qu'il faut en fines pour obtenir la bonne compacité. Cette concordance entre besoin en fines et dosage en ciment est interprétée par la règle suivante:

$$C = 550 / \sqrt[3]{D} \quad \text{Ou} \quad C = 700 / \sqrt[3]{D} \quad \text{Éq. (II.1)}$$

(Selon l'usage du béton), tel que:

C: Quantité de ciment en (Kg/m³);

D: Diamètre maximal en (mm);

Le tableau II.4 donne le dosage minimum en ciment en fonction du diamètre maximal (D_{\max}) de l'agrégat employé. [11]

Dans la conception de la composition du mélange, la quantité du filler est considérée comme un liant au même titre que le ciment et donc on peut ainsi parler non plus du rapport E/C mais plutôt

$$\frac{E}{(C + kF)} \quad \text{Éq. (II.2)}$$

Où C représente le dosage en ciment F le dosage en fillers et k représente le coefficient qui prend en compte la nature du filler.

Tableau II.1 : Relation entre le dosage minimal en ciment et le D_{\max} .

Diamètre maximal (D) en (mm)	$C = 550 / \sqrt[3]{D}$	$C = 700 / \sqrt[3]{D}$	
25	290	370	Béton
20	300	385	
16	315	400	
8	360	460	
6,3	380	480	Mortier
4	415	530	
2	480	610	
1	550	700	

La forme des grains et la nature géologique des fillers influent sur la quantité d'eau requise pour obtenir un mélange maniable. Ainsi, des Fillers avec des grains sphériques type filler calcaire, nécessitent moins d'eau que ceux à grains anguleux type filler siliceux, et par conséquent, assurent une meilleure compacité au mélange durci. (Figures II.1 et II.2). On distingue des fines actives (laitiers moulus et cendres volantes) et des fines passives, résultant du broyage de roches massives (fillers calcaires et fillers siliceux).

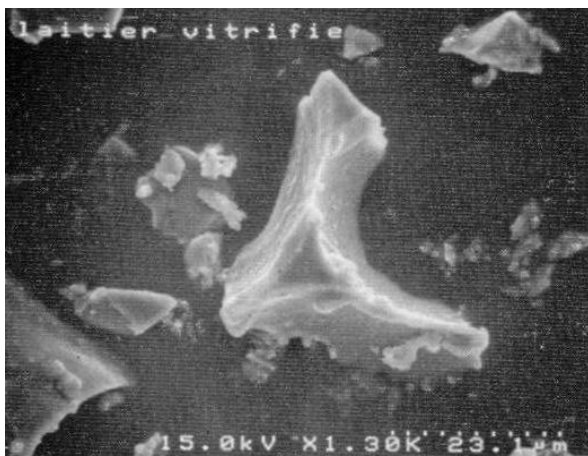


Fig. II.1: Fines anguleuses. (Leur usage conduit à une quantité d'eau supérieure).

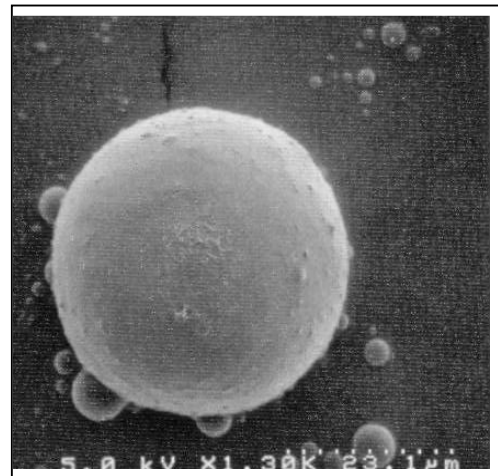


Fig. II.2 : Fines sphériques. (Leur usage conduit à une réduction d'eau).

Les fines actives s'hydratent en présence d'eau au même titre que le ciment et donc accrochent les particules de sable. Parmi les fines passives, les fillers calcaires ont la particularité de s'associer chimiquement avec les hydrates de ciment et donc favorisent l'adhérence entre les particules de sable. [12] [13]

II.4.5. Les adjuvants

On utilise les mêmes adjuvants que dans les bétons traditionnels, pour avoir les mêmes propriétés. Les deux principaux adjuvants utilisés dans le béton de sable sont :

II.4.5.1 Les plastifiants ou super plastifiants

L'objectif est d'améliorer la maniabilité du béton de sable; la diminution de la quantité d'eau qui en résulte engendre une amélioration des caractéristiques du béton. (Les adjuvants employés devront être conformes aux normes **NFP 18-300**.)

II.4.5.2 Les entraîneurs d'air

L'objectif est de créer un réseau de microbulles d'air qui assurent la protection du béton de sable vis-à-vis du gel et des fondants utilisés en période hivernale Leur utilisation est obligatoire dans les zones froides. [12]

II.4.6 Autres ajouts

II.4.6.1 Le caoutchouc

L'utilisation de ce matériau en béton est une alternative suggérée par beaucoup d'auteurs. L'utilisation du caoutchouc de pneu est conseillée quand la mécanique de résistance n'est pas la caractéristique principale mais la résistance à l'impact, au bas poids spécifique et à la dureté plus élevée. [11]



Fig. II.3: Granulats de caoutchouc

II.4.6.2. Les fibres

Elles sont surtout utilisées dans le but d'améliorer le comportement du béton aux jeunes âges ainsi que ses caractéristiques mécaniques.

On utilise, dans le cas échéant, des fibres organiques (polyester, polypropylène...etc.) pour limiter les effets de retrait de prise et éviter la fissuration qui en résulte.

Si l'objectif est d'améliorer la ductilité du béton, il est préférable, dans ce cas, d'utiliser des fibres d'acier ou des fibres de fante amorphe.

II.4.6.3. Les gravillons

Le béton de sable peut contenir un certain pourcentage de gravillons et prend la dénomination de « béton de sable chargé ». En effet, tant que les gravillons sont dispersés dans le sable (figure II.4), et ne constituent pas un squelette structuré, le comportement reste généralement le même. [12].

L'ajout de gravillons, en faible dosage, a pour objectif d'améliorer certaines caractéristiques du béton de sable telles que la maniabilité, le retrait, le fluage et la résistance mécanique.

En pratique, on pourra considérer qu'on a un béton de sable tant que le rapport pondéral ($\frac{\text{gravillon}}{\text{sable}}$) reste inférieur à 0,7. [13]

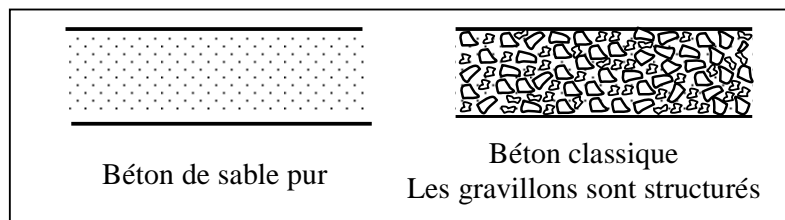


Fig II.4: Différence entre béton de sable et béton ordinaire [7]

Les gravillons utilisés doivent être conformes aux spécifications de la norme **NFP 18 541**.

II.4.6.4. Les colorants

Dans certains usages particuliers du béton de sable, les colorants utilisés dans le béton classique peuvent également être utilisés, à condition de prendre soin de l'homogénéisation et la stabilité de la teinte au cours du temps; pour cela il est recommandé de procéder à une formulation appropriée à ce cas.

II.5. Propriétés spécifiques des bétons de sable

Du fait de la présence des fines, les bétons de sable nécessitent plus d'eau de mouillage que les bétons classiques, ce qui se traduit par des valeurs E/C plus élevées ($>0,5$) si on ne considère que le ciment, mais ce rapport devient similaire à celui des bétons classiques si on considère (C+F), F étant les fillers.

Pour un rapport E/C constant, plus le sable sera grossier, plus la maniabilité sera bonne puisque la surface à mouiller est moins importante. De même, l'augmentation de la teneur en fines entraîne une perte de maniabilité sauf dans le cas des fines sphériques non absorbantes qui améliorent la maniabilité tout en réduisant la quantité de vides.

A dosage en ciment constant et pour un type de filler donné, le gain de compacité augmente avec la finesse des fillers. Si l'on prend en considération l'activité hydraulique et l'avidité d'eau, les résistances peuvent varier dans un sens ou dans un autre puisque certains fillers hydrauliquement actifs peuvent exiger plus d'eau alors que d'autres sont réducteurs d'eau de par leur état de surface ou leur forme.

II.5.1 Caractéristiques physiques et mécaniques

Les performances mécaniques ne sont pas les seuls critères de jugement de la qualité d'un béton, même si la classification des bétons selon des performances mécaniques reste un repère dans l'esprit des utilisateurs. Aussi, même s'il est vrai que les résistances des bétons de sable sont en général inférieures à celles des bétons classiques d'une part, et que la cinétique de montée en résistance est plus lente –ce qui peut en limiter l'usage pour des ouvrages mis en charge précocement- d'autre part, il est aisé d'obtenir des bétons de sable à hautes performances mécaniques, même à court terme. La vocation de ces derniers n'est pas de se substituer mécaniquement aux bétons ordinaires, mais d'être une nouvelle source de bétons de qualité, au sens large. C'est dans cet esprit que plusieurs comparaisons ont été faites avec le béton classique dans l'objectif de voir dans quelles mesures les bétons de sable pourraient les remplacer.

L'analyse du comportement du béton de sable à l'état frais et l'observation de fragments durcis au microscope électronique à balayage permettent de décrire la microstructure du matériau comme homogène, d'aspect amorphe avec un bon enchevêtrement des inclusions de sable dans la matrice. Le caractère peu ou pas fissurant mis en évidence par le MEB s'explique par l'uniformité de séchage entre le cœur et la périphérie d'une éprouvette cylindrique. Cette uniformité de séchage entraîne de faibles gradients hydriques et donc de faibles contraintes de traction en surface d'où une faible densité de fissuration. [9] et [2]

L'étude de la porosimétrie au mercure montre une différence entre les porosités du béton de sable et celles du béton ordinaire. En effet, l'histogramme des pores du béton de sable présente un pic unique décalé vers les gros micropores (au voisinage de 250Å autour duquel se trouvent 80 à 90% des pores du complexe) alors que dans les bétons classiques, on trouve deux pics, l'un correspondant aux micropores (entre 50 et 100Å) et l'autre aux macropores (600 à 1300Å). La porosité du béton de sable est donc de type monomodal alors qu'elle est bimodale dans les autres bétons. [9]

II.5.1.1 Comportement à la fatigue

La tenue à la fatigue est importante à connaître pour dimensionner une structure. Il s'agit pour un niveau de contrainte répétée, de voir à partir de quel moment il y a rupture.

Les études réalisées [sablocrète] ont permis de constater que le béton de sable avait un comportement analogue à celui des matériaux traités aux ciments.

II.5.1.2. Retrait et fluage

On distingue deux retraits :

- Retrait d'auto dessiccation : se fait sans contact avec le milieu extérieur et est voisin de celui des bétons ordinaires.
- Retrait de séchage : a lieu en milieu ambiant et peut atteindre des valeurs deux fois plus importantes que celles des bétons classiques du moins pendant les deux premiers mois, ensuite il y a une tendance à la stabilisation. Ce phénomène semble être lié à la taille et à la distribution des pores dans les bétons.

En matière de fluage, un phénomène analogue a été observé, lié à la structure du béton de sable et confirmé par les valeurs des modules d'élasticité très différents entre les bétons de sable et les bétons ordinaires. Le niveau de résistance en compression (inférieure à 25MPa) y est pour beaucoup. C'est ainsi qu'à un niveau de contrainte en compression de 25MPa , on note à peu près la même chose, à savoir que la cinétique de fluage propre n'est pas très différente des bétons ordinaires aux bétons de sable, alors que le fluage de dessiccation du béton de sable a une cinétique extrêmement rapide, deux fois plus importante même.

Des essais ont montré que, en passant de 25 à 50MPa , le fluage du béton de sable était divisé par 5 et n'était supérieur à celui du béton ordinaire que de 20%. [12].

De même, sous contrainte élevée, les déformations de fluage ne présentent plus de caractère linéaire. [17] [2]

II.5.1.3. Durabilité des bétons de sable

La tenue d'un béton vis-à-vis des phénomènes d'échange dépend évidemment de l'environnement de celui-ci. L'estimation de la durabilité se fera par conséquent à l'aide d'essais de perméabilité à l'eau et à l'air, de mesure de la carbonatation et de la pénétration des ions chlorures. Les conclusions suivantes ont été faites vis-à-vis des attaques physico chimiques. [12]

- La perméabilité à l'eau est plus faible qu'un béton ordinaire ($2,5 \times 10^{-12}$ contre 1×10^{-10} m/s) ; quant à la perméabilité à l'air, elle conduit à des résultats inférieurs ou comparables pour des bétons de sable optimisés [2].
- La profondeur de carbonatation en ambiance naturelle pourrait être importante du fait de la faible dimension des pores ($< 10 \mu\text{m}$) et de l'absorption initiale. Des résultats expérimentaux montrent une quasi proportionnalité entre profondeur carbonatée et absorption initiale. [26] [2]
- Le comportement à la pénétration des ions chlorures est comparable à celui des bétons traditionnels.

II.5.1.4. Fissuration

Le module d'élasticité relativement faible du béton de sable implique une plus grande déformabilité que pour les bétons ordinaires et donc un moindre risque de fissuration. L'absence de gros agrégats est aussi un facteur atténuateur de fissuration qui confirme le caractère peu fissurant du matériau. Le séchage du béton de sable est uniforme, en effet les gradients hygrométriques entre la périphérie et le cœur d'une éprouvette sont faibles ce qui entraîne de faibles gradients de contraintes et par conséquent une faible fissuration.

La microstructure du béton de sable est une structure continue, la pâte de ciment est d'apparence amorphe et présente un aspect compact sans fissures notables. La porosité totale du béton de sable est de l'ordre de 11 à 13% ; elle est proche de celle d'un béton classique. La cinétique de séchage très rapide et uniforme explique l'absence de fissuration.

II.6. Propriétés essentielles du béton de sable

II.6.1. Maniabilité du béton frais

Une des particularités du béton de sable est de nécessiter davantage d'eau que les bétons classiques; ceci se traduit par des valeurs du rapport E/C systématiquement supérieures à 0,5. Ce rapport est généralement compris entre 0,6 et 0,8 par rapport à un E/C de 0,5 à 0,6 pour le béton ordinaire avec des maniabilités comparables ; cette particularité est due à une surface spécifique plus importante du mélange qui a besoin d'être mouillée.

La granulométrie du sable influe sur les besoins en eau de mélange; plus le sable est riche en éléments grossiers plus la maniabilité s'améliore comme le traduit la figure II.5 qui exprime une relation entre le module de finesse et la maniabilité.

La figure II.6 montre clairement que la maniabilité est améliorée quand le rapport E/C augmente.

Cependant pour un rapport E/C fixe, la maniabilité dépend de la nature des fines d'ajout.

La faible étendue granulaire du béton de sable et donc la grande homogénéité combinée à une bonne maniabilité attribuent au béton de sable un meilleur comportement que les bétons traditionnels, vis-à-vis de la ségrégation.

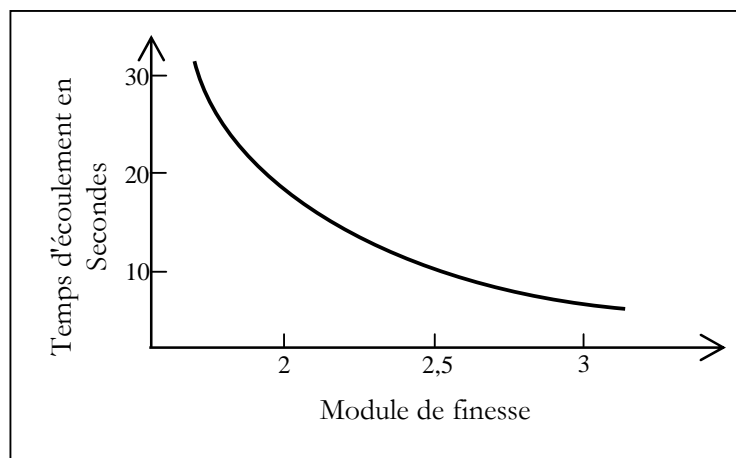


Fig. II.5: Temps d'écoulement en fonction du module de finesse [13]

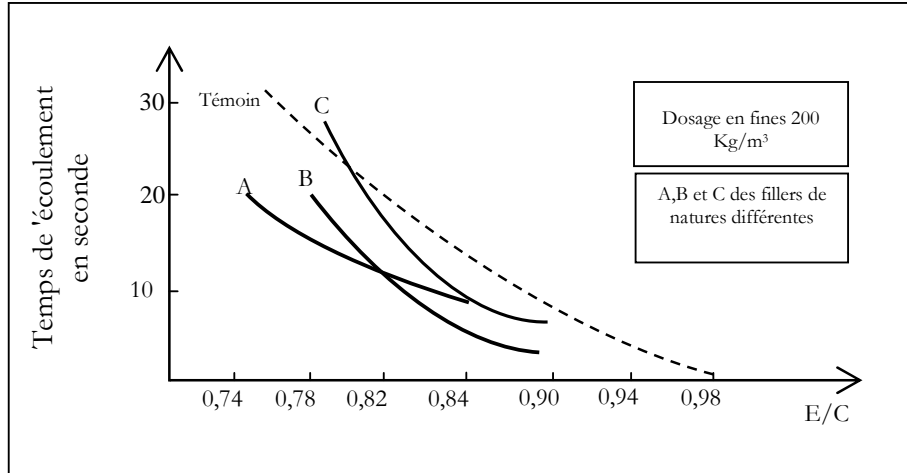


Fig.II.6: Variation du temps d'écoulement en fonction de (E/C) [12]

II.6.2. Résistance

C'est la propriété la plus importante pour l'usage de matériau. La résistance dépend d'un certain nombre de paramètres tels que : La finesse des fines d'addition, la nature de fines l'addition, la dimension du D_{max} ...

II.6.3. La finesse des fines d'addition

Plus l'addition est fine plus la compacité est importante (et donc gain en résistance) ; ce résultat est valable quelque soit la granulométrie et la nature du sable (sable alluvionnaire, sable de dunes...etc.). Figure (II.7).

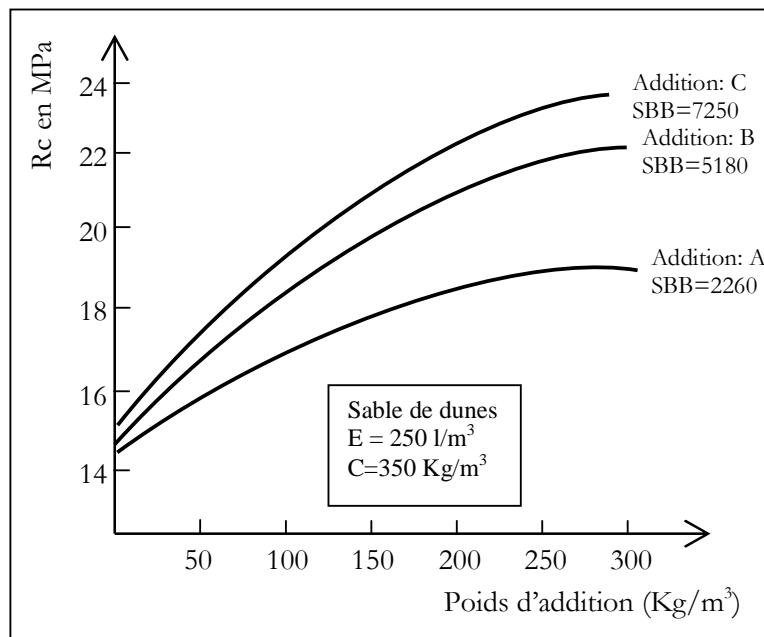


Fig.II.7 : Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance

II.6.4. La nature de fines l'addition

L'ajout de fines d'additions aux bétons de sable permet d'améliorer systématiquement la résistance, ce gain en résistance est très variable à même dosage en fines. La figure II.8 permet de constater la diversité du niveau de performance atteint selon la nature du filler.

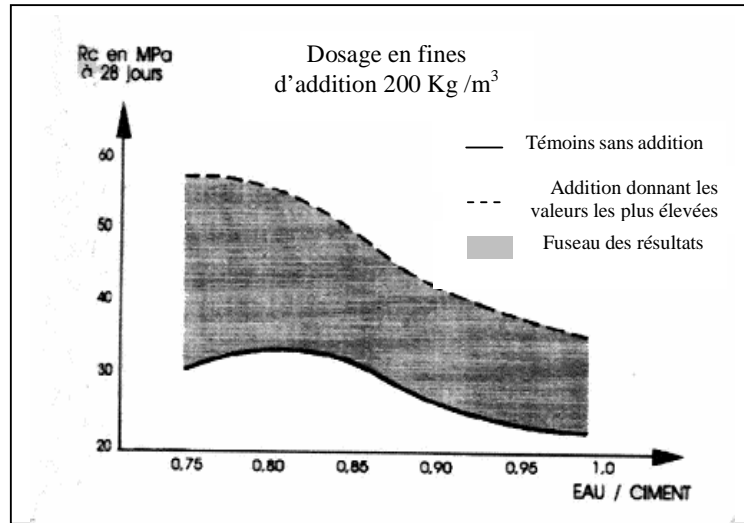


Fig.II.8 : Influence de rapport (Eau /Ciment) et nature des fines sur le niveau de résistance.

II.6.5. La dimension du D_{max}

La figure II.9 montre que pour une même valeur du rapport E/C, on constate que l'effet du diamètre D_{max} du plus gros agrégat est peu important, et pas défavorable aux sables pour la résistance à la compression. Concernant l'influence de D_{max} en fonction de dosage en ciment II.9.B on constate que la résistance de compression augmente en fonction de dosage de la plus grosse dimension.

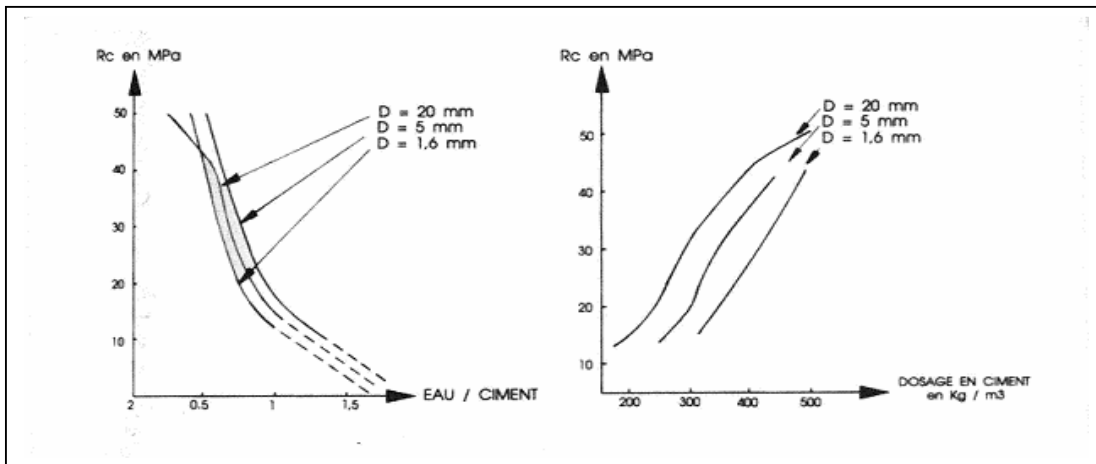


Fig.II.9: Effets de la granularité sur la résistance

Concernant la maniabilité, l'effet est très important. On trouve que pour un D_{\max} égal à 20 mm le béton est très maniable ; alors que, ce n'est pas le cas pour un D_{\max} égal à 1.6 mm. [12].

II.6.6 Résistance au gel et au dégel

De même, la tenue au gel des bétons de sable formulés correctement est excellente. En effet, par comparaison à une étude menée sur un large éventail de formulations de bétons traditionnels, les bétons de sable à formulation et performance équivalentes résistent mieux au gel que les bétons traditionnels correspondants. Certains bétons de sable, même sans ajout d'entraîneur d'air, présentent une résistance au gel équivalente aux bétons classiques les plus performants de ce point de vue. Cette bonne tenue aux cycles gel- dégel, quand elle ne résulte pas d'une formulation visant, soit une très faible porosité, soit une porosité bien répartie par l'emploi d'entraîneur d'air, s'explique par la microstructure particulière des bétons de sable, qui est en général, caractérisée par une bonne répartition des micropores.

II.6.7 Phénomène de ségrégation des constituants

Du fait de son faible étendue granulaire, et donc sa plus grande homogénéité, combinée à une bonne maniabilité, le béton de sable présente un meilleur comportement vis à vis des phénomènes de ségrégation que les bétons ordinaires. Cette faculté apparaît plus clairement à travers des expériences comparatives sur des bétons de sable et des bétons classiques équivalents, avec des plasticités et des modes de mise en œuvre variables.

Les deux figures qui suivent montrent les différences d'aspect de la peau de deux éprouvettes coulées, sans action extérieure sur le serrage, à des consistances plastique équivalentes (cône de 14 cm.)

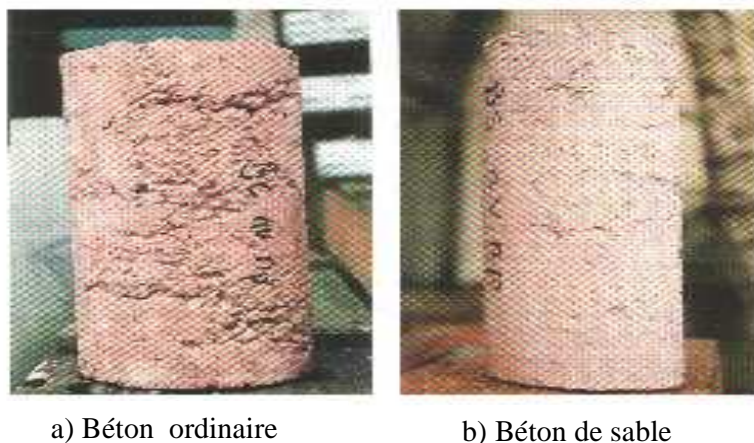


Fig II.10 :Eprouvettes non vibrées non piquées.

II.7. Domaines d'application du béton de sable

Le béton de sable a été utilisé dans différents domaines, et sous plusieurs formes [15] :

- ❖ Dans la préfabrication: murs architecturaux, mobiliers urbains, en bâtiment, voirie, etc.
- ❖ Dans la projection: travaux de rénovation, ponts, égouts visitables, en bâtiments etc.
- ❖ Comme béton de sable coulé: dans les routes, autoroutes, aérodromes, en bâtiment, etc. [8]

II.8. Les méthodes de formulation

II.8.1 Définition

Le but de la formulation d'un béton de sable est de trouver les proportions des différents constituants, à fin de réaliser un béton optimisé dans son squelette granulaire et dont les qualités sont celles qui répondent aux critères techniques et économiques. Ainsi toutes les méthodes de formulation des bétons ne relèvent pas d'une science exacte, c'est pourquoi une étude théorique ne conduit qu'à une approche du problème. Une étude expérimentale basée sur la réalisation des gâchées successives permettra d'adapter et de corriger la formulation théorique. A ce titre il y a lieu de présenter deux types de formulations, dont l'une est théorique et l'autre expérimentale, en se basant sur les deux critères principaux des bétons structuraux

- ❖ La résistance mécanique.
- ❖ La maniabilité qui est la facilité de la mise en œuvre.

II.8.2 Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable

Les agrégats d'un béton jouent un rôle d'ossature et la pâte (généralement le ciment avec l'eau) assure, dans un premier temps, la cohésion et l'écoulement, puis joue le rôle d'une colle liant les agrégats et donnant une certaine durabilité au matériau durci.

Le premier problème qui se pose lors d'une formulation d'un béton est la compacité du squelette granulaire définie comme le rapport du volume des constituants solides sur le volume total du mélange; il faut assurer au mélange une compacité maximale et donc diminuer au maximum la porosité. Cependant la détermination de cette compacité maximale n'est pas facile et fait l'objet de modélisation poussée. Caquot [1] a pu établir à partir des données expérimentales une relation mathématique reliant le volume des vides d'un mélange granulaire présentant une compacité maximale et son étendue granulaire (d/D_{\max}).

Pour ce mélange optimisé la relation de Caquot s'écrit comme suit [12] :

$$V = V_0 (d / D_{\max})^{1/5} \quad \text{Éq. (II.3)}$$

V : Volume des vides du mélange granulaire ;

V_0 : Constante expérimentale comprise entre 0,7 et 0,8 ;

d : La dimension du plus petit grain de l'étendue granulaire ;

D_{\max} : La dimension du plus gros grain de l'étendue granulaire.

Cette formule a innové le domaine de formulation des bétons et elle est à la base de nombreuses méthodes utilisées telles que l'approche de Faury, Bolomey, Dreux, etc. Elle trouve aussi son application aux bétons de sable pour la détermination des différents dosages des constituants, tout en faisant quelques adaptations à ce cas précis.

II.8.2.1 Dosage en fines d'un béton de sable

Dans le but d'optimiser la compacité du béton de sable, les constituants du mélange sont séparés en deux fractions:

1. Les éléments fins qui regroupent tous les grains de taille inférieure à $80 \mu\text{m}$ et qui sont le ciment, les fines d'ajout et une fraction du sable.
2. Toute l'étendue du sable comprise entre $80 \mu\text{m}$ et le diamètre maximal du sable D_{\max} , ainsi que l'éventuelle fraction des éléments supérieurs à $80 \mu\text{m}$. provenant des fines d'ajout.

En faisant cette distinction entre les fines incluant les éléments inférieurs à $80 \mu\text{m}$ et l'étendue du sable comprise entre $80 \mu\text{m}$ et le diamètre maximal, la porosité du sable peut être calculée selon la formule précédente de Caquot :

$$P_s = V = 0.75 (0.08/D)^{1/5} \quad \text{Éq. (II.4)}$$

$P_s(V)$: Porosité du sable d'étendue $80 \mu\text{m}$ et D_{\max}

D_{\max} : Diamètre maximal du plus gros grain du mélange.

La constante expérimentale (V_0) est prise comme étant la moyenne des valeurs extrêmes ($0.7 \div 0.8$).

Un dosage optimal en fines d'ajout sert à compléter l'étendue granulaire bornée inférieurement par la coupure $80 \mu\text{m}$, et à combler la porosité du sable ainsi calculée.

En effet, il est impossible de prendre en compte la distribution de la taille pour les fines d'ajout car l'assemblage géométrique relève surtout des forces électriques inter-granulaires.

En apportant quelques simplifications, Caquot s'est rendu compte que le volume de l'ensemble des particules fines ($< 80 \mu\text{m}$) et le volume des vides associé à l'empilement de ces fines sont égaux, autrement dit le volume des vides restant dans le mélange est égal au volume de l'ensemble des fines d'ajout.

Il suffit de combiner les deux résultats précédents de Caquot pour en déduire que le dosage volumique optimal en fines d'ajout est la moitié de la porosité du sable et que l'autre moitié correspond à la porosité minimale résiduelle.

$$[\text{Fines}] = 0.38 (0.08/D_{\text{max}})^{1/5}. \quad \text{Éq. (II.5)}$$

Cette dernière formule montre que le dosage en fines dépend surtout de la dimension du plus gros grain, il apparaît très clair que plus le diamètre maximum diminue plus le dosage en fines augmente.

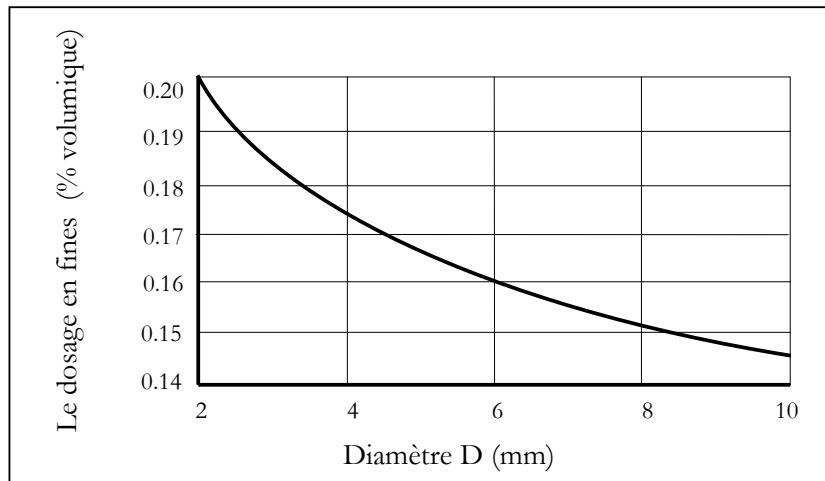


Fig.II.11 : Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines. [12]

II.8.2.2 Dosage en eau d'un béton de sable

Après optimisation du squelette granulaire, la compacité maximale conduisant à une porosité minimale ne sera atteinte que si la consistance le permet ; pour cela d'autres travaux de Caquot sur la compacité ont abouti à une autre relation à partir de la relation de base, en admettant que la porosité du squelette granulaire se décompose en la somme d'un volume d'eau et d'un volume de vide piégé notés respectivement e et v

$$(e + v)_{\text{min}} = 0.8 (d/D_{\text{max}})^{1/5} \quad \text{Éq. (II.6)}$$

Cette formule exige la connaissance de la plus petite dimension de l'étendue granulaire du mélange (d). L'estimation de cette valeur dans le cas d'un mélange totalement défloculé (chaque particule élémentaire agit indépendamment) est donnée par la formule suivante :

$$d = (60 / (f)) \text{ mm} \times \rho \quad \text{Éq. (II.7)}$$

Avec:

f : surface spécifique exprimée en cm^2/g du constituant.

ρ : Densité du constituant exprimée en g/cm^3 .

C'est la moyenne harmonique de la dimension des grains les plus fins du constituant assimilés à des sphères. Cette définition de (d) ne peut pas être retenue pour les mélanges floculés: la dimension des floes relevant des considérations physico-chimiques très complexes. Un ordre de grandeur peut être avancé de l'ordre de 20 à 25 μm pour le diamètre ; ainsi l'élargissement de l'étendue est la seule solution pour la réduction de la porosité théorique minimale comme la figure (IV.2) le montre :

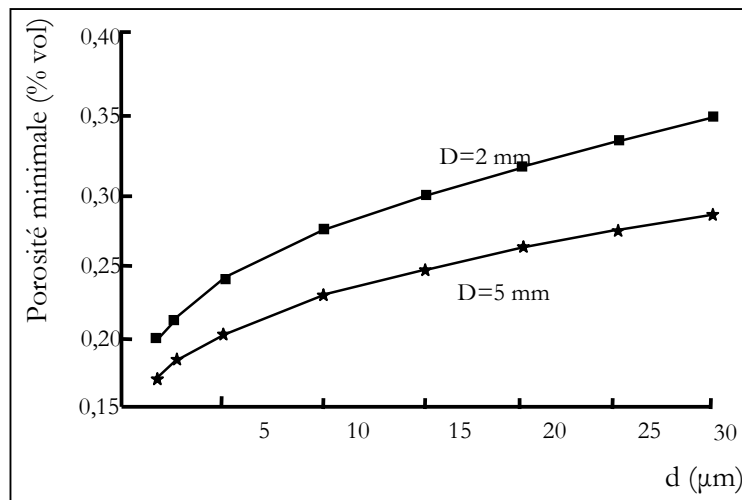


Fig.II. 12 : Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles du sable. [12] [13]

On remarque que la porosité minimale d'un mélange granulaire varie considérablement avec son étendue granulaire, mais cette porosité est décomposée en un volume d'eau (e) et un volume de vides (v)

En pratique, confectionner un béton avec les strictes quantités d'eau conduit à une mauvaise ouvrabilité ; la figure II.13 nous montre la relation entre l'ouvrabilité et le dosage en eau.

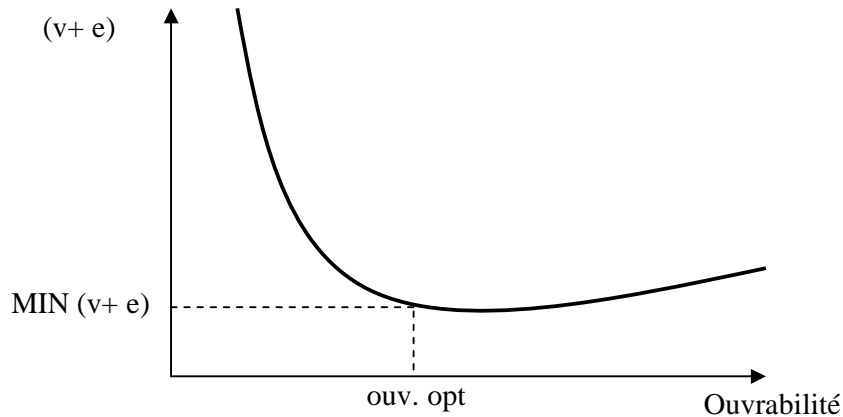


Fig.II.13: Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée

L'expérience montre que pour des quantités d'eau inférieures à la quantité d'eau permettant d'obtenir l'ouvrabilité optimale, le mélange piègera une forte quantité d'air quelques soient les moyens de serrage utilisés, et par suite une porosité (e+v) supérieure à $(e+v)_{\min}$, alors pour des quantités d'eau supérieures à celle qui donne l'ouvrabilité optimale, la quantité d'air piégée reste stable et l'ouvrabilité augmente de façon linéaire.

Finalement, pour estimer le dosage en eau, il faut préalablement évaluer la quantité d'air piégée. Dans les bétons de sable cette quantité est légèrement supérieure à celle des bétons ordinaires et la formule qui suit conduit à des teneurs en air de l'ordre de 3 à 5%.

$$[\text{Vides}] = K [\text{eau}] \quad \text{Éq. (II.8)}$$

Avec :

K : constante comprise entre 0.2 et 0.25.

II.8.2.3. Dosage en sable

Afin de compléter un volume unitaire de béton de sable, (1m^3), de la formulation, le dosage en sable est obtenu en faisant soustraire au mètre cube du mélange les dosages estimés précédemment des autres constituants (fines, eau, vide).

$$[\text{Sable}] = 1000 - [\text{fines}] - [\text{eau}] - [\text{vide}] \quad (1/\text{m}^3).$$

Il reste à noter que le volume du sable ainsi calculé regroupe toutes les particules de taille supérieure à $80\mu\text{m}$, soit du sable, soit de la fraction des fines d'addition.

II.8.2.4 Estimation de la résistance en compression

Après avoir optimisé la compacité et déterminé les différentes proportions des constituants, il est jugé nécessaire d'évaluer la résistance à la compression de ce mélange. Pour ce faire, comme tous les autres mélanges à base de ciment, les méthodes classiques sont adaptées. Ces méthodes faisant intervenir la contribution de tous les paramètres influant sur la résistance : le squelette granulaire, la nature des liants, et les dosages des constituants de la pâte.

Dans le cas de bétons formulés avec des fines potentiellement réactives, une généralisation de la formule de FERET [1] a été proposée récemment.

$$R_b = \frac{K_f \times R_c}{\left(1 + \frac{3.1(e+v)}{c(1+K_1+K_2)}\right)^2} \quad \text{Éq. (II.9)}$$

Avec :

K_f : coefficient granulaire compris entre 4.5 et 5 ;

R_c : classe vraie du ciment (MPa) ;

E : dosage en eau total (l/m^3) ;

V : air piégé (l/m^3) ;

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

R_b : résistance à la compression du béton à 28 jours (MPa).

Avec :

$K_1 = K_{cv}(CV/C) + K_{fs}(FS/C)$;

$0.2 < K_{cv} < 0.4$ $2 < K_{fs} < 3.3$ $K_1 \leq 0.5$

$K_2 = K_{fil}(Fil/C)$;

$0 < K_{fil} \leq 0.4$ $K_1 < 0.2$

K_1 : coefficient pouzzolanique

K_2 : coefficient d'activité du filler calcaire. (Voir figure II.14.)

K_{cv} , K_{fs} , K_{fil} : coefficients d'équivalence en ciment des différentes additions en fines.

CV , FS , FIL : dosage en cendres volantes, fumée de silice et filler calcaire (kg/m^3).

Cette formule ne peut être utilisée que par une identification précise de l'activité des additions par l'intermédiaire des coefficients déjà mentionnés. Les valeurs données pour les différents coefficients d'activité ont, ici, un caractère essentiellement indicatif, d'autres additions peuvent être également utilisées, telles que les fines siliceuses généralement considérées inertes et les fines de laitier qui peuvent présenter un caractère hydraulique non pris en compte dans la formule précédente [1], alors que d'autres paramètres pourraient influencer sur l'activité liante des fillers telles que la répartition granululaire, la forme des grains, et leur porosité. Cette activité pour chaque type de filler présente un optimum au-delà duquel elle ne développe plus des performances mécaniques.

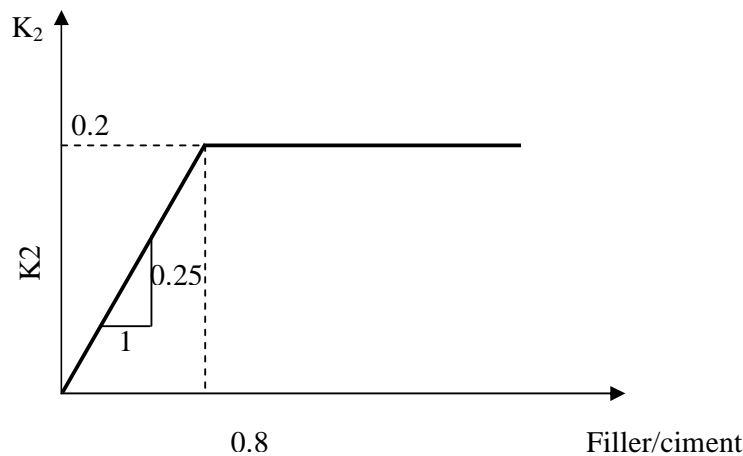


Fig.II.14 Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle)

Sur la base de la remarque de l'activité des fillers, un autre paramètre s'ajoute pour le dosage en fines, tout fois le dosage en fines est estimé en terme de compacité regroupant les fines d'addition et le ciment, alors que l'optimum de la résistance s'obtient en se fixant le rapport des dosages en fines d'addition-ciment au maximum d'activité. Le problème revient à résoudre le système de deux équations simples

- Dosage en ciment + dosage en fines d'ajout = dosage en fines.
- Dosage en fines d'ajout / dosage en ciment = optimum d'activité.

Il en résulte de tout ce qui précède que cette formulation théorique simple et performante donne la possibilité au formulateur de jouer sur certains paramètres en restant à la compacité maximale, elle constitue une bonne base pour la mise au point d'une formulation de béton de sable. Tout de même elle ne peut être utilisée que dans un cadre limité, ceci est dû aux nombreuses hypothèses qui la jalonnent, c'est aussi pour ça que cette approche ne sera acceptée qu'après passage à l'expérience qui la confirme ou l'ajuste.

II.8.3. Méthode expérimentale de formulation

La méthode expérimentale, doit permettre de formuler un béton de sable mais son but n'est pas d'expliquer ou de formaliser les phénomènes qui entrent en jeu dans la formulation des bétons.

D'autres méthodes expérimentales existent, elles peuvent différer en fonction des approches théoriques et des habitudes de travail, toutefois, l'objectif reste le même : formuler un béton qui soit le plus compact possible, et par conséquent de bonnes performances.

Dans cette méthode, on travaille à dosage en ciment fixé, de manière à mieux répondre aux prescriptions contractuelles ou normatives qui imposent bien souvent un dosage minimum.

Cette méthode est une adaptation de la méthode dite BARON-LESAGE, elle est itérative et est basée sur la réalisation de gâchées légères. Les gâchées sont caractérisées par des mesures de la maniabilité, au maniabilimètre à mortier LCL, et de la masse volumique apparente.

Diverses formulations de bétons de sable ont déjà été réalisées par cette méthode, on cite à titre d'exemple : le béton de pieux, le béton routier, le béton de projection etc, et ont donné pleine satisfaction. [12]

II.8.3.1. Les différentes étapes de la formulation

II.8.3.1.1. Détermination d'une formule de base sans fines d'addition

Dans cette partie de la méthode, nous chercherons à déterminer une formule de un mètre cube, constituée de ciment, d'eau, de sable et d'adjuvants, ayant une maniabilité adéquate.

a) Dosage en ciment

Les prescriptions contractuelles ou normatives imposent très souvent un dosage minimum en ciment par mètre cube de béton, en fonction du type d'ouvrage ou bien de l'agressivité du milieu. On choisit donc de travailler avec un dosage en ciment fixé qui ne variera pas tout au long de l'étude, on le note C (Kg/m^3).

b) Dosage en eau

A ce stade de la méthode, une valeur approximative du dosage en eau, E (l/m^3), suffit. Pour estimer ce dosage, les praticiens s'appuient sur l'expérience. Par exemple, on peut prendre 220 litres d'eau pour 350 Kg de ciment, et 250 litres pour 400 Kg de ciment.

c) Détermination du dosage en sable

Dans cette formule, il faut introduire un fluidifiant réducteur d'eau, au dosage préconisé par le fabricant (N% du poids des éléments inférieurs à 80 µm en extrait sec), qui permettra de défloculer les fines. D'autre part, un béton contient toujours un volume d'air, V_{air} , la teneur en air des bétons de sable est toujours supérieure à celle des bétons ordinaires et se situe entre 5 et 7 % de volume du béton.

Les quantités de ciment, d'eau, d'adjuvant et d'air sont connues, nous devons donc compléter la formule par du sable de manière à obtenir un mètre cube de béton; on aboutit à la relation suivante :

$$V_{air} + V_C + V_E + V_{adj} + V_{sable} = 1000 \quad (\text{En litres}). \quad \text{Éq. (II.10)}$$

Les masses volumiques des constituants du béton sont connues, alors, on peut connaître la masse de sable pour une formule d'un mètre cube du béton S (Kg/m^3).

d) Réglage de la maniabilité et du rendement de la formule

Lorsqu'on fait la confection de la formule initiale du béton, et la détermination de :

- La valeur du temps d'écoulement 't' au maniabilimètre à mortier LCL.
- La masse volumique apparente réelle du béton (MVAR).

Cette formule doit être corrigée à l'aide de l'équation itérative suivante :

$$s_i = s_{i-1} - (MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) \pm V \times MV_{sable} \quad \text{Éq. (II.11)}$$

Tel que : MVAT et MVAR représentent respectivement la masse volumique apparente théorique et la masse volumique apparente réelle du béton.

Si le temps d'écoulement au maniabilimètre est inférieur à la valeur visée il faut retrancher un volume V d'eau (+V dans l'équation) ; si le temps d'écoulement est supérieur, il faudra rajouter un volume V d'eau de manière à rendre le béton plus maniable (-V dans l'équation).

Après chaque correction, la masse volumique apparente théorique devra être comparée à la masse volumique apparente réelle.

II.8.3.1.2. Détermination du dosage en fines d'addition

Il faut maintenant introduire dans le béton les fines d'addition et en définir le dosage optimal à rapport E/C constant. Pour cela, il est nécessaire de réaliser des gâchées de béton de sable avec 5 à 6 dosages en fines dans la plage d'emploi usuelle de ces fines.

L'incorporation des fines doit permettre d'augmenter la compacité du béton, en remplissant les vides.

Notre objectif, est d'obtenir une formule de un mètre cube dans laquelle la masse volumique apparente théorique tend vers la masse volumique apparente réelle, et un temps d'écoulement adéquat.

Pour chaque gâchée, on détermine la maniabilité ainsi que la masse volumique apparente réelle (MVAR) que l'on compare à la masse volumique apparente théorique (MVAT) de la formule. Si besoin, la correction sur le sable s'effectue à l'aide de la formule suivante :

$$S_i = S_{i-1} - (MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) \quad \text{Éq. (II.12)}$$

Comme exemple pratique sur cette méthode de formulation, une étude de formulation de béton de sable effectuée au LRPC de Bordeaux.

Dans cette étude, trois différentes fines d'addition ont été utilisées:

- **Fine d'addition N° 1** : Son utilisation conduit à une maniabilité optimale entre 150 et 180 Kg/m³ de fines. Figures II.15, II.16
- **Fine d'addition N° 2** : Dans sa plage de dosage (0 à 240 Kg/m³) il n'y pas d'optimum de maniabilité et masse volumique, l'optimum doit exister pour des dosages supérieurs.
- **Fine d'addition N° 3** : Son optimum de maniabilité et de masse volumique est compris entre 60 et 90 Kg/m³ de fines.

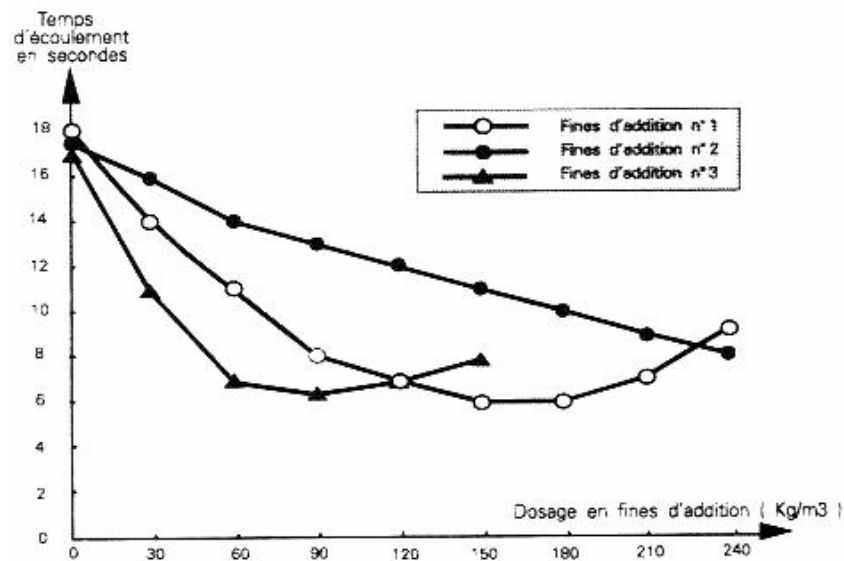


Fig.II.15 : Evolution de la maniabilité (T d'écoulement) en fonction du dosage en fines d'addition.

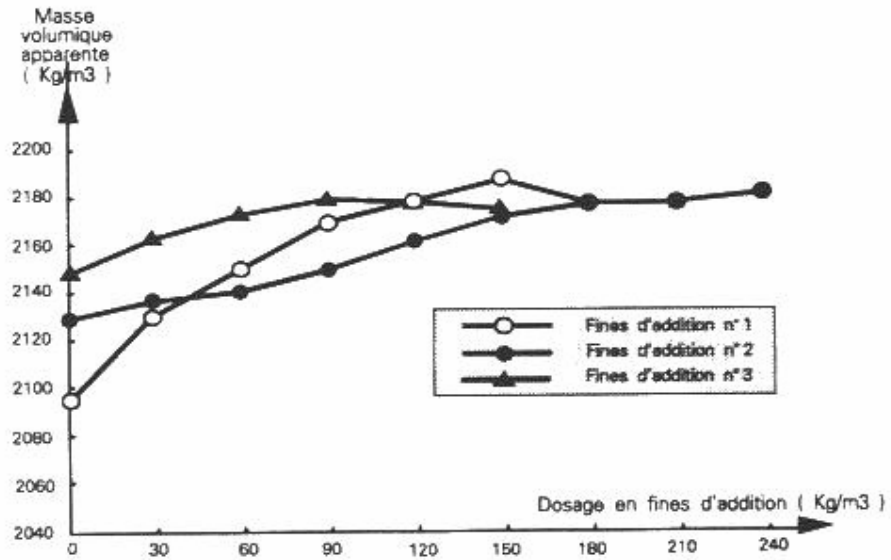


Fig.II.16 : masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition.

3

Chapitre III:

Poudrette de Caoutchouc

III.1. Introduction

Les temps ont bien changé. La volonté d'améliorer l'environnement par le besoin d'un cadre de vie plus agréable, le poids de plus en plus important de l'écologie ont amené les pouvoirs politiques nationaux et régionaux à définir une politique de valorisation des déchets qui sont souvent associés à la détérioration de notre environnement et à de multiples risques pour la santé humaine.

De ce fait, il est nécessaire d'envisager des solutions de gestion favorables au niveau des déchets potentiels, à resserrer leurs liens dans ce domaine, à coordonner leurs actions pour promouvoir cette politique.

III.2. Définition de la pollution

« La pollution consiste en l'introduction dans les milieux, de trop grandes quantités d'agents chimiques, physiques ou biologiques entraînant une altération de l'environnement, de nature à mettre en danger la santé humaine, à endommager les ressources alimentaires, biologiques et les écosystèmes ou encore à détériorer les biens matériels ». [19]

Cette définition correspond aux normes françaises « AFNOR ». D'autres définitions de la pollution ont été avancées, nous retiendrons celle rédigée en 1974 par le comité scientifique officiel de la maison blanche des Etats-Unis pour la protection de l'environnement.

« La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en presque totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine, au travers d'effet direct ou indirect altérant les modalités de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes ». [7]

III.3. Caractérisation de la pollution

La pollution est généralement caractérisée par :

- Son origine (sa source).
- La nature des polluants.
- La nature des nuisances.

Comparativement aux déchets d'origine agricole ou d'origine ménagère, les déchets industriels posent un certain nombre de problèmes dus à :

1. La quantité liée à l'importance de la production.
2. Leur diversité : certains d'entre eux sont polluants voire même dangereux. De ce fait leur élimination est impérative même si elle présente des difficultés.

3. Leur valeur économique n'est pas toujours nulle, beaucoup renferment des éléments dont la récupération servira de matières premières à d'autres activités. [3]

III.4. Indicateurs de la pollution industrielle

L'industrie constitue la source de pollution la plus connue. Les polluants industriels ont la redoutable particularité de contenir parfois des produits nouveaux ou mal connus dont la dangerosité pour le milieu (donc pour l'homme) n'est pas évidente de prime abord. En effet, les rejets industriels souvent polluants, renferment des substances toxiques parmi lesquels nous citons particulièrement les métaux lourds et les hydrocarbures.

III.5. Définition d'un déchet

Le déchet est défini comme « Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon. ».

D'après la loi française du 15 juillet 1975 : « Est ultime un déchet résultant ou non du traitement des déchets et qui n'est plus susceptible d'être traité dans des conditions techniques et économiques du moment notamment par l'extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux » [11]

D'après ces deux définitions, la voie à suivre pour assurer une bonne gestion des déchets est :

- La valorisation de la fraction « utile » des déchets
- La réduction des caractères polluants ou dangereux et
- Le stockage des résidus ultimes.

III.6. Gestion des déchets solides en Algérie

III.6.1. Généralité

L'Algérie a connu, durant la période 2003/2004, dans le cadre de son engagement résolu de réformes politiques et économiques, une activité économique intense et diversifiée, à travers la mise en œuvre, des Plans de Développement Sectoriels ambitieux et opportunément soutenus par le Programme de Relance Economique (7 Milliards USD), selon une approche programmatique et participative de développement durable, à court, moyen et long terme, associant l'ensemble des décideurs, acteurs et partenaires socio-économiques et politiques.

Cette période s'est particulièrement singularisée par le regain de prise de conscience réelle à tous les niveaux politiques et socio-économiques et l'intégration effective de la dimension environnementale.

Les priorités nationales et les objectifs fixés par la Stratégie Nationale et le Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAEDD) sont en parfaite harmonie et cohérence avec les différentes Conventions, Accords et Protocoles Internationaux.

La gestion des déchets y est mal adaptée voire inexistante. Les déchets de pneus ou de caoutchouc par exemple, représentent des enjeux importants au regard notamment des quantités élevées qu'ils représentent. Les systèmes pour leur élimination sont quasi-inexistants, leur mise en décharge (entreposés sur des sites non contrôlés voire illégaux) constitue un gaspillage de matière première et d'énergie et rend difficiles leur collecte et leur valorisation. Ces déchets ne sont pas dangereux mais ils présentent une menace pour l'environnement et la santé. Ils représentent un gisement valorisable important tant en volume qu'en poids (pneumatiques usagés, fabrication de chaussures, revêtements de sols, déchets de fabrication de pneus, déchets de rechapage des pneus) [22].

III.6.2. Le pneu et sa valorisation

Sur le plan chimique, un pneu est un mélange à base de caoutchouc synthétique ou naturel, dans lequel sont ajoutés des éléments améliorant les qualités de résistance et de sécurité, tels les plastifiants, les charges renforçantes (noir de carbone), et les agents vulcanisant (dont le soufre). D'autres composés chimiques sont ajoutés pour rendre plus performante la délicate opération de vulcanisation (accélérateurs, ultra-accélérateurs, activateurs - oxyde de zinc -, odorants Pour les pneumatiques usagés, 1 tonne représente 160 pneus de voitures ou 19 pneus de camions. Les pneus sont broyés pour réduire leur volume. (1 tonne = 2 m³ broyés)

Le pneu déchiqueté produit trois types d'éléments

- ❖ **La ferraille:** 1 Tonne de pneus usagés = 150 à 200 kg de fer soit environ 20 % du poids du pneu.
- ❖ **Le granulat:** (Mélanges de caoutchouc) représente 60 à 68 % du poids du pneu, selon le degré de finesse du broyage.
- ❖ **Le textile :** Représente de 12 à 20 % du poids du pneu.

Les déchets de pneus et de caoutchouc peuvent être valorisés de plusieurs manières **Valorisation énergétique (combustible)**

Une installation d'incinération peut utiliser, soit des granulés de caoutchouc, soit des pneus entiers.

Valorisation matière : Utilisation en génie civil

Légers, solides, drainants et imperméables, souples, absorbeurs et disperseurs d'énergie, ils présentent des qualités physiques équivalentes aux produits ou procédés conventionnels

Une autre application prometteuse est l'usage de poudrette dans les enrobés ou les bétons [22]

III.7 .Le Caoutchouc

III.7.1. Présentation

Le caoutchouc, composé naturel ou synthétique, est caractérisé par son élasticité, son imperméabilité et sa résistance électrique. Le caoutchouc naturel est obtenu à partir d'un liquide blanc laiteux appelé latex, fourni par de nombreuses plantes ; les caoutchoucs synthétiques sont des élastomères préparés à partir d'hydrocarbures insaturés.

III.7.2. Caoutchouc naturel

III.7.2.1. Historique

Certaines des propriétés et des utilisations du caoutchouc ont été découvertes dans l'Amérique du Sud précolombienne. Lors de son exploration géographique à l'Europe, le chimiste britannique Joseph Priestley découvrit en l'an 1770 que le caoutchouc pouvait effacer ou gommer des marques d'encre par frottement. En 1791, la première application commerciale du caoutchouc fut lancée par un industriel britannique, Samuel Peal, qui breveta une méthode d'imperméabilisation des tissus par traitement avec une solution de caoutchouc dans la térébenthine. En 1823, Charles Macintosh fit construire une usine à Glasgow pour la fabrication de tissus et de vêtements auxquels il a donné son nom.

III.7.2.2. Vulcanisation

Les articles caoutchoutés sont cassants par temps froid, et collants et nauséabonds par temps chaud. En 1834, les chimistes allemand Friedrich Ludersdorf et américain Nathaniel Hayward découvrirent que l'addition de soufre à la gomme de caoutchouc diminuait ou même éliminait la nature collante des produits finis. En 1839, Charles Goodyear montra, en utilisant les résultats de ces deux chimistes, que la cuisson du caoutchouc en présence de soufre supprimait les propriétés indésirables de la gomme : ce fut la découverte de la vulcanisation.

Le caoutchouc vulcanisé a une solidité et une élasticité accrues, ainsi qu'une plus grande résistance aux changements de température ; il n'est pas perméable aux gaz et résiste à l'abrasion, aux réactions chimiques, à la chaleur et à l'électricité. Il présente également une résistance élevée aux frottements sur des surfaces sèches, et faible sur des surfaces mouillées par l'eau.

III.7.2.3. Durée de vie du caoutchouc

Une dizaine d'années plus tard (≈ 1850), la technologie du caoutchouc connut une nouvelle avancée avec l'apparition des fours à vieillissement accéléré permettant d'étudier la détérioration du caoutchouc dans le temps. On put alors mesurer rapidement les pertes de propriétés dans différentes

conditions, en particulier lors de l'exposition à l'oxygène atmosphérique. L'utilisation de ces fours permet de tester différents produits chimiques et d'ajouter des antioxydants qui augmentent la durée de vie des produits en caoutchouc, comme les pneus pour les véhicules et les articles souples, tels que gants, toiles et tuyaux.

D'autres progrès vinrent de l'utilisation du latex non coagulé. On introduisit des méthodes permettant d'extruder le caoutchouc en fils minces pour l'utilisation textile ; on put également déposer le caoutchouc sur des métaux et d'autres matériaux.

III.7.2.4. Propriétés physiques et chimiques

Le caoutchouc brut (latex coagulé) est un polymère naturel blanc ou incolore, dont la plus petite unité est l'isoprène, de formule (C_5H_8). A la température de l'air liquide (environ 195 °C). Le caoutchouc brut est un solide dur et transparent de 0 °C à 10 °C, il est cassant et opaque ; au-dessus de 20 °C, il devient mou, élastique et translucide. Lorsque le caoutchouc est malaxé mécaniquement ou chauffé au-dessus de 50 °C, il devient plastique et collant. Il se décompose au-dessus de 200 °C. Le caoutchouc brut est insoluble dans l'eau, les bases et les acides faibles ; il est soluble dans le benzène, le pétrole, les hydrocarbures chlorés et le sulfure de carbone. Il est facilement oxydé par les oxydants chimiques et lentement par l'oxygène de l'air.

III.7.2.5. Utilisations

Le caoutchouc vulcanisé a de nombreuses applications. Sa résistance à l'abrasion en fait un produit souple adapté pour les bandes transporteuses et, en qualité moins souple, il est utilisé dans l'équipement des pompes et pour les tuyauteries servant à la manipulation des boues abrasives.

La flexibilité du caoutchouc est souvent mise à profit pour les tuyaux, les pneus et les rouleaux intervenant dans de nombreux appareils, des essoreuses domestiques aux presses d'imprimerie. Son élasticité est adaptée à la réalisation de différents systèmes d'absorption des chocs et de diminution des vibrations.

Suffisamment imperméable aux gaz, il est utilisé pour la fabrication de tuyaux transportant de l'air, des aérostats, des balles et des coussins.

La résistance du caoutchouc à l'eau et à la plupart des produits chimiques liquides en fait un produit adapté pour les vêtements de pluie, les équipements de plongée, les tuyauteries en chimie et en médecine, les revêtements de réservoirs et les équipements de transformation de liquides.

Du fait de leurs résistances électriques, les caoutchoucs souples sont utilisés pour l'isolation et la protection dans les gants, les chaussures et les couvertures. Les caoutchoucs plus durs sont

employés pour l'équipement téléphonique, les appareils de radio, les compteurs et d'autres dispositifs électriques.

Le coefficient de frottement du caoutchouc étant élevé sur des surfaces sèches, et faible sur des surfaces mouillées, on emploie ce matériau dans les équipements de transport d'électricité et dans les pompes immergées dans les puits.

Par rapport au caoutchouc vulcanisé, le caoutchouc non vulcanisé a peu d'utilisations : pour les mortiers, les adhésifs, l'isolation, les bandes subissant des frottements et sous forme de crêpe, pour les couvertures isolantes et les chaussures.

Le caoutchouc mousse est obtenu directement à partir du latex en y ajoutant les ingrédients en émulsion. Le mélange est agité mécaniquement dans un appareil spécifique jusqu'à l'obtention de millions de bulles d'air. Cette mousse est versée dans des moules où elle est vulcanisée par chauffage pour donner des articles, tels que matelas ou coussins pour sièges.

Le latex peut être transformé en articles tels que des jouets ou des gants par trempage des moules correspondants, en porcelaine ou en plâtre de moulage, dans du latex liquide concentré. Le revêtement de latex recouvre le moule dont il est ensuite séparé après vulcanisation. Les articles obtenus directement à partir du latex représentent 8 % des applications du caoutchouc naturel.

III.7.3 Caoutchouc synthétique

Tout composé produit artificiellement et semblable au caoutchouc naturel par ses propriétés chimiques et physiques essentielles peut être appelé caoutchouc synthétique. Ce sont des élastomères, c'est-à-dire des macromolécules produites par polymérisation et dont le comportement est viscoélastique à la température d'utilisation. Après sa fabrication, le caoutchouc synthétique est également traité par vulcanisation.

L'importance politique et économique du caoutchouc devint évidente lorsque l'approvisionnement en provenance d'Extrême-Orient fut interrompu pendant la Seconde Guerre mondiale. En raison du manque aigu de caoutchouc naturel, plusieurs pays accélérèrent le développement du caoutchouc synthétique. Ses utilisations sont les mêmes que celles du caoutchouc naturel, dont les qualités restent cependant inégalées.

III.7.4. Production mondiale

En 1994, la production mondiale de caoutchouc était d'environ 15 millions de tonnes, dont 10 millions de tonnes de caoutchouc synthétique. Ce dernier est surtout issu des pays développés : les États-Unis en produisent 25 %, le Japon, 10 à 12 %, la France et l'Allemagne fédérale en produisent chacune environ 500 000 t, puis vient la Grande-Bretagne. Actuellement, 90 % du

caoutchouc naturel consommé mondialement est produit par la Malaisie, l'Indonésie et la Thaïlande. Les pneus représentent à eux seuls 55 % des élastomères consommés dans le monde.

III.8. La poudrette de caoutchouc

III.8.1. Introduction :

Les poudrettes varient de granules 25.4mm aux poudrettes fines 0.2mm.

C'est une nouvelle matière pour de nombreuses applications :

- Sous-sol de terrain de sport,
- Piste d'athlétisme,
- Roulement de pneus.

Les déchets de caoutchouc représentent un gisement valorisable important tant en volume qu'en poids. Le gisement provient de 4 origines :

- Pneumatiques usagés

Les autres sources sont industrielles :

- Déchets de caoutchouc industriel (fabrication de chaussures, tuyaux, revêtements de sols,...),
- Déchets de fabrication de pneus,
- Déchets de rechapage des pneus.

Actuellement, 25% du gisement du caoutchouc et des pneumatiques sont valorisés bien qu'il existe de nombreux modes de traitement. [18]

III.8.2. Fabrication de la poudrette de caoutchouc

Les pneus sont broyés mécaniquement. Les granulés qui en résultent sont utilisés dans la fabrication de revêtements de sols industriels et sportifs, d'écrans antibruit, etc

Le procédé de vulcanisation du caoutchouc normal le rend plus dur et résistant; Le problème en ce matériel est lié à sa difficile dégradation. En remblais, le caoutchouc, sous forme de pneu, tend à tenir la mare, apportant des risques à la santé, parce qu'il crée environnement approprié à la croissance des insectes il est nocif à l'environnement.

L'installation de pulvérisation doit être équipée de manière à pouvoir délivrer des produits présentant la qualité requise. La séparation magnétique des métaux et la séparation sous jet d'air des composants textiles figurent parmi les processus appliqués. Les granulats ou la poudre ainsi que les déchets d'acier devront être valorisés, tandis que les textiles seront incinérés dans une installation appropriée. Les dégagements de poussières seront limités par l'installation de filtres. Il y a lieu de respecter les dispositions de l'ordonnance sur la protection de l'air et de l'ordonnance sur la

protection contre le bruit .Il faut également tenir compte des conditions posées par l'autorité compétente pour la prévention des incendies et des explosions.

III.8.3. Utilisation dans le béton

L'utilisation de ce matériau dans le béton est une alternative suggérée pour beaucoup d'auteurs. L'utilisation du caoutchouc de pneu est conseillée quand la mécanique de résistance n'est pas la caractéristique principale mais la résistance à l'impact, au bas poids spécifique et à la dureté plus élevée [10].

III.9. Les pneus

Le Pneusol est formé de l'association de pneus (poids lourds ou de tourisme) entiers, partiellement découpés (enlèvement d'un flanc) ou totalement découpés (enlèvement de deux flancs) et de sols naturels ou artificiels (argile expansée, par exemple), pulvérulents ou légèrement cohérents, ou de déchets divers (mâchefers...). C'est à la fois un matériau de génie-civil et une forme de valorisation des pneus usés, déchet encombrant et préjudiciable à l'environnement. Le développement actuel, tant en France que dans d'autres pays d'Europe et en Amérique du Nord est important pour plusieurs raisons:

- * Il est économique et donc compétitif vis à vis de matériaux traditionnels;
- * Il est facile à mettre en œuvre, sans compétence particulière;
- * Le pneu usagé est un déchet bien réparti sur tout le territoire et reste dans l'ensemble facile à trouver. Bien entendu, dans un avenir proche, ce déchet, comme en son temps le laitier des hauts fourneaux, sera vendu et aura donc un prix qui sera fonction de celui des produits ou procédés concurrents et aussi de la volonté politique des responsables.

D'une manière générale, le Pneusol est actuellement un matériau des pays du Nord, pays riches, mais il reste que pour tous les pays, le choix des techniques de construction se fait toujours sur des critères économiques et que le Pneusol peut se développer dans toutes les parties du monde. Déjà utilisé en Europe, il a abordé les Etats-Unis, le Canada, la Roumanie, l'Autriche, la Jordanie, l'Algérie, la Pologne et le Norvège.

Utilisé dans de nombreux domaines du Génie-Civil (ouvrages de soutènement, raidissement des pentes, remblai léger, réducteur de poussée, absorbeur d'énergies, répartiteur de contraintes, protection des pentes et des berges...), il est certain que nous n'avons pas les moyens de bâtir pour chaque application un programme de recherches détaillé avec la construction d'ouvrages expérimentaux équipés d'appareils de mesure permettant de faire des constatations et un suivi dans le temps. De telles expérimentations sont cependant nécessaires pour la compréhension du

comportement des ouvrages, pour la mise au point de leur dimensionnement et de leur mise en œuvre.

Un maître d'œuvre ou d'ouvrage ne participe aux recherches que dans la mesure où le matériau lui apporte une solution économique intéressante à ses problèmes. Ce type de recherche, fonction des possibilités financières extérieures, ne permet pas toujours d'avoir des détails sur telle ou telle partie du dimensionnement ou du comportement. Il est cependant suffisant pour vérifier la stabilité des ouvrages ainsi expérimentés.

Chaque Pneusol n'a pas le même niveau de recherche et n'aboutit pas nécessairement à un même degré de diffusion. C'est pourquoi dans la présentation des résultats, on peut trouver pour certains ouvrages des développements plus importants que d'autres.

Deuxième partie : Expérimentation

4

Chapitre IV:

Identification Des Matériaux

IV.1. Introduction

La confection du béton selon les normes appropriées nécessite la connaissance des caractéristiques des différents constituants. Ce chapitre sera consacré à l'étude et à la détermination des propriétés des constituants des bétons sur les quels porte notre étude.

La connaissance des caractéristiques physico-chimiques de chaque composant, par des analyses et essais normalisés effectués au laboratoire, nous permet de faire l'interprétation des résultats obtenus par des essais sur le mélange, ces caractéristiques sont:

La granulométrie ; le module de finesse ; l'équivalent de sable ; l'essai au bleu de méthylène ; la friabilité des sables ; l'analyse chimique ; le Micro Deval ; le coefficient d'aplatissement des gravillons ; la masse volumique (absolue, apparente) ; la dureté (Los-Angeles) ; la compacité et porosité.

IV.2. Essais d'identification des matériaux

IV.2.1. Analyse granulométrique

La granulométrie permet de classer et de définir d'après la grosseur des grains qui les composent, les différents matériaux employés dans la construction.

Pour effectuer ce classement, on se sert de tamis ou de passoirs. Par définition, un tamis comporte des mailles carrées constituées par des fils qui se croisent, et une passoire comporte des trous ronds, pratiqués dans une tôle.

A noter cependant que la tendance actuelle est d'utiliser des tamis à mailles carrées pour toutes les dimensions même les plus grandes. Ce qui évite toute ambiguïté.

Un matériau se compose donc de grains de diverses grosseurs, qu'il faut classer. Pour cela on utilise la courbe granulométrique [16].

La courbe granulométrique

En ordonnées, on porte une échelle graduée de 0 à 100 % où figurent les fractions cumulées, passant à une maille déterminée. En abscisse on porte les dimensions des tamis, l'échelle est logarithmique. On obtient ainsi une série de points que l'on relie par les segments de droites, l'ensemble ainsi obtenu s'appelle : courbe granulométrique et représente ce que la terminologie officielle appelle la granularité du agrégat.

IV.2. 2 Module de finesse

Il est noté M_f , et dans le cas des bétons hydrauliques des structures, le module de finesse est égal au centième de la somme des refus exprimés en pourcentage pondéral des tamis (0,16)-(0,315)-(0,63)-(1,25)-(2,5)-(5) mm.

IV.2.3 Equivalent de sable

L'équivalent de sable est le rapport multiplié par 100, de la hauteur de la partie sédimentée à la hauteur totale du flocculat et de la partie sédimentée.

Ces hauteurs sont déterminées dans une éprouvette où la prise d'essai a été traitée, dans des conditions définies, par une solution capable de faire flocculer les éléments fins.

L'essai permet d'avoir une idée globale de la quantité et de la qualité des éléments fins contenus dans un sable en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux et les éléments fins (argile, impuretés).

IV.2.4 Essai au bleu de méthylène

Cet essai a le même but que l'essai précédent, mais son avantage est d'être à la fois quantitatif et qualitatif.

- Quantitatif : à nature de fines donnée, plus la teneur en fines sera importante plus la valeur du bleu sera forte.
- Qualitatif : à teneur en fines donnée, plus les fines seront 'actives' plus la valeur de bleu sera également importante [13].

IV.2.5 Friabilité

Cet essai est aux sables ce qu'est l'essai micro-Deval (ci-après) pour les gravillons. Son but est de déterminer la résistance à l'attrition du sable en présence d'eau.

IV.2.6 Analyse chimique

Elle a pour but de déterminer les teneurs de matières organiques, telles que les sulfates, les sulfures et les chlorures, contenus dans les matériaux. Ces éléments peuvent perturber les résultats, au-delà des limites admissibles.

IV.2.7 Micro-Deval

Le MICRO-DEVAL a pour objet de mesurer la résistance à l'usure par frottement des matériaux.

IV.2.8 Coefficient d'aplatissement des gravillons

Le Coefficient d'aplatissement des gravillons est le pourcentage des grains tel que, si G désigne la dimension de la maille carrée minimale à travers laquelle passe l'élément et E le plus petit écartement d'un couple de plans tangents parallèles, on ait comme relation :

$$G/E > 1,58.$$

IV.2.9 Masses volumiques absolue et apparente

Elles sont exprimées en Kg/m^3 la masse volumique absolue est la masse par unité de la matière qui constitue le agrégat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

La masse volumique apparente est la masse du matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides.

Elles sont déterminées selon les méthodes classiques, respectivement masse d'un certain volume de matériau et éprouvette graduée.

IV.2.10 Essai Los-Angeles

L'essai permet d'estimer l'évolution de la granularité due à la fragmentation des éléments sous le choc de boulets : il se pratique sur 3 classes granulaires de matériaux concassés : 4/6,3 - 6,3/10 - 10/14.

IV.2.11 La compacité

On définit la compacité d'un béton comme le rapport du volume solide sur le volume total,

$$C=(MV_{\text{apparente}})/(MV_{\text{absolue}}) \quad \text{Éq. (IV.1)}$$

IV.2.12 La Porosité

La porosité est déterminée par le rapport du volume des vides renfermés dans les grains accessibles à l'eau, au volume réel de l'échantillon. Aussi c'est le complément à l'unité de la compacité

$$P=1-C \quad \text{Éq. (IV.2)}$$

IV.3. les matériaux identifiés

IV.3.1 Sable de dunes (SD)

Le sable utilisé au cours de cette expérimentation, est un sable dunaire provenant de Boussaâda, ces caractéristiques physico-chimiques sont présentées ci-dessous :

IV.3.1.1 Caractéristiques physiques

a) Analyse granulométrique

Poids total = 2000 g. L'analyse granulométrique est donnée dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1: Analyse granulométrique du sable de dunes.

Diamètre (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Tamisât (g)	Tamisât (%)
5	0	0	1995	100
2.5	0	0	1995	100
1.25	2	2	1993	99.89
0.63	17	19	1976	99.05
0.315	316	335	1660	83.21
0.16	1390	1725	270	13.53
0.08	245	1970	25	1.25
f	25	1995	0	0

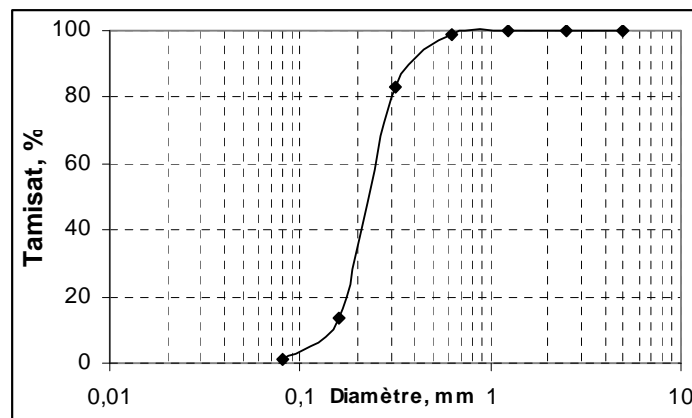


Fig IV.1: Analyse granulométrique du sable de dunes de Boussâada

b) Propriétés physiques

Les principales propriétés physiques de sable de dunes sont mentionnées dans le tableau IV.2

Tableau IV.2 : propriétés physiques du sable de dunes

Essais	résultat
Module de finesse (M_f)	1.04
Equivalent de sable (ES)	91.52 %
Valeur au bleu de méthylène (VB)	0.5 g/l
Friabilité	21 %
Masse volumique apparente	1870 g/l
Masse volumique absolue	2564.1 g/l
Compacité	72.93 %
Porosité	27.07 %

IV.3.1.2 Analyse chimique

Une analyse chimique sommaire a été faite et les différents constituants sont donnés dans le tableau IV.3.

Tableau IV.3 : Analyse chimique sommaire du sable de dunes

Eléments	Pourcentage (%)
Insolubles (silice SiO ₂ +silicates)	94.86
Oxyde de fer (FeO ₃) et oxyde d'alumine (Al ₂ O ₃)	0.81
Chlorures (Na Cl)	0.23
Sulfates (CaSO ₄ , 2 H ₂ O)	Traces
Carbonates (CaCO ₃)	4.98
Anhydride Carbonique (CO ₂)	2.28
Perte au feu à 1050 °C	2.31
Eau de constitution (H ₂ O)	0.6

❖ Vu le taux important d'insolubles (silice SiO₂+silicates=94.86%), Ce sable est de nature siliceuse.

IV.3.2 Sable naturel

Les caractéristiques physico-chimiques du sable naturel qui provenant de la rivière sont présentées dans le tableau IV.4

IV.3.2.1. Caractéristiques physiques

a)Analyse granulométrique

Poids total = 2000 g

L'analyse granulométrique est mentionnée dans le tableau IV.4.

Tableau IV.4: Analyse granulométrique du sable naturel

Diamètre (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Tamisât (g)	Tamisât (%)
5	0	0	2000	100
2.5	100	100	1900	95
1.25	629	729	1271	63.55
0.63	771	1500	500	25
0.315	366	1866	134	6.7
0.16	110	1976	24	1.2
0.08	17	1993	7	0.35
F	7	2000	0	0

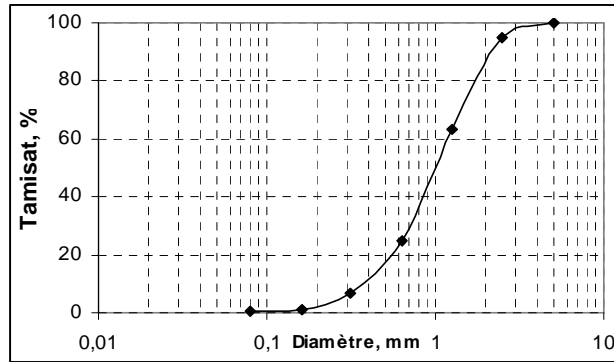


Fig IV.2: Courbe granulométrique du sable naturel

b) Propriétés physiques

De même que pour le sable de dunes, nous donnons les principales caractéristiques physiques du sable naturel dans le tableau IV.5.

Tableau IV.5 : Propriétés physiques du sable naturel

Essais	résultat
Module de finesse (M_f)	3.08
Equivalent de sable (ES)	89.49 %
Valeur au bleu de méthylène (VB)	0.63 g/l
Friabilité	39.2 %
Masse volumique apparente	1452 g/l
Masse volumique absolue	2564.1 g/l
Compacité	56.63 %
Porosité	43.37 %

IV.3.2.2 Analyse chimique

Tableau IV.6: Analyse chimique sommaire du sable naturel

Eléments	Pourcentage (%)
Insolubles (silice SiO_2 +silicates)	86.07
Oxyde de fer (FeO_3) et oxyde d'alumine (Al_2O_3)	5.38
Chlorures (Na Cl)	0.58
Sulfates ($CaSO_4, 2 H_2O$)	Traces
Carbonates ($CaCO_3$)	8.55
Anhydride Carbonique (CO_2)	3.76
Perte au feu à 1050 °C	4.43
Eau de constitution (H_2O)	0.67
BILAN CHIMIQUE PONDERAL	101.25

- ❖ Vu le taux important d'insolubles (silice SiO₂+silicates=86.07%), ce sable est de nature siliceuse.

IV.3.3 GRAVILLON

Le gravillon 3/8 provient de la carrière **JOBERT (Alger)**.

IV.3.3.1 Caractéristiques physique

a)Analyse granulométrique

Poids total = 2000 g

L'analyse granulométrique est mentionnée dans le tableau IV.7.

Tableau IV.7: Analyse granulométrique du Gravillon.

Diamètre (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Tamisât (g)	Tamisât (%)
16	0	0	1974	100
12.5	0	0	1974	100
8	18	18	1956	99.09
6.5	412	430	1544	78.22
5	632	1062	912	46.2
3.15	707	1769	205	10.38
2	165	1934	40	2.03
f	40	1974	0	0

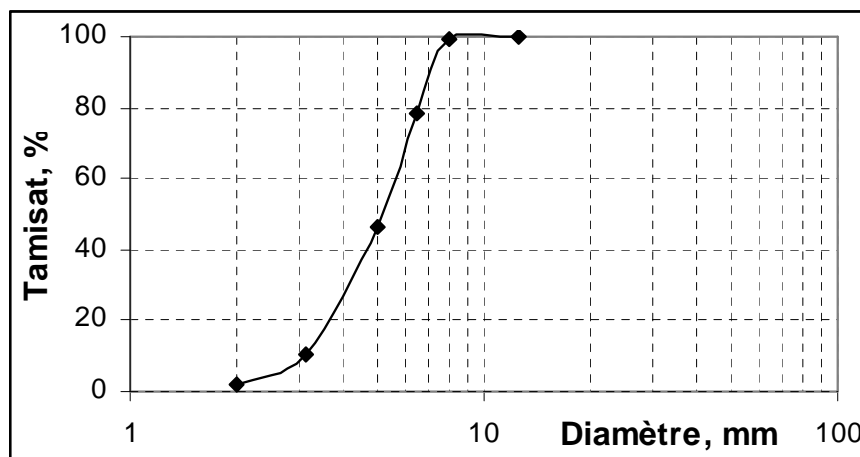


Fig IV.3: Courbe granulométrique du gravillon.

b) Propriétés physiques

Les propriétés physiques de gravillon données dans le tableau IV.8.

Tableau IV.8 : Propriétés physiques du gravillon.

Essais	résultat
Coefficient d'aplatissement	26 %
Micro-Deval	38.4 %
Los-Angeles	34.89%
Masse volumique apparente	1310 g/l
Masse volumique absolue	2500 g/l
Compacité	52.4 %
Porosité	47.6 %

IV.3.3.2 Analyse chimique

Une analyse chimique sommaire a été faite et les différents constituants sont donnés dans le tableau IV.9.

Tableau IV.9 : Analyse chimique sommaire du gravillon.

Eléments	Pourcentage (%)
Insolubles (silice SiO_2 +silicates)	8.2
Oxyde de fer (FeO_3) et oxyde d'alumine (Al_2O_3)	3.08
Chlorures (Na Cl)	0.41
Sulfates ($\text{CaSO}_4, 2 \text{H}_2\text{O}$)	traces
Carbonates (CaCO_3)	85.47
Anhydride Carbonique (CO_2)	37.61
Perte au feu à 1050 °C	41.13
Eau de constitution (H_2O)	3.52
BILAN CHIMIQUE PONDERAL	100.68

- ❖ Avec le taux important d'insolubles (Carbonates (CaCO_3)=85.47%), ce gravillon est de nature calcaire.

IV.3.4 Gravier 8/15

L'origine du gravier est la carrière de **KADDARA** semi concassé.

IV.3.4.1 Caractéristiques physiques**a)Analyse granulométrique**

Poids total = 2000 g

L'analyse granulométrique est mentionnée dans le tableau IV.10.

Tableau IV.10: Analyse granulométrique du Gravier.

Diamètre (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Tamisât (g)	Tamisât (%)
20	0	0	1998	100
16	0	0	1998	100
12.5	725	725	1273	63.71
10	765	1490	508	25.42
8	355	1845	153	7.66
6.3	130	1975	23	1.15
5	13	1988	10	0.5
f	10	1988	0	0

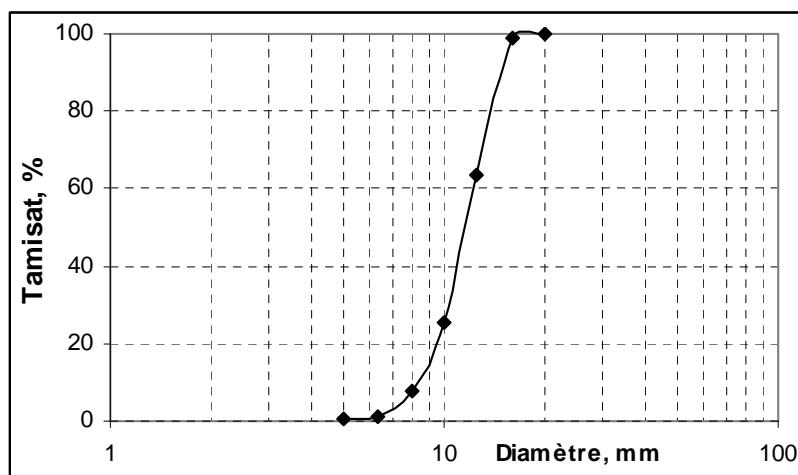


Fig IV.4: Courbe granulométrique du gravier.

b) Propriétés physiques

Les propriétés physiques de gravier sont données dans le tableau IV.11.

Tableau IV.11 : propriétés physiques du gravier.

Essais	résultat
Coefficient d'aplatissement	8.58 %
Micro-Deval	18.2 %
Los-Angeles	21.73 %
Masse volumique apparente	1416 g/l
Masse volumique absolue	2500 g/l
Compacité	56.64 %
Porosité	43.36 %

IV.3.4.2 Analyse chimique

Une analyse chimique des différents constituants cités dans le tableau IV.12.

Tableau IV.12: Analyse chimique sommaire du gravier.

Eléments	Pourcentage (%)
Insolubles (silice SiO_2 +silicates)	8.61
Oxyde de fer (FeO_3) et oxyde d'alumine (Al_2O_3)	2.98
Chlorures (Na Cl)	0.29
Sulfates ($\text{CaSO}_4, 2 \text{H}_2\text{O}$)	traces
Carbonates (CaCO_3)	89.74
Anhydride Carbonique (CO_2)	39.49
Perte au feu à 1050 °C	40.43
Eau de constitution (H_2O)	0.94
BILAN CHIMIQUE PONDERAL	102.56

- ❖ Avec le taux important d'insolubles (Carbonates (CaCO_3)=85.47%), ce gravier est de nature calcaire.

IV.3.5 La poudrette de caoutchouc

Le polymère que nous avons étudié dans ce présent travail est un déchet industriel de couleur noirâtre provenant du broyage de chutes de caoutchouc ; il présente une granularité assez fine (taille de 1.25 mm maximum et 31% < 0.08 mm). Sa pureté de l'ordre de 45 %. C'est un matériau élastique à température ambiante compatible avec le ciment et les agrégats. Elle présente une faible viscosité aux températures supérieures; sa température de fusion est de 200 à 220°C

Elle nous a été fournie par la société d'application d'élastomère (SAEL) et a été utilisée dans notre travail sous forme de poudrette comme ajout avec des pourcentages pondéraux différents dans le béton de sable de dunes et le béton ordinaire. Nous présentons son aspect dans la figure IV.5.



Fig IV.5. Déchet sous forme de poudrette.

IV.3.5.1 Caractéristiques physiques

a) Analyse granulométrique

Poids total = 500 g

Une analyse granulométrique a été effectuée et les résultats sont représentés dans le tableau IV.13

Tableau IV.13: Analyse granulométrique de la poudrette de Caoutchouc

Diamètre (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Tamisât (g)	Tamisât (%)
5	0	0	500	100
2.5	0.22	0.22	499.78	99.95
1.25	2.5	2.77	497.23	99.45
0.63	171.5	174.27	325.73	65.15
0.315	163	337.27	162.73	32.54
0.16	124	461.27	38.73	7.75
0.08	37	498.27	1.73	0.35
f	1.78	500	0	0

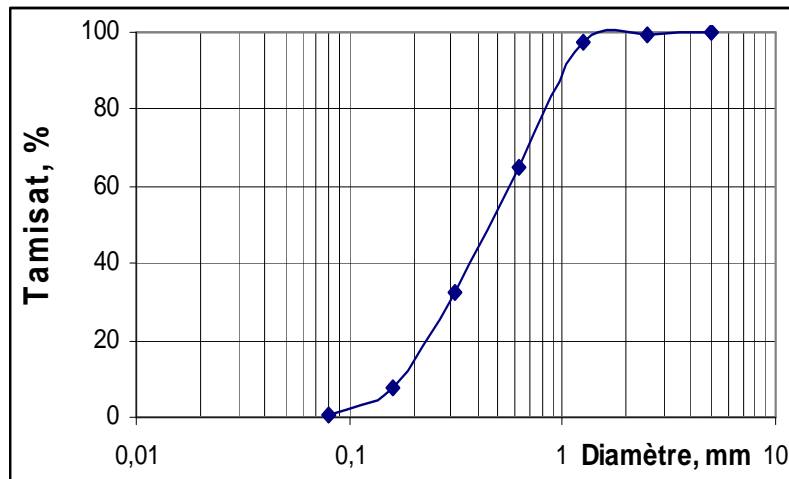


Fig IV.6. : Courbe granulométrique de la poudrette de Caoutchouc.

Analyse en Infrarouge à l'aide du spectroscope FTIR

Une analyse en infrarouge a été réalisée sur la poudre de caoutchouc. Nous avons noté quelques observations [28] :

L'aspect visuel : celui d'une poudre fine de couleur noire.

L'odeur : celle d'une matière caoutchouteuse.

Le spectre obtenu à l'Infra Rouge est représenté dans la Figure IV.7

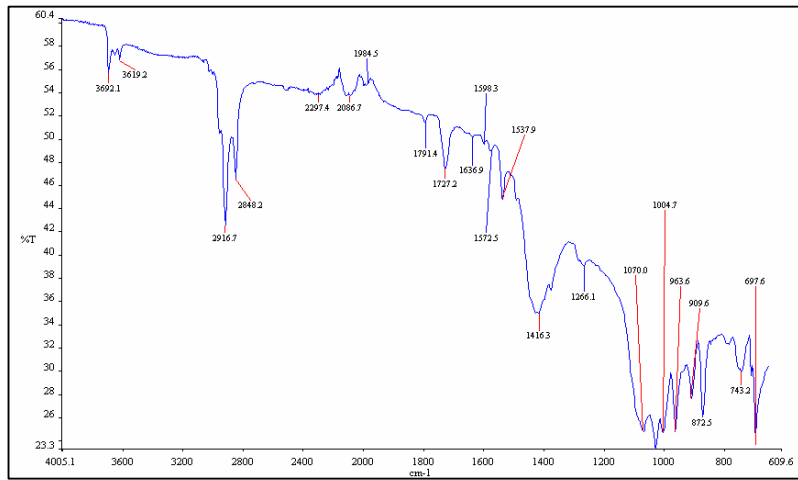


Fig IV.7. Résultats Infra Rouge de la poudre de caoutchouc [2].

Son analyse a permis de conclure que le polymère est une matière caoutchoutique de type NBR (Acrylonitrile Butadiène Rubber) et ses groupements sont apparus dans le spectre infrarouge de l'échantillon analysé.

Densité du NBR

La densité de la poudre est de 1,22 mesurée par rapport à l'éthanol dont la densité est de 0,79.

b) Propriétés physiques

Les essais suivants ont été effectués au sein du laboratoire LTPC, les propriétés physico-chimiques de la poudre de caoutchouc sont données dans le tableau IV.14.

Tableau IV.14: Propriétés physiques de la poudre de Caoutchouc

Essais	résultat
Valeur au bleu de méthylène (VB) (g/l)	0.67
Masse volumique apparente (g/l)	367
Masse volumique absolue (g/l)	533.33
Compacité (%)	68.81
Porosité (%)	31.19

IV.3.6 Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection de béton est une eau courante et potable du robinet sans traitement supplémentaire dépourvue des excès de matières nuisibles telles que les sels, les sulfates et les acides.

IV.3.7 L'adjuvant

Fourni par la société GRANITEX de Oued Smar, l'adjuvant utilisé est le Superplastifiant Medaflow SR20, un superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates qui améliorent considérablement les propriétés des bétons. Il permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable grâce à ses propriétés fluidifiantes.

La plage de dosage recommandée est de 1 à 2,5 % du poids de ciment, Voir la fiche technique, identifiant cet adjuvant, présentée dans (Annexe).

IV.3.8 Le ciment

Nous avons utilisé un seul type de ciment au cours de cette expérimentation. Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ-CEM II / A 42.5 NA 442.

Ce ciment provient de (ACC) « Algerian Cement Company », dont les caractéristiques sont présentées à l'annexe.

Chapitre V :

**Caractéristiques de B.O et B.S.D
modifiés avec poudrette de
caoutchouc**

Introduction

La plupart de ces essais sont normalisés. Les essais effectués ont été réalisés au laboratoire Construction et Environnement (LCE) de l'École Nationale Polytechnique, le Laboratoire des Travaux Publics de centre (LTPC) à Hussein Dey (Alger) et le laboratoire national de l'habitat et de la construction (LNHC) de la société de gestion des participations Etudes et engineering « GENEST » unité oued Smar.

V.1. Béton Ordinaire

V.1.1 Composition granulaire du béton

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

Il y a lieu de souligner que quelle que soit la méthode utilisée, celle-ci ne relève pas d'une science exacte et ne peut, à ce titre déterminé à elle seule les différents dosages de manière absolue ; c'est pourquoi une étude théorique ne conduit qu'à une approche du problème.

La solution définitive n'est obtenue qu'après avoir réalisé quelques essais (mesure et contrôle sur béton frais et béton durci).

Toute méthode de composition du béton doit être guidée par deux critères essentiels à savoir : **la résistance** et **l'ouvrabilité** ; or ces deux qualités sont étroitement liées l'une à l'autre mais varient en sens inverse [1].

Plusieurs méthodes de compositions des bétons ont été proposées par différents auteurs : la méthode de Bolomey, de Vallette, de Faury, de Lezy, de Dreux-Gorisse, ...

Nous avons choisi pour notre étude la méthode de composition proposée par Faury.

V.1.1.1 Méthode de Faury :

C'est une méthode essentiellement expérimentale. Elle est applicable à tous les agrégats, quelle que soit leur masse volumique, et est basée sur le principe de la granulation continue des agrégats. Elle s'inspire de la théorie de Caquot relative à la compacité d'un agrégat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen.

La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de $\sqrt[3]{d}$; c'est pourquoi Faury adoptait une échelle des abscisses graduée en $\sqrt[3]{d}$.

La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est une droite ; cependant Faury a distingué les grains fins et moyens (inférieurs à D/2), des gros grains (supérieurs à D/2) et la pente de la droite de référence n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories [1].

V.1.1.2 Tracé de la Courbe granulométrique de référence

La courbe de référence conduisant à la compacité maximale est normalement une droite mais Faury a distingué la zone des grains fins et moyens ($<D/2$) de la zone des gros grains ($>D/2$).

La courbe granulométrique de référence est composée de deux segments droits. Cette courbe représentée par trois points, un point de départ A ($X \equiv 0.0065$ à traduire en $\sqrt[5]{d}$, $Y \equiv 0$), l'abscisse du point (B) qui représente la rencontre de ces deux droites est fixée à $D/2$ son ordonnée Y est donnée par une formule tenant compte de la grosseur D du agrégat et comportant certains paramètres dont la valeur est à choisir dans des tableaux en fonction de la qualité des agrégats (roulés ou concassés), et de la puissance du serrage (simple piquage ou vibration plus au moins intense). Le point final C a pour coordonnées ($X \equiv D_{\max}$, $Y \equiv 100\%$) [1]

La valeur de Y est donnée par la formule suivante :

$$Y_{D/2} = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75} \quad \text{Éq. (V.1)}$$

A : coefficient qui se choisit dans le tableau des valeurs de A

D : dimension maximale du béton.

B : constante, traduisant l'importance du serrage du béton, Le coefficient B varie de 1 à 1,5.

- ❖ B = 1.5 pour le béton mis en place par piquage (béton mou).
- ❖ B = 1 dans tous les autres cas (béton ferme).

R : rayon moyen du moule ($R = v/s = 10$).

- **Calcul de la valeur Y :**

- **Coefficient A :**

Les agrégats sont concassés donc la valeur du paramètre A est égale à 28 pour un sable roulé et vibration moyenne avec table vibrante 50 cycles /sec (Annexe).

➤ **Résultat :**

$$Y_{D/2} = 28 + 17\sqrt[5]{15} + 1/(10/15 - 0.75) = 45.22 = 45 \quad (B = 1).$$

On peut maintenant tracer la courbe optimale. Le mélange optimum est celui dont la courbe granulométrique se rapproche le plus possible de la courbe de référence donnée par la méthode de Faury.

V.1.1.3 Détermination des pourcentages absolus des agrégats

Les pourcentages des constituants du béton (sauf l'eau) sont déterminés en volumes absolus par la détermination graphique de Joisel. On trace une verticale à l'axe des abscisses et passant par le D_{\max} du sable et le D_{\min} du gravillon 3/8 de manière à obtenir des surfaces égales de part et d'autre des extrémités des courbes granulométriques. Elle coupe la courbe de référence au point M d'ordonnée X. On trace aussi une verticale à l'axe des abscisses et passant par le D_{\max} du gravillon 3/8 et le D_{\min} du gravier 8/15 de manière à obtenir des surfaces égales de part et d'autre des extrémités des courbes granulométriques. Elle coupe la courbe de référence au point M' d'ordonnée Y :

X: pourcentage en volume absolu de sable + ciment.

(Y-X): pourcentage en volume absolu de gravillons.

Y : pourcentage en volume absolu de gravier.

Les résultats sont :

- Pourcentage de ciment +sable : 39.00%
- Pourcentage de gravillon (3/8) : 8.00%
- Pourcentage de gravier (8/15) : 53.00%

V.1.1.4 Calcul de l'indice de vides

Le volume de vides est ici représenté par la somme des volumes (e) de l'eau de prise et du volume (v) inclus dans le béton.

Ce volume que nous désignons par (I) est le complément à l'unité de la compacité P.

Ainsi, $I = e + v$ ou $I = 1 - P$

Approximativement, on considère que la quantité d'eau de gâchage est égale au volume des intervalles compris entre les grains du béton.

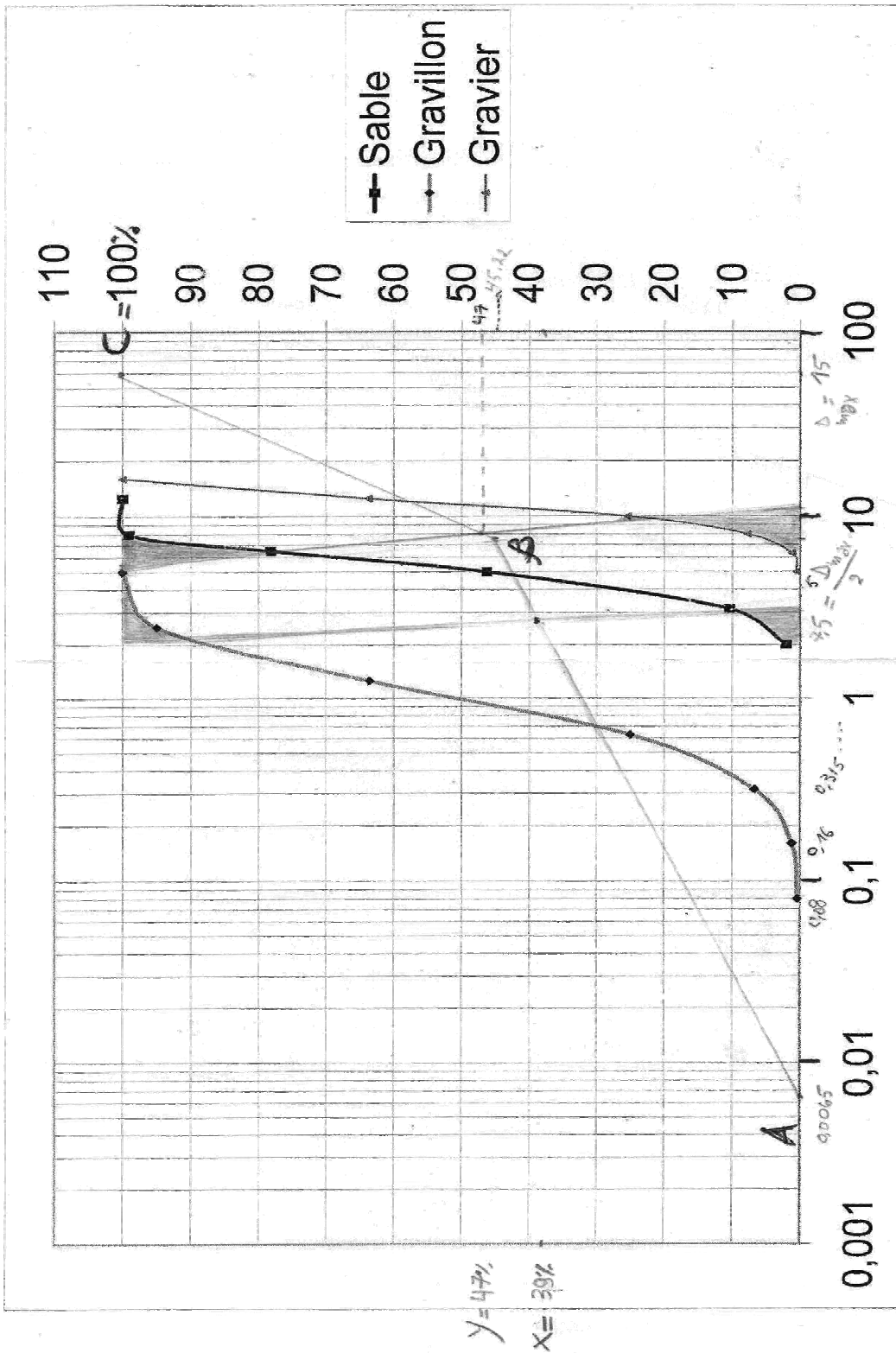
La quantité d'eau de gâchage exprimée par la valeur de l'indice de vide (I) se détermine par la formule suivante :

$$I = \frac{1000 K}{\sqrt[3]{D_{\max}}} + \frac{1000 K'}{\frac{R}{D} - 0.75} \quad (I) \quad \text{Éq. (V.2)}$$

K: fonction de la nature des agrégats et des moyens de serrage du béton $k = 0,310$ (Annexe).

K' : pour un béton plastique $K'=0.003$.

Donc la valeur de (I) est comme suit :



Granulométrie de béton ordinaire.

$$I = \frac{1000 \times 0,310}{\sqrt[3]{15}} + \frac{1000 \times 0,003}{\frac{10}{15} - 0,75} = 144,36 l \Rightarrow E/C = 246 / 350 = 0,7$$

Dans la pratique, la quantité d'eau ainsi définie est insuffisante pour une mise en œuvre; il faut rajouter de 20 à 30 % d'eau supplémentaire en fonction de l'ouvrabilité désirée.

$$E [L] = (1.2 \text{ à } 1.3) * I. \quad \text{Éq. (V.3)}$$

$$I = 144,36$$

$$E [L] = 1.25 I = 180,45 L \quad E/C = 180,45 / 350 = \mathbf{0,51}.$$

$$E [m^3] = 0,18 m^3$$

$$1-E = 0,82 m^3$$

V.1.1.5 Calcul du volume absolu des matières sèches

$$\text{Nous avons : } V_c + V_s + V_g + V_G = 1 - E \quad \text{Éq. (V.4)}$$

V_c, V_s, V_g et V_G . Dont les volumes absolus respectifs du ciment, du sable, du gravier 3/8 et du gravier 8/15.

$$V_c + V_s = \frac{x}{100} \times (1 - E) = \frac{39,0}{100} \times (1 - 0,18) = 0,32 m^3$$

$$\text{avec } V_c = \frac{C}{\rho_c} = \frac{350}{3,14} = 0,111 m^3$$

$$V_s = \frac{x}{100} \times (1 - E) - V_c = \frac{39,0}{100} \times (1 - 0,18) - 0,111 = 0,209 m^3$$

$$V_g = \frac{y-x}{100} \times (1 - E) = \frac{8}{100} \times (1 - 0,18) = 0,0656 m^3$$

$$V_G = \frac{100-y}{100} \times (1 - E) = \frac{53}{100} \times (1 - 0,18) = 0,4346 m^3$$

V.1.1.6 Détermination en poids de la composition du béton pour 1m³ de béton

$$\text{Masse de ciment : (V.A) } \times \text{ (P.S)} \Rightarrow P_c = \rho_c \times V_c = 3,14 \times 111 = 350 \text{ Kg}$$

$$\text{Masse de sable : (V.A) } \times \text{ (P.S)} \Rightarrow P_s = \rho_s \times V_s = 2,56 \times 209 = 535,04 \text{ Kg}$$

$$\text{Masse de gravillon : (V.A) } \times \text{ (P.S)} \Rightarrow P_g = \rho_g \times V_g = 2,5 \times 65,6 = 164 \text{ Kg}$$

$$\text{Masse de gravier : (V.A) } \times \text{ (P.S)} \Rightarrow P_G = \rho_G \times V_G = 2,5 \times 434,6 = 1086,5 \text{ Kg}$$

$$\text{Masse de l'eau} \Rightarrow P_{eau} = \rho_{eau} \times V_{eau} = 1 \times 180,45 = 180,45 \text{ Kg}$$

V.1.1.7 Calcul de la densité théorique

Dans la composition de référence, la densité théorique est la somme des masses de chacun des constituants correspondants à leurs volumes pour un mètre cube de béton, y compris l'eau.

La Densité théorique du béton $\rho_{th} = 2320 \text{ Kg} / m^3$.

V.1.2 Mode opératoire et malaxage

Le malaxage a une influence essentielle sur les caractéristiques du béton de telle sorte que le ciment soit bien réparti entre et autour tous les grains inertes, Il faut en outre que le ciment ne soit regroupé en grumeaux. Il se fait comme suit:

- Placer le sable, le liant (éventuellement l'ajout) et les graviers dans le malaxeur.
- Malaxer à sec pendant 3 minutes.
- Ajouter l'eau d'une façon uniforme. Continuer le malaxage durant 5 minutes.
- Remuer le béton à l'aide d'une truelle pour éviter le phénomène de ségrégation.
- Directement après malaxage, on passe aux essais sur béton frais, puis on remplit les moules à raison de deux couches, la vibration du béton a été effectuée sur une table vibrante à raison de 30 secondes la couche.
- Enfin, araser et lisser la surface du béton à l'aide d'une truelle.
- Les éprouvettes, sont ensuite laissées dans le laboratoire pendant 24 heures. près démoulage, elles sont conservées dans l'eau jusqu'au jour de l'essai.

V.1.3 Incorporation du caoutchouc

Nous préparons au départ des éprouvettes témoins à 0% de caoutchouc, puis des éprouvettes à 1, 2, 3, 4 et 5 % de poudre de caoutchouc.

On incorpore la quantité de caoutchouc dans le pourcentage de sable (pondérale).

Tableau V.1 Composition du béton ordinaire modifié avec poudre de caoutchouc pour 1 m³

Compositions	BO PC 0%	BO PC 1%	BO PC 2%	BO PC 3%	BO PC 4%	BO PC 5%
Constituants (Kg/m ³)						
Ciment	350	350	350	350	350	350
Adjuvant	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25
Sable naturel	535.04	529.69	524.34	518.98	513.64	508.29
Poudre de caoutchouc	0	5.35	10.7	16.05	21.4	26.75
Gravillon 3/8	164	164	164	164	164	164
Gravier 8/15	1086.5	1086.5	1086.5	1086.5	1086.5	1086.5
Eau	180.45	180.45	180.45	180.45	180.45	180.45

V.1.4 Eprouvettes utilisées et poids nécessaires pour chaque coulage

Dans notre étude, on a utilisé des éprouvettes prismatiques de dimensions $(7 \times 7 \times 28)$ cm³ pour l'essai de traction par flexion et des éprouvettes cubiques de 10 cm de côté pour l'essai de compression simple.

$$V_{\text{tot}} = 7(0.1^3) + 3(0.07^2 \times 0.28) = 0.011116 \text{ m}^3$$

$$1.15 V_{\text{tot}} = 0.01278 \text{ m}^3$$

Donc nous avons pour un volume de 0.01278 m³

$$P_c = 0.01278 \times 350 = 4.474 \text{ Kg}$$

$$P_s = 0.01278 \times 535.04 = 6.83 \text{ Kg}$$

$$P_g = 0.01278 \times 164 = 2.09 \text{ Kg}$$

$$P_G = 0.01278 \times 1086.5 = 13.889 \text{ Kg}$$

$$P_{\text{eau}} = 0.01278 \times 180.45 = 2.3 \text{ Kg}$$

Le nombre total d'éprouvettes de béton ordinaire pour la Première série d'essais est de 42 éprouvettes de $(10 \times 10 \times 10)$ cm³ et de 18 éprouvettes de $(7 \times 7 \times 28)$ cm³ (trois éprouvettes pour chaque valeur).

Tableau V.2: Poids nécessaires de composition du béton ordinaire modifié avec poudre de caoutchouc pour chaque coulage.

Compositions	BO PC 0%	BO PC 1%	BO PC 2%	BO PC 3%	BO PC 4%	BO PC 5%
Constituants (Kg)						
Ciment	4.474	4.474	4.474	4.474	4.474	4.474
Adjuvant	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067
Sable naturel	6.83	6.7617	6.6934	6.6251	6.5568	6.4885
Poudre de caoutchouc (g)	0	68.31	136.6	204.9	273.2	341.5
Gravillon 3/8	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09
Gravier 8/15	13.889	13.889	13.889	13.889	13.889	13.889
Eau	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3

V.1.5 Essais sur béton frais

V.1.5.1 Affaissement au cône d'Abrams

Pour chaque formulation du béton, nous avons mesuré l'affaissement du béton au cône d'Abrams. Les résultats sont représentés dans le tableau V.3 graphe V.1.

Nous remarquons que l'affaissement mesuré augmente avec l'augmentation du pourcentage de caoutchouc car le caoutchouc étant beaucoup plus gros que le sable, absorbe moins d'eau.

Tableau V.3 Mesure de l'affaissement pour chaque teneur au caoutchouc

Pourcentage de caoutchouc (%)	0	1	2	3	4	5
Quantité de caoutchouc utilisé (g)	0,00	68.31	136.6	204.9	273.2	341.5
Affaissement mesuré (cm)	5.2	5.4	6.4	7.6	7.8	8.6

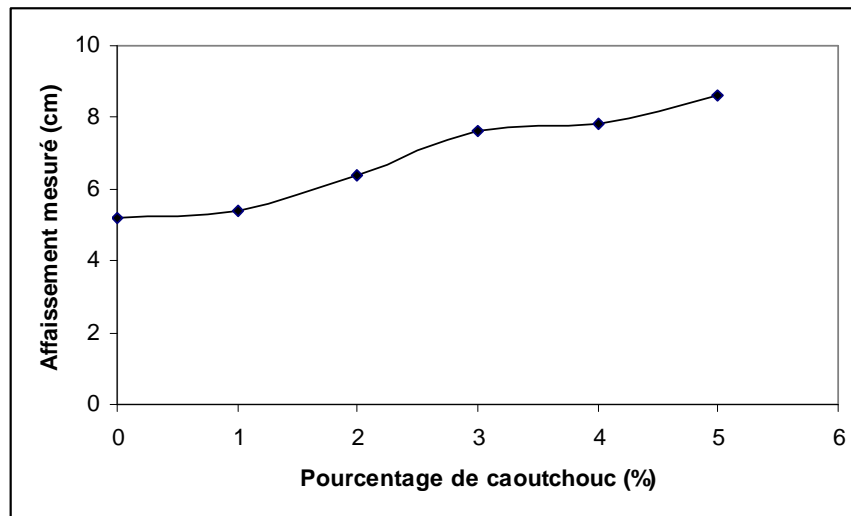


Fig V.1 : Courbe comparative des affaissements mesurés pour le béton ordinaire modifié.

V.1.5.2 La masse volumique

Le volume des éprouvettes cubiques est de $V = 10 \times 10 \times 10 = 1000 \text{ cm}^3$. Les masses volumiques du béton frais à différents pourcentages de caoutchouc sont représentées dans le tableau V.4 :

Tableau V.4 La masse volumique du béton frais

Pourcentage de caoutchouc(%)	0	1	2	3	4	5
Masse volumique (Kg/m^3)	2453	2443	2438	2432	2425	2419

La figure V.2 représente la variation de la masse volumique en fonction des pourcentages de poudre de caoutchouc introduit :

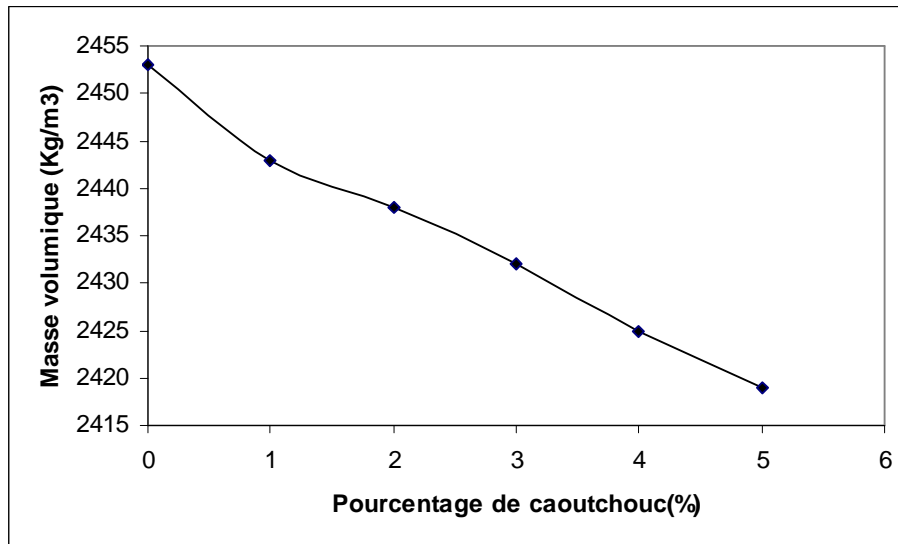


Fig V.2 : Courbe comparative de masse volumique pour le béton ordinaire modifié

La masse volumique du béton diminue avec l'augmentation du pourcentage de poudre de caoutchouc introduit. Ceci s'explique par le fait que la masse volumique du caoutchouc ($0,54 \text{ t/m}^3$) est plus faible que la masse volumique du sable ($2,56 \text{ t/m}^3$).

V.1.6 Essais sur béton durci

V.1.6.1 La résistance à la compression

Cet essai est effectué sur des éprouvettes cubiques de 10 cm de côté. Il a été réalisé à 7 jours à 28 jours et à 90 jours pour tous les pourcentages de caoutchouc introduit. L'objectif de l'essai étant de suivre l'évolution de la résistance à la compression et le comportement du béton contenant le caoutchouc en fonction de l'âge et des pourcentages de caoutchouc

Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux V.5

Tableau V.5 La résistance à la compression du béton à 7, 28 et 90 jours

Pourcentage de caoutchouc (%)	0	1	2	3	4	5	
Résistance à la compression (MPa)	7 jours	24,6	24.2	23.1	21.3	18.7	15.1
	28 jours	42.5	38.7	34.54	27	19.5	15.8
	90 jours	46.3	41.2	35.7	27.87	20.96	16.2

La résistance à la compression du béton à différents pourcentages de caoutchouc est comparée à la résistance du béton témoin (0% de caoutchouc), les résultats sont présentés dans le tableau V.6.

Tableau V.6 Pourcentage de la résistance à la compression par rapport au béton témoin.

Pourcentage de caoutchouc(%)		1	2	3	4	5
Rapport de la résistance/ témoin (%)	7 jours	98.37	93.90	86.58	76.01	61.38
	28 jours	91.06	81.27	63.53	45.88	37.18
	90 jours	88,98	77.10	60.19	45.27	34.98

La représentation graphique de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de poudrette de caoutchouc introduit à 7, 28 et 90 jours est indiquée dans la figure V.3.

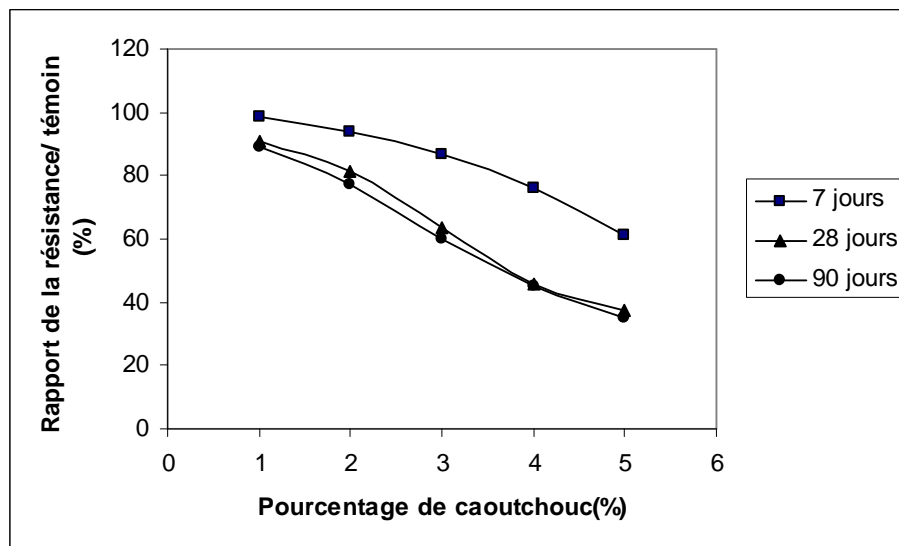


Fig V.3 : Evolution de la résistance à la compression par rapport au témoin en fonction du pourcentage de caoutchouc pour BOPC

La résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage de caoutchouc incorporé. Pour un pourcentage de 4% de caoutchouc incorporé la résistance à la compression du béton représente près de 45% de la résistance du béton témoin, ceci est dû à la mauvaise cohésion inter-granulaire favorisée par les particules de caoutchouc.

Nous pouvons admettre que le pourcentage de 3% de poudrette de caoutchouc introduit est un pourcentage intéressant vu que la résistance à la compression est égale à 63% à 28 jours et de 60% à 90 jours de celle du béton témoin.

V.1.6.2 La résistance à la traction par flexion

La résistance à la traction par flexion est mesurée sur des éprouvettes prismatiques ($7 \times 7 \times 28$) cm³. Cet essai a été réalisé à 28 jours. L'objectif de l'essai étant de suivre l'évolution de la résistance du béton à la traction par flexion en fonction des pourcentages de caoutchouc

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux V.7:

Tableau V.7 La résistance à la traction par flexion du béton à 28 jours

Pourcentage de caoutchouc (%)		0	1	2	3	4	5
Résistance à la traction par flexion (MPa)	28 jours	12.88	10.93	8.76	7.73	4.58	4.05

La résistance à la traction par flexion du béton à différents pourcentages est comparée par rapport à la résistance du béton témoin (0% de caoutchouc), les résultats sont présentés dans le tableau V.8 :

Tableau V.8 Pourcentage de la résistance à la traction par rapport au béton témoin.

Pourcentage de caoutchouc (%)		1	2	3	4	5
Résistance à la traction par flexion (MPa)	28 jours	84.86	68.01	60.01	35.56	31.44

La représentation graphique de la variation de la résistance à la traction par flexion en fonction du pourcentage de caoutchouc introduit à 28 jours est indiquée dans la Figure V.4

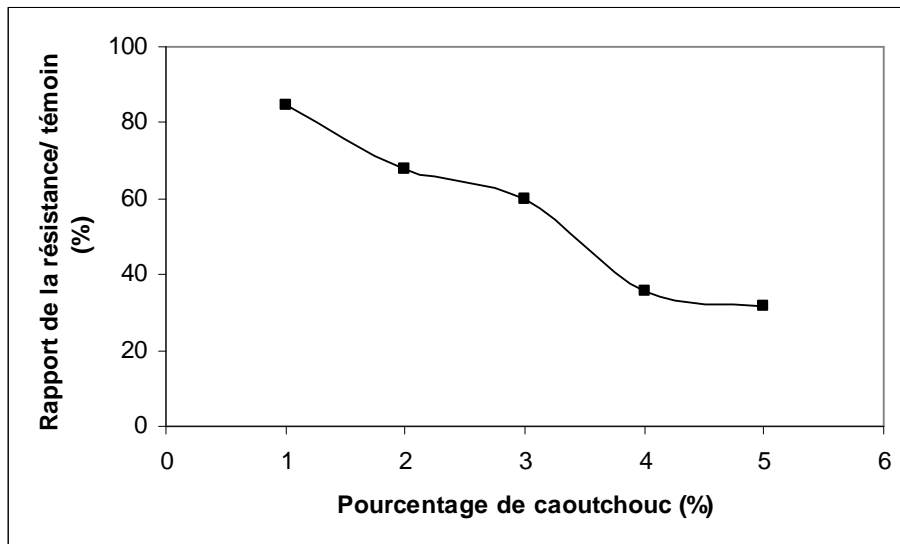


Fig V.4 : Evolution de la résistance à la traction par flexion par rapport au témoin en fonction du pourcentage de caoutchouc pour BOPC.

La résistance à la traction par flexion varie inversement proportionnel avec le pourcentage de la poudrette de caoutchouc. Pour un pourcentage de 4% de poudrette de caoutchouc, la résistance à la traction par flexion du béton a une valeur de 35% de la résistance du béton témoin. Ceci est dû au manque de cohésion inter-granulaire provoquée par les particules de caoutchouc.

Par les données obtenues dans le tableau V.8 nous pouvons admettre que le pourcentage de 3% de la poudrette de caoutchouc introduit est un pourcentage intéressant vu que la résistance à la traction par flexion atteint un taux de 60% à 28 jours de celle du béton témoin.

➤ **La compacité de béton ordinaire modifié**

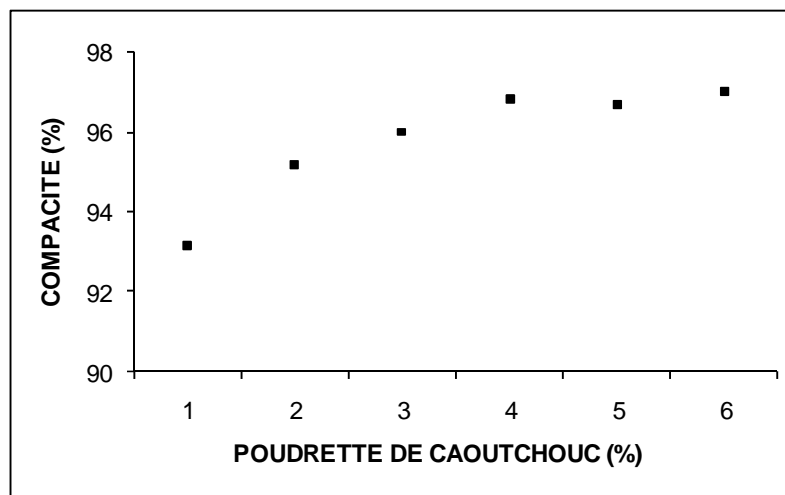


Fig V.4 Bis : Compacité en fonction de dosage de poudrette de caoutchouc (BOPC).

Interprétation des résultats :

➤ En faisant varier le pourcentage de poudrette de caoutchouc de 0 à 5% par pas de 1%, on remarque que la compacité du béton augmente entre 0 et 1% d'ajout, Les vides inter-granulaires des agrégats ont été occupés par les fillers de caoutchouc, ce qui diminue le volume des vides afin d'augmenter la compacité.

Cette augmentation de compacité est peu visible entre 1% et 5%, ceci est du à la diminution du pourcentage des vides à remplir. Donc on peut parler d'une stabilisation de la compacité au delà de 1%.

➤ La maniabilité s'améliore lorsque le dosage en poudrette augmente, ceci est justifié par la faible absorption d'eau par les particules de caoutchouc, ce qui conduit à un gain d'une quantité d'eau de gâchage pour les autres constituants de béton, sans variation de rapport (E/C) qui reste fixe

$$(E/C = 0.51).$$

Conclusion

L'analyse des résultats des essais de résistance à la compression et à la traction par flexion nous permet de conclure que la teneur de 3% en poudrette de caoutchouc introduit constitue un pourcentage intéressant. Ce taux de 3% peut être considéré comme un **taux optimal**.

V.2. Formulation des bétons de sable de dunes

Nous savons que le choix de la composition de béton est fait à partir des deux critères principaux:

- La maniabilité.
- la masse volumique (MV).

➤ Maniabilité

- Comme L'ouvrabilité est une qualité essentielle du béton, elle se définit par la facilité offerte à sa mise en place.
- L'essai a pour but de classer les bétons d'après leur aptitude à être mis en œuvre dans des conditions données.
- Pour apprécier cette caractéristique nous avons utilisé le maniabilimètre de mortier LCPC conformément à la norme NFP 18-452.
- Ce moyen de mesure est tout à fait convenable pour notre étude, puisqu'il permet de déterminer la maniabilité grâce à un appareil simple et ne nécessite pas une grande quantité de matériau (un litre par mesure).

Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer le temps d'écoulement. Ce dernier est compris entre la fin de mise en place du béton et le moment où le béton atteint un repère géométrique, sous l'action de vibrations caractéristiques, Figures V.5 et V.6.

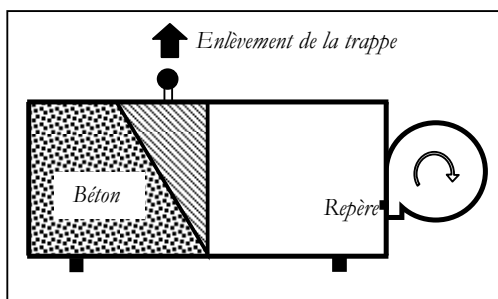


Fig V.5 : Avant l'essai

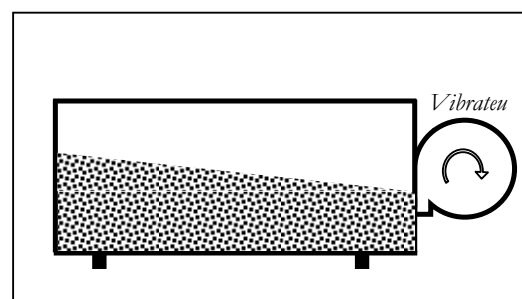


Fig V.6 : fin de l'essai

Les valeurs usuelles du temps d'écoulement sont données dans le Tableau V.9 :

Tableau V.9 Domaines de consistance du mortier

Domaine de consistance	Temps d'écoulement (secondes)
Béton très mou	$t < 10$
Béton mou	$t \approx 15$
Béton plastique	$20 < t < 30$
Béton ferme	$t > 40$

➤ **la masse volumique :**

Juste après avoir obtenu la maniabilité recherchée, on détermine la masse volumique du béton frais. On pèse une quantité de béton de sable de dunes frais occupant un volume connu; la masse volumique s'obtient par le rapport de la masse sur le volume, de la même manière que pour les autres matériaux.

V.2.1 Confection du béton de sable de dunes :

Le confectionnement comporte deux étapes principales :

V.2.1.1- Malaxage

Le malaxage a une influence essentielle sur les caractéristiques des bétons. Il est indispensable que le sable de dunes soit régulièrement dispersé et que le ciment soit bien réparti

La durée de malaxage des bétons de sable de dunes doit être **inférieure** à celle des bétons ordinaires, ceci suite à des études effectuées à ce sujet. En général, cette durée est estimée à 60 secondes dans un malaxeur en usine de fabrication des bétons de sable de dunes [12].

V.2.1.2-Serrage de béton de sable de dunes

Afin d'assurer une bonne mise en place des bétons dans les moules, on utilise le moyen le plus efficace et qui est la vibration, La vibration permet la liquéfaction du béton et son tassement d'où une augmentation de la compacité et une diminution de la teneur en air. Ce qui améliore les performances du béton: augmente les résistances mécaniques, résistances aux eaux agressives.

Les frottements internes du béton dus aux multiples contacts des grains entre eux, ainsi que les frottements du béton au coffrage et aux armatures s'annuleront momentanément lors de cette vibration, qui sera autant plus efficace que sa fréquence est élevée, cependant un excès de vibration

peut provoquer la ségrégation à cause de la différence de densités entre la pâte du ciment et les agrégats. Le serrage du béton peut être effectué par :

- L'aiguille vibrante.
- La Table vibrante.
- L'appareil à choc.

La mise en place du béton a été effectuée grâce à une vibration moyenne à l'aide d'une table vibrante pour réduire au maximum le pourcentage de vides à l'intérieur des bétons.

Remarque :

Précaution contre la dessiccation

La dessiccation est l'action d'enlever au corps l'humidité qu'il renferme. Elle s'accompagne de formation de miro-fissures qui diminuent les propriétés mécaniques du béton.

L'influence de dessiccation est autant plus élevée que les moules à remplir sont très petits, surtout si les éprouvettes sont conservées dans l'eau. Il conviendra donc d'éviter la dessiccation depuis le moment où elles seront retirées du milieu dans lequel elles ont été conservées et ceci en s'opposant au départ brut de l'eau par l'emploi d'un adjuvant.

Les éprouvettes utilisées

A fin de bien simuler le comportement de notre béton de sable de dunes, nous avons adopté au cours de cette étude les types d'éprouvettes suivantes :

Les éprouvettes prismatiques de dimensions $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$ pour toutes les compositions afin de mesurer les résistances à 7, 28 et 90 jours.

Les résistances à la compression sont obtenues par l'écrasement des cubes de dimensions $(4 \times 4 \times 4) \text{ cm}^3$ obtenus par découpage à la tronçonneuse des prismes $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$, alors que pour les résistances à la traction nous avons utilisé les éprouvettes telles qu'elles sont, et on les a écrasées selon l'essai de traction par flexion.

Les éprouvettes cubiques de dimensions $(15 \times 15 \times 15) \text{ cm}^3$ sont utilisées pour les compositions optimales. Ces éprouvettes ont été ensuite soumises à des essais d'extensométrie, permettant la détermination des déformations longitudinales et transversales ainsi que celle du module d'élasticité (module de Young) .

V.2.2. Formulation de base (100% sable de dunes)

La composition de base comporte le ciment, l'eau de gâchage, un adjuvant plastifiant et le sable de dunes. Elle sert comme témoin.

Dosage en ciment

Le ciment composé CPJ 42.5 utilisé est divisé en deux fractions pondérales;

85% du poids de CPJ est considéré comme un CPA, et 15% est considéré comme des fillers calcaires.

Cette division conduit à une majoration de la classe de ciment de 18%.

Pour obtenir un béton de sable de dunes dosé à 300 kg/m³ en ciment CPA, on doit chercher le dosage en CPJ correspondant

$$[CPA] = 0.85 \times [CPJ] \Rightarrow [CPJ] = \frac{[CPA]}{0.85} = \frac{300}{0.85}$$

$$[CPJ] = 352 \text{ kg/m}^3$$

On prend un dosage en CPJ égale à 350 kg/m³

Sachant que la masse volumique absolue de ciment est égale à 3100 kg/m³, alors son dosage volumique est égal à 113 l/m³.

$$[CPJ] = 113 \text{ l/m}^3$$

Les 15% de ciment restant sont considérés comme des fines calcaires, leur dosage est déterminé comme suit

$$[\text{Fillers calcaire}] = 0.15 \times [CPJ]$$

$$[\text{Fillers calcaire}] = 52.5 \text{ kg/m}^3$$

Dosage en adjuvant

Le dosage en adjuvant est pris égal à 1.5% (même dosage que pour le béton ordinaire) du poids du ciment pour permettre une réduction de l'eau de gâchage de 10 à 15% on prend 10%.

$$[\text{Adj}] = \frac{1.5 \times 350}{100} = 5.25 \text{ Kg/m}^3$$

$$D = 1.06 \Rightarrow MV_{adj} = 1060 \text{ Kg/m}^3$$

D'où le dosage volumique en adjuvant égal à 4.96 l/m³. [Adj]=4.96 l/m³

Dosage en eau

Le dosage en eau est fonction du dosage en ciment. L'expérience des praticiens, nous donne les valeurs suivantes :

- 250 l/m³ pour un dosage en ciment de 400 kg/m³.
- 220 l/m³ pour un dosage en ciment de 350 kg/m³ (dans notre cas).

Cette quantité doit être révisée lors de la réalisation des gâchées surtout avec l'utilisation des adjuvants réducteurs d'eau

Le dosage en adjuvant utilisé permet de réduire l'eau de 10% donc le dosage en eau est égal à 198 l/m³

$$[\text{Eau}] = 198 \text{ l/m}^3$$

Cette quantité doit être versée par étapes jusqu'à l'obtention de la maniabilité recherchée.

Dosage en air

Un béton contient toujours un volume d'air. Dans le cas des bétons de sable de dunes, la teneur en air est de l'ordre 5 à 7%. On prend une valeur moyenne de 6%

$$[\text{air}] = \frac{6 \times 1000}{100}$$

$$\text{Donc : } [\text{air}] = 60 \text{ l/m}^3$$

Dosage en sable de dunes :

Après avoir déterminé les valeurs du ciment, de l'eau, de l'adjuvant et d'air, le volume du sable de dunes s'obtient en complétant la formule d'un mètre cube

$$[\text{Ciment}] + [\text{eau}] + [\text{adj}] + [\text{air}] + [\text{sable de dunes}] = 1000 \text{ cm}^3$$

$$[\text{Sable de dunes}] = 624.04 \text{ l/m}^3$$

Sachant que la masse volumique absolue du sable de dunes est de 2564.1 kg/m³.

Le dosage massique en sable de dunes est égal à 1600.1 kg/m³

Les résultats sur le maniabilimètre LCPC de cette composition en fonction de la quantité d'eau de gâchage sont donnés dans le tableau V.10.

Tableau V.10: Maniabilité en fonction du dosage en eau.

Quantité d'eau en (l)	Maniabilité
185	1mn et 54s
198	40s

On remarque que la quantité d'eau de gâchage calculée théoriquement n'est pas suffisante pour l'obtention de la maniabilité recherchée ceci est dû à la finesse des grains du sable de dunes, et donc une quantité supplémentaire d'eau est nécessaire pour mouiller toute l'interface entre grains et faciliter ainsi l'écoulement du béton.

Pour cela on doit corriger la formulation par l'équation itérative

$$S1 = 1600.1 - (2153.35 - 2140) - 2560 \times 35.5 \times 10^{-3}$$

$$S1 = 1495.87 \text{ kg/m}^3 ; \text{maniabilité égale } 13 \text{ s.}$$

$$S2 = 1495.87 - (2049.12 - 2118) - 2560 \times 8.5 \times 10^{-3}$$

$$S2 = 1544.27 \text{ kg/m}^3 ; \text{maniabilité égale } 8 \text{ s}$$

$$S3 = 1544.27 - (2097.52 - 2095)$$

$$S3 = 1541.75 \text{ kg/m}^3 ; \text{maniabilité égale à } 8 \text{ s, [12].}$$

La formule de base étant retenue, des essais de résistance à la compression ont été effectués à 7, 28 et 90 jours, alors que pour la résistance à la traction, les essais sont effectués à 28 jours seulement.

Trois éprouvettes ont été testées à chaque essai et à chaque âge, et les résultats sont donnés dans le tableau V.11:

Tableau V.11 : Composition et caractéristiques de la formulation de base

Dosage des éléments (Kg/m ³)				Maniabilité (s)	ρ_a (Kg / m ³)	R_c (MPa)			R_t (MPa)
Ciment	Adjuvant	Eau	Sable de dunes			7j	28j	90j	
350	5.25	241.5	1541.7	8	2190	10	22.6	23.2	2.87

Où: P_a : masse volumique apparente.

R_t : Résistance à la traction R_c : Résistance à la compression.

V.2. 3. Étude de composition témoin modifiées avec la poudrette de caoutchouc

La composition témoin serait modifiée par l'ajout de différents pourcentages de la poudrette de caoutchouc variant entre 1% et 5% par pas de 1% c.à.d (1, 2, 3, 4, 5) %, elle sera considérée comme addition.

Notons : BSD PC : Béton de sable de dunes modifié à la poudrette de caoutchouc.

Pour tirer les caractéristiques principales de BSD PC nous avons utilisé pour chaque dosage 6 éprouvettes (4×4×16) cm³, pour la compression et la traction.

Le nombre total des éprouvettes pour le béton de sable de dunes a la Première série d'essais est de 36 éprouvettes de (4×4×16) cm³.

$$V_{\text{tot}} = 6 (0.04^2 \times 0.16) = 0.001536 \text{ m}^3$$

$$1.15 V_{\text{tot}} = 0.0017664 \text{ m}^3$$

Donc nous avons pour un volume de 0.0017664 m³

$$P_C = 0.0017664 \times 350 = 0.618 \text{ Kg}$$

$$P_S = 0.0017664 \times 1541.75 = 2.723 \text{ Kg}$$

$$P_{\text{adj}} = 0.0017664 \times 5.25 = 0.00927 \text{ kg}$$

$$P_{\text{eau}} = 0.0017664 \times 241.5 = 0.426 \text{ Kg}$$

Tableau V.12: Composition et caractéristiques de la formulation de base de (BSD PC) pour 1 m³.

Compositions	BSDPC1%	BSDPC2%	BSD PC 3%	BSD PC 4%	BSD PC 5%
Constituants (Kg/m³)					
Ciment	350	350	350	350	350
Adjuvant	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25
Sable de dunes	1526.3	1510.91	1495.5	1480.08	1464.66
Poudrette de caoutchouc (g)	15.41	30.82	46.25	61.66	77.07
Eau	241.5	241.5	241.5	241.5	241.5

Les compositions réalisées sont données dans les tableaux V.13 :

Tableau V.13 : Poids nécessaires de composition du béton de sable de dunes modifié avec poudre de caoutchouc pour chaque coulage (BSD PC).

Compositions	BSDPC 1%	BSDPC 2%	BSDPC 3%	BSDPC 4%	BSDPC 5%
Constituants (Kg)					
Ciment	0.618	0.618	0.618	0.618	0.618
Adjuvant	0.00927	0.00927	0.00927	0.00927	0.00927
Sable de dunes	2.695	2.668	2.641	2.614	2.587
Poudre de caoutchouc (g)	27.23	54.46	81.69	108.92	136.15
Eau	0.426	0.426	0.426	0.426	0.426

Les résultats des essais sur ces compositions sont donnés dans les tableaux V.14

Tableau V.14 : Caractéristiques des compositions BSDPC

Caractéristiques	ρ (Kg/m ³)	Maniabilité(s)	R _c (MPa)			R _t (MPa)
			7j	28j	90j	28j
Compositions						
BSDPC 1%	1415	7.5	8.6	16	16.5	1.83
BSDPC 2%	1340	7	6.9	13.2	13.71	1.7
BSDPC 3%	1280	6	5.29	11.3	10.3	1.57
BSDPC 4%	1205	5.5	4.15	9.12	7.15	1.25
BSDPC 5%	1180	5	4.06	8.7	7.05	1.13

Tableau V.15 : Variation de La masse volumique en fonction de pourcentage de poudre de caoutchouc (%).

Compositions	BSD PC 1%	BSD PC 2%	BSD PC 3%	BSD PC 4%	BSD PC 5%
(Kg/m ³) ρ_{th}	1415	1340	1280	1205	1180

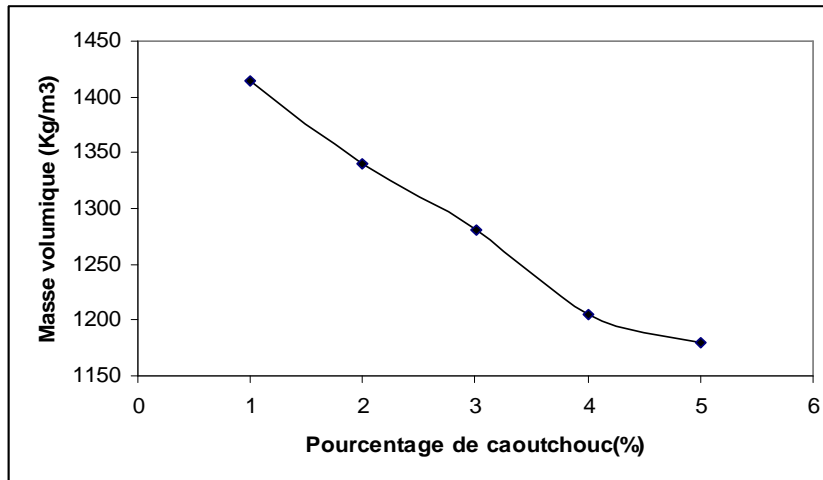


Fig V.7: Courbe comparative de la masse volumique de BSDPC.

La masse volumique diminue avec l'augmentation du pourcentage de la poudrette de caoutchouc. Elle est diminuée à cause de la légèreté de la poudrette de caoutchouc.

Le béton de sable de dunes et grâce à sa petite granularité est plus léger que les bétons traditionnels. L'ajout de la poudrette de caoutchouc allège davantage les bétons de sable de dunes. Plus la proportion de la poudrette de caoutchouc augmente, plus la masse volumique du composite diminue. Ceci est normal du fait qu'on a introduit des grains de caoutchouc de structure poreuse dans une matrice cimentaire plus dense et plus lourde. De plus, nous pouvons aussi remarquer que cette diminution est presque linéaire.

Tableau V.16: Comparaison des Maniabilités (s)

Compositions	BSD 0 %	BSDPC 1%	BSDPC 2%	BSDPC 3%	BSDPC 4%	BSDPC 5%
Maniabilité (s)	8	7.5	7	6	5.5	5

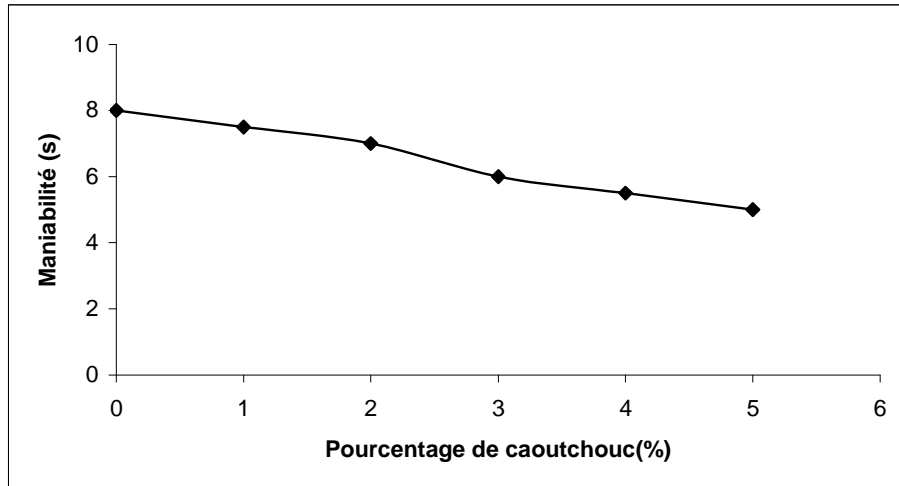


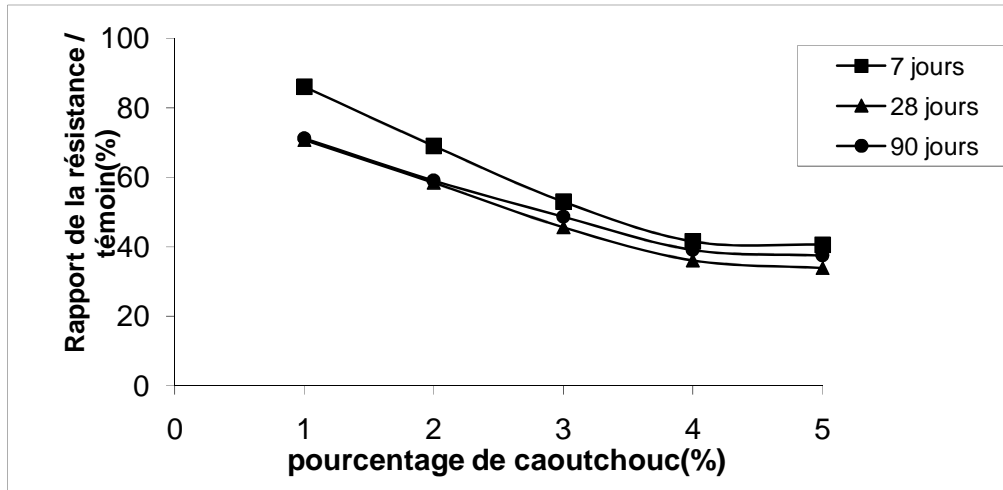
Fig V.8: Maniabilité de BSDPC en fonction du pourcentage de caoutchouc

Tableau V.17 : La résistance à la compression du béton de sable de dunes à 7, 28 et 90 jours

Compositions	BSD 0 %	BSD PC 1%	BSD PC 2%	BSD PC 3%	BSD PC 4%	BSD PC 5%
R_c (MPa)						
7 jours	10	8.6	6.9	5.29	4.15	4.06
28 jours	22.6	16	13.2	10.29	8.15	7.65
90 jours	23.2	16.5	13.71	11.3	9.12	8.7

Tableau V.18 Pourcentage de la résistance à la compression par rapport
Au béton témoin pour BSDPC.

Pourcentage de caoutchouc (%)	BSD PC 1%	BSD PC 2%	BSD PC 3%	BSD PC 4%	BS DPC 5%
Rapport de la résistance/ témoin (%)					
7 jours	86	69	52.9	41.5	40.6
28 jours	70.8	58.4	45.53	36.06	33.85
90 jours	71.12	59.1	48.7	39.1	37.5



FigV.9: Evolution de la résistance à la compression par rapport au témoin en fonction du pourcentage de caoutchouc pour BSDPC.

La résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage de caoutchouc incorporé. Pour un pourcentage de 4% de caoutchouc incorporé la résistance à la compression du béton représente près de 36% de la résistance du béton témoin. De la même façon que le béton ordinaire ceci est dû à la mauvaise cohésion inter-granulaire favorisée par les particules de caoutchouc.

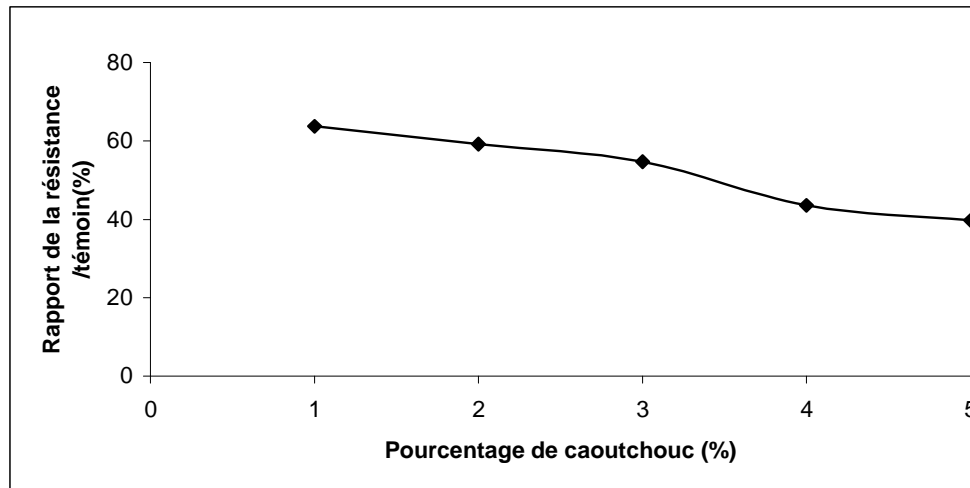
Nous pouvons admettre que le pourcentage de 3% de poudrette de caoutchouc introduit est un pourcentage intéressant vu que la résistance à la compression est égale à 45% à 28 jours et de 48% à 90 jours de celle du béton témoin.

Tableau V.19 : La résistance à la traction par flexion du béton de sable de dunes modifié

Compositions	BSDPC 1%	BSD PC 2%	BSD PC 3%	BSD PC 4%	BSD PC 5%
R_t 28 j (MPa)	1.83	1.7	1.57	1.25	1.13

Tableau V.20 : Pourcentage de la résistance à la traction par flexion par rapport Au béton témoin pour BSDPC.

Pourcentage de caoutchouc (%)	1	2	3	4	5
Rapport de la résistance/ témoin (%)					
28 jours	63.76	59.23	54.7	43.55	39.73



FigV.10: Evolution de la résistance à la traction par flexion par rapport au témoin en Fonction du pourcentage de caoutchouc pour BSDPC.

La résistance à la traction par flexion diminue avec l'augmentation du pourcentage de la poudrette de caoutchouc. Pour un pourcentage de 4% de la poudrette de caoutchouc la résistance à la traction par flexion du béton a une valeur de 43% de la résistance du béton témoin. De la même façon que le béton ordinaire ceci est dû à la mauvaise cohésion inter-granulaire favorisée par les particules de caoutchouc.

Par les données obtenues dans le tableau V.20 nous pouvons admettre que le pourcentage de 3% de la poudrette de caoutchouc introduit est un pourcentage intéressant vu que la résistance à la traction par flexion atteint un taux de 54 % à 28 jours de celle du béton témoin.

➤ **La compacité de béton de sable de dunes modifié**

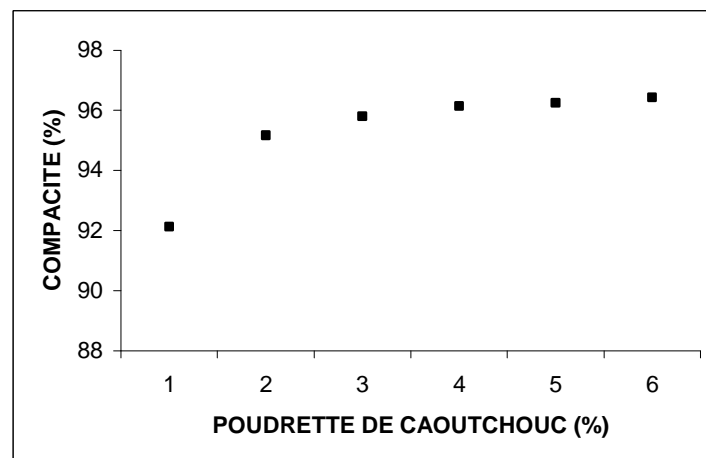


Fig V.10 Bis : Compacité en fonction de dosage de poudrette de caoutchouc (BSD PC).

Interprétation des résultats :

➤ En faisant varier le pourcentage de poudrette de caoutchouc de 0 à 5% par pas de 1%, on remarque que la compacité du béton augmente entre 0 et 1% d'ajout. Les vides inter-granulaires de sable de dunes ont été occupés par les fillers de caoutchouc, ce qui diminue le volume des vides afin d'augmenter la compacité.

Cette augmentation de compacité est peu visible entre 1% et 4%, ceci est dû à la diminution du pourcentage des vides à remplir. Donc on peut parler d'une stabilisation de la compacité au delà de 1%.

➤ La maniabilité s'améliore lorsque le dosage en poudrette augmente, ceci est justifié par la faible absorption d'eau par les particules de caoutchouc, ce qui conduit à un gain d'une quantité d'eau pour les autres constituants de béton, sans variation de rapport (E/C) qui reste fixe (E/C = 0.69).

Conclusion

Comme le béton ordinaire, l'analyse des résultats des essais de résistance à la compression et à la traction par flexion pour le béton de sable de dunes nous pouvons conclure que le taux de 3% de la poudrette de caoutchouc introduit constitue un pourcentage intéressant. C'est donc **l'optimal**.

6

Chapitre VI :

**Comportement de B.O et de
B.S.D modifiés avec poudre de
caoutchouc**

VI.1. Introduction

Dans notre étude les déformations des éprouvettes des deux bétons (ordinaire et de sable de dunes) ont été mesurées :

Une variation de longueur en fonction du chargement a été déterminée (loi de comportement contrainte-déformation classique) ;

A cet égard on s'intéresse à la détermination des principaux paramètres rhéologiques à savoir module d'élasticité et coefficient de poisson par la détermination de la loi contrainte-déformation longitudinale et transversale.

VI.2. Comportement du béton en compression

VI.2.1. Module d'élasticité en compression

Il existe des relations plus ou moins empiriques entre le module de Young et la résistance à la compression. La mesure demeure cependant nécessaire dans bien des cas, surtout depuis l'avènement des bétons légers.

Comme cette mesure s'accompagne presque toujours de la détermination d'une courbe contrainte-déformation jusqu'à la rupture, il est donc possible de connaître également la déformation relative du béton pour une contrainte quelconque située au-delà de la phase élastique jusqu'à la contrainte de rupture.

Pour un même béton, le module d'élasticité varie de quelques pourcents avec la vitesse de montée de charge. Le module croît suivant une loi logarithmique avec le temps de durcissement, il varie également avec la composition du béton.

On définit parfois des modules sécants : pentes des droites joignant l'origine à un point donné de la courbe contrainte-déformation.

VI.2.2. Coefficient de poisson

Le rapport de la déformation transversale à la déformation longitudinale, sous une même contrainte de compression, donne la valeur du coefficient de poisson.

La valeur du coefficient de poisson aux faibles charges décroît avec l'âge du béton, jusqu'à des valeurs de 0,20 à 0,15.

La mesure des déformations transversales se réalise assez bien à l'aide de deux jauges à fil résistant collées en vis à vis et perpendiculairement à l'axe de l'éprouvette.

VI.2.3.Relation module d'élasticité-résistance caractéristique du béton

Les différentes règles proposent une relation en puissance 1/3 de la résistance à la rupture. Les règles BAEL 91 s'appliquent aux bétons de sable de dunes lorsque le dosage en CPA est supérieur à 300 kg/m³. Les bétons de sable de dunes sont plus déformables que les bétons classiques, le module de déformation instantanée peut être évalué au moyen de la formule :

$$E_{ij} = 8100 \times f_{cj}^{1/3} \text{ (en MPa) pour le béton de sable de dunes} \quad \text{Éq. (VI.1)}$$

$$E_{ij} = 11000 \times f_{cj}^{1/3} \text{ pour un béton classique, où « j » représente l'âge du béton.} \quad \text{Éq. (VI.2)}$$

On déduit alors le module différé donné par la formule:

$$E_{vj} = 1/3 \times E_{ij} = 2700 \times f_{cj}^{1/3} \text{ (en MPa)} \quad \text{Éq. (VI.3)}$$

Nous avons mesuré les déformations relatives sous charge, afin d'apprécier la loi de comportement (contrainte-déformation).

Pour cela nous avons utilisé des éprouvettes cubiques (15*15*15) cm³ équipées de jauges à fil électrique permettant la mesure de la déformation dans les deux sens (longitudinal et transversal). L'essai consiste à placer une éprouvette entre les deux plateaux de la presse et une charge croissante par palier de 20 KN est alors appliquée avec une vitesse moyenne de 15 kN/s. Pour chaque incrément de charge, on note à la fois la charge appliquée et les déformations longitudinale et transversale.

Pour mieux caractériser et donner une idée sur le comportement du béton de sable de dunes et le béton ordinaire modifiés à la poudrette de caoutchouc, on a effectué un essai sur les compositions optimales à savoir: **(BSD PC 3%)** et **(BO PC 3%)**.

VI.3.Etude de la variation Contrainte - Déformation

Pendant l'écrasement des éprouvettes, on mesure les déformations longitudinales et transversales de celles-ci en fonction de la contrainte appliquée jusqu'à la rupture. Pour cela, on utilise des jauges, des produits de nettoyage et colle (photo VI.1), un appareil qui teste la soudure et deux appareils assemblés tels que l'un des deux affiche le pourcentage de déformation de l'éprouvette étudiée (photo VI.2).



Fig VI.1 : Produits de nettoyage

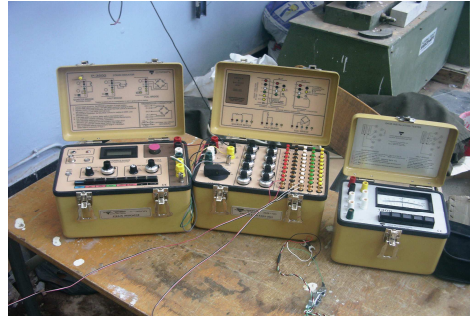


Fig VI.2: Pont d'extensométrie

L'exécution de l'essai s'effectue comme suit :

- On prépare l'éprouvette après surfaçage.
- Avec un papier de verre, on frotte sur les surfaces où on va placer les jauges, pour avoir des surfaces lisses.
- On nettoie ces surfaces de la poussière avec un dégraissant.
- On met deux produits successivement (un conditionneur, puis un neutraliseur).
- On met la jauge sur un papier blanc, puis on met du papier adhésif (scotch) de façon à avoir la jauge droite et on enlève le papier blanc.
- On met de la colle dans les surfaces préparées avant, pour pouvoir fixer les jauges et transmettre les déformations.
- On place les jauges (l'une longitudinalement et l'autre transversalement) pour chaque éprouvette.
- On enlève le scotch surtout pour la partie des fils sortant des jauges.
- On soude les deux sorties de la jauge à un fil (qui assure la transmission à l'appareil « Pont d'extensomètre ») de 3 sorties. L'une au rouge et l'autre aux deux restants (le noir et le blanc assemblés).
- On teste la qualité du soudage.
- Les autres sorties du fil vont se brancher à l'appareil « Pont d'extensomètre » de la façon suivante : Le rouge avec le rouge, le blanc avec le blanc et le noir avec le jaune.
- On place l'éprouvette dans la presse (photo VI.3), après mise en marche en contrôlant pour quelques valeurs de charges, on note à chaque valeur de charge, les valeurs de déformations correspondantes (longitudinale et transversale) affichées sur l'appareil « Pont d'extensomètre ».

VI.3.1. Courbes Contraintes déformations

Les courbes obtenues pour un béton de sable de dunes et un béton ordinaire modifiés à la poudrette de caoutchouc sont donnés dans les figures ci dessous.

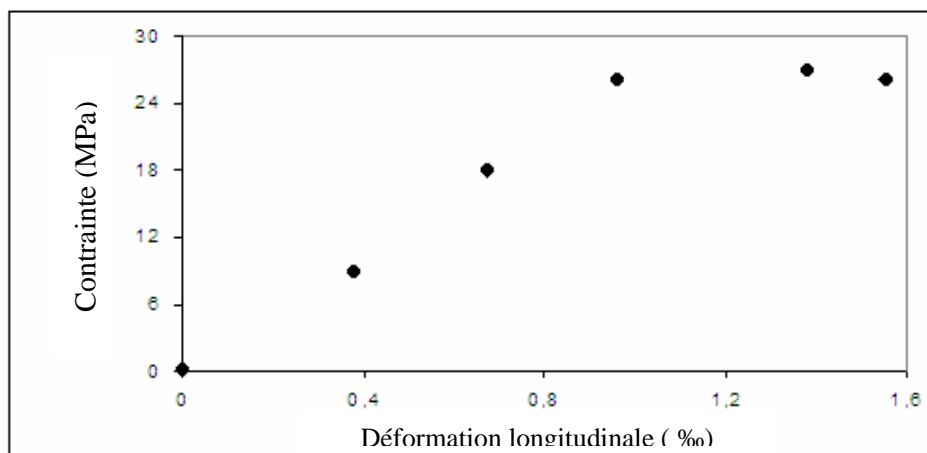


Fig VI.3: Courbe contrainte-déformation du Béton Ordinaire modifié avec PC

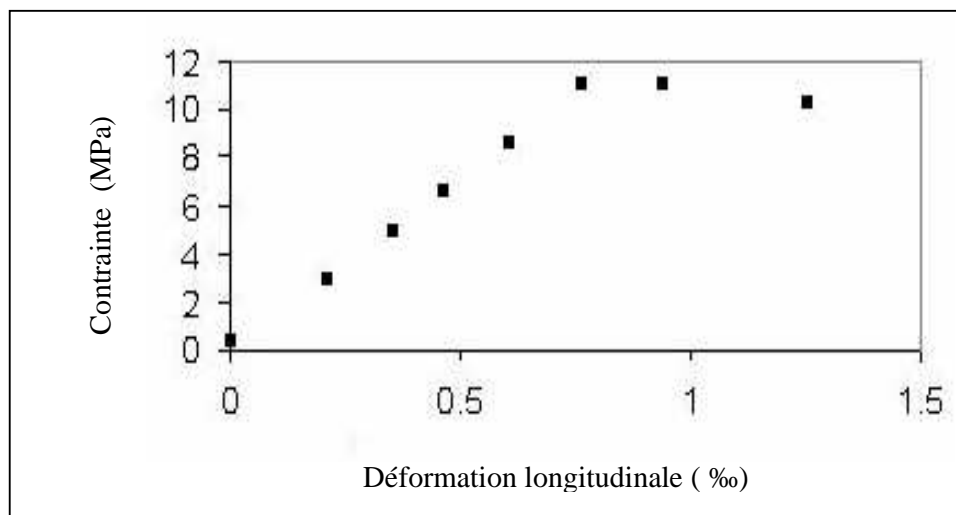


Fig. VI.4: Courbe contrainte-déformation du Béton de sable de dunes modifié avec PC

VI.3.2. Interprétation

La courbe contraintes-déformation longitudinale n'est pas linéaire, elle comporte trois (03) phases (pour les deux bétons) :

- **1ère phase** : Un comportement élastique quasi-linéaire du béton. Pour le béton de sable de dunes modifié, cette phase s'étend jusqu'à une déformation élastique $\epsilon_{el}=0,42 \%$ qui correspond à $\sigma = 5 \text{ MPa}$ (55% de la contrainte uni-axiale) alors que pour le béton ordinaire modifié elle ne dépasse pas une déformation $\epsilon_{el}=0,38 \%$. La

penne à l'origine de cette courbe (droite) est le module de déformation longitudinale à l'origine. (Loi de HOOKE $\sigma = E \times \varepsilon$)

Éq. (VI.4)

$$E_{b0} = \text{tg}\alpha_0 = \text{Cste.}$$

- **2ème phase :** Cette phase est caractérisée par une allure parabolique sur la courbe contraintes-déformation longitudinale jusqu'à un seuil correspondant à la contrainte maximale de chaque échantillon. Le béton a un comportement plastique où on observe le développement de la microfissuration jusqu'à la rupture, dans ce cas on définit le module d'élasticité sécant ; pentes des droites joignant l'origine à un point donné de l'allure parabolique.
- **3ème phase :** Caractérisée par une fissuration généralisée, propagation de la rupture et développement des surfaces de fractures. La déformation augmente en même temps que la contrainte de rupture diminue. On observe ce phénomène sur la courbe contraintes-déformation longitudinale des deux échantillons pour le béton ordinaire et le béton de sable de dunes modifiés, par une branche descendante. La pente descendante de cette branche montre le caractère fragile plus ou moins accentué du béton. Le béton de sable de dunes modifié est moins fragile puisque cette pente est quasi-horizontale alors qu'elle est quasi-verticale pour le béton ordinaire ce qui traduit sa fragilité.

VI.3.3. Valeurs des modules d'élasticité tangents à l'origine

Le module de déformation longitudinale à l'origine est donné par la tangente de la courbe contrainte déformation longitudinale, Ce module présente une grande utilité, On peut déterminer un module tangent en tout point de la courbe contrainte-déformation, mais ce module ne s'applique qu'à de très petites variations de la charge aux alentours du point considéré.

Pour un intérêt pratique, on détermine le module d'élasticité sécant. On peut se contenter de la courbe contrainte-déformation longitudinale puisqu'on n'a pas besoin de la branche descendante de cette courbe, le module d'élasticité tangent à l'origine :

- ♦ Pour le béton ordinaire modifié BO DPC 3% : $E = 23342\text{MPa}$.
- ♦ Pour le béton de sable de dunes modifié BSD DPC 3%: $E = 12748\text{MPa}$.

La valeur du module d'élasticité du béton de sable de dunes est faible par rapport à celle du béton ordinaire (Celui-ci présente un module d'élasticité intéressant de l'ordre de 20 000 MPa).

Un béton de sable de dunes ayant une résistance à la compression entre 24 et 30 MPa a également un module d'élasticité égal à 20 000 MPa à 28 jours [12] alors que pour des bétons classiques ce module varie de 20 à 50 GPa (selon la composition du béton).

En augmentant le diamètre des plus gros grains on obtient une amélioration du module d'élasticité.

Sur la base des mesures faites, on remarque bien que le module élastique du béton de sable de dunes est de l'ordre de 54% par rapport à celui du béton ordinaire.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude a mis en évidence la possibilité de valorisation du sable de dunes qui représente 70% des matériaux locaux du Sud Algérien et d'un déchet résultant de pneus usagés présents en grandes quantités non valorisables. Nous avons résolu ainsi un double problème environnemental (diminuer les zones de stockage et éviter ainsi la contamination du milieu), économique et technique rencontré dans le domaine de la construction.

Nous nous sommes intéressés à l'incorporation d'un élastomère acrylonitrile butadiène (NBR) sous forme de poudrette de caoutchouc dans un béton ordinaire et dans un béton de sable de dunes, non pas par souci d'amélioration des performances mécaniques mais afin de comparer leurs caractéristiques et leur comportement. Ce polymère qui n'est pas biodégradable, est un déchet industriel. Il nous a été proposé par la société algérienne d'élastomère (SAEL) afin de trouver une éventuelle utilisation dans les constructions.

L'étude expérimentale sur les compositions testées a permis de montrer que l'ajout avec des pourcentages faibles au béton de sable et au béton ordinaire, est déconseillé lorsque le but principal est la résistance.

En effet ; si l'ajout d'additifs bien choisis permet le plus souvent d'améliorer les caractéristiques et les propriétés des mélanges, et si l'amélioration croît en général avec le degré de modification, l'excès peut parfois conduire à l'inverse.

- Le pourcentage optimal de l'incorporation de la poudrette de caoutchouc est de 3 % pour les deux bétons.
- Le béton de sable et grâce à sa petite granularité est plus léger que les bétons traditionnels. L'ajout de la poudrette de caoutchouc allège d'avantage les bétons de sable. Plus la proportion de la poudrette de caoutchouc augmente, plus la masse volumique du composite diminue. Ceci est normal du fait qu'on a introduit des grains de caoutchouc de structure poreuse dans une matrice cimentaire plus dense et plus lourde. De plus, nous pouvons aussi remarquer que cette diminution est presque linéaire.
- La maniabilité s'améliore lorsque le dosage en poudrette augmente, ceci est justifié par la faible absorption d'eau par les particules de caoutchouc, ce qui conduit à un gain d'une quantité d'eau de gâchage pour les autres constituants de béton, sans variation de rapport (E/C) qui reste fixe pour les deux bétons.
- La résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage de caoutchouc incorporé. Pour un pourcentage de 4% de caoutchouc incorporé la résistance à la compression du béton ordinaire représente près de 45% de la résistance du béton témoin ;

par contre pour le béton de sable elle représente 36% de celle du béton témoin. Ceci est dû à la mauvaise cohésion inter –granulaire favorisée par les particules de caoutchouc.

- Sur la base des mesures faites, on remarque que le module d'élasticité du béton de sable est de l'ordre de 54% par rapport à celui du béton ordinaire.
- Les caractéristiques mécaniques et rhéologiques du béton de sable modifié comparativement à celles du béton ordinaire modifié à la même poudrette ne permettent pas leur utilisation dans les éléments structuraux. Cependant on pourrait les utiliser comme matériau pour enfouissement de produits faiblement radioactifs ; pour les bordures de trottoirs, les éléments décoratifs, ainsi que dans la séparation de voies pour les autoroutes. ...

Recommandations et perspectives :

Afin d'améliorer les performances mécaniques, le paramètre adjuvant devrait être pris en considération : variation du dosage et /ou de l'adjuvant lui-même, de même que la granulométrie du caoutchouc.

Des essais complémentaires de comportement à long terme doivent être faits afin de mieux maîtriser ce matériau (possibilité de relargage).

Une méthodologie de caractérisation du déchet par rapport à une utilisation donnée devrait se faire en collaboration entre le ministère de l'environnement et celui de l'équipement et de l'habitat.

En effet, La réglementation s'intéresse principalement aux caractéristiques mécaniques des déchets susceptibles d'être utilisés, plus qu'à leur impact sur l'environnement.

Pour une bonne utilisation des déchets industriels, il faudrait commencer par évaluer les risques (manque d'essais environnementaux) ; le problème majeur est l'absence de seuils réglementaires pour l'utilisation de ces déchets.



Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

[1]. DREUX G. et FESTA J.: « Nouveau guide du Béton et de ses constituants », Eyrolles Huitième édition, Paris 1998.

[2]. KETTAB .R :«valorisation du sable de dune», thèse de doctorat ENP 2007.

[3] BENOUMECHIARA N. « Elaboration et caractérisation d'un matériau à partir d'un déchet industriel », Thèse de Magister, ENP 2002.

[4] NORME FRANÇAISE : « Béton – essais d'affaissement », AFNOR, Paris 1981.

[5] NORME FRANÇAISE : « Béton – essais de compression », AFNOR, Paris 1981.

[6] NORME FRANÇAISE : « Béton – essais de flexion », AFNOR, Paris 1981.

[7] KOLLER E. « traitement des pollutions industrielles », Ed, Dunod, avril 2004.

[8] BADERINA .M :«caractérisation mécanique et physique des béton de sable a base de déchets de bois », thèse de doctorat, ENP 2007.

[9] BENAÏSSA, A. (nov. 1992) : «Déformations différées d'un béton de sable» – Thèse de doctorat, Université de bordeaux; Laboratoire régional des ponts et chaussées.

[10] HAMADACHE.K, «béton de sable modifié a la poudrette de caoutchouc » P.F.E., ENP, Alger—Algérie, juin 2005.

[11] MICHEL M. : « Valorisations des déchets et des sous-produits industriels », Ed, Massion, Paris (1981).

[12] SABLOCRETE, (1994), Béton de sable, Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, France.

[13] GHRIEB.A, «étude d'un béton de sable de dune pour pistes aéronautiques», thèse de magister, ENP 2003.

[14] GUENNOUN R., «Etude et formulation d'un béton de sable de dune», P.F.E., ENP, Alger—Algérie juin 2003.

[15] CHAUVIN jj 1991, «le béton de sable en union soviétique, bulletin de liaison du laboratoire des ponts et chaussées N°174 juillet août».

- [16] BENAÏSSA, A... (JUN. 1992) : «Cinétique De Dessiccation Et Retrait Du Béton De Sable» Annales De L'institut Technique Du Bâtiment Et Des Travaux Publics.
- [17] LVOVICHE M. 1991- « utilisation des bétons de sable à Moscou, recueil des communications du séminaire Franco soviétique sur les bétons de sable », bordeaux le 6 et 7 novembre [1991].
- [18] NGUYEN THANH LONG, (1993), «Le Pneusol : Recherches – Réalisations – Perspectives», Thèse de doctorat, INSA de Lyon, France.
- [19] POULENC R. « Manuel à l'usage des industriels », Ed, AFNOR, ouvrage collectif rédigé sous la direction de Serge Lamert, juin (1995).
- [20] BARAKA. A support du cours béton armé I (2005-2006) centre universitaire de Béchar.
- [21] BENAÏSSA, A MORLIER .P, VIGUIER .C:« Microstructure Du Béton De Sable» Article de Cement And Concrete Research (OCT. 1992).
- [22] MITICHE – KETTAB. R, BALI. A, «Valorisation des déchets de pneumatiques et de caoutchouc dans les travaux publics», 2008 Tunisie.
- [23] Bulletin de liaison des laboratoires routières des ponts et chaussées (1964). Journées d'étude des bitumes caoutchouc. Numéro spécial D 28-29 Mai 1964 Paris.
- [24] KETTAB, R., BALI, A. (2001), « Béton bitumineux modifié à la poudre de caoutchouc. Proceeding. IIIème Congrès Algérien de la route»,
- [25] KETTAB, R., BALI, A., FLEUREAU, J.M. (2004). « Modified bituminous concrete ». International Conference Sustainable Waste Management and Recycling Challenge and Opportunities du 14 au 15 September 2004; Londres.
- [26] KETTAB, R., BALI, A. ALLICHE (2007). « Rubber modified sand concrete for waste management»; International Journal of Nuclear Energy Science and Technology (IJNEST), Volume 3 N°1 pp 63-75.
Revue générale des routes et aéroports. (1998). Utilisation du caoutchouc recycle dans les revêtements routiers; N°763; Juin 1998.
- [27] GUETTALA A, MEZGHICHE B, CHEBILI, « Valorisation D'un Déchet Industriel pour La Confection D'un Béton De Sable», Séminaire International de Géomatériaux M'sila Algérie Mars 2003.
- [28] HADDADI. S, « Influence de la poudre de caoutchouc sur le comportement au fluage des enrobés bitumineux», thèse de doctorat, USTHB 2007.
-



Annexe

TABLEAU DES VALEURS DE A

	S roulé/G roulé	S roulé/G concassé	S concassé/ G concassé
Très fluide	32	34	38
Fluide	30-32	32-34	36-38
Mou	28-30	30-32	34-36
Ferme	26-28	28-30	32-34
Très ferme	24-26	26-28	30-32
Puissant	22-24	24-26	28-30

TABLEAU DES VALEURS DE K

	S roulé/G roulé	S roulé G concassé	S concassé/ G concassé
Très fluide	0.37	0.405	0.450
Molle	0.350-0.370	0.375-0.405	0.430-0.460
Ferme	0.330-0.350	0.335-0.385	0.400-0.430
Très ferme	0.250-0.330	0.330-0.350	0.350-0.370
Extra sèche	0.250	0.330	0.350

CIMENT PORTLAND COMPOSÉ CPJ-CEM-III/A 42.5 NA442

Le ciment portland composé est produit en broyant le clinker qui se compose essentiellement de silicate de calcium avec le gypse comme ajout constitué de différentes formes de sulfate de calcium. Le ciment portland composé est conforme à la norme NA 442, EN197-1 et à la norme AFNOR NFP 15-301/94 et il dépasse considérablement les exigences de résistance de ces normes.

Usages :

Le ciment portland composé est généralement utilisé lorsqu'il n'y a pas de besoins spéciaux, dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.

Les principales applications de ce ciment sont : le secteur de construction en béton armé pour les bâtiments résidentiels, administratifs, les hôtels, le secteur des travaux publics pour les ponts, les revêtements des routes, les structures ferroviaires, les réservoirs et les tuyaux en béton et aussi pour le secteur industriel.

Analyses et propriétés physiques :

Analyses chimiques :

Perte au feu %	5.50 - 6.50
Résidus insolubles %	0.70 - 1.50
Teneur en sulfates (SO3) %	1.80 - 2.30
Teneur en oxyde de magnésium (MgO) %	1.60 - 1.80
Teneur en chlorures %	0.01 - 0.02
Teneur équivalent en alcalis %	0.40 - 0.50

Composition hypothétique du clinker :

Silicates tricalciques, C ₃ S %	60.00 - 64.00
Silicates bi calciques, C ₂ S %	14.00 - 18.00
Aluminates tricalciques, C ₃ A %	6.00 - 8.00
Aluminoferrites tetracalciques, C ₄ AF %	10.00 - 12.00

Propriétés physiques :

Consistance normale de la pâte de ciment %	25.00 - 27.50
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /gm)	3700 - 3900
Retrait à 28 jours (µm/m)	<1000
Stabilité (mm)	0.00 - 2.00

Temps de prise à 20° C :

Début de prise (min)	150 - 170
Fin de prise (heure : min)	3:30 - 4:30

Résistance à la compression : EN196-1 / Mortier

2 jours (N/mm ²)	18.00 - 23.00
7 jours (N/mm ²)	32.00 - 38.00
28 jours (N/mm ²)	>42.5



MEDAFLOW SR20

NOTICE TECHNIQUE

Super plastifiant – haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW SR20** est un superplastifiant haut réducteur d'eau. Il est conçu à base de polymères de synthèse et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un rapport E/C très bas suivi d'un maintien d'ouvrabilité remarquable.

Le **MEDAFLOW SR 20** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

CARACTERISTIQUES

- Forme Liquide
- Couleur Ocre clair
- pH..... 6.0/ 6.5
- Densité 1,05 ± 0,01
- Teneur en chlore..... < 1g/L
- Extrait sec.....20%

PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW SR20** permet :

Sur béton frais :

- l'obtention d'un **E/C très bas**
- l'amélioration considérable de la fluidité
- de faciliter la mise en œuvre du béton
- décoffrage rapide

Sur béton durci :

- d'augmenter les résistances mécaniques à jeune âge
- de diminuer la porosité
- d'augmenter la durabilité
- de diminuer le retrait

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Réduction du temps de décoffrage
- Accélération de la rotation des moules,
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

1.0 à 2,5 % du poids de ciment soit 0.950 litres à 2.400 litres .

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

MODE D'EMPLOI

Il est recommandé d'ajouter le **MEDAFLOW SR20** dans le béton après que les 3/4 de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

Il est conseillé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage fournissant les résultats recherchés.

Il peut-être aussi ajouté directement dans le camion malaxeur (toupie), puis malaxer à grande vitesse : 1mn/m³

Par temps chaud, le **MEDAFLOW SR20** peut être combiné à un retardataire de prise (**MEDARETARD GR**).

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLOW SR 20** est conditionné en bidons de 11 Kg. et en fûts de 240 Kg..

Délai de conservation : 12 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

Les renseignements donnés dans cette fiche sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Granitex

ZONE INDUSTRIELLE 16270 – OUED-SMAR (ALGERIE)
 Tél : (213) 021 51 66 81/82 - Fax : (213) 021 51 64 22 – 51 65 23
 B.P. N°85 OUED-SMAR
www.granitex.dz - Email: granitex@granitex.dz



Société de Gestion des Participations Études et Engineering « GENEST »
Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction
E.P.E/S.P.A AU CAPITAL DE 150.000.000 DA

UNITÉ OUED SMAR
BP 74 Oued Smar – Zone Industrielle Oued Smar – El Harrach – Tél. : (021) 51.33.30 / 51.62.62 Fax : (021) 51.61.53

Département

ESSAI LOS ANGELES

Selon NF P 18-573 Décembre 1990

N° Dossier :	BC N° :
Client : <i>MEZIDI</i>	Projet : <i>Magister</i>

Matériau : <i>Gravier naturel 8/15</i>	Provenance :
Essai N° : <i>01</i>	Date d'essai : <i>16/05/2006</i>

Classe granulaire	Nombre de boulets	Masse totale de la Charge (g)	m' (g)	m (g)	LA (%)
4/6,3	7	3 080			
6,3/10	9	3 960			
X 10/14	11	4 840	3913.5	1086.5	21.73
10/25 (60 % 10/16 et 40 % 16/25)	11	4 840			
16/31,5 (60 % 16/25 et 40 % 25/31.5)	12	5 280			
25/50 (60 % 25/40 et 40 % 40/50)	12	5 280			

M : Masse sèche de l'échantillon (5000 g)

m' : Masse du refus sur le tamis 1.6 mm

m = M – m' : Masse des passants au tamis 1.6 mm

$$LA = 100 \times \frac{m}{M}$$

LE CHARGE D'ESSAI

LE RESPONSABLE D'ESSAI



المخبر المركزي للأشغال العمومية

LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

EPE/SPA AU CAPITAL DE 20.000.000 DA

1, Rue Kaddour Rahim BP-135-Hussein-Dey-ALGER

Tél. : (021) 23.21.89 / 90 / 23.21.45/46 Fax : n° (021) 23.21.85

DEPARTEMENT LABORATOIRE

Laboratoire Géotechnique (Atelier : identification des granulats)

X

FEUILLE DE PAILLASSE
MESURE DU COEFFICIENT DE FRIABILITE DES SABLES
 NA 2608 OCTOBRE 1992
 Réf : E.G-Id.G/5

Dossier N° :
 Intitulé de l'étude : MEZIDA
 Nature matériau : OS
 Provenance : BOUSSAADA

Chargé de l'échantillonnage :
 Date : 12.07.01
 Opérateur : A. K. F.

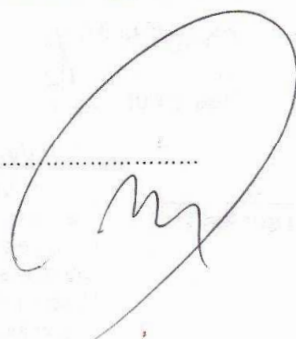
DESIGNATIONS				EXIGENCES DE LA NORME	EQUIPEMENT N°
1- Tamiser par voie humide le matériau sur les tamis 0,2mm-2 mm <input type="checkbox"/> ou 4 mm <input checked="" type="checkbox"/>				La masse de l'échantillon envoyé au laboratoire est au moins égale à 2Kg. L'échantillon sera préparé selon les prescriptions de la NA 453	Tamis N° <input type="text"/>
2 - Sécher le matériau à 105 ° et effectuer une double pesée séparée d'une heure. <input checked="" type="checkbox"/> m1 = m2 = <input type="text" value="500"/> gr				Les deux pesées ne différent pas de plus de 0.1%	Etuve N° <input type="text"/>
3- Homogénéiser le matériau et peser M = 500 gr <input checked="" type="checkbox"/>					Balance N° <input type="text"/>
4 - Préparer la Charge broyante de la façon suivante <input checked="" type="checkbox"/>	φ (billes) (mm)	Nbrs	masse M(gr)	L'usure de la charge doit être contrôlée périodiquement selon les prescriptions de la norme	
	30	09	925 < M < 985		
	18	21	440 < M < 500		
Compléter avec des billes de 10 mm, de façon que la masse totale de la charge soit de m = 2500 gr.					
5 - Introduire la charge dans le cylindre, puis les 500 gr et ajouter 2.5l d'eau. <input checked="" type="checkbox"/>					
6 - Mettre le cylindre en rotation pendant 1500tr en 15mn. <input checked="" type="checkbox"/>				Vitesse de rotation est de 100tr/min	Appareil N° <input type="text"/>
7- Verser la totalité du contenu sur deux tamis superposés 8mm, (pour recueillir la charge abrasif) et de 01mm. <input checked="" type="checkbox"/>					Tamis N° <input type="text"/> Tamis N° <input type="text"/>

F-5-G-24-2

1/2

8- Laver l'ensemble sous un jet d'eau jusqu'à eau claire puis enlever le tamis de 8mm. <input checked="" type="checkbox"/>		
10 – Sécher le refus au tamis de 0.1mm à T° =105 <input checked="" type="checkbox"/>	L'évaporation de l'eau se fait selon la norme à T° =105°C	Etuve N° <input type="text"/>
Peser ce refus m' = <input type="text" value="395"/> gr	Peser à 10% près le refus sur le tamis de 0.1 mm	
11 – Expression des résultats $F_s = 100 \times \frac{500 - m'}{500} = \frac{m}{5} = \input{type="text"}{21,08}$	Arrondir à l'unité la plus proche.	

VISA DE L'OPERATEUR.....





مركز الأبحاث العمومية

LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

EPE/SPA AU CAPITAL DE 20.000.000 D.A

1, Rue Kaddour Rahim BP-135-Hussein-Dey-ALGER
Tél. : (021) 23.12.30 / 23.21.45/46 Fax : n° (021) 23.21.85

DEPARTEMENT LABORATOIRE
(Atelier : identification des sols)

FEUILLE DE PAILLASSE
MESURE DU COEFFICIENT D'APLATISSEMENT
NORME NF P -18-561 Sept 1990
Réf : E.G-Id.G/4

Dossier N° :
Intitulé de l'étude :
Provenance :
Désignation de l'échantillon: 7/8

Profondeur:
Chargé de l'échantillonnage : AC14
Date : 20.08.07
Opérateur : S. J.

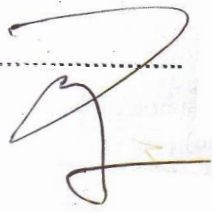
DESIGNATION	EXIGENCES DE LA NORME	EQUIPEMENT N°
Tamiser l'échantillon sur un tamis de 4mm <input checked="" type="checkbox"/>	L'échantillon doit être préparé selon la norme P18-553. La masse M (kg) de l'échantillon doit être supérieure à 0.2D (D: est la plus grande dimension)	Tamis N° <input checked="" type="checkbox"/>
Peser la masse du refus M ₀ . M ₀ = 2130 gr	La masse M ₀ est déterminée avec une précision relative de 0.1%.	Balance N° 9257
Procéder au tamisage de l'échantillon par voie sèche sur les tamis ci dessous (tableau) <input checked="" type="checkbox"/>	Le tamisage se fait selon les prescriptions de la norme P 18-560.	
Noter les poids des refus de chaque classe granulaire M _g (gr) (tableau) <input checked="" type="checkbox"/>	La pesée se fait avec une précision de 0.1%.	Balance N° 9257
Procéder au tamisage de chaque classe granulaire sur la grille correspondante ci-dessous et noter les tamisats M _e (gr) (tableau). <input checked="" type="checkbox"/>	La pesée se fait avec une précision de 0.1%.	Balance N° 9257

EXPRESSION DU RESULTAT :
 Le coefficient d'aplatissement A est donné par :

$$A = \frac{\sum Me}{M} \times 100$$

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		Aplatissement Partiel
Classe granulaire (mm)	Mg (gr)	Ecartement des grilles (mm)	Passant Me (gr)	$\frac{Me}{Mg} \times 100$
> 50		31.5		
40-50		25		
31.5-40		20		
25-31.5		16		
20-25		12.5		
16-20		10		
12.5-16		8		
10-12.5		6.3		
8-10	18	5	3	
6.3-8	708	4	188	
5-6.3	590	3.15	140	
4-5	800	2.5	198	
M = $\sum Mg = 2126$		$\sum Me = 529$		A (%) = $\frac{529}{2126} \times 100 \approx 24.88 \approx 25$

VISA DE L' OPERATEUR :



المختبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

EPE/SPA AU CAPITAL DE 20.000.000 D.A
 1, Rue Kaddour Rahim BP-135-Hussein-Dey-ALGER
 Tél. : (021) 23.12.30 / 23.21.45/46 Fax : n° (021) 23.21.85

DEPARTEMENT LABORATOIRE
 Laboratoire géotechnique (Atelier : identification des granulats)

FEUILLE DE PAILLASSE
ESSAI D'USURE MICRO - DEVAL
 NORME : NF P 18-572 - Décembre 1990
 Ref : E.G-Id.G/6

Dossier N° :
 Intitulé de l'étude : Chargé de l'échantillonnage : *cf. p. 10*
 Provenance : Date : *11.09.2002*
 Désignation échantillon : *2/8* Opérateur : *A. CHALI - A. WAW*

Désignation	Exigence de la norme	Equipement N°
1- Prélever une masse d'échantillon au moins égale à : - 2Kg pour les gravillons compris entre 4 et 14mm <input checked="" type="checkbox"/> - 40 Kg pour les 25-50mm <input type="checkbox"/>	L'échantillon doit être préparé selon la norme P 18-553	Balance N° <i>255</i>
2- Laver le matériau et le sécher à l'étuve à 105°C <input checked="" type="checkbox"/>		Etuve N° <i>277</i>
3- Effectuer une double pesée du matériau séparée d'une heure M1 = M2 = M = <input type="text" value="500"/> gr	Les deux pesées ne diffèrent pas de plus de 0.1%	Balance N° <i>1552</i>
4- Tamiser à sec sur les tamis de la classe granulaire choisie 4-6, 3-5 <input checked="" type="checkbox"/> 6,3-10 <input type="checkbox"/> 10-14 <input type="checkbox"/> 25-50 <input type="checkbox"/>		
5- Peser une masse - M = 500 gr pour les gravillons entre 4 et 14 mm <input checked="" type="checkbox"/> - M = 10 000gr pour les granulats entre 25-50 mm <input type="checkbox"/>	L'échantillon doit être préparé selon la norme P 18-553	Balance N° <i>1552</i>
6- Introduire cette masse M à l'intérieur du cylindre et ajouter une charge abrasive, qui correspond à la classe granulaire choisie <input checked="" type="checkbox"/>	La classe 25-50 est introduite dans le cylindre sans ajout de la charge abrasive	Appareil N° <i>779</i>
7- Type d'essai : - Essai humide <input type="checkbox"/> - Essai sec <input type="checkbox"/> <i>cf.</i>	Pour effectuer un essai humide il faut : - Ajouter 2,5l (4-14mm) - Ajouter 2l (25-50mm)	
8 - Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de : - 100trs/mn pendant 2h : (12 000 trs pou la classe 4-14 mm) <input checked="" type="checkbox"/> - 100trs/mn pendant 2h 20mn : (14 000 trs pour la classe 25-50mn) <input type="checkbox"/> (T _{initial} = <input type="text" value="16h00"/> T _{final} = <input type="text" value="16h00"/>		

F-5-G.25-2

1/2

9 - Recueillir le granulat et la charge abrasive dans un bac tout en lavant soigneusement l'intérieur du cylindre <input checked="" type="checkbox"/>	Recueillir l'eau et les parties minérales entraînées.	Bac N° 7								
10 - Tamiser le matériau dans le bac de 1.6mm <input checked="" type="checkbox"/> - Recueillir la charge abrasive dans un tamis de 8mm <input checked="" type="checkbox"/>		Tamis N° 7								
11 - Sécher jusqu'à une masse constante le refus à 1,6 mm à l'étuve à 105°C <input checked="" type="checkbox"/>		Etuve N° 7877								
12 - Effectuer une double pesée du refus : $m'_1 = m'_2 = m' = 308$ gr	Les deux pesées ne diffèrent pas de plus de 0.1%	Balance N° 952								
EXPRESSION DES RESULTATS : $M_{DE} \text{ OU } M_{DS} \text{ est : } 100 \frac{m}{M} = 100 \frac{M - m'}{M}$ $M_{DE} = 38,4\%$ $M_{DS} = \text{ } \square$										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Classe Granulaire (mm)</th> <th>Charge Abrasive (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 - 14</td> <td>5 000 ± 5</td> </tr> <tr> <td>6,3 - 10</td> <td>4 000 ± 5</td> </tr> <tr> <td>4 - 6,3</td> <td>2 000 ± 5</td> </tr> </tbody> </table>		Classe Granulaire (mm)	Charge Abrasive (gr)	10 - 14	5 000 ± 5	6,3 - 10	4 000 ± 5	4 - 6,3	2 000 ± 5	
Classe Granulaire (mm)	Charge Abrasive (gr)									
10 - 14	5 000 ± 5									
6,3 - 10	4 000 ± 5									
4 - 6,3	2 000 ± 5									
M (g)	m (g)	m' (g)	M _{DE} (%) M _{DS} (%)							
500	192	308	38,4%							

VISA DE L' OPERATEUR




المركز المركزي للأبحاث العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLIC

EPE/SPA AU CAPITAL DE 20.000.000 D.A

1, Rue Kaddour Rahim BP-135-Hussein-Dey-ALGER
 Tél. : (021) 23.12.30 / 23.21.45/46 Fax : n° (021) 23.21.85

DEPARTEMENT LABORATOIRE
 (Atelier : identification des sols)

FEUILLE DE PAILLASSE
MESURE DU COEFFICIENT D'APLATISSEMENT
NORME NF P -18-561 Sept 1990
 Réf : E.G-Id.G/4

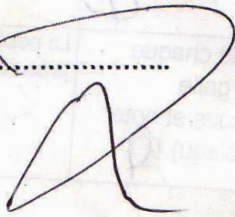
Dossier N° :
 Intitulé de l'étude :
 Provenance :
 Désignation de l'échantillon: 8/A5

Profondeur:
 Chargé de l'échantillonnage : A.C.M.
 Date : 31.08.07
 Opérateur : S. Agem

DESIGNATION	EXIGENCES DE LA NORME	EQUIPEMENT N°
Tamiser l'échantillon sur un tamis de 4mm	L'échantillon doit être préparé selon la norme P18-553. La masse M (kg) de l'échantillon doit être supérieure à 0.2D (D: est la plus grande dimension)	Tamis N° <input type="text"/>
Peser la masse du refus M ₀ . M ₀ = 3200 gr	La masse M ₀ est déterminée avec une précision relative de 0.1%.	Balance N° 252
Procéder au tamisage de l'échantillon par voie sèche sur les tamis ci dessous (tableau)	Le tamisage se fait selon les prescriptions de la norme P 18-560.	
Noter les poids des refus de chaque classe granulaire M _g (gr) (tableau)	La pesée se fait avec une précision de 0.1%.	Balance N° 252
Procéder au tamisage de chaque classe granulaire sur la grille correspondante ci-dessous et noter les tamisats M _e (gr) (tableau).	La pesée se fait avec une précision de 0.1%.	Balance N° 252

Tamissage sur tamis		Tamissage sur grilles		Aplatissement Partiel
Classe granulaire (mm)	Mg (gr)	Ecartement des grilles (mm)	Passant Me (gr)	$\frac{Me}{Mg} \times 100$
> 50		31.5		
40-50		25		
31.5-40		20		
25-31.5		16		
20-25		12.5		
16-20	9	10	10	
12.5-16	920	8	67	
10-12.5	1177	6.3	98	
8-10	869	5	80	
6.3-8	206	4	28	
5-6.3	17	3.15	21	
4-5	06	2.5	00	
M = $\sum Mg = 3194$		$\sum Me = 224$		A (%) = 8.58%

VISA DE L' OPERATEUR :



المخبر المركزي للأشغال العمومية

LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

EPE/SPA AU CAPITAL DE 20.000.000 D.A

1, Rue Kaddour Rahim BP-135-Hussein-Dey-ALGER

Tél. : (021) 23.12.30 / 23.21.45/46 Fax : n° (021) 23.21.85

DEPARTEMENT LABORATOIRE

Laboratoire géotechnique (Atelier : identification des granulats)

FEUILLE DE PAILLASSE
ESSAI D'USURE MICRO-DEVAL
NORME : NF P 18-572 Décembre 1990
Ref : E.G-Id.G/6

Dossier N° :

Intitulé de l'étude :

Chargé de l'échantillonnage : *cf. p. 2*

Provenance :

Date : *1-08-07*

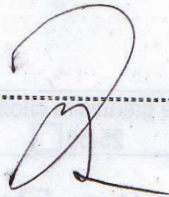
Désignation échantillon :

Opérateur : *S. Aguel*

Désignation	Exigence de la norme	Equipement N°
1- Prélever une masse d'échantillon au moins égale à : - 2Kg pour les gravillons compris entre 4 et 14mm <input checked="" type="checkbox"/> - 40 Kg pour les 25-50mm <input type="checkbox"/>	L'échantillon doit être préparé selon la norme P 18-553	Balance N° <i>2597</i>
2- Laver le matériau et le sécher à l'étuve à 105°C <input checked="" type="checkbox"/>		Etuve N° <i>2728</i>
3- Effectuer une double pesée du matériau séparée d'une heure $M_1 = M_2 = M = $ <input style="width: 50px; text-align: center;" type="text" value="500"/> gr	Les deux pesées ne diffèrent pas de plus de 0.1%	Balance N° <i>2597</i>
4- Tamiser à sec sur les tamis de la classe granulatoire choisie 4-6,3 <input type="checkbox"/> 6,3-10 <input type="checkbox"/> 10-14 <input checked="" type="checkbox"/> 25-50 <input type="checkbox"/>		
5- Peser une masse - M = 500 gr pour les gravillons entre 4 et 14 mm <input checked="" type="checkbox"/> - M = 10 000gr pour les granulats entre 25-50 mm <input type="checkbox"/>	L'échantillon doit être préparé selon la norme P 18-553	Balance N° <i>2597</i>
6- Introduire cette masse M à l'intérieur du cylindre et ajouter une charge abrasive, qui correspond à la classe granulatoire choisie <input checked="" type="checkbox"/>	La classe 25-50 est introduite dans le cylindre sans ajout de la charge abrasive	Appareil N° <i>778</i>
7- Type d'essai : - Essai humide <input checked="" type="checkbox"/> - Essai sec <input type="checkbox"/>	Pour effectuer un essai humide il faut : - Ajouter 2,5l (4-14mm) - Ajouter 2l (25-50mm)	
8 - Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de : - 100trs/mn pendant 2h : (12 000 trs pour la classe 4-14 mm) <input checked="" type="checkbox"/> - 100trs/mn pendant 2h 20mn : (14 000 trs pour la classe 25-50mm) <input type="checkbox"/> $(T_{initial} = $ <input style="width: 50px; text-align: center;" type="text" value="10h30"/> $T_{final} = $ <input style="width: 50px; text-align: center;" type="text" value="12h00"/>		

9 - Recueillir le granulat et la charge abrasive dans un bac tout en lavant soigneusement l'intérieur du cylindre <input checked="" type="checkbox"/>	Recueillir l'eau et les parties minérales entraînées.	Bac N° /
10 - Tamiser le matériau dans le bac de 1.6mm <input checked="" type="checkbox"/> - Recueillir la charge abrasive dans un tamis de 8mm <input type="checkbox"/>		Tamis N° / 1
11 - Sécher jusqu'à une masse constante le refus à 1,6 mm à l'étuve à 105°C <input checked="" type="checkbox"/>		Etuve N° 2322
12 - Effectuer une double pesée du refus : $m'_1 = m'_2 = m' =$ <input type="text" value="411"/> gr	Les deux pesées ne diffèrent pas de plus de 0.1%	Balance N° 2292
EXPRESSION DES RESULTATS :		
$M_{DE} \text{ OU } M_{DS} \text{ est : } 100 \frac{m}{M} = 100 \frac{M - m'}{M}$		
$M_{DE} =$ <input type="text" value="18,7"/>	$M_{DS} =$ <input type="text" value=""/>	
Classe Granulaire (mm)		Charge Abrasive (gr)
10 - 14		5 000 ± 5
6,3 - 10		4 000 ± 5
4 - 6,3		2 000 ± 5
M (g)	m (g)	m' (g)
500	88	411
		$M_{DE} (\%)$ $M_{DS} (\%)$
		18,7

VISA DE L' OPERATEUR





المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

EPE/SPA AU CAPITAL DE 20.000.000 DA

1, Rue Kaddour Rahim BP-135-Hussein-Dey-ALGER

Tél. : (021) 23.21.89 / 90 / 23.21.45/46 Fax : n° (021) 23.21.85

DEPARTEMENT LABORATOIRE

Laboratoire Géotechnique (Atelier : identification des granulats)

FEUILLE DE PAILLASSE
MESURE DU COEFFICIENT DE FRIABILITE DES SABLES
 NA 2608 OCTOBRE 1992
 Réf : E.G-Id.G/5

Dossier N° :
 Intitulé de l'étude : *MEZIM*
 Nature matériau : *OTV*
 Provenance :

Chargé de l'échantillonnage :
 Date : *12-07-06*
 Opérateur : *K. K. A. T.*

DESIGNATIONS				EXIGENCES DE LA NORME	EQUIPEMENT N°
1- Tamiser par voie humide le matériau sur les tamis 0,2mm-2 mm <input type="checkbox"/> ou 4 mm <input checked="" type="checkbox"/>				La masse de l'échantillon envoyé au laboratoire est au moins égale à 2Kg. L'échantillon sera préparé selon les prescriptions de la NA 453	Tamis N° <input type="text"/>
2 - Sécher le matériau à 105 ° et effectuer une double pesée séparée d'une heure. <input checked="" type="checkbox"/> m1 = m2 = <input type="text" value="500"/> gr				Les deux pesées ne diffèrent pas de plus de 0.1%	Etuve N° <input type="text"/>
3- Homogénéiser le matériau et peser M = 500 gr <input checked="" type="checkbox"/>					Balance N° <input type="text"/>
4 - Préparer la Charge broyante de la façon suivante <input type="checkbox"/>	φ (billes) (mm)	Nbrs	masse M(gr)	L'usure de la charge doit être contrôlée périodiquement selon les prescriptions de la norme	
	30	09	925 < M < 985		
	18	21	440 < M < 500		
Compléter avec des billes de 10 mm, de façon que la masse totale de la charge soit de m = 2500 gr.					
5 - Introduire la charge dans le cylindre, puis les 500 gr et ajouter 2.5l d'eau <input checked="" type="checkbox"/>					
6 - Mettre le cylindre en rotation pendant 1500tr en 15mn. <input checked="" type="checkbox"/>				Vitesse de rotation est de 100tr/min	Appareil N° <input type="text"/>
7- Verser la totalité du contenu sur deux tamis superposés 8mm, (pour recueillir la charge abrasif) et de 01mm. <input checked="" type="checkbox"/>					Tamis N° <input type="text"/> Tamis N° <input type="text"/>

8- Laver l'ensemble sous un jet d'eau jusqu'à eau claire puis enlever le tamis de 8mm. <input checked="" type="checkbox"/>		
10 – Sécher le refus au tamis de 0.1mm à T° = 105 <input checked="" type="checkbox"/>	L'évaporation de l'eau se fait selon la norme à T° = 105°C	Etuve N° <input type="text"/>
Peser ce refus m' = <input type="text" value="304"/> gr	Peser à 10% près le refus sur le tamis de 0.1 mm	
11 – Expression des résultats	Arrondir à l'unité la plus proche.	
$F_s = 100 \times \frac{500 - m'}{500} = \frac{m}{5} = \text{39,2} \quad \times$		

VISA DE L'OPERATEUR.....

M



Société de Gestion des Participations Études et Engineering « GENEST »
Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction
E.P.E/S.P.A au capital de 150.000.000 DA

UNITÉ OUED SMAR
BP 74 Oued Smar – Zone Industrielle Oued Smar – El Harrach – Tél. : (021) 51.33.30 / 51.62.62 Fax : (021) 51.61.53

Département

ESSAI D'USURE MICRO-DEVAL

Selon NF P 18-572 Décembre 1990

N° Dossier :	BC N° :
Client : MEZZIDI Omar	Projet : MAGISTER
Matériau : Gravier naturel 8/15 GN	Provenance :
Essai N° : 01	Date d'essai :

Essai Micro-Deval à sec

Classe granulaire	Charge abrasive (g)	m' (g)	m (g)	M _{DS} (%)	Observations
4/6.3	2000 ± 5				
6.3/10	4000 ± 5				
10/14	5000 ± 5				

Essai Micro-Deval en présence d'eau

Classe granulaire	Charge abrasive (g)	m' (g)	m (g)	M _{DE} (%)	Observations
4/6.3	2000 ± 5				
6.3/10	4000 ± 5				
10/14	5000 ± 5	409	91	18,2	

M : Masse sèche de l'échantillon (500 ± 2 g)

m' : Masse du refus sur le tamis 1.6 mm

m = M - m' : Masse des passants au tamis 1.6 mm

$$M_{DE} \text{ ou } M_{DS} = 100 \times \frac{m}{M}$$

Pour effectuer l'essai en présence d'eau on ajoute 2.5 l d'eau

LE CHARGÉ D'ESSAI

LE RESPONSABLE D'ESSAI



Béton de sable de dunes



Béton ordinaire



Malaxeur



L'opération d'Incorporation de la poudrette de caoutchouc.



Vibration de béton de sable de dunes modifié par poudrette de caoutchouc.



Sable naturel.



Malaxeur pour un mortier ou un béton de sable



Maniabilimètre



Adjuvant



La poudrette de caoutchouc



Sable de dunes

الْحَمْدُ لِلَّهِ
رَبِّ الْعَالَمِينَ
سُبْحَانَكَ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ