

3.1/ INTRODUCTION

Le comportement rhéologique et mécanique du béton est le résultat d'une interaction complexe entre ses divers constituants, l'emploi judicieux de ses matériaux dans la construction exige la connaissance de leurs diverses propriétés ; physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques, et qui permet de faire un choix répondant à leur destination. Par ailleurs, il est essentiel que ces matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène à grande échelle et possédant par conséquent des propriétés uniformes. Ainsi, pour évaluer ces propriétés, on doit choisir des moyens adéquats afin de parvenir à un meilleur contrôle.

Nous présenterons dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés durant ce projet de recherche, les procédures des malaxages pour confectionner nos mélanges ; ainsi que les différents essais expérimentaux pour les caractériser à l'état frais et durci. Et on va présenter aussi les compositions des différents mélanges utilisés dans le cadre de cette étude.

3.2/ MATÉRIAUX UTILISÉS

3.2.1/ Sable

Le sable employé dans tous les mélanges pour notre étude est un sable concassé provenant de la cote de BOUMANGOUCHE situé à 12 Km de la ville de Biskra. La courbe granulométrique de ce sable, représentée dans la figure (3.1), est comprise dans le fuseau de contrôle pour le sable à béton selon la norme (EN 12620). Les caractéristiques physiques du sable utilisé sont représentées dans le tableau (3.1).

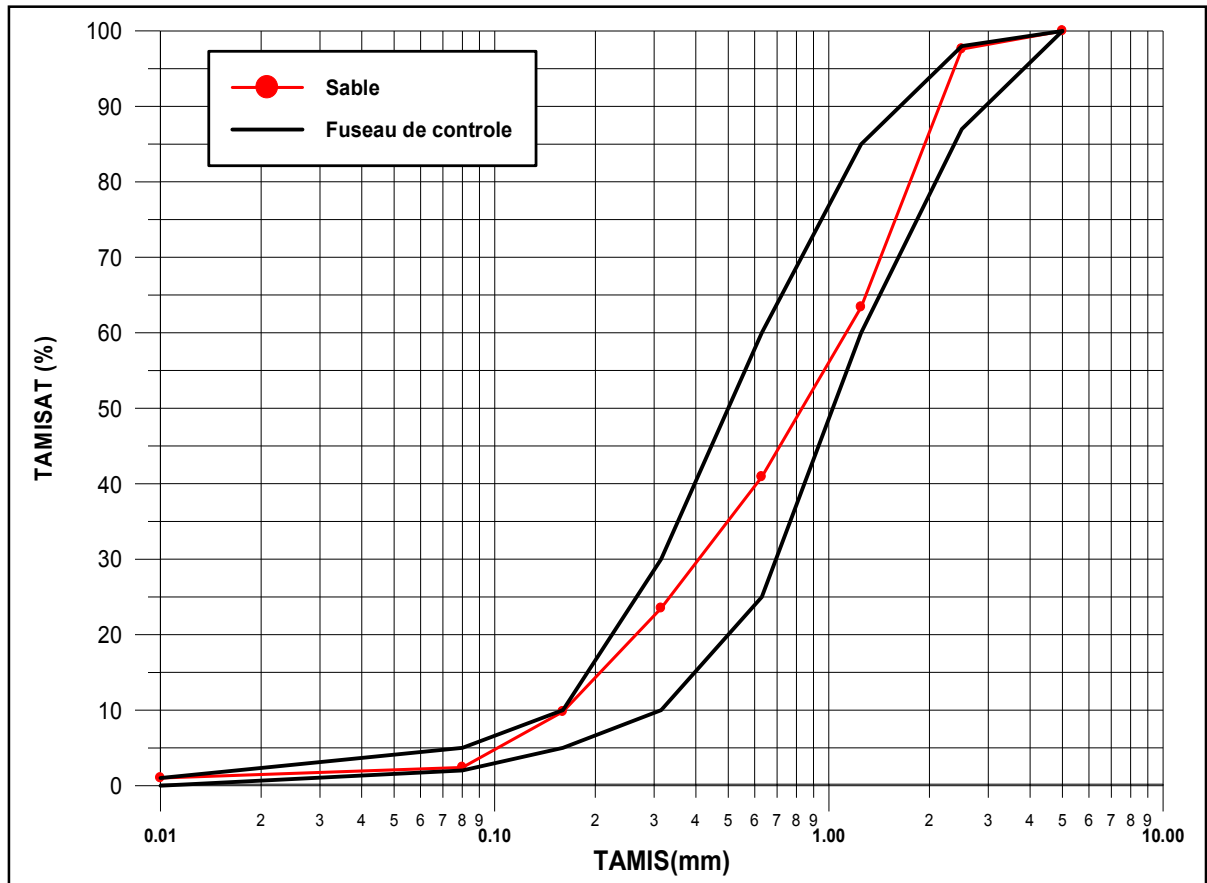


Figure 3.1 : La courbe granulométrique du sable concassé.

Tableau 3.1 : Caractéristiques physiques du sable.

Caractéristiques physiques	Valeurs
Densité apparente (g/cm^3)	1.58
Densité absolue (g/cm^3)	2.5
Module de finesse	2.4
*Equivalent de sable a piston [%]	69
*Equivalent de sable visuel	72

*Sables concassé ou broyés : $E_s \geq 65$ (sable propre sans fines argileuses), [Norme P18-541][11]

3.2.2/ Ciment

Tous les mélanges ont été fabriqués avec un seul type de ciment (CPJ-CEM II/42.5 A) provenant d'une unique livraison de la cimenterie (SCIMAT) à Aïn-Touta. Ainsi, la qualité de ce ciment constitue une constante au niveau des paramètres d'étude. Ses analyses chimiques et physiques communiquées par le producteur sont données dans les tableaux (3.2 - 3.3- 3.4).

Tableau 3.2 : Caractéristiques physiques du ciment.

Densité absolue [g /cm ³]	3.15
Densité apparente [g /cm ³]	1.09
Surface spécifique Blaine [cm ² /g]	3371
Consistance normale [% H ₂ O]	25.6
Début de prise [h]	2h : 03
Fin de prise [h]	3h : 00
Expansion à Chaud [mm]	1.80
Retrait a 28 jours [μm/m]	681
Résistance a la compression a 28jours (MPa)	47

Tableau 3.3: Composition chimique du ciment

Eléments	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl ⁻	K ₂ O	Na ₂ O	CaO libre	P.A.F	Residue insoluble
Teneur (%)	19.34	5.37	3.00	61.69	1.80	2.20	0.027	0.76	0.14	0.97	5.03	1.12

Tableau 3.4: Composition minéralogique du ciment

Eléments	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Teneur (%)	58.3	14.6	8.7	11.26

3.2.3/ Eau de gâchage

L'eau utilisée est celle du robinet de l'Université de Biskra, dont la température est comprise entre 18 et 20° C. Nous supposons qu'elle répond à toutes les prescriptions de la norme (EN 1008) en matière de béton.

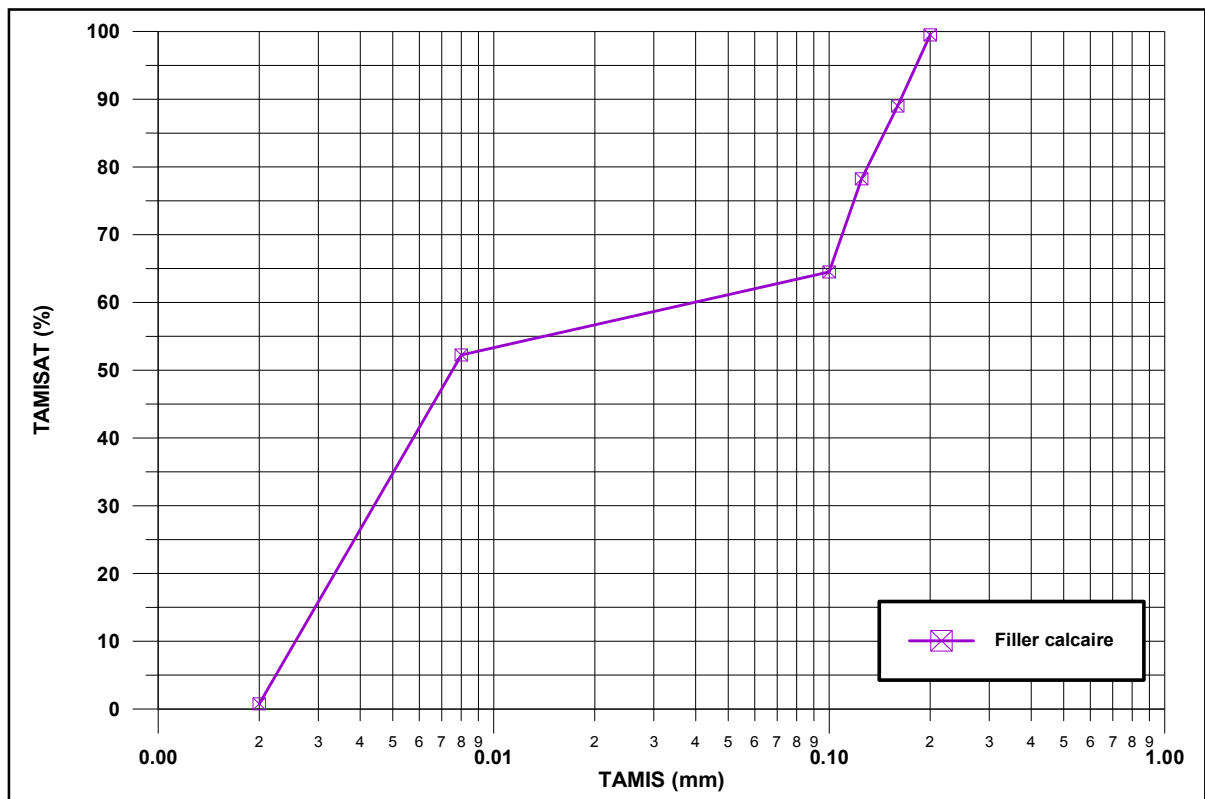
3.2.4/ Les ajouts minéraux

3.2.4.1/ Filler calcaire

Il s'agit de roches calcaires broyées, disponibles dans la majorité des carrières de Biskra. Ils possèdent les caractéristiques physiques suivantes présentées au tableau (3.5). La courbe granulométrique de ce filler est présentée dans la courbe sur la figure (3.2).

Tableau 3.5 : Caractéristiques physiques du filler calcaire

Caractéristiques physiques	Valeurs
Densité apparente (g/cm ³)	1.14
Densité absolue (g/cm ³)	2.66
Finesse (cm ² /g)	2423

**Figure 3.2 :** La courbe granulométrique du filler calcaire.

3.2.4.2/ Fumée de silice

Elle est à base de microsilice provenant de la société «GRANITEX» sous forme de poudre grise. Cette Fumée de silice est désignée par le nom «MEDAPLAST HP». Ses caractéristiques physiques sont présentées au tableau 3.6.

Tableau 3.6 : Caractéristiques physiques de la fumée de silice

Caractéristiques physiques	Valeurs
Densité apparente (g/cm ³)	0.5
Densité absolue (g/cm ³)	1.87
Finesse (cm ² /g)	20470



Photos 3.1 : Fumé de silice forme de poudre

3.2.5/ Superplastifiant

Nous avons utilisé un adjuvant produisant par la même société **GRANITEX**, c'est un superplastifiant, il se présente sous forme de liquide jaunâtre et est conçu à base de polycarboxylates. Ce haut réducteur d'eau est appelé «MEDAFLOW 30». Sa densité absolue est de 1.07 et sa concentration en particule solide est de 30 %. Le contenant de superplastifiant a été agité avant chaque utilisation afin de bien homogénéiser la solution.

Ajoutons que, pour des raisons de confidentialité, le producteur ne fournit pas la composition chimique de ces adjuvants.

3.2.6/ Latex

C'est une dispersion aqueuse de résine qui se présente sous la forme d'un liquide blanchâtre. Nous avons utilisé de latex produisant par la même société **GRANITEX**, appelé **MEDALATEX**. On l'utilise pur ou avec l'eau de gâchage. Elle est compatible avec tous les types de ciment ainsi que la chaux et le plâtre.

3.2.7/ Fibres polypropylène

Nous avons utilisé des fibres de polypropylène produisant de «**RESIKLON/FRANCE**», ce sont des fibres de haute ténacité pour le renforcement des bétons et mortiers. Les principales caractéristiques fournis par le fabricant sont :

Longueur : 12mm ; **Densité** : 0,9 Kg/m³ ;

3.3/ MÉLANGES

Dans notre étude de recherche expérimentale on est passé par deux étapes afin de préparer notre béton de réparation. Pour la première étape : on a essayé de formuler un béton de sable pour avoir la formulation de base, ensuite pour la deuxième étape on a introduit des améliorations par différents ajouts (fibres, fumé de silice, latex). Nous nous sommes basé sur la confection des bétons dont le nombre de gâchées réalisées s'élève à **250**. Avec une gâchée on produit **03 éprouvettes** qui seront destinées aux différents essais de caractérisation, d'où le nombre d'éprouvettes a dépassé **600**, autres gâchés ont été destinées au test de la maniabilité afin de déterminer l'affaissement de chaque formulation. Vingt et un compositions ont été également confectionnées afin de mieux comprendre le comportement des bétons de sable destinés à la réparation.

3.3.1/ Formulation du béton de sable

Cette formulation est fondé sur la méthode expérimentale [27] [30] qui est basé sur ces 04 étapes [24] :

- Détermination d'une formule de base sans fines d'addition :
 - choix de la teneur en ciment ;
 - fixation d'une teneur en eau ;
 - détermination d'un dosage en sable ;
 - réglage de la maniabilité et du rendement.
- Détermination du dosage en fines d'addition
- Adaptation de la maniabilité de la mise en œuvre
- Contrôle des résistances

On a fabriqué **03 séries** de béton dans cette étape. Partant d'un choix d'une teneur en ciment, d'un dosage en sable déterminé et d'un rapport E/C constant, c-à-d : la quantité d'eau qui sera suffisante pour malaxer les constituants (sable + ciment) et qui est nécessaire à l'hydratation des grains de ciment.

Pour la formulation de BS sans ajout on a choisit la composition du tableau 3.7 présenté au dessous.

Tableau 3.7 : Composant du béton de sable

Composant	Quantité
Sable	1660 Kg/m ³
Ciment	350 Kg/m ³
Eau	262.5 l/m ³

- **1^{ère} série :** L'essentiel pour la formulation de cette série de béton consistera à déterminer la quantité d'ajout (filler calcaire) pour obtenir la compacité et la résistance optimale. Alors, à partir de la formulation de base (Tableau 3.7), nous avons à chaque fois substitué et remplacé une quantité de sable par filler calcaire tout en corrigeant les dépenses en sable et en filler de manière à garder le dosage en ciment 350 Kg/m^3 et le même rapport E/C.
- **2^{ème} série :** Afin d'avoir des gains de résistance appréciables et pour améliorer la maniabilité de la 1^{ère} série du béton, on a fait introduire du superplastifiant avec différents dosages pour la composition la plus performante, celle qui a été choisit de la 1^{ère} série, en gardant la même composition avec les mêmes dosages.
- **3^{ème} série :** Avait pour but de réduire la quantité d'eau et minimisé le rapport E/C afin d'avoir un béton plastique avec un affaissement fixe. On prend le béton le plus performant de la 2^{ème} série on garde la même composition et les mêmes dosages, et on fait varier le rapport E/C.

La confection de ces trois séries du béton, avait pour but d'avoir une formulation de base du béton de sable plastique destinée à la réparation mince avec des caractéristiques mécaniques compétentes.

3.3.2/ Formulation du béton de sable de réparation

Pour cette étape de formulation on a fabriqué 04 séries de béton, on a pris la composition du béton le plus performant de la 3^{ème} séries et on a fait introduire des ajouts a la formulation de base, pour avoir l'effet de chaque ajout sur les caractéristiques mécaniques et hygrométriques du béton de sable destiné à la réparation.

- **1^{ère} série :** Formulation de base + fumé de silice
- **2^{ème} série :** Formulation de base + fibre polypropylène
- **3^{ème} série :** Formulation de base + latex
- **4^{ème} série :** Formulation de base + latex + fibres polypropylène

3.4/ COMPOSITION DES BETONS

Les mélanges utilisés lors de cette étude sont codifiés dans ce mémoire afin de faciliter la lecture. La composition de chaque mélange pour chaque série est codifiée et mentionné dans le tableau 3.8 pour la première étape de formulation, et dans le tableau 3.9 pour la 2^{ème} étape de gâché, qui sont présentés au dessous.

Tableau 3.8 : Composition des trois séries 1-2-3 des bétons de sable

Type de béton	Ciment Kg/m ³	Sable Kg/m ³	Filler calcaire Kg/m ³	E/C	Superplastifiant (%)
La première série					
BS1	350	1500	160	0.75	/
BS2	350	1480	180	0.75	/
BS3	350	1460	200	0.75	/
BS4	350	1440	220	0.75	/
BS5	350	1420	240	0.75	/
La deuxième série					
BS -SP1	350	1480	180	0.75	0.5
BS-SP2	350	1480	180	0.75	1
BS-SP3	350	1480	180	0.75	1.5
BS-SP4	350	1480	180	0.75	2
BS-SP5	350	1480	180	0.75	2.5
La troisième série					
BS -SPE1	350	1480	180	0.60	2
BS -SPE2	350	1480	180	0.59	2
BS -SPE3	350	1480	180	0.58	2
BS -SPE4	350	1480	180	0.57	2

Tableau 3.9 : Composition des quatre séries 1-2-3-4 des bétons destinés à la réparation

Type de béton	Ciment Kg/m ³	Sable Kg/m ³	Filler Kg/m ³	E/C	Eau l/m ³	Ajouts et dosage	Superplastifiant (%)
La première série (Fumé de silice)							
BS-FS1	350	1480	152	0.59	206.5	8%	2
BS-FS2	350	1480	162.5	0.59	206.5	5%	2
La deuxième série (Fibres polypropylène)							
BS -FB1	350	1480	180	0.59	206.5	0.9 Kg/m³	2
BS-FB2	350	1480	180	0.59	206.5	1.2Kg/m³	2
La troisième série (Latex)							
BS -LTX1	350	1480	180	0.59	103.25	1/2 E	2
BS -LTX2	350	1480	180	0.59	137.5	1/3 E	2
La quatrième série (Latex+ fibres polypropylène)							
BS -LFB	350	1480	180	0.59	137.5	1/3 E + 1.2Kg/m³	2

3.5/ MODE OPERATOIRE

Le malaxage des bétons au laboratoire a été effectué dans un malaxeur à cuve verticale tournante d'une capacité de 50 l pour confection des éprouvettes 10X10X10, et à l'aide d'un malaxeur à axe vertical d'une capacité de 5 l pour la confection des éprouvettes 4X4X16. Le but recherché est de répartir, le plus régulièrement possible, chaque constituant afin d'assurer un mélange homogène et d'obtenir ainsi les mêmes propriétés. La même procédure de gâchage a été utilisée pour toutes les séries de béton.

1. Introduction du sable et du ciment plus filler ; puis un malaxage à sec pendant 1 minute.
2. Ajout de l'eau de gâchage, dans le cas d'utilisation du superplastifiant, on le mélange avec le tiers de la quantité d'eau nécessaire.
3. Continuer à malaxer jusqu'à ce qu'on voit tous les constituants soient mouillés et tout le mélange soit homogène.
4. Mesurer l'affaissement du béton frais immédiatement au fin malaxage.

3.6/ CONFECTION DES EPROUVETTES

On a fabriqué deux types d'éprouvettes pour tous les bétons, et on a pour chaque type de béton **15 éprouvettes** de 10X10X10 et **12 éprouvettes** de 4x4x16.

Les éprouvettes ont été coulées dans des moules préalablement huilés. Le béton frais est placé en deux couches vibrées pendant 10 secondes à l'aide de la table vibrante. Une fois le moule est rempli, le surplus du béton a été arasé et la surface a été égalisée à la truelle.

Les moules remplis par le béton frais ont été ensuite recouverts par un film plastique jusqu'au démoulage.

Le démoulage a été fait après 24 heures. Ensuite, les éprouvettes sont mûries dans un bac d'eau à température ambiante de 20°C

3.7/ ESSAIS RÉALISÉS

Deux familles d'essais sont réalisées pour caractériser nos mélanges au laboratoire ; les essais à l'état frais pour évaluer la maniabilité et les essais à l'état durci pour déterminer les performances mécaniques.

3.7.1/ Essai réalisé à l'état frais

❖ *Affaissement du béton*

L'essai d'affaissement est effectué dans le but de déterminer la maniabilité du béton. L'essai utilisé est celui décrit par la norme NFP 18-451. Il consiste à remplir un cône (cône d'Abrams) de trois couches de béton d'égales hauteurs qui seront mises en place au moyen de la tige de piquage actionnée 25 fois par couche, la surface de cette dernière est arasée. Le cône est ensuite retiré et l'affaissement peut ainsi être mesuré.

3.7.2/ Essais réalisés à l'état durci

a . Essais de compression

La caractérisation du comportement en compression est effectuée sur des éprouvettes cubiques de (10X10X10 cm²) mûries à l'eau, conformément à la norme NFP18-406. Les résultats de la résistance à la compression sont obtenus aux échéances 7, 14, 28 et 90 jours. Chaque valeur de résistance est la moyenne de trois essais de compression par échéance et par matériau. La machine utilisée pour l'écrasement uniaxial des cubes est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 1500 KN

en compression. Afin d'avoir des valeurs correspondant au résultats obtenues par des éprouvettes cylindriques (Norme ENV206), on multiplie les résultats obtenues par un coefficient d'équivalence égale à 0,83. (Rapport entre cube et cylindre : $\frac{f_{cyl}}{f_{cube}} = 0,83$) [38]

b . Essais de traction

La caractérisation du comportement en traction est caractérisé à partir d'essai de traction par flexion effectuée sur des éprouvettes prismatiques de (4X4X16 cm³) mûries à l'eau. L'évolution des résistances en traction est suivie par des essais à 7, 14 ,28 et 90 jours. Chaque valeur de résistance est la moyenne de trois essais de traction par flexion par échéance et par matériau. L'appareil utilisé pour l'essai c'est une machine d'essai de flexion (Appareil Simrup).[39]

c . Mesure du retrait

Afin de comprendre le comportement hygrométrique de notre béton, nous avons décidé de mesurer le retrait. La mesure de retrait s'effectue donc sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4x4x16 cm³), selon la norme (NFP 15-433). Ces éprouvettes sont équipées de plots métalliques à chaque extrémité et placées verticalement dans le déformètre, qui permet le suivi de la variation de la longueur de l'échantillon. Le retrait de chaque béton est mesuré sur deux prismes chaque jour après le démoulage durant 28jours.

d. Capacité d'absorption d'eau

La capacité d'absorption d'un béton donne une idée générale sur la présence et l'importance des vides (pores). C'est une manière comme une autre de tester la compacité du mélange. Plus le béton est compact plus sa capacité d'absorption est faible est donc plus il est étanche. Cette capacité d'absorption est déterminée par une méthode simple, les éprouvettes de mortier sont pesées après leur passage à l'étuve à 105°C d'où elles ne sont retirées qu'après stabilisation de leur poids soit **Ps**, ensuite elles sont entièrement trempées dans l'eau pendant 24 heures, puis retirées et pesées, soit **Ph**. Les valeurs sont prises par la moyenne de trois pesées par éprouvettes de chaque béton. La capacité d'absorption est donnée par la formule suivante :

$$A\% = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

3.8/ CALCULE DU MODULE D'ELASTICITE [24]

Dans cette partie expérimentale, on pas pu appliquer des essais de déformabilité a cause du manque des moyens. Alors on s'est limité de calculer le module d'élasticité (module de Young), par les règles BAEL 91 qui s'appliquent aux bétons de sable lorsque le dosage en ciment Portland artificiel est supérieur à 300Kg/m³ (Article A.1.1 du BAEL 91) ; on obtient alors la même gamme de résistances : 20 à 60 MPa, d'après analyse des études effectuées dans le cadre du programme national SABLOCRETE [24].

Afin de calculer le module d'élasticité E, on s'est basé sur l'article A.2.1.21 pour nous guider à évaluer la déformation longitudinale du béton de sable au moyen de la formule suivante :

$$E_{ij} = 8100 f_{cj}^{1/3} \text{ (MPa)}$$

3.9/ PROCEDURE DE REPARATION DES EPROUVETTES

3.9.1/ Préparation des surfaces

Les corps d'épreuves sont des éprouvettes prismatiques en béton ordinaire, de 40cm de longueur et de section (10×10) cm, qui ont été rejetées il y a un an, on les a trouvés avec un état dégradé à la surface, (Photos 3.2). On a eu 06 éprouvettes à réparer avec une résistance a la compression moyenne de (Rc= 45 MPa) et module (E= 39000MPa).

La surface supérieure des supports a été préparée de façon à recevoir les réparations. Afin de reproduire les conditions de chantier et dans le but de minimiser la fissuration résiduelle, la surface des supports a été enlevée manuellement avec un marteau (similaire à l'action du marteau pneumatique de faible énergie). Un nettoyage a été fait avec un pinceau et au jet d'eau (par un tuyau branché au robinet avec une pression) ont par la suite été utilisés de façon à supprimer le plus possible les défauts et les particules lâches.



Photo 3.2 : Corps d'éprouvettes à réparé

Une épaisseur d'environ 30 mm a été enlevée. Ce type de préparation de surface favorise la création d'une macrorugosité importante, (Photos 3.3).



Photos 3.3 : Surfaces préparés après nettoyage

3.9.2/ Réparation des surfaces

Avant la mise en place de la réparation, la surface dégagée est humidifiée pendant 24 heures afin d'obtenir les conditions «saturée surface sèche» dites S.S.S, il semble d'après Saucier (1990), que cet état hydrique de surface soit la condition optimale pour l'obtention d'une bonne adhérence [9][14]. Avant l'application du mortier, on a préféré varier aux conditions de surface d'où on a pris trois (03) éprouvettes avec l'agent de liaison qui est le latex et pour les trois autres on a laissé la surface telle qu'elle est sans agent de liaison. On a appliqué cet agent dans les minutes juste avant l'application du mortier.

On met les éprouvettes préparées à leurs coffrages (moules prismatiques $[10 \times 10 \times 40] \text{ cm}^3$) et on déverse le mortier sur le support, et à l'aide de la spatule, on le répartit sur l'ensemble de

la surface de façon à couvrir uniformément toute la surface. Une fois le matériau mis en place, celui-ci a subi une vibration de façon à assurer le meilleur contact possible avec le support. Dès la mise en place des réparations, une cure à l'eau et une protection contre le séchage ont été appliquées pendant trois (03) jours à l'aide d'un géotextile maintenu humide et d'une bâche en plastique. À l'issue de cette période de mûrissement, les réparations ont été exposées aux conditions de température et d'humidité extérieures.

3.10/ CONCLUSION

Bien que les caractéristiques relatives aux matériaux utilisés ne soient pas tous disponibles, celles en notre disposition sont suffisantes pour réaliser notre étude expérimentale. La présentation de ses caractéristiques, ainsi la composition des mélanges et les procédures expérimentales va nous permettre de mieux analyser les résultats et mieux comprendre le comportement des bétons de sable comme mortier de réparation.

Les méthodes effectuées pour confectionner nos mélanges permettent de donner des bétons, dont la surface de tous les granulats est enrobée de pâte du liant et qui sont alors homogènes. D'autre part, les essais réalisés au cours de notre recherche permettent d'évaluer l'essentiel des propriétés des mélanges confectionnés