République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Dr. Yahia Farés de MEDEA
Faculté de la Technologie
Département du Génie civil

Projet de Fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master LMD

Spécialité : Génie Civil

Option : Construction et matériaux

Thème

Performances d'un béton de sable autoplaçant à base de déchets de carrelage

Préparés par :

Melle. Guesmia Sakina

Melle. Benguernouze Meriem

Melle. Laboukh Asma

Encadré par :

Dr .GUENDOUZ Mohamed

Melle.BOUKHELKHEL Djamila

Juin 2017

بسم الله الرحمن الرحيم

الله لا إله إلا هو الحي القيوم لا تأخذه
سنة ولا نوم له ما في السموات وما في
الأرض من ذا الذي يشفع عنده
إلا بإذنه يعلم ما بين أيديهم وما خلفهم
ولا يحيطون بشيء من علمه إلا بما شاء
وسع كرسيه السموات والأرض ولا
يؤده حفظهما وهو العلي العظيم

Remerciements

Nous remercions avant tout, ***« Dieu »*** *le tout puissant, pour avoir permis de présenter ce modeste travail.*

Nous tenons à exprimer nos vifs Remerciements et notre profonde Gratitude à notre promoteur Dr. ***GUENDOUZ MOHAMED*** *pour sa disponibilité,aide durant tout le déroulement de tout ce projet. Grâce à son dévoument, conseils scientifiques et suivis, nous avons pu mener à terme notre travail.*

Nous remercions Melle. ***DJAMILA BOUKHELKHAL*** *Car le grand plaisir revient en premier lieu pour leurs conseils, encouragements, et aide pendant les essaies réalisés au niveau de laboratoire.*

Un grand merci est adressé à tous les ingénieurs et les travailleurs du hall technologique pour son aide et sa disponibilité.

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de Génie civil qui nous ont offert tout ce savoir.

Enfin nous remercie tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Nous les dit merci de tout notre coeur.

© Ladie Lynn
http://ladielynn.com



Dédicaces

Je dédie ce travail:

A ma très chère Mère

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi je t'aime mama.

A mon Père

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation je t'aime papa.

A mes frères Rabah et sa femme Zahra, Ahmed Abd rahmane et Youcef

A mes sœurs Fatima et son marie Yacine et Meriem et son marie Abd rezak, Fatima, Imen, Romaica, chifaa, Maria, Selma et Khaoula.

A mon très cher oncle Ahmed et sa famille

Toute mon affection et mes souhaits de succès.

A mes petits oiseaux Nerdjisse Ali mohcine Monim Rihanna Miral et mohamed.

A Ma grand-mère que je leur souhaite une longue vie.

A tout les membres de ma famille Leboukh et Djelabi

Je remercie Mon trinôme Benguernouz Meriem et Guesmia Sakina qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

A tous mes collègues de 2eme année master Génie civil.

A ceux qui me connaissent, et surtout qui m'aiment srt: M Rahima, G Fatiha, T Amira, K Imen, B Fella, G Khadidja, H Samira, G Lobna, Kh Maroua, B Fella.

Asma



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A ma trés chère maman

Raison de mon existence. pour tes sacrifices, ton soutien, ta générosité et ta tendresse. tu étais toujours là prés de moi pour me soutenir, m'encourager et me guider avec tes précieux conseils. Aucun mot ne saurait exprimer ma grande reconnaissance, ma gratitude et mon profond amour. Qu'allah te garde et te procure une bonne santé et longue vie. je t'aime mama.

A mon cher père

Source de sacrifice. Pour ta tendresse, ton soutien, tes conseils et tes encouragements. Veuillez trouver dans ce travail l'expression et le témoignage de mon attachement, ma reconnaissance et mon respect. Qu'Allah t'accorde la santé et la longue vie.

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.

Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

A mes sœurs Hadjer et Amel et mon frère Younes, en témoignage de la fraternité, avec mes souhaits de bonheur de santé et de succès.

Et à tous les membres de ma famille Guesmia et Hafairi.

A mon trinôme Benguernouz Meriem et Leboukh Asma à la réalisation de ce modeste travail.

A tous mes collègues de 2eme année master Génie civil.

Pour mes très chers amis et surtout : Samira, Amira, Loubna, Iman, Rahima Sarah pour leur fidélité.

A ceux qui me connaissent, et surtout qui m'aiment, Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible. Je vous dis merci.



Sakina

© Ladie Lynn
http://ladielynn.com

Dédicaces



Au premier lieu, nous tenons à remercier « Allah » qui nous a donnée le courage et la Volonté pour terminer ce travail.

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tous simplement que Je dédie ce travail :

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; Maman que j'adore que dieu vous procure bonne santé et long vie.

A mon Père, pour sa bravoure et son amour sans cesse renouvelé. Que ce présent soit le témoignage de ma reconnaissance et qu'il fasse l'objet de ma fierté. Puisse dieu te permettre de jouir du produit de ton effort.

A ma sœur Ikbel et mes frères Yesser et le petit oiseau Adem, en témoignage de la fraternité, avec mes souhaits de bonheur de santé et de succès.

Amon très cher mari Ishak et ma petite fille LOUDJAINE

Quand je t'ai connu, j'ai trouvé l'homme de ma vie mon âme sœur et la lumière mon chemin.Ma vie à tes cotés est remplie de belles surprises tes sacrifies ton soutien moral et matériel, ta gentillesse sans égal, ton profond attachement m'ont permis de réussir mes études.

A mon beau-père et belle-mèreet tous les membres de ma famille benguernouz, et Moulahoum.

Je remercier mon trinôme Guessmia Sakina et Leboukh Asma qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.
Pour mes chères amies est surtout : T Amira, Gh Lobna, M Rahima, K Iman, B Meriem, H Samira, M widade

A mes amies de promotion LMD 2017 pour tous les moments vécus a leur cotés.

A tous ceux qui m'ont soutenue de près on de loin en pensées et prière, Merci.

Meriem



© Ladie Lynn
http://ladielynn.com

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو المساهمة في تثمين و رسكلة نفايات البلاط وبالتحديد نفايات الغرانيطو والرصيف و دمج هذه النفايات بشكل حجمي في كتلة الخرسانة الرملية المائعة بنسب مختلفة (10، 20، 30، 40، 50و60٪) و(10، 20، 30، 40، 50٪) على التوالي مع دراسة خصائصها في الحالة الرطبة و في الحالة الصلبة ومقارنتها مع خرسانة رملية مائعة عادية

وقد أظهرت النتائج أن الخصائص الميكانيكية للخرسانة الرملية المائعة تتحسن بزيادة نسبة نفايات البلاط. لذلك فمن الممكن الحصول على مواد بناء جديدة التي يمكن استخدامها في أنواع مختلفة من عناصر البناء.

Résumé

L'objectif principal de ce projet consiste à valoriser et recycler les déchets de carrelages plus précisément les déchets de granito et de pavé les incorporer dans la masse du béton de sable autoplaçant par substitution volumique du sable en différents pourcentages (10, 20, 30, 40,50 et 60%) et (10, 20,30 ,40 et 50%) respectivement. Les propriétés à l'état frais et à l'état durci des différents mélanges réalisés ont été analysées et comparées a celles des bétons de sable témoin respectifs.

Les résultats obtenus montrent que les performances mécaniques du béton de sable autoplaçant sont augmentées en fonction d'augmentation du pourcentage de déchets de carrelage (granito et pavé). Donc, il est possible d'obtenir un nouveau matériau de construction utilisable pour différents types d'éléments de construction.

Abstract

The main objective of this project is to value and to recycle the waste floor tiles more precisely the waste terrazzo and pavement and incorporated into the mass of self compacting sand concrete by substitution volumetric sand in at different percentage (10 ,20,30,40,50 et 60%) et (10,20,30 ,40 et 50%) respectively. The properties in fresh and hardened state of the various self compacting sand concretes carried out were analyzed and compared with control self compacting sand concretes respective.

The results obtained show that the mechanical performance of the self sand concrete is increase according to increase in percentage of waste floor tiles. So, it is possible to obtain a new material which allows a use in the various types of structural components**.**

Sommaire

Dédicaces

Remerciement

Résumés

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Symboles et Abréviations

INTRODUCTION GENERALE ….……01

CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Introduction…..…….03

1.2 Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction…….....03

1.2.1 Introduction **……...03**

1.2.2 Valorisation des déchets et sous produits industriels dans le domaine génie civil**….03**

- Déchet**……..……..04**
- Récupération**……..04**
- Recyclage**……..04**
- Compostage**……..04**
- Incinération**……04**
- La valorisation**……04**

1.2.3 Constitution chimique du déchet**…….……..….05**

1.2.4 Origine de la production de déchet**…….……..….05**

1.2.5 Différent déchet utilisés en génie civil**…….……..…....05**

A. Déchet industriels dangereux non toxiques……..……05

B. Déchets inertes……..…….06

C. Déchets toxiques……07

D. Déchets industriels dans des conditions spécifiques……07

E. Déchet ménager et assimilés……..07

F. Les déchets industriels banals (D.I.B)……...07

1.2.6 Activité de recyclage des déchets en construction…….....08

1.2.6.1 Recyclage des déchets …….....08

1.2.6.2 Type de recyclage……..…….08

1.2.6.3 Impacts du recyclage sur l'environnement……09

1.2.7 Carrelage et déchet de carrelage……...09

1.2.7.1 Carrelage ……...…09

- Définition……09
- Historique……10
- Composition……10
- Types de carrelage……...12
- Les avantages……..14
- Les inconvénients……....14

1.2.7.2 Déchets de carrelage ……..……..14

1.2.7.3 Carrelage de Mosaïque de marbre (GRANITO) ……..……...15

- Historique granito terrazzo……..15
- Définition……16
- Composition……16
- Les avantages……..17
- Domaine d'utilisation……..17

1.2.7.4 Pavés en béton ……..…….....18

- Historique……18

- Définition**……18**
- Composition du pavé autobloquant du béton**……19**
- Les avantages du pavé autobloquant**……..19**
- Les inconvénients du pavé autobloquant**……20**
- Domaine d'emploi**……...20**

1.3 Le béton de sable ……..…...20

1.3.1 Introduction **……...20**

1.3.2 Historique des bétons de sable **…….....21**

1.3.3 Définition **….....22**

1.3.4 Les composants du béton de sable **….....23**

1.3.4.1 Les sables **…….....23**

1.3.4.2 Les fines d'ajout (ou addition) **…….……24**

1.3.4.3 Les ciments **…….....26**

1.3.4.4 L'eau **…….…...26**

1.3.4.5 Adjuvants **…….…...27**

1.3.5 Propriétés du béton de sable **…….....27**

1.3.5.1 Propriétés générales **……..27**

1.3.5.2 Propriétés spécifique **……...….31**

1.3.6 Domaines d'emploi des bétons de sable **……...…...36**

1.3.6.1 La préfabrication **…….....36**

1.3.6.2 Techniques particulières **…….37**

1.3.7 Formulation du béton de sable **……40**

1.3.7.1 Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable **……40**

1.3.7.2 Méthode expérimentale de formulation des bétons de sable**……46**

1.4 Béton auto-plaçant ……..…50

1.4.1 Introduction **……50**

1.4.2 Propriétés des BAP **……..51**

1.4.3 Composition de BAP **……51**

1.4.3.1 Matériaux de base **……..……..52**

- Les granulats**…….……52**
- Le ciment**……...52**
- L'eau de gâchage**……...52**

1.4.3.2 Additions minérales **……..…...53**

1.4.3.3 Adjuvants chimiques **……..…..……53**

1.4.3.4 Autres additions **……55**

1.4.4 Les Essais de caractérisation des bétons auto-plaçant **……....55**

1.4.4.1 Les essais à l'état frais **……56**

- Essai d'étalement**……....56**
- Essai de l'entonnoir (V-funnel/Orimet)**……..……..57**
- Mesure de la teneur en air occlus**…….…….…..58**
- Mesures volumiques**……58**
- Essai de stabilité au tamis**……...……59**

1.4.4.2 Caractérisation de BAP à l'état durci **…….....60**

- Résistance à la compression**……..…60**
- Résistance à la traction par flexion**……60**
- Le retrait**……61**
- Fluage**……61**

1.4.5 Les avantages et les inconvénients de BAP **…….…….....61**

1.4.5.1 Les avantage **…….....61**

1.4.5.2 Les inconvénients **…….....62**

1.4.6 Domaine d'emploi de BAP **…….……....62**

1.5. Valorisation des déchets de carrelage dans les matériaux cimentaire……..…63

1.5.1 Influence de carrelage sur les propriétés des matériaux cimentaires **….....63**

1.5.1.1 Etats frais **…….....63**

1.5.1.2 Etats durci **…….……..…….64**

A. résistance à la compression**……...……64**

B. la résistance à la traction**……...65**

1.6 Conclusion ……66

CHAPITRE 2:MATÉRIAUX ET ESSAIS

2.1 Introduction ……..……..…..…67

2.2 Caractérisation des matériaux utilisés ….……...……...67

2.2.1 Le sable **……..…..…….…….….....67**

2.2.2 Ciment **…….……...……69**

2.2.3 Ajouts (fillers) **…….....72**

2.2.4 Adjuvant **…….……73**

2.2.5 Eau de gâchage **……...…….……...74**

2.2.6 Déchets de carrelage (granito et pavé) **…….....74**

2.3 Composition des mélanges ……..……75

2.4. Malaxage et conservation ……...……...77

2.5 Essai réalisés à l'état frais ……...…….……78

2.5.1 L'étalement **……...……..78**

2.5.2 Ecoulement à l'entonnoir en V-FUNNEL **…….....…79**

2.5.3 La densité **…….....….80**

2.5.4 Mesure de la teneur en air occlus **……..…….....80**

2.6 Préparation des éprouvettes ……..…81

2.7 Conservation ……82

2.8 Essais sur béton durci ……...82

2.8.1. Essai de compression **…….....82**

2.8.2 Essai du retrait et gonflement **……...84**

2.8.3 Absorption capillaire **…….....85**

2.9 Variables étudiées ……..86

2.10 Conclusion …….....87

CHAPITRE3: RESULTATS ET INTERPRETATION

3.1 Introduction ……..……..……..…….....88

3.2. Influence de déchets de granito sur le comportement du BSAP……...…88

3.2.1 Caractéristiques du BSAPG à l'état frais **……88**

3.2.1.1 Etalement **……..88**

3.2.1.2 V-funnel **……89**

3.2.1.3 Densité **……...……...90**

3.2.1.4 Air occlus**……...90**

3.2.2 Caractéristiques du BSAP à l'état durci **……..91**

3.2.2.1 Résistances à la compression**……..……...91**

3.2.2.2 Approche de durabilité **……92**

- Absorption d'eau**……....92**
- Retrait**……93**
- Gonflement**……94**

3.2.3 Conclusion **……...……..95**

3.3. Influence de déchets de pavé sur le comportement du BSAP ……..…95

3.3.1 Caractéristiques du BSAPG à l'état frais **……95**

3.3.1.1 Etalement **……95**

3.3.1.2. V-funnel **……..……..97**

3.3.1.3 La densité **……..……...97**

3.3.1.4 L'air occlus **…….……98**

3.3.2 Caractéristiques du BSAP à l'état durci **……98**

3.3.2.1. Résistances à la compression **…….99**

3.3.2.2 Approche de durabilité **…….....….99**

- Absorption d'eau**…….……..……..99**
- Retrait**……100**
- Gonflement **……...101**

3.3.3 Conclusion **…….……102**

CONCLUSION et RECOMMANDATIONS …….……103

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES …….....105

ANNEXES ……..112

CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau1.1. Quantités de déchets industriels produits : évolution 2008 **……...07**

Tableau 1.2. Essais de caractérisation des bétons à l'état frais**…….…….....63**

Tableau 1.3. L'air occlus, ouvrabilité et la masse volumique des bétons frais**……..…..64**

CHAPITRE 2 : MATÉRIAUX ET ESSAIS

Tableau 2.1. Caractéristiques physiques des sables utilisés**…….....68**

Tableau 2.2. Analyse chimique du ciment et composition du clinker **……...70**

Tableau 2.3. Caractéristique physiques du ciment**……..71**

Tableau 2.4. Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge**……...72**

Tableau 2.5. Caractéristiques physiques des fins de marbre utilisées**…….73**

Tableau 2.6. Caractéristiques physiques des granulats de carrelage **…….....…74**

Tableau 2.7. Compositions des Béton de sable auto plaçant a base de déchet de granito**……76**

Tableau 2.8. Compositions des Béton de sable auto plaçant a base déchet de pavé autobloquant **……..….77**

Tableau 2.9. Essais sur BSAP frais **…….……...78**

Tableau 2.10. Essais sur bétons de sable autoplaçant durci **……...82**

CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Fig.1.1: Les déchets dangereux**……..……06**

Fig.1.2: Les déchets inertes**……...…….…..…06**

Fig.1.3: Compositions des déchets du bâtiment**……...……...08**

Fig.1.4: Le carrelage **……..…….....10**

Fig.1.5: Argile**……...……...11**

Fig.1.6: Sable de quartz**……...……11**

Fig.1.7: Feldspath**……...…….11**

Fig.1.8: Kaolin**……...….12**

Fig.1.9: les déffirents type de carrelage**…….....14**

Fig.1.10: Répartition en chiffre d'affaires des céramiques en Europe par secteur**.....15**

Fig.1.11: Le carrelage granito**…….....16**

Fig.1.12: pave autobloquant**…….....19**

Fig.1.13: Carte de deserts dans le monde **…….....21**

Fig.1.14 : Phare de port Saïd réalisé en béton aggloméré Coignet (Egypte) **…….…22**

Fig.1.15: Schéma explicatif de l'apparence du BS pur,BS chargé et du béton traditional**……...……..23**

Fig.1.16: Fines anguleuses **…….…….....24**

Fig.1.17: Fines sphériques**……....25**

Fig.1.18: Microstructure du fumé de silice (formesphérique) **……...…….....26**

Fig.1.19: Le temps d'écoulement en fonction du module de finesse **……..…..…..28**

Fig.1.20: Influence de la nature du sable sur la maniabilité (avec fines d'addition calcaire) **…….…….....28**

Fig.1.21: Effet de fillers calcaire sur la densité des sables DS, RS et RDS **…….……29**

Fig.1.22: Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance à la compression**…….…….....30**

Fig.1.23: Influence de la nature de l'addition sur le niveau de résistance à la compression **…….……..……30**

Fig.1.24: Effets de la granularité sur la résistance**…….....…….....31**

Fig.1.25: Variation de l'adhérence d'une armature en fonction de la formulation**…....32**

Fig.1.26: Influence de la résistance en traction du béton de sable sur l'adhérence des armatures **……..……32**

Fig.1.27: Courbe de distribution de la porosité en fonction des rayons des pores**…....33**

Fig.1.28: Evolution du retrait dans le béton de sable **…….…...34**

Fig.1.29: Evolution du fluage du béton de sable **……...35**

Fig.1.30: Eprouvettes non vibrées non piquées**…….....36**

Fig.1.31: Le béton de sable dans la Préfabrication**…….....37**

Fig.1.32: Le béton de sable en projection **…….....….....38**

Fig.1.33: Dallageen BS fluidifié auto compactant (Base aérien de Dijon)**…….....…39**

Fig.1.34: Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines**…….…….....41**

Fig.1.35: Influence de la dimension d sur la porositéminimale du béton pour deux tailles D du sable**……...…..…… 42**

Fig.1.36: Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'unematrice pour

Mise en œuvre donnée……..…….…....43

Fig.1.37: Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle) …….....45

Fig.1.38: Organigramme de la métho de théorique……..…….....46

Fig.1.39: Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'adition.....49

Fig.1.40: masse volumique apparent en fonction du dosage en fines d'addition.....50

Fig.1.41: Les utilisations des superplastifiants……...…….…..…55

Fig.1.42: Pâte de ciment non adjuvantée……...……...……55

Fig.1.43:Pâte de ciment additionnée d'un superplastifiant……..…….…….…55

Fig.1.44: Essais au côned'abrams……..…….....56

Fig.1.45: schematisation la boîte L-BOX……..…....…..…57

Fig.1.46: Test à l'entonnoir (V-funnel/ Orimet)……..…….…..….58

Fig.1.47: Mesure de l'airocclus à l'aide d'un aéromètre…….…….....…59

Fig.1.48: Mesure de la masse volumique réelle…….…..…....60

Fig.1.49 : Tamis de 5mm + fond -Mesure de la laitance ……...….60

Fig.1.50: Mesure de la résistance à la compression sur demi-prisme……..61

Fig.1.51: Résistance à la compression pour different bétons…….…….....….65

Fig.1.52: Résistance à la compression des bétons……...….65

Fig.1.53: Résistance à la traction des bétons……..…....66

CHAPITRE 2:MATÉRIAUX ET ESSAIS

Fig.2.1 Aspect du sable utilisé…….67

Fig.2.2. Courbe granulométrique de sable et de déchet de carrelage utilisée**…..…….68**

Fig.2.3. Courbe d'analyse chimique du sable utilisé **…….…69**

Fig.2.4 Le ciment utilisé **…….……...….70**

Fig.2.5 Diagramme de DRX appliqué sur le ciment utilisé **…….…….....….72**

Fig.2.6. Fillers de marbre utilisés **…….....….73**

Fig.2.7. L'adjuvant utilisé**……...……...…....74**

Fig.2.8. Aspect de déchets de granito utilisé **……...…..…….75**

Fig.2.9. Aspect de déchet de pavé utilisé **…….……..75**

Fig.2.10. Le malaxage de BSAP**……...…….……78**

Fig.2.11. Mesure de l'étalement du béton de sable autoplaçant**……...……..79**

Fig.2.12. Mesure de temp d'écoulment du BSAP **……..…….……...80**

Fig.2.13. Mesure de la densité du béton de sable autoplaçant**…….....……...…...80**

Fig.2.14. Mesure de l'air occlus de BSAP à l'aide d'un aéromètre **……81**

Fig.2.15. Fabrication des éprouvettes **……..……...82**

Fig.2.16. Dispositif de rupture à la compression **……...….83**

Fig.2.17. Essais de compression **…….……83**

Fig.2.18. Mesure des variations dimensionnelles à l'aide de retractomètre **….…....84**

Fig.2.19. Absorption d'eau par succion capillaire des BSAP **……..…..85**

Fig.2.20: Variables étudiées **……...86**

CHAPITRE3 : RESULTATS ET INTERPRETATION

Fig.3.1.Étalement des BSAP à base de déchets de granite avant réglage**……..…88**

Fig.3.2. Etalement des BSAP à base de déchets de granito après réglage**…….....….89**

Fig.3.3. Temps d'écoulment des BSAP à base de déchets de granito**…….……...…..89**

Fig.3.4. La densité des BSAPG à base de déchets de granito **…….…….....…90**

Fig.3.5 .L'airocclus des BSAP à base de déchets de granito**……...…….....…91**

Fig.3.6. La résistance à la compression des BSAP à base de déchets de granite **…...92**

Fig.3.7. Absorption capillaire des BSAP à base de déchets de granito**……...93**

Fig.3.8. Le retrait des BSAP à base de déchets de granito**……..…94**

Fig.3.9. Gonflement du BSAPG à base de déchets de granito**……..…..94**

Fig.3.10. Étalement des BSAP à base de déchets de pave avant réglage**……...…96**

Fig.3.11. Étalement des BSAP à base de déchets de pavé après réglage**……..…..…96**

Fig.3.12. Temps d'écoulment des BSAP à base de déchets de pavé**……..…..……97**

Fig.3.13. La densité des BSAP à base de déchets de pavé**……...…..…….....97**

Fig.3.14. Mesure de l'air occlus de BSAP à base de déchets de pavé**…….....…..98**

Fig.3.15. La résistance à la compression des BSAP à base de déchets de pavé**…….99**

Fig.3.16. Absorption capillaire des BSAP à base de déchets de pavé**…..…….....…100**

Fig.3.17. Le retrait des BSAP à base de déchets de pavé**…….....…101**

Fig.3.18. Le gonflement des BSAP à base de déchets de pavé**……..…...…...101**

Symboles et Abréviation

D : La dimension du plus gros granulat.

Dr : Diamètre final.

Di : Diamètre initial.

S : Sable.

K : constante comprise entre 0.2 et 0.25.

C : Dosage du ciment exprimé en Kg/m3

e : Quantité d'eau efficace exprimée en Kg/ m3.

E : Dosage en eau.

M : Masse de l'éprouvette au moment du démoulage.

p : la porosité.

NA: Norme Algérienne.

BS: béton de sable.

BST : témoins.

MEB : microscope électronique à balayage

URSS:

CaO : La chaux.

SiO2: La silice.

MgO: L'oxyde de magnesium.

3CaO SiO2 (C3S): Le silicate tricalcique impur (Alite).

2CaO SiO2 (C2S): Le silicate bi-calcique impur (Bélite).

3CaO Al2O3, (C3A): L'aluminate tricalcique (Célite).

4CaO Al2O3Fe2O3 (C4AF): L'alumino-ferrite tétra-calcique.

CPA: Ciment Portland artificiel (97% clinker plus des fillers).

CPJ: Ciment Portland composé (65% clinker plus des ajouts).

CHF: Ciment de haute-fourneau (40% à 75% laitier plus du clinker).

CLK: Ciment de laitier au clinker (80% laitier plus du clinker)

E/C: Rapport eau /ciment.

Sp: Adjuvant.

BAP: Béton auto-plaçant

V : Volume des vides du mélange granulaire ;

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

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

ρ : Densité du constituant exprimée en g/cm3 ;

f : surface spécifique exprimée en cm2/g du constituant.

Msable : masse nécessaire pour 1 m^3 du béton de sable ;

MV sable**:** masse volumique absolue du sable ;

MVAR : les masses volumiques du béton théorique et reel;

MVR : La masse volumique réelle;

V : le volume d'eau à rajouter ou à retrancher selon l'écoulement.

Si : dosage en sable après correction

S_{i-1} : dosage en sable avant correction MVAT,

V sable : volume du sable ;

Ps (v) : Porosité du sable d'étendue granulaire comprise entre 80 μm et Dmax.

Dmax : Diamètre maximal du plus gros grain du mélange.

Kf : coefficient granulaire compris entre 4.5 et 5 ;

Rc : classe vraie du ciment (MPa) ;

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

K1 : coefficient pouzzolanique;

K2 : coefficient d'activité du filler calcaire;

Kcv., Kfs, Kfil : coefficients d'équivalence en ciment des différentes additions en fines;

CV, FS, FIL : dosage en cendres volantes, fumée de silice et filler calcaire (kg/m3);

α: compris entre 0.1 et 0.15 ;

d : est la borne inférieure de la phase solide du béton (mm) ;

D : est la borne supérieure de l'étendue granulaire du sable (mm) ;

BHP : Béton de haute performance;

BO : Béton ordinaire;

BC : Béton à base de ciment avec calcaire;

BDPC : Béton à base de ciment avec de déchet de polissage de carrelage;

BSD : Béton à base de ciment avec sable de dune broyé;

DPC : déchet de polissage de carrelage;

BSAPT : Béton de sable auto-plaçant témoin;

BSAPG : Béton de sable autoplaçant à base de déchet de granito;

BSAPP: Béton de sable autoplaçant à base de déchet de pave autobloquant;

$\mathbf{R_C}$: Résistance à la compression en (MPa) ;

$\mathbf{F_C}$: Charge de rupture en (N) ;

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm;

MPA: méga pascal;

Introduction général

Le confortement et la protection de la nature étaient et restent pour toujours le grand souci pour l'homme, depuis longtemps l'être humain a utilisé toutes les ressources et les matériaux que la nature lui offert, quelque soit a leurs état brut ou après une transformation et traitement qu'il peut être chimique, physiques, mécaniques ou complexes, pour qu'il atteint une vie plus facile et lui permet de combattre les obstacles de sa vie courante.

Les grandes quantités de déchets résultant quotidiennement des différents travaux de construction, de réhabilitation ou de réparation constituent une gêne environnementale et soulèvent des problèmes particulièrement difficiles à résoudre. Parmi ces déchets on peut citer les déchets de construction et plus précisément les déchets de carrelage, qui représentent une part importante des déchets solides municipaux, et qui posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie élevée et parce que ce sont des déchets voyants. Les premiers procédés mis en place pour les traiter furent l'enfouissement. Le recyclage de ces déchets dans le domaine de construction pourra résoudre un double problème : d'une part les problèmes environnementaux et d'autre part les problèmes économiques et techniques rencontrés dans le domaine de la construction.

C'est dans ce contexte que s'ouvre la réflexion sur la formulation de nouveaux bétons qui utiliseraient des ressources abondantes, peu ou pas exploitées, et présenteraient soit des caractéristiques comparables à celles des bétons usuels, soit des caractéristiques répondant à certaines exigences mal assurées par ces derniers. La valorisation des matériaux locaux ainsi que la réutilisation des déchets de différentes natures comme le carrelage font actuellement l'objet de différentes recherches.

Ce travail consiste donc à récupérer des déchets de carrelage, plus précisément les déchets de granito et de pavé, rejetées dans la nature, après avoir été collectés, sont lavées, concassés, broyées puis extrudées sous forme de grain, puis incorporées dans le béton de sable autoplaçant par substitution et par ajouts. Le composite ainsi réalisé est appelé "béton de sable autoplaçant à base de déchets de carrelage". A part le ciment, chaque matériau de base constituant ce béton entre soit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux, soit dans le cadre de la réutilisation des déchets industriels.

Pour le besoin de l'étude, les matériaux utilisés sont les suivants :

- Un seul type de sable : Il s'agit d'un sable roulé
- Deux déchets d'origines différentes : le marbre provenant d'une carrière de Skikda abandonnée se trouvant dans l'usine de marbre de Zawya wilaya de Blida et les déchets de carrelage sous forme de grain provenant de la décharge naturelle.

Pour atteindre ces objectifs, le travail présenté poursuit une démarche progressive s'articulant autour des trois chapitres suivants :

Nous présentons tout d'abord dans le premier chapitre, une synthèse bibliographie regroupant en général la valorisation des déchets et l'activité de recyclage en construction.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons les caractéristiques des matériaux de base, la formulation du béton de sable autoplaçant, et les techniques expérimentales utilisées durant cette étude pour évaluer les propriétés à l'état frais (étalement, temps de passage, densité, air occlus), les propriétés mécaniques (résistance à la compression), la durabilité (absorption d'eau, variations dimensionnelles (retrait et gonflement).

Le troisième chapitre présente l'analyse et la discussion des résultats obtenus.

Enfin des conclusions générales et des recommandations sont présentées pour achever ce modeste travail de recherche.

Chapitre 01 :
Synthèse bibliographique

1.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présentons toutes les informations sur le déchet, le recyclage et la valorisation des différents déchets utilisés en génie civil, notre travail s'intéresse aux déchets de carrelage, on a cité toutes les caractéristiques de ce dernier, en basant sur deux types :

• Carrelage granito

• Pavé autobloquant

D'autre part, on à parlé aussi de béton de sable et béton autoplancant, et on a terminé par la valorisation des déchets de carrelage dans le domaine des matériaux cimentaires.

1.2 Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction

1.2.1 Introduction

La production mondiale des déchets a pratiquement doublé au cours des dix dernières années Devant les besoins sans cesse croissant des ressources en matériaux et aux exigences et conditions de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent de prospecter et étudier toutes les possibilités et opportunités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous produits industriels notamment dans le domaine des travaux publics.[1]

l'un des secteurs les plus important dans la génie civil est la valorisation des déchets, sachant que le produit final obtenu n'est pas soumit à des critères de qualité très durs , a savoir , deux impacts importants sont touchés : l'impacts environnemental, et économique , le premier est résout par l'évacuation de ces déchets, alors que le deuxième s'intéresse à l'utilisation de ces derniers dans l'industrie ou le domaine de construction comme avantage pour cette valorisation c'est la disponibilité des déchet en grande quantité avec une faible valeur marchande

1.2.2 Valorisation des déchets et sous produits industriels dans le domaine génie civil

- **Déchet**

Selon le cadre d'environnement un déchet est : tous des résidus d'un processus de production ou transformation ou l'utilisation, toute substance matériau, produit ou plus généralement tout bien, meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon, Autrement dit, tout élément qui est abandonné est un déchet.[2]

- **Récupération**

Séparation de certains produits ou matériaux des déchets à des fins de réemploi de réutilisation et de recyclage.

- **Recyclage**

Réintroduction d'un matériau récupéré dans le cycle de production dont il est issu (même circuit de fabrication).

- **Compostage**

Le procédé de traitement biologique de déchets et la transformation des constituants organiques d'un déchet en un produit stabilisé (compost).

- **Incinération**

C'est un procédé thermique qui consiste à la destruction complète du déchet et sa transformation en éléments simples et inertes sous l'action d'une forte chaleur et de l'oxygène de l'air.

Il faut noter que les résidus solides de combustion (cendres, mâchefers…) représentent 25 % à 30 % du poids des déchets, ils sont valorisés entant qu'ajouts cimentaires.

- **La Valorisation**

Tout traitement où utilisation des déchets qui permet de leur trouver un débouché ayant une valeur économique positive. Le terme général valorisation englobe réemploi recyclage et réutilisation. [3]

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité. Il s'agit donc de «mesurer pour connaître et connaître pour agir».

L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir. [1]

Pourquoi valoriser ?

L'intérêt qui est porté de plus en plus à la valorisation des déchets et des sous produits industriels est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et enfin la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et l'environnement. Les arguments peuvent être résumés en :

- Augmentation de la production.
- Le coût de stockage où de traitement est de plus en plus élevé.
- Une législation de plus en plus sévère.
- Une meilleure gestion de la recherche. [3]

1.2.3 Constitution chimique du déchet

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux. [4]

1.2.4 Origine de la production de déchets

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

• biologiques : tout cycle de vie produit des métabolites.

• chimiques : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième.

• technologiques : tout procédé industriel conduit à la production de déchet.

• économiques : les produits en une durée de vie limitée.

• écologiques : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique.

• accidentelles : l'inévitable dysfonctionnement des systèmes de production et de Consommation sont eux aussi à l'origine de déchets. [1]

1.2.5 Différents déchets utilisés en génie civil

En général les déchets sont classés en cinq catégories comme illustrés ci –dessous ; bien que les déchets utilisables en génie civil soient les déchets inertes, les déchets ménagers et les déchets en sous produits industriels dans des conditions spécifiques. [5]

A. Déchets industriels dangereux non toxiques

Ce type de déchets regroupe généralement :

- Des déchets de fer, de cuivre, de plomb.

- Des déchets contenant des fibres d'amiante.
- Des produits de préservation du bois.
- Des déchets solides dangereux de construction et de démolition de bâtiment à caractère industriel. [6]



Fig.1.1: Les déchets dangereux.

B. Déchets inertes

Les déchets inertes sont des déchets minéraux non pollués. Ils ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne se détériorent pas au contact d'autres matières d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.
Ces déchets proviennent des activités de construction, de réhabilitation (rénovation) et de démolition liées au secteur du bâtiment, ainsi que des activités liées à la réalisation et à l'entretien d'ouvrages publics (routes, ponts, réseaux…).

Parmi les déchets inertes produits par le secteur du bâtiment on trouve : le béton, les briques, les tuiles, les céramiques, les carrelages, les matériaux à base de gypse.



Fig.1.2: Les déchets inertes.

C. Déchets toxiques

Ils sont à caractère industriel et obtenus en général après traitement chimique des matériaux synthétiques.

Certains déchets toxiques sont mélangés en faible quantité à des produits non polluants. Il est alors impossible de recycler ces produits sans les avoir débarrassés des déchets toxiques. [7]

D. Déchets industriels dans des conditions spécifiques

Ils proviennent d'industries générant de très grandes quantités de déchets en sous produits industriels, dont les caractéristiques sont bonnes et relativement stables (cendres volantes les scories d'aciéries, le laitier, les cendre volante, etc.). [5]

E. Déchets ménager et assimilés

Les déchets ménagers et assimilés sont les déchets solides produits par les ménages sur leur lieu d'habitation Ils regroupent :

- les ordures ménagères.
- les déchets d'emballage recyclables en verre.
- les déchets encombrants issus des ménages.
- les déchets végétaux.
- Déchets de matière alimentaire (Déchets de café).
- Déchets de l'automobile (huiles, épaves, batteries, pneus, …).

F. Les déchets industriels banals (D.I.B.)

Appelés aussi déchets industriels assimilés aux déchets ménagers, sont constitués de déchets non dangereux et non inertes. Ils contiennent effectivement les mêmes composants que les déchets ménagers mais en proportions différent.

Tableau.1.1: Quantités de déchets industriels produits : évolution 2008. [8]

Catégorie de déchets	Production de déchets en tonnes
Bois	5 529 740
Métaux	3 960 337
déchets en mélange	2 160 388
papiers cartons	1 997 818
Plastiques	467 333
Verre	305 495
Caoutchouc	81 220
Textile	22 877
Total déchets banals	14 525 208

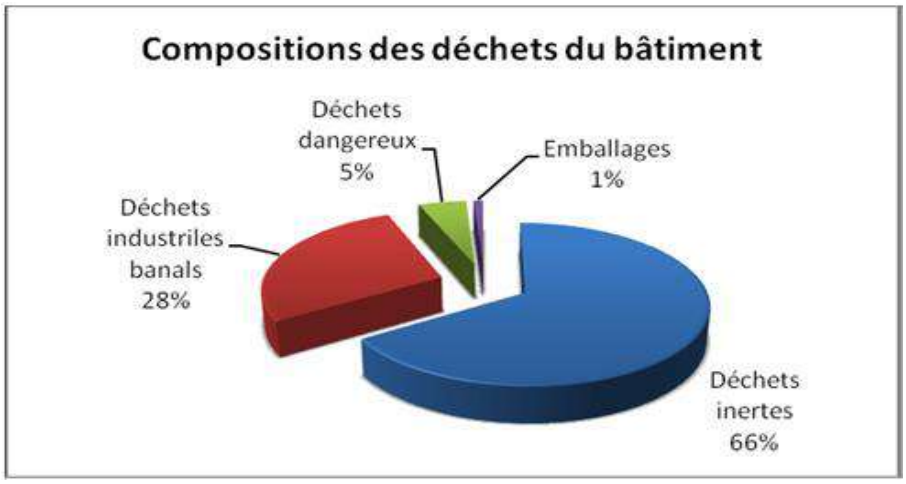


Fig.1.3: Compositions des déchets du bâtiment. [5]

1.2.6 Activité du recyclage des déchets en construction

1.2.6.1 Recyclage des déchets

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent.

Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. C'est une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient.

Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés. [9]

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets.
- réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.

1.2.6.2 Types de recyclage

On peut distinguer trois types de recyclage :

- **le recyclage in situ** : les installations de recyclage sont mobiles et il s'effectue sur le chantier de démolition.

Ce type de recyclage consiste en la réutilisation immédiate des déchets. De plus, le transport n'intervient pas dans le coût des granulats. Dans le domaine routier, par exemple la nouvelle chaussée est réalisée à partir du matériau de recyclage de l'ancienne chaussée. L'Allemagne et l'Angleterre possèdent plus d'installations mobiles que fixes.

- **le recyclage sélectif** : il est choisi lorsque les matériaux de démolition sont homogènes.

Ce type de recyclage nécessite que les quantités stockées soient suffisantes.

- **le recyclage en site fixe** : les matériaux de démolition sont acheminés vers des installations montées en permanence sur un même site.

Ce type de recyclage s'effectue dans des conditions industrielles. La nature spécifique des matériaux de démolition et de construction.

1.2.6.3 Impacts du recyclage sur l'environnement

La récupération des déchets touche deux impacts très importants, l'impact environnemental qui est résout par l'évacuation de ces déchets et l'impact économique qui est l'utilisation de ces derniers dans l'industrie ou dans le domaine de la construction, ces déchets ont l'avantage d'être disponibles en grande quantité et avec de faible valeur marchande. [10]

Le recyclage de déchets permet de :

- ✓ Réduire l'extraction de matières premières.
- ✓ Réduire des pollutions et nuisances.
- ✓ Préservé de la diversité biologique et des espaces naturels.
- ✓ Protection des recoures naturels.
- ✓ La protection de l'atmosphère.
- ✓ Contrôle et déduire des déchets dangereux.

1.2.7 Carrelage et déchets de carrelage

1.2.7.1 Carrelage

- **Définition**

Le carrelage est un revêtement de sol ou de murs formé de carreaux de céramique juxtaposés et collés ou scellés. Il est couramment utilisé pour la finition et la décoration des sols et des murs pour les habitations et autres locaux, aussi bien à l'intérieur qu'en extérieur.

On utilise le terme générique de ‘céramique’ pour désigner les matériaux de construction fabriqués et cuits à partir de matières premières naturelles. [11]



Fig.1.4: le carrelage. [11]

- **Historique**

En France, les premiers carrelages remontent au VIIIème siècle. Les carrelages de la chapelle de la Vierge et ceux de la chapelle de Saint-Cucuphat dans l'église abbatiale de Saint-Denis sont remarquables par la beauté de leurs dessins. Ils datent de la fin du XIIe siècle. Au XVIIIe siècle, les carrelages céramiques ont été utilisés plus fréquemment, en passant des demeures modestes à Chambord ou encore Versailles. Le revêtement en parquet bois a ensuite commencé à se développer et reléguer petit à petit les carrelages, notamment dans les chambres domestiques, les pièces de service, les lieux à forte affluence.

A partir de la fin du XIXe siècle, le carrelage reprend le regain de splendeur qu'il a conservé jusqu'à nos jours. [11]

- **Compositions**

Le carrelage sont composés principalement par :

- Argile ou terre : mélange plastique et apte à prendre la forme désirée.



Fig.1.5: Argile. [11]

- Quartz : se solidifie et constitue en quelque sorte la charpente du carreau



Fig.1.6: Sable de quartz. [11]

- Feldspath : se vitrifie sous l'influence de la chaleur et donne la résistance et le liant.



Fig.1.7: Feldspath. [11]

- Kaolin : adjuvant donnant plus de qualité au support et à la réception des émaux fins. Utilisé dans le cas de grès cérame (émaillé ou non), mais n'est pas utilisé pour le grès émaillé. [12]

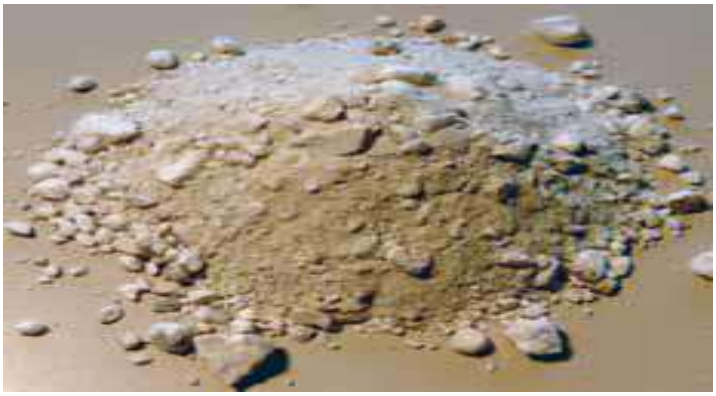


Fig.1.8: Kaolin. [11]

➢ Types de Carrelage

Le carrelage regroupe plusieurs familles

❖ Terre cuite

Le carreau de terre cuite est un produit entièrement constitué d'argile, cuite en général en dessous de 1000 degrés. Il est étiré ou pressé, fabriqué mécaniquement ou fait à la main. Il se pose au sol ou au mur à l'intérieur d'une habitation. Il se patine avec le temps. Le carreau de terre cuite est en général sensible au gel.

❖ Grès émaillé

Le carreau de grès pressé émaillé est composé d'un mélange d'argiles et de feldspath. Il se pose principalement au sol à l'intérieur ou à l'extérieur (s'il est non gélif et antidérapant).

❖ Grès cérame

Le carreau de grès cérame porcelaine ou grès cérame pleine masse est un grès cérame non émaillé. Il est coloré dans la masse et traité contre les taches.

Le grès cérame est la céramique la plus utilisée pour carreler les sols, et pour cause : ses propriétés sont très intéressantes. [12]

❖ Mosaïque

La mosaïque est un art millénaire. C'est par définition l'assemblage de petits morceaux multicolores de pierre, de verre appelé « tesselles ».

Les carreaux de mosaïque sont des carreaux de petite taille.

❖ **Carrelage de Mosaïque de marbre (GRANITO)**

Les carreaux de mosaïque de marbre, également appelés « granito », sont constitués de deux couches. La couche inférieure (face de pose) est composée de ciment, de porphyre ou de quartz et forme un support en béton. Cette couche a été pressée sous haute pression, en même temps que la couche d'usure qui est, quant à elle, composée de ciment coloré, de grains de marbre ou de granit et de granulats. La résistance de la couche d'usure dépend du degré de dureté du marbre utilisé.

L'un des dérivés du carrelage de mosaïque de marbre est le carrelage compact. Ce carrelage qui comme son nom l'indique est très compact, est produit grâce à une technique spéciale, le vibrocompactage. La couche inférieure de béton n'est dès lors plus nécessaire. De ce fait, l'épaisseur des carreaux peut être plus fi ne (15 mm).

❖ **carrelage en ciment**

Les carrelages en ciment sont également appelés carrelages marocains ou carrelages artisanaux. Aujourd'hui encore ce type de carrelage est fabriqué à la main, pièce par pièce, suivant une méthode artisanale restée identique depuis plus des siècles.
Le carreau en ciment est composé de deux couches distinctes :

- La couche supérieure de 4mm d'épaisseur environ est composée d'un mélange de pigment coloré de poudre de marbre et de ciment à grains fins ;
- La couche de structure inferieure est quant a elle composé de sable de ciment gris et gravier fin pour la solidité. [13]

❖ **Pavés en béton**

Les pavés sont des produits industriels définis par la norme NF P98303. Ils font l'objet de la certification, Marque NF « Pavés en béton ».
Les pavés sont constitués, soit seulement d'un béton de masse, soit d'un béton de masse complété par un béton de parement côté vue de face. [14]



Fig.1.9: les déffirents type de carrelage. [12]

- **Les avantages**

- Bonne tenue dans le temps.
- Entretient facile.
- Esthétique.
- Relativement facile à mettre en œuvre.
- Ne peut pas moisir puisqu'il ne contient aucun élément organique animal ou végétal.

- **Les Inconvénients**

Plus ou moins fragile, il est sujet aux risques de casse et de fissures (mais son remplacement est plutôt aisé, prévoyez toutefois l'achat de carreaux supplémentaires dés le départ car retrouver le même modèle et la même teinte peut en revanche poser problème). [15]

1.2.7.2 Déchets de carrelage

- **Déchets carrelage en chiffres**

Le génie civil consomme plus de 80 % du marché total des céramiques. En Europe à titre d'exemple est de l'ordre de 30 milliards d'euros/an. Les secteurs les plus importants (Figure I.10) sont l'industrie des carreaux de revêtement et de dallage (39 %), les tuiles et briques

(24 %), les réfractaires (12 %), les céramiques techniques (10 %), les sanitaires (8 %), la vaisselle et l'ornementation (6 %).

La plus grande partie de la production a lieu en Allemagne, Grande-Bretagne, Espagne et en Italie. [16]

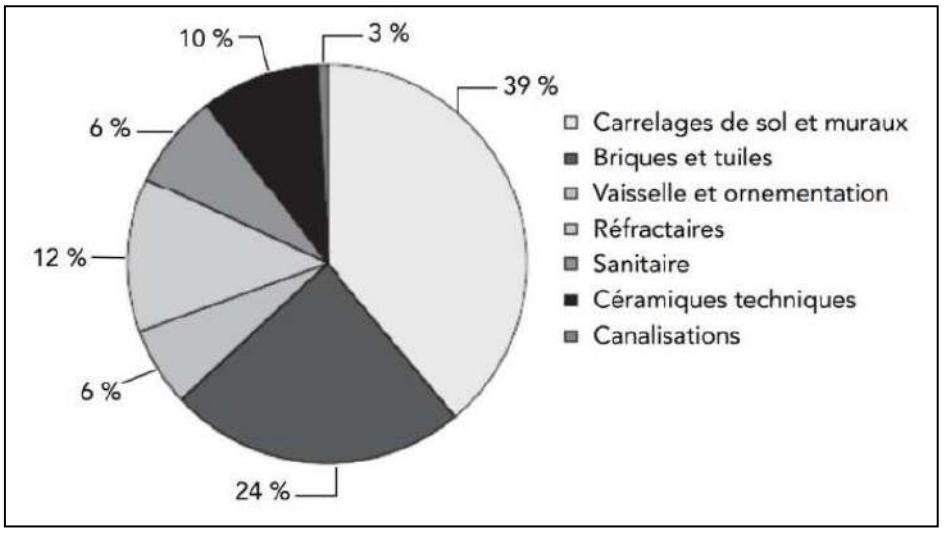


Fig.1.10: Répartition en chiffre d'affaires des céramiques en Europe par secteur. [17]

Dans cette travaille on utilise deux type de carrelage :

- Le carrelage de mosaïque de marbre (Granito).
- Le pavé en béton.

1.2.7.3 Carrelage de Mosaïque de marbre (GRANITO)

- **Historique granito terrazzo**

Le granito, terme générique en France (Opus signinum), ou « terrazzo alla veneziana » ou encore « terrazzo alla genovese » selon le mode de mise en œuvre, est un revêtement de sol décoratif qui trouve ses premières applications véritables dès l'époque hellénistique et fut importé de Grèce en Italie à l'occasion des invasions romaines.

Mais la source originelle de cette matière se situe bien avant notre ère puisque l'on retrouve datant des environs de 4500 Av J.-C. en Mésopotamie, sous forme de décors mosaïques, (Mosaïque: appareillage de pierres qui appartient aux Muses) les plus anciens vestiges d'emploi de tesselles aléatoires pour l'édification du palais de Warka. (Actuel Uruk en Irak)

La réalité historique de cette subtilité sémantique provient du siècle dernier lors de la période Art-Déco au cours de laquelle les préférences esthétiques de nos maîtres d'œuvres Français

ont privilégié les mises en œuvre de « Terrazzo » uniquement formulés à l'aide de granulométries de petites dimensions, inférieures à 5mm. « Granito » qui signifie en Italien « petit grain », (et non pas en raison de sa similitude phonétique ou esthétique avec le granit comme on peut parfois l'entendre dire….) était le nom donné par les ouvriers Terrazzieri de l'époque à ce procédé d'application. La mode des « petits grains » est passée, mais le nom « Granito », en France, est resté. [18]

- **Définition**

Le Granito, ou Terrazzo à grains fins, est un carrelage de sol a motif, très résistant, dérivé du Carreau Ciment. Les granulats de marbre et verre coloré renforcent la couche de surface. Ils permettent un polissage abrasif, pour égaliser l'ensemble du sol après la pose, ou restaurer un dallage vieilli, qui retrouvera sa splendeur d'origine. Les principaux dessins et motifs de Carreau Ciment se fabriquent en Granito, forme carrée 20x20 à 40x40 et hexagonale. Le Granito – Terrazzo à grains fins - est coulé liquide dans un diviseur puis pressé. Ensuite, séchage et durcissement du ciment s'étendent sur plusieurs semaines. La dernière étape est un polissage en usine qui découvre la beauté du mix ciment pigmenté, marbre et verre. [19]



Fig.1.11: Le carrelage granito. [19]

- **Compositions**

La composition du granito ressemble très fort à celle du béton traditionnel. Il s'agit d'un mélange de granulés de pierre naturelle, de marbre ou de granulats de verre ou de grès avec du ciment, du sable et de l'eau. On peut y ajouter des pigments et d'autres matériaux pour trouver la couleur qui convient au client. Ces composants sont mélangés, moulés puis pressés.

Ensuite, durcissement et séchage des carreaux à l'air libre. La dernière étape est un polissage en usine de la surface colorée qui dégage la beauté du mix ciment coloré grains de marbre ou verre.

Pour une touche personnelle et plus légère, des cristaux ou des bris de verre coloré peuvent être ajoutés au mélange de base. Les granulés existent aussi en diverses couleurs et dimensions.

Le procédé de fabrication du granito est resté identique au fil des années. Il est, comme le béton, coulé sur place et ensuite poli afin d'accentuer l'aspect des granulés. [20]

- **Les avantages de granito**

Se distingue par sa résistance et sa solidité:

- ✓ très haute résistance à l'usure et au feu.
- ✓ offre une longévité unique par rapport à d'autres matériaux utilisés.
- ✓ garantit un aspect épuré et sobre parfaitement en phase avec la tendance de l'esthétique architecturale contemporaine.
- ✓ propose un rapport qualité/prix exceptionnel.
- ✓ permet d'effectuer très facilement et rapidement des réparations invisibles à l'œil.
- ✓ haute résistance mécanique aux impacts et aux chocs.
- ✓ le granito est un matériau recyclable. [21]

- **domaine d'utilisation**

Le Granito peut être employé dans un très large domaine d'applications.

- ✓ sols coulés.
- ✓ escaliers.
- ✓ planchers chauffants.
- ✓ plans de bureaux.
- ✓ plans de tables.
- ✓ façade en pierre agraphée.
- ✓ meubles de bar.
- ✓ bassins.
- ✓ revêtements muraux.[22]

1.2.7.4 Pavés en béton

- **Historique**

Depuis 6000 ans déjà, les paves sont utilises avec succès pour consolider les chemins et les places. Les premières pierres de la technique de pavage moderne furent posées des l'Empire romain. Depuis la fin du XIXe siècle, le béton est utilise pour fabriquer des paves. Ils ont de multiples fonctions et sont principalement employés pour aménager les places et zones de rencontre dans les villes, afin d'y modérer le trafic. En raison de leurs formes et couleurs diverses, les paves en béton sont de plus en plus utilises pour les terrains et les jardins prives. Outre les paves en béton, les dalles en béton de différentes formas et couleurs sont utilisables pour les surfaces sans trafic, telles que les jardins, parcs, chemins et terrasses. La différence entre les paves et les dalles réside dans le rapport entre la longueur d'arête et l'épaisseur: si ce rapport est supérieur a 4, il s'agit d'une dalle. S'il est inferieur à 4, c'est un pavé. [23]

- **Définition**

Les paves autobloquants sont des paves classiques perfectionnes. Leur forme particulière entraine un effet liant et de ce fait un comportement améliore face aux sollicitations et aux efforts de cisaillement. Le pavé autobloquant est très résistant : il peut supporter les trafics intenses à condition d'être bien posé sur lit de sable ou sur mortier. Il est fréquemment utilisé pour les aménagements urbains, des allées de jardins ou des terrasses. Sa caractéristique principale est la forme du pavé qui permet un emboîtement des éléments les uns dans les autres :

- emboîtement unidirectionnel ou multidirectionnel : la liaison entre les pavés est horizontale ;
- emboîtement par épaulement : la liaison entre les pavés est horizontale et verticale. [24]



Fig.1.12: pavé autobloquant. [24]

➢ Compositions du pavé autobloquant du béton

Le pavé autobloquant est composé :

- de ciment.
- de graviers.
- de sable.
- d'eau.

Il peut être :

- teinté dans la masse par des colorants, généralement des oxydes métalliques ;
- ou bien être monocouche ou bicouche : dans ce cas, le béton est différent entre la couche de parement et le corps du pavé. Le parement visible doit être au minimum de 4 mm pour offrir une résistance suffisante à l'usure. [25]

➢ Les avantages du pavé autobloquant

- ✓ Il est robuste et sa résistance mécanique à l'usure est élevée.
- ✓ Il se pose rapidement et relativement facilement soit sur un lit de sable ou sur mortier.
- ✓ Il est polyvalent puisqu'il peut recouvrir aussi bien une allée piétonne qu'un chemin carrossable.
- ✓ Posé sur un lit de sable, il peut être démontée et réutilisé.
- ✓ Il est plus ou moins perméable, évitant ainsi la formation de flaque d'eau.
- ✓ Ses formes et ses couleurs variées, vous permettent de créer de beaux décors.
- ✓ Il reste d'un prix très accessible. Les premiers prix sont au alentour d e10 € le m². [26]

- **Les inconvénients du pavé autobloquant**

Ils peuvent noircir et des herbes peuvent s'incruster dans les joints. Vous pouvez remédier à cela en les nettoyants une fois par an. A la sortie de l'hiver brossez vos pavés. Si vous utilisez un nettoyeur haute pression, maniez-le avec douceur et à puissance modérée. Evitez l'eau de javel. Vous trouver sur le marché des produits spécifique pour nettoyer les pavés.

Bon à savoir : Outre le classique pavé autobloquant en béton coloré, vous pouvez trouver des pavés autobloquants en terre cuite ou en pierre**.** Certains présentent une couche d'usure en pierre reconstituée. D'autres sont drainants permettant l'écoulement de l'eau de pluie. [26]

- **Domaines d'emploi**

Les pavés trouvent dans les espaces urbains un vaste champ d'application :

- ✓ Allées.
- ✓ Places.
- ✓ Trottoirs.
- ✓ Zones piétonnes.

Dans les lotissements, les voies de desserte, les aires de stationnement, les espaces de jeux sont traités de façon esthétique et durable par les solutions béton. Les pavés et dalles de toutes natures sont bien adaptés au traitement des installations sportives, des stades, des espaces de plaisance, des piscines. [14]

1.3 Le béton de sable

1.3.1 Introduction

Nous savons que les régions du sud du pays dépourvus de matériaux pierreux sont par contre très riches en sable. La construction des structures en béton armé et des routes exige un approvisionnement en granulats grossiers, onéreux et très couteux. N'est-il pas préférable d'utiliser dans ces régions des bétons de sable qui atteindra des performances mécaniques analogues à celles des bétons traditionnels. [27]

Le béton de sable est un matériau ancien utilisé antérieurement au béton traditionnel. Il est tombé en désuétude, avec l'abondance des granulats du plus gros calibre permettent tant d'obtenir facilement des nouveaux élevés de résistances. Il retrouve cependant de nos jours un

intérêt certain du fait des propriétés spécifiques de ce matériau, par rapport au béton traditionnel : excellente maniabilité et cohésion, bonne adaptation aux milieux fortement ferraillés, qualités esthétiques, etc. Par ailleurs, dans certaines régions riches en sable, il peut procurer des économies par rapport au béton traditionnel. [28]

En Algérie, l'intérêt à la valorisation du sable de dunes dans les bétons, notamment dans le béton de sable (BS) est apparu dans la fin des années 80.

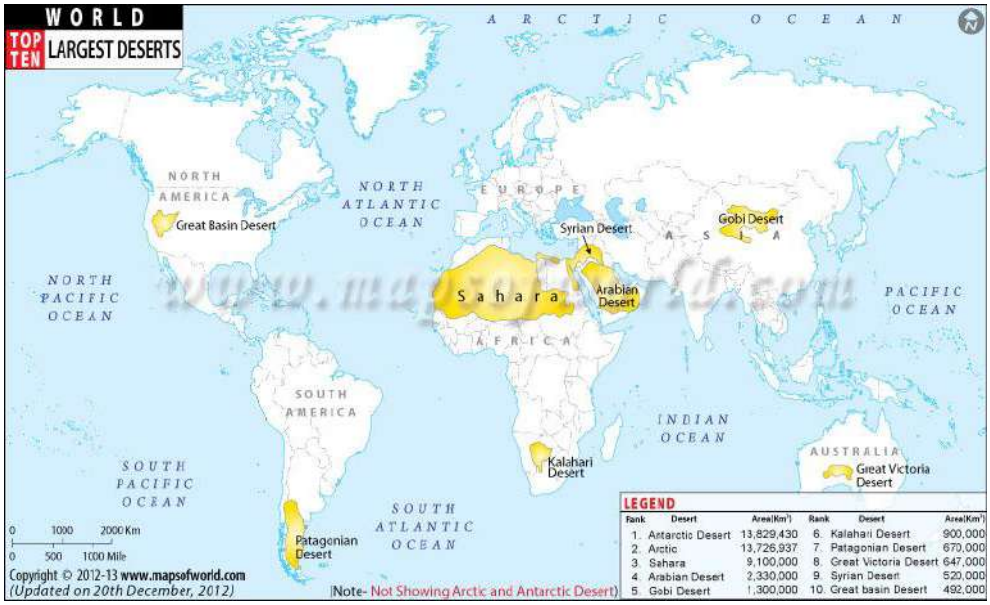


Fig.1.13: Carte de déserts dans le monde [29]

1.3.2 Historique des bétons de sable

Le béton de sable trouve ses origines en France dans le béton aggloméré confectionné par F.coignet dans le 3ème quart de XIX($19^{ème}$)siècle. Il était constitué de sable, de ciment, de chaux et d'eau. Le mur de soutènement à Passy, la maison Coignet à Saint-Denis, constituent les premières applications de cette technique que l'on retrouve aussi dans la réalisation de la tour de Port Saïd en Egypt. (Hauteur : 52m) et du pont de New-York.

Les premières tentatives de correction granulaire restent l'apanage de François.Coignet qui, pour les besoins de réalisation de certaines parties de l'aqueduc de Vanne construit entre 1869 et 1872,mélange a un sable fin traditionnel à un sable non utilisé à l'époque car jugé impropre à la construction.

Cette technique a été mise au point depuis des décennies, en URSS, en témoignent la réalisation du port Kaliringrad en Prusse- Orientale en béton de sable au début du siècle et aussi du pont de Chernavskif coulé sur place à Voronej (500Km de Moscou).

A la fin du second conflit mondial, le professeur académicien Rebinder a permis l'utilisation de ce matériau dans plusieurs domaines : (les chaussés, les pistes d'aviation, élément de remplissage, murs architecturaux, planchers, dalles, réhabilitation, etc.). [28]

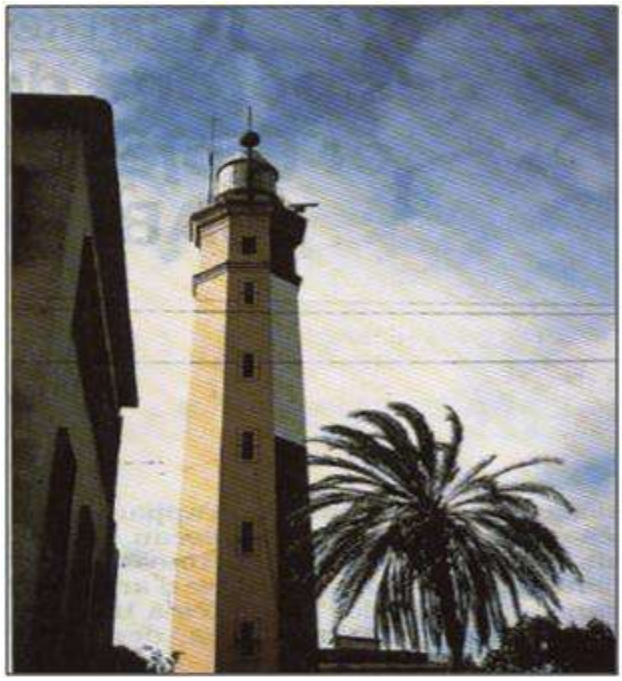


Fig.1.14: Phare de port Saïd réalisé en béton aggloméré Coignet (Egypte) [30]

1.3.3 Définition

Le béton de sable est un béton formé par mélange de sable, de ciment, d'additions et d'eau. Des ajouts (adjuvants, fibres ...) peuvent également être incorporés au mélange. Il est donc principalement constitué de sable.

Son dosage en ciment est du même ordre que celui des bétons classiques soit entre 250 à 400 kg/m}. Cette similitude lui vaut, entre autre, le terme de "béton". Il se distingue du mortier par, notamment, son dosage en ciment, celui d'un mortier étant de 400 à 700 kg/m}, et par son domaine d'utilisation. [31]

Le béton de sable comme son nom l'indique est un béton ou le gros granulat est le sable (D_{max} = 5mm), il ne consomme que (250 à 400) Kg/m3 de ciment, dosage habituel des bétons classiques, la compacité optimale étant atteinte par un ajout complémentaire de fines (fillers) et de plastifiant, tandis que le mortier utilise un fort dosage en ciment de (400à 600) Kg/m3. [28]

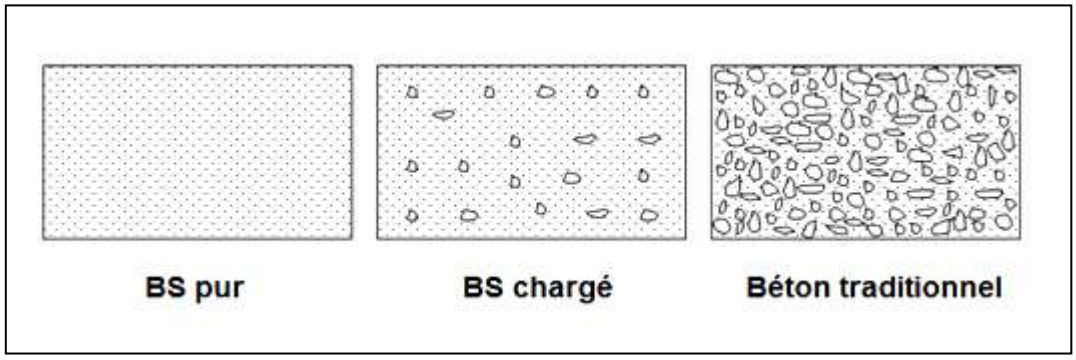


Fig.1.15: Schéma explicatif de l'apparence du BS pur, BS chargé et du béton traditionnel [30].

1.3.4 Les composants du béton de sable

Un béton de sable est composé de sable, de fines d'ajouts, de ciment et d'eau. Par rapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certain usage, d'autres ajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, adjuvants. [28]

1.3.4.1 Les sables

Les sables utilisables sont ceux conformes aux spécifications des bétons classiques, mais des sables considérés non performants peuvent également être employés. D'ailleurs, des programmes nationaux de recherche (SABLOCRETE en France, par exemple) s'efforcent de promouvoir l'utilisation de tous les types de sables. [31]

- **Classification des sables selon leurs provenances**

Les sables peuvent être classés comme suit :

- **Sable de rivière :** il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de mer :** il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- **Sable de carrière :** Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.
- **Sable artificiel :** il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré …). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.
- **Sable de dune :** c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne.

Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara [32]

1.3.4.2 Les fines d'ajout (ou addition)

Par définition, le béton de sable contient une (ou plusieurs) addition(s)
Il s'agit essentiellement de fillers- calcaires, siliceux, de laitier - de cendres volantes, mais aussi d'autres fines (argile calcinée, ultra-fines...).
Les additions proviennent directement du sable (cas dessables fillérisés) et/ou d'apport. Elles comblent en partie les vides du sable : elles augmentent donc sa compacité naturelle et créent une granulométrie aussi continue que possible. Mais elles participent également à l'amélioration de l'enchevêtrement cristallin et de la cohésion du mélange. Elles permettent ainsi d'augmenter les performances sans augmenter le dosage en ciment évitant ainsi les risques de retrait et d'excès de rigidité provoqués par un surdosage en ciment. [29]
On distinguera deux types de fines : les fines actives (laitiers moulu, cendre volantes,fumé de silice, pouzzolanes broyées…) et les fines inertes (fines calcaires, ou de broyage de roches massives…) [27]

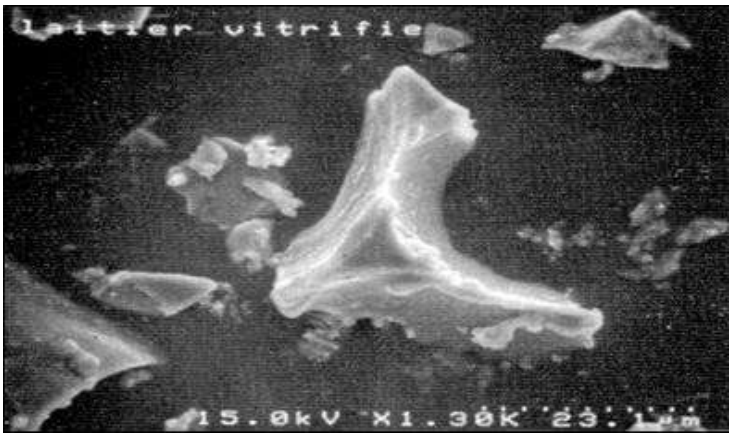


Fig.1.16: Fines anguleuses. [30]

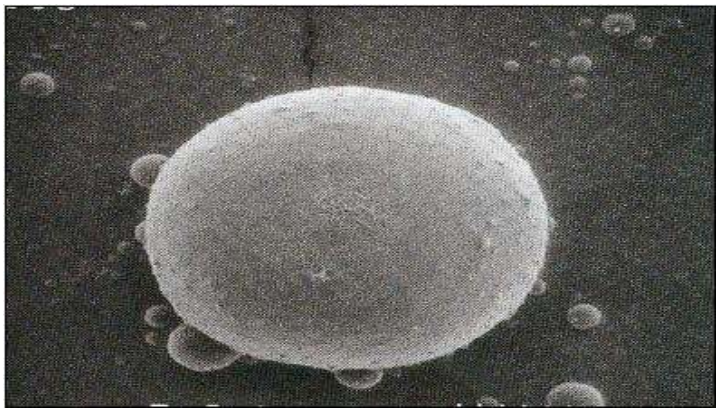


Fig.1.17: Fines sphériques. [30]

- **Les fillers calcaire [NF P18-508]**

Les fillers calcaires sont des produits secs finement divisés, obtenus par broyage et/ou sélection, provenant de gisement de roches calcaires pouvant être dolomitiques, massives ou meubles.

Les fillers calcaires conformes à la norme NFP18-508 sont du type inerte selon la norme EN 206-1 et sont substituable au ciment au sens et sous les conditions de cette norme. [33]

- **Fumé de silice**

Les fumées de silice sont des résides évacuées de la chambre de combustion d'un four destiné à produire de silicium ou des alliages contenant du silicium. La fumée de silice se présente sous forme de microsphères de silice amorphe d'un diamètre moyen de l'ordre de 0.1 μm, leur surface spécifique est de l'ordre de 20 et 25 m2/g, lorsque les microsphères sont bien dispersées, elles vont s'empiler dans l'espace industriel resté vide entre les grains de ciment qui possèdent un diamètre moyen environ 100 fois plus élevé. Ces fines particules améliorent les propriétés rhéologiques du mélange (fluidité, diminution de la ségrégation et du ressuage). Leur grande finesse et leur structure vitreuse en font un produit très réactif. Elles permettent aussi d'obtenir une pate plus dense car le squelette granulaire est plus compact. [34]



Fig.1.18: Microstructure du fumé de silice (forme sphérique). [35]

- **Laitier**

Ce sont des résidus minéraux résultant du refroidissement rapide des scories provenant de la fusion de minerais de fer en haut fourneau. Ce sont des combinaisons d'oxydes de calcium (CaO), de silicium (S_iO_2) et de magnésium(MgO).Les ciment en laitier offrent une meilleure résistance chimique aux environnements agressifs (eau sulfatées, milieu marin) et permettent l'obtention d'une bonne durabilité du béton.

- **Cendres volantes**

Ce sont des produits pulvérulents provenant du dépoussiérage électrostatique ou mécanique des gaz brûlés des chaudières industrielles alimentées en charbon pulvérisé. Essentiellement siliceuses, parfois calciques, elles ont des propriétés hydrauliques et/ou pouzzolaniques.

1.3.4.3 Les ciments

Le ciment habituellement utilisé pour la confection des bétons de sables doit être conforme à la norme NF P15-301.

Les dosages en ciment sont proches des bétons ordinaires (300 à 400kg/m³) (Benaissa et al., 1992). Il est à noter que pour un même usage, le dosage en ciment pour les bétons de sable est généralement plus élevé que les bétons classiques [36]

1.3.4.4 L'eau

Les bétons de sable nécessitent une qualité d'eau de mouillage importante en raison de la proportion élevée en éléments fins qui génèrent une surface spécifique importante : le rapport eau/ciment (E/C) est supérieur à celui des bétons de gravillons et pour le réduire on a recours

à des adjuvants plastifiants et on sélectionne les fillers nécessitant la plus faible quantité d'eau de mouillage. Le rapport E/C est généralement compris entre 0.6 et 0.7. [31]

1.3.4.5 Adjuvants

Les adjuvants sont des agents chimiques qui sont ajoutés en petites quantités (environ de 5% du poids de ciment) pour modifier certaines propriétés du béton comme la rhéologie, la durabilité et les propriétés mécaniques. Il existe beaucoup de types d'adjuvant, on les définit d'après leur action principale, même s'ils ont plusieurs actions secondaires.

On utilise dans les bétons de sable les mêmes adjuvants que dans les bétons traditionnels, et pour en exploiter les mêmes propriétés [28]

Plusieurs types d'adjuvants sont utilisés comme ajouts dans la confection des bétons à savoir : les plastifiants, les super-plastifiants, les entraineurs d'air, les accélérateurs de prise, les retardateurs de prise, etc. Ces derniers contribuent à l'amélioration de certaines caractéristiques entre autre la maniabilité, l'utilisation du béton dans les conditions difficiles et ils permettent aussi l'utilisation d'autres types de matériaux dans le béton. [36]

1.3.5 Propriétés du béton de sable

Les propriétés du béton durci sont largement influencées par les propriétés du béton frais, qui sont principalement l'ouvrabilité (maniabilité) et la compacité. [28]

1.3.5.1 Propriétés générales

- **Granulométrie et maniabilité**

Une des particularités des bétons de sable est de nécessiter davantage d'eau que le béton classique ; ceci traduit par des valeurs du rapport E/C (eau/ciment) systématiquement supérieur à 0.5, ce rapport se situant généralement entre 0.6 et 0.8.

D'ailleurs, si l'on considère non plus le rapport E/C, mais le rapport E/C+A (A=Addition en fines), on obtient des valeurs similaires aux bétons traditionnels. La granulométrie du sable jouera également sur le besoin en eau : plus le sable est riche en éléments grossiers, plus la maniabilité s'améliore. Ceci se traduit par une relation entre module de finesse et maniabilité. [37]

La figure 1.19 qui exprime une relation entre le module de finesse et la maniabilité

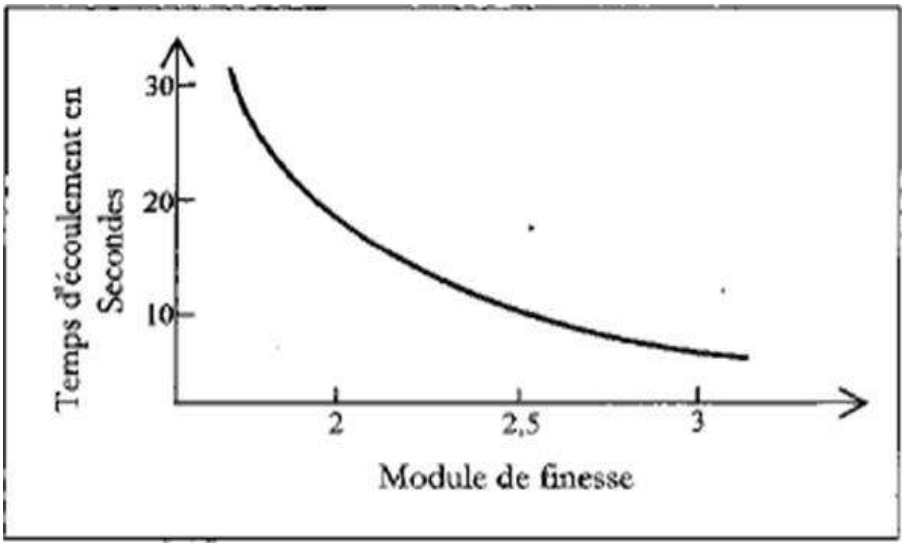


Fig.1.19: Le temps d'écoulement en fonction du module de finesse. [37]

On constate ainsi que la relation entre le dosage en fines et la maniabilité dépend aussi de la nature du sable et sa granulométrie. Les graphiques de la Figure. 1.20, montrent l'effet différent de fines calcaires sur un sable alluvionnaire 0/4 et un sable de dune. Pour le sable de dune, l'ajout de fines jusqu'à 200 kg/m^3 entraîne une chute de maniabilité, ce qui n'est pas le cas pour le sable plus compact.

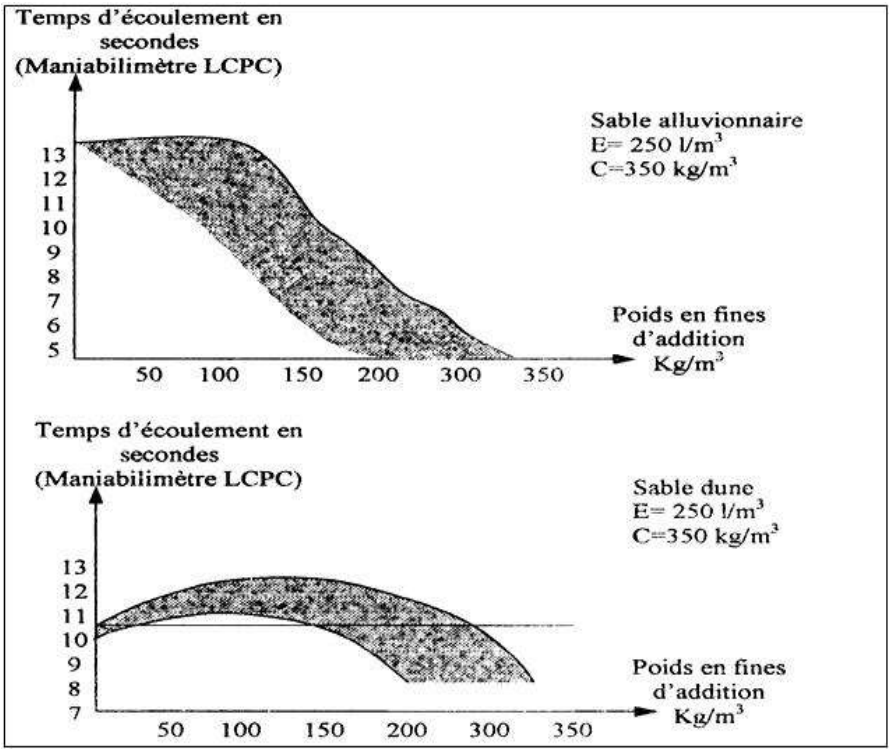


Fig.1.20: Influence de la nature du sable sur la maniabilité (avec fines d'addition calcaire) [30]

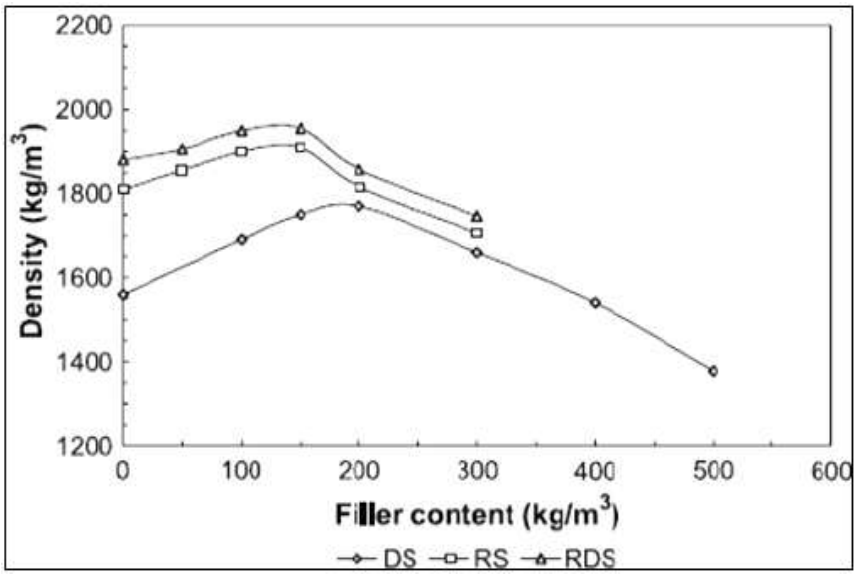


Fig.1.21 : Effet de fillers calcaire sur la densité des sables DS, RS et RDS. [38]

D'après la Figure 1.21, on remarque qu'il existe un dosage optimal de fillers calcaires où la compacité est maximale. L'amélioration de la compacité par l'ajout de fillers calcaires devrait rendre l'eau plus efficace et donc améliorer la maniabilité.

- **Granulométrie et résistance**

A dosage en ciment constant, la résistance peut être différente en fonction d'un certain nombre de paramètre et en particulier :

- **La finesse de l'addition**

Plus l'addition est fine plus elle est efficace au niveau du gain en compacité et donc du gain en résistance ; ce résultat est valable quelle que soit la granulométrie du sable (sable alluvionnaire, sable de dune…). [37]

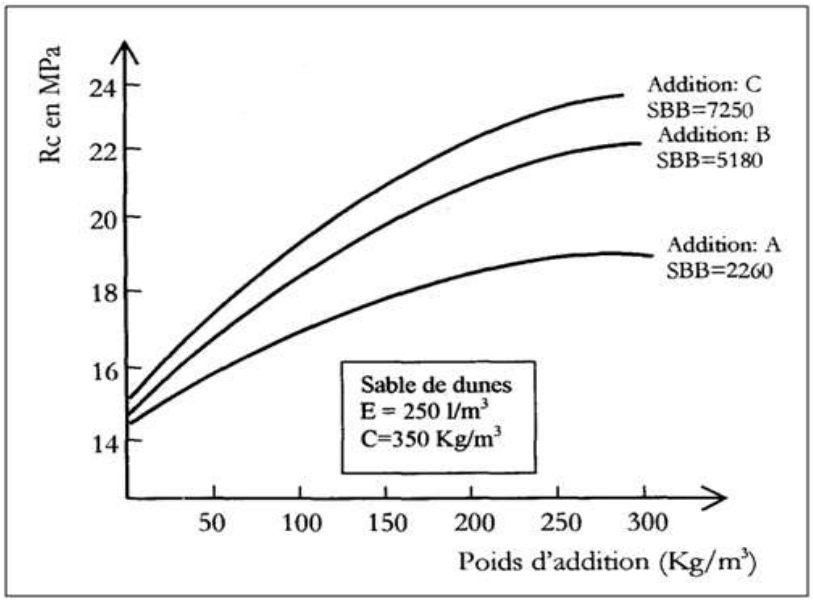


Fig.1.22: Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance à la compression. [37]

- **La nature de l'addition**

A même dosage, la figure 1.23, permet de constater l'extrême diversité du niveau de performance atteint selon la nature du filler ; si l'addition de fines permet d'améliorer systématiquement la résistance, ce gain est en effet très variable. [37]

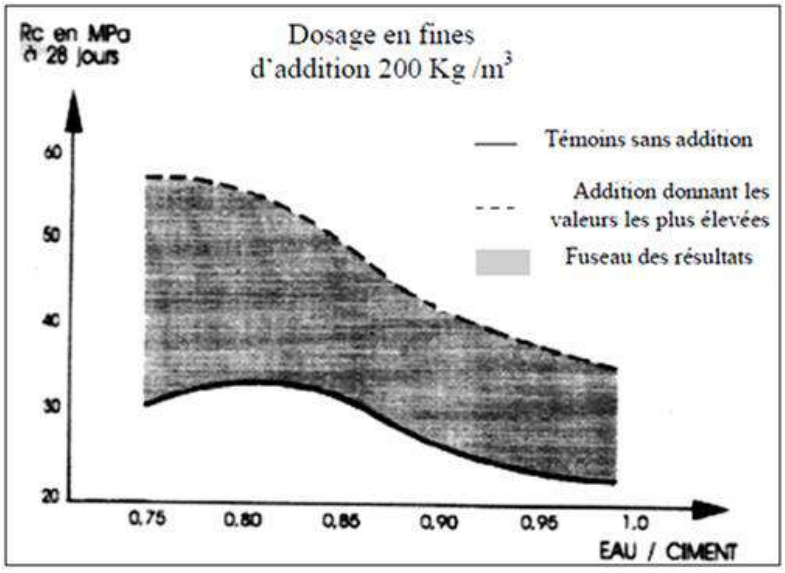


Fig.1.23: Influence de la nature de l'addition sur le niveau de résistance à la compression. [37]

- **La dimension du D_{max}**

Pour une même valeur du rapport E/C, on constat figure 1.24 que l'effet du diamètre Dmax du plus gros granulat est peu important et en tout état de cause, pas défavorable aux sable. Cependant on constant que la maniabilité est très différente selon le type de sable. [37]

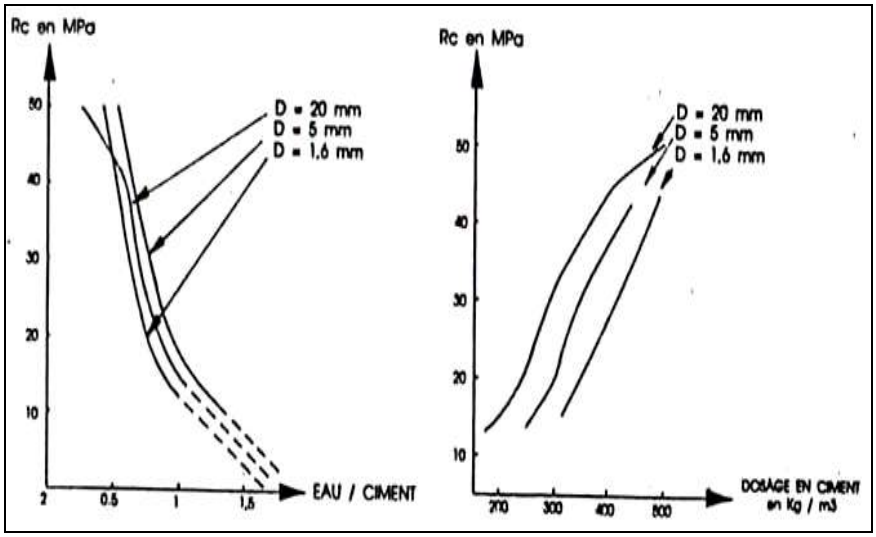


Figure (a) **Figure (b)**

Fig.1.24: Effets de la granularité sur la résistance. [37]

1.3.5.2 Propriétés spécifique

- **L'adhérence aux armatures**

Selon la formulation du béton de sable (donc son niveau de performance), on obtient des propriétés spécifiques à l'adhérence aux armatures plus ou moins bons que le béton de référence. Quelques comparaisons ont été réalisées entre différentes formulations de béton de sable et un béton témoin traditionnel à l'aide de l'essai pullout. Il s'agit de mesurer le déplacement d'une armature qui se trouve dans le matériau durci, en fonction de l'effort de traction qui lui est appliqué. Sur la base des résultats de cet essai, on remarque que des variations de compositions appliquées au béton de sable mènent à des écarts du même ordre que les bétons traditionnels, ce qui a amené à penser que les bétons de sable ne se distinguent pas particulièrement sur cet aspect des bétons traditionnels classiques. Figure I.25. [30]

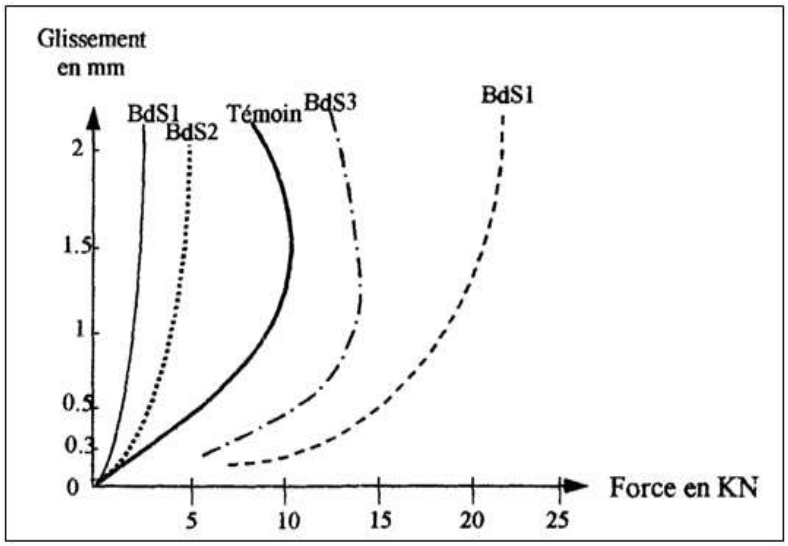


Fig.1.25: Variation de l'adhérence d'une armature en fonction de la formulation. [30]

Dans le cas des petites déformations (partie initiale), on constate que la contrainte correspondant au même niveau de déformation (50 microns) est d'autant plus forte que la résistance en traction du béton de sable est élevée. Figure 1.26 Le phénomène d'adhérence observé dans le béton de sable est pratiquement identique à celui des bétons traditionnels (contrainte ultime varie de 30 à 60 bars), alors qu'on peut dire que l'association béton de sable-acier engendre une adhérence suffisante entre les deux matériaux, ceci permet d'envisager l'utilisation du béton de sable comme béton de structure.

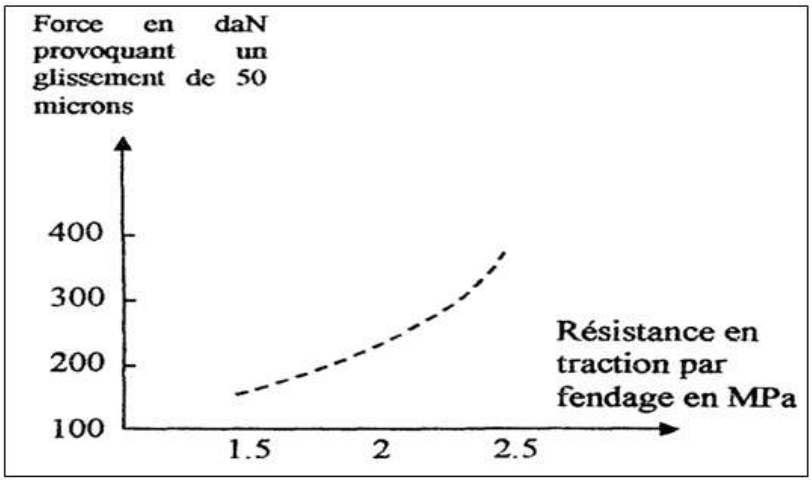


Fig.1.26: Influence de la résistance en traction du béton de sable sur l'adhérence des armatures [39]

- **Durabilité des bétons de sable**

Le béton de sable étant un béton, il se doit être durable, et c'est le cas. En effet, comme un béton classique, les mêmes facteurs influent sur la durabilité : porosité, fissuration, corrosion des armatures, agressions chimiques…etc. c'est de la même façon qu'on y remédie, essentiellement en recherchant la compacité, c'est-à-dire en prenant en compte la granulométrie des constituants et leur complémentarité. Les soins dans la formulation et la fabrication, l'utilisation d'adjuvants appropriés et le respect de quelques règles élémentaires à la mise en œuvre sont autant de gages pour obtenir des bétons de sable compacts et durables.
Enfin les données dur la durabilité sont encore peu nombreuses, encore que rassurantes on cite souvent des réalisations en béton de sable plus que centenaires aqueduc de la vanne, phare de Port-Saïd en Egypte, le grand mur de retenue qui domine la place du Trocadéro à Paris, etc. [40]

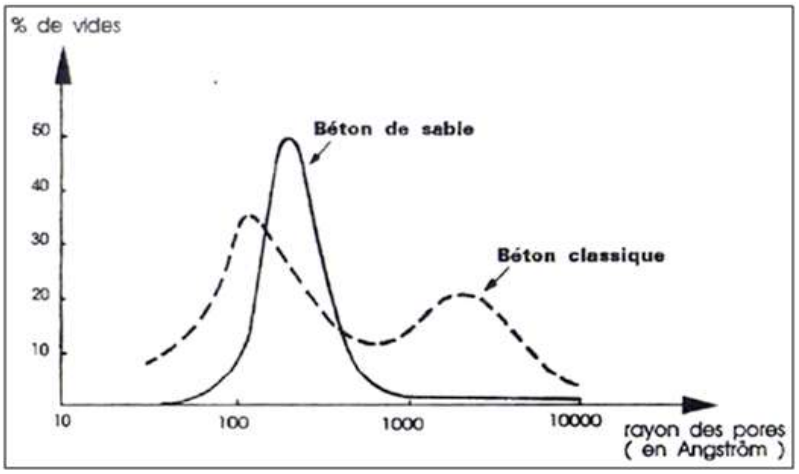


Fig.1.27: Courbe de distribution de la porosité en fonction des rayons des pores. [30]

- **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 équivalent 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 de micropores. [30]

- **Retrait et Fluage**

Les essais de retrait et fluage ont été réalisés sur un béton de sable et un béton classique, afin de les comparer. [30]

- **Le retrait**
  - ✓ **Retrait hygrométrique**

Le retrait est la diminution de longueur ou de volume du béton au cours du temps.
Mais lorsqu'il est conservé dans l'eau, le retrait devient presque nul. [30]

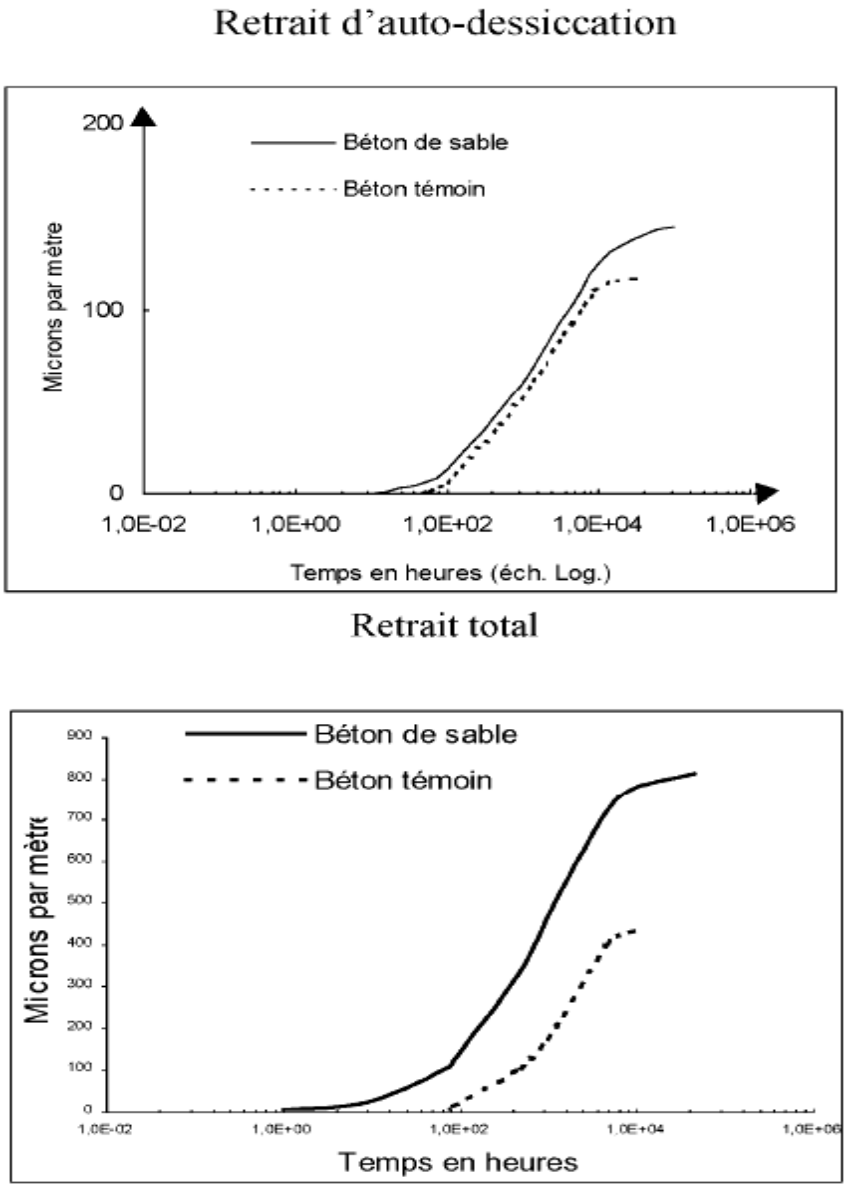


Fig.1.28: Evolution du retrait dans le béton de sable. [42]

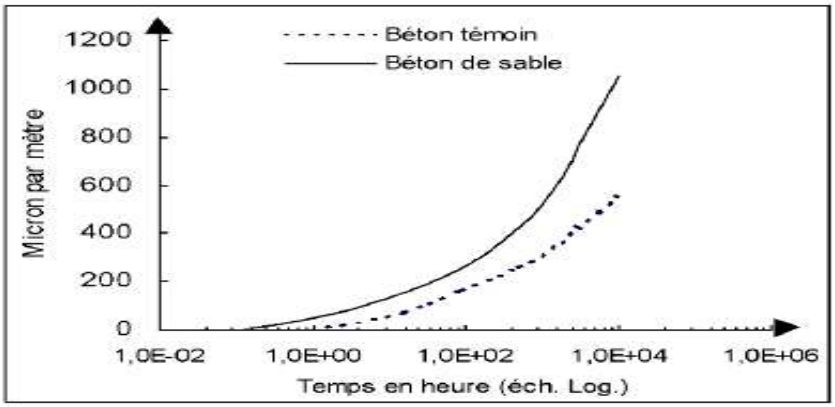
- ✓ **Retrait sous charge ou fluage**

Le retrait était plus important lorsque le béton était conservé en étant soumis à une compression. Il existe donc un retrait sous charge, ou fluage, qui vient s'ajouter au retrait hygrométrique. [30]

- **Le fluage**

Le fluage est une déformation qui résulte de l'effet d'une contrainte constante appliquée au béton. Afin d'atténuer ce phénomène, il est conseillé de réduire le dosage en ciment en ajoutant des granulats.

Les essais de fluage effectués sur le fluage ont concerné les bétons de sable et les bétons ordinaires afin de les comparer. La figure 1.29 montre que la valeur du fluage du béton de sable est plus importante que celle du béton classique. Ceci est lié aux paramètres rentrant dans la composition des deux matériaux et qui influent systématiquement sur les déformations et donc sur les résistances [41]



Fluage d'auto-dessiccation

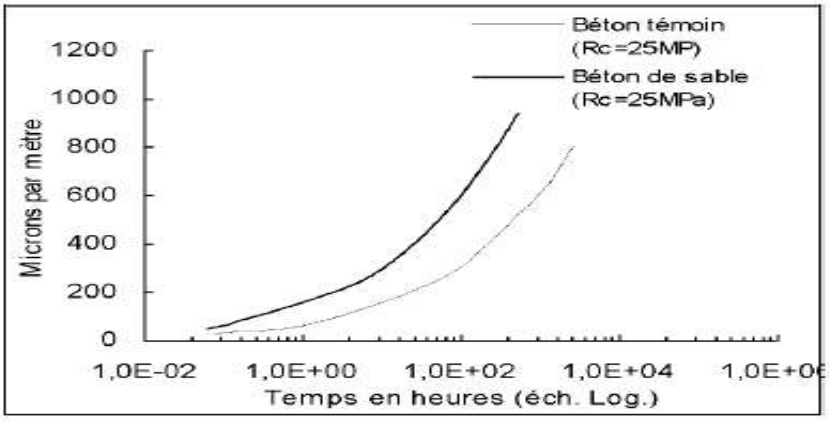


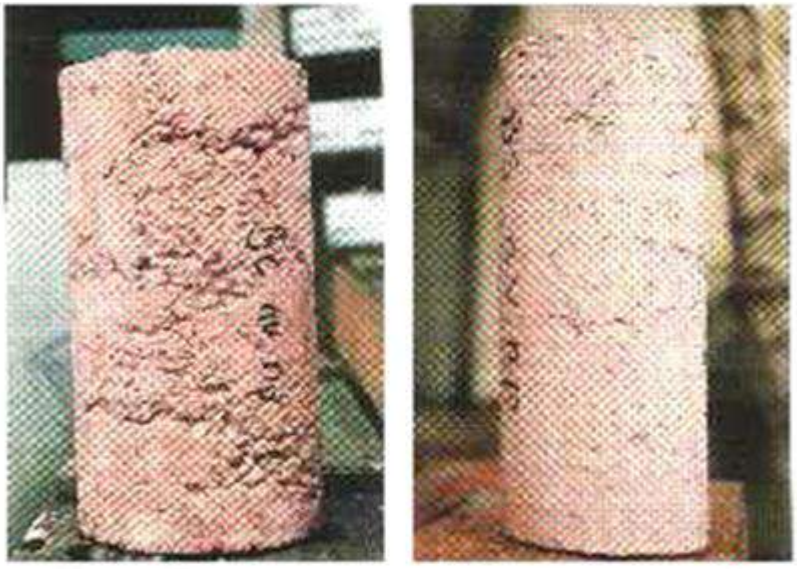
Fig.1.29: Evolution du fluage du béton de sable [42]

- **Comportement thermique du béton de sable**

La conductivité thermique des bétons traditionnels varie de 1.4 à 1.8 W/m°C. Les conductivités thermiques mesurées sur bétons de sable sont légèrement inférieurs. Le béton de sable est donc plus isolant. Ce résultat s'explique par la porosité plus importante du béton de sable. [30]

- **Phénomène de ségrégation des constituants**

Du fait de leur faible étendue granulaire, et donc de leur plus grande homogénéité, combinée à une bonne maniabilité, cela confèrent aux bétons de sable un meilleur comportement vis à vis des phénomènes de ségrégation que les bétons traditionnels. 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 plastiques équivalentes (cône de 14 cm).



a) Béton ordinaire **b)** Béton de sable

Fig.1.30: Eprouvettes non vibrées non piquées. [30]

1.3.6 Domaines d'emploi des bétons de sable

L'utilisation de ces matériaux est à envisager dans différents domaines, et sous plusieurs formes [Chauvin et coll., 1988], notamment dans les domaines du bâtiment, des travaux

souterrains, des barrages, des chaussées routières, des travaux portuaires mais aussi en tant que bétons projetés

1.3.6.1 La préfabrication

Le béton de sable peut être utilisé dans la préfabrication pour des murs architecturaux, pour des mobiliers urbains, en bâtiment et en voirie Figure 1.31. [32]

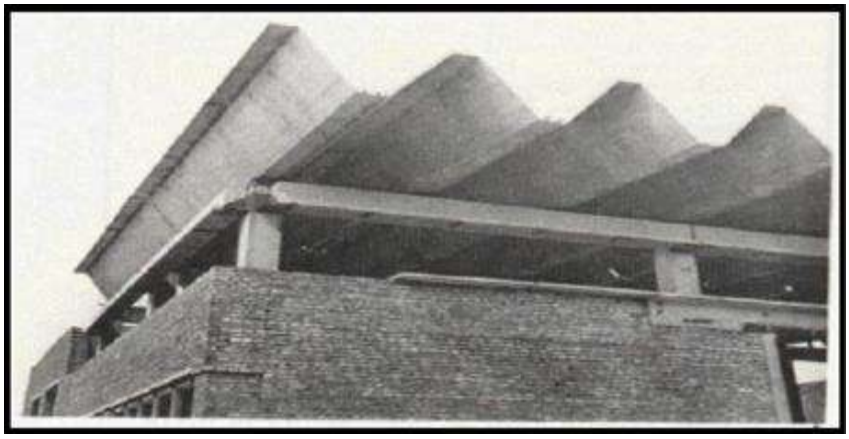


Fig.1.31: Le béton de sable dans la Préfabrication.

1.3.6.2 Techniques particulières

Les applications citées précédemment, ont privilégié dans certains cas l'utilisation des BS par rapport aux bétons traditionnels. Dans certaines techniques de mises en œuvre, l'utilisation du BS répond parfaitement à la solution de quelques problèmes, qui restent à nos jours, mal résolus par le béton traditionnel. C'est le cas des techniques de projection de béton et de bétons fluides.

- **Béton de sable projeté**

La technique de la projection de béton est apparue au début de vingtième siècle aux Etats-Unis et en France. Le domaine d'application de la projection de béton comprend la réparation et les renforcements des ouvrages en béton et en maçonnerie ainsi que les constructions de formes complexes [30].

La projection de BS est une technique intéressante spécialement dans le cas des réhabilitations des structures d'ouvrages souterraines (Fig.1.32). Par sa finesse granulométrique, le BS représente une alternative aux bétons traditionnels, particulièrement dans le cas de présence des ferraillages denses. Le faible taux de perte liée à l'utilisation de BS 20 projeté, sa granulométrie fine et donc sa pompabilité en fait du BS projeté une solution adapté à des problèmes mal résolus par les bétons traditionnels [30].

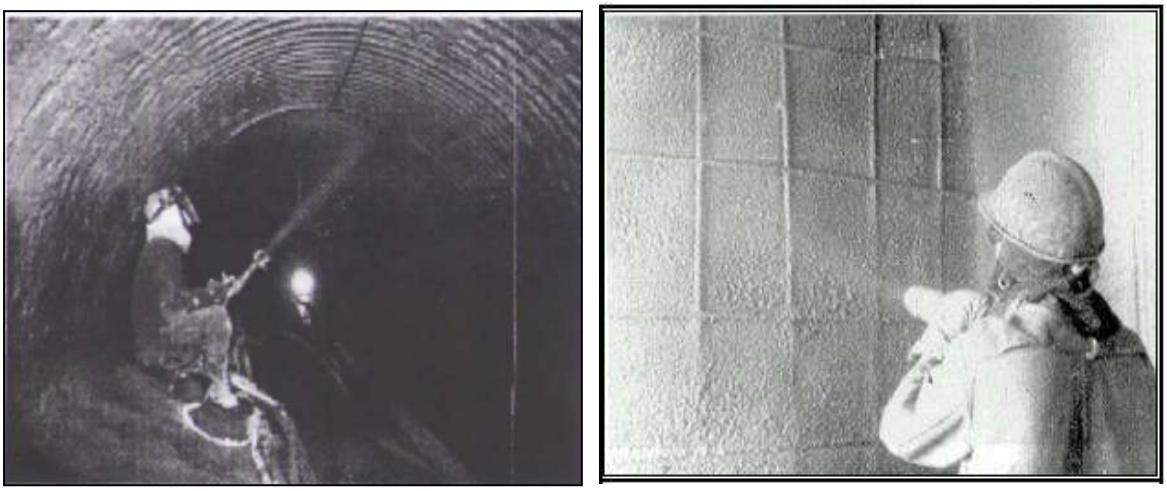


Fig.1.32. Le béton de sable en projection [30]

- **Bétons de sable fluides**

Les bétons fluides ont été développés récemment afin d'améliorer les conditions d'exécution et la productivité des chantiers ainsi que la qualité et la durabilité des ouvrages. Ces bétons ont trouvé un grand intérêt dans certaines conditions d'utilisation telles que : l'absence de vibration, la faible accessibilité aux zones ferraillées et aux formes complexes des coffrages et le besoin de pomper le béton à des distances importantes. Le concept du BS s'adapte parfaitement aux conditions particulières citées ci-dessus. En plus, l'absence totale ou partielle des gros granulats dans le BS minimise le risque de ségrégation [43].

La fluidité doit être assurée par l'utilisation des adjuvants superplastifiants afin d'éviter l'ajout excessive et incontrôlé de l'eau, qui entraîne une diminution des performances physico-mécaniques et de la durabilité. Pour que les bétons de sable fluides soient homogènes et stables vis-à-vis du phénomène de ségrégation et de ressuage, l'utilisation des éléments fins ou d'un adjuvant de viscosité est obligatoire.

Les bétons de sable fluides sont intéressants pour certaines applications en génie civil comme les pieux forés, les injections et les reprises en sous-œuvre. Les bétons de sable fluides sont économiquement mieux adaptés aux dallages du bâtiment. S'agissant d'éléments horizontaux, la fluidité convient et l'auto-nivellement est un atout considérable. L'intérêt réside dans les avantages suivants :

- Rapidité et simplicité d'exécution ;
- Limitation des moyens en personnel et en matériels ;
- Nuisances réduites (absence de vibration).

Dans le cas des aménagements de voirie peu dénivelés (comme les aires de stationnement et les voies piétons), où les performances demandées ne seront pas élevées, elles se prêtent parfaitement à la technique de fluidification de BS.

Les bétons de sable fluides présentent des performances comparables aux bétons fluides classiques, dont l'utilisation semble se développer actuellement. Indépendamment de l'aspect environnemental lié à l'utilisation des BS, il pourra être mieux adapté aux cas suivants :

- Risques de ségrégation préjudiciables ;

- Forte densité de ferraillages ;

- Recherche d'un produit fini.

Le BS fluidifié présente un surcoût allant de 10 à 25 % par rapport à un béton traditionnel. Par exemple, les BS nécessitent des dosages plus élevés en fluidifiants et additions que les bétons traditionnels, pour avoir des performances identiques [43].

Indépendamment à l'aspect économique et aux gains de productivité, le BS fluidifié peut être une meilleure adaptation aux plusieurs applications mal assurées par les bétons traditionnels.



Fig.1.33. Dallage en BS fluidifié auto compactant (Base aérien de Dijon) [44].

1.3.7 Formulation du béton de sable

1.3.7.1 Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable

Les granulats 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, et joue aussi le rôle d'une colle liant les granulats en 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 [45] 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 :

$$V=Vo\ (d\ /D_{\mathbf{max}})^{1/5} \qquad \text{(Equation 1)}$$

V : Volume des vides du mélange granulaire ;

Vo : 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 est à la base de nombreuses méthodes de formulation des bétons qui consistent généralement à définir une courbe granulaire de référence telles que la méthode de Faury, Bolomey, Dreux, etc. [30]

- **Dosage en fines d'un béton de sable**

Pour le but d'optimiser la compacité des constituants solides du béton de sable, il faut que ces constituants soient séparés en deux fractions:

1. Les éléments fins qui regroupent tous les grains de taille inférieure à 80 µm et qui sont le ciment, les fines d'ajout et la fraction du sable inférieure à 80 µm.

2. Toute l'étendue du sable comprise entre 80 µm et le diamètre maximal du sable Dmax,

ainsi que l'éventuelle fraction des éléments supérieurs à 80 µm, provenant des fines d'ajout. En faisant cette distinction entre les fines incluant les éléments inférieurs à 80 µm et l'étendue

du sable comprise entre 80 μm et le diamètre maximal du sable, la porosité du sable peut être calculée selon la formule précédente de Caquot :

$$Ps = V = 0.75\ (0.08/D)^{1/5} \qquad \text{(Equation 2)}$$

Ps (v) : Porosité du sable d'étendue granulaire comprise entre 80 μm et Dmax.

Dmax : Diamètre maximal du plus gros grain du mélange.

La constante expérimentale (Vo) est prise comme étant la moyenne des valeurs extrêmes (0.7, 0.8). Un dosage optimal en fines d'ajout sert à compléter l'étendue granulaire bornée inférieurement par lacoupure 80 μm, et à combler la porosité du sable ainsi calculée. En effet, il est impossible de prendre en compte la distribution de la taille des particules 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 μm) et le volume de vide 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. [Fines]= [Vides].

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.

$$[\text{Fines}] = 0.38\ (0.08/D_{max})^{1/5} \qquad \text{(Equation 3)}$$

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 Figure 1.34.

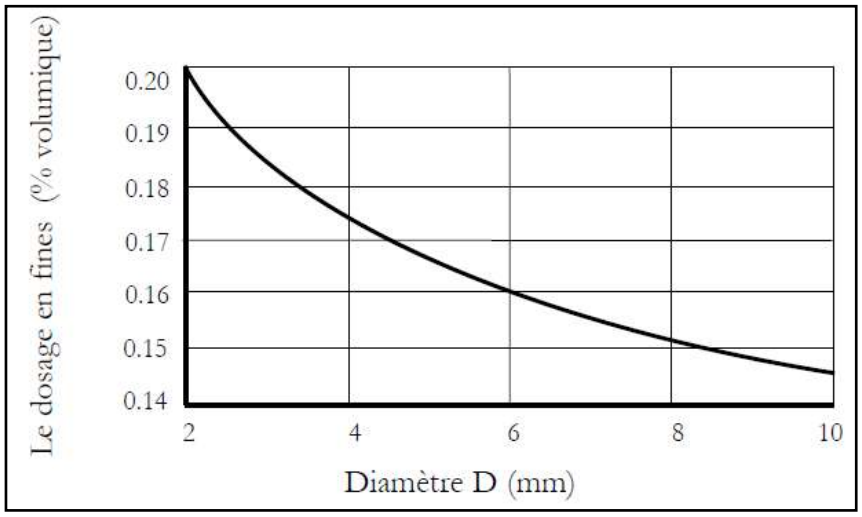


Fig.1.34: Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines [30]

- **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.

$$(e+v)_{min} = 0.8\ (d/\ Dmax)^{1/5} \qquad \text{(Equation 4)}$$

Le calcul de la porosité minimale 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 :

$$d = (\ 60 / (f))\ mm \times \rho \qquad \text{(Equation 5)}$$

Avec:

f : surface spécifique exprimée en cm2/g du constituant.

ρ : densité du constituant exprimée en g/cm3.

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 flocs 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 figure 1.35.

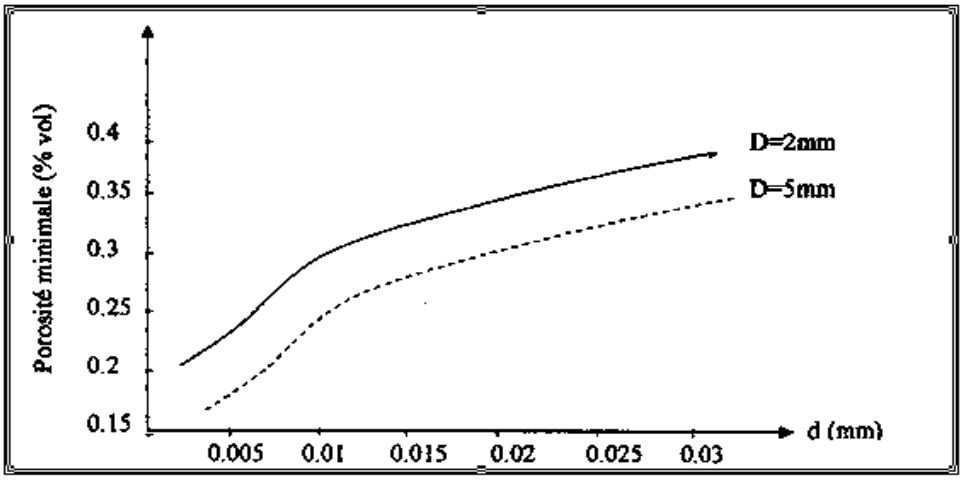


Fig.1.35: Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles D du sable. [30]

L'expérience montre que pour des quantités d'eau inférieures à la quantité d'eau permettant d'obtenir l'ouvrabilité optimale, le mélange piégera 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 celles qui donnent l'ouvrabilité optimale, la quantité d'air piégée reste stable et l'ouvrabilité augmente de façon linéaire figure 1.36.

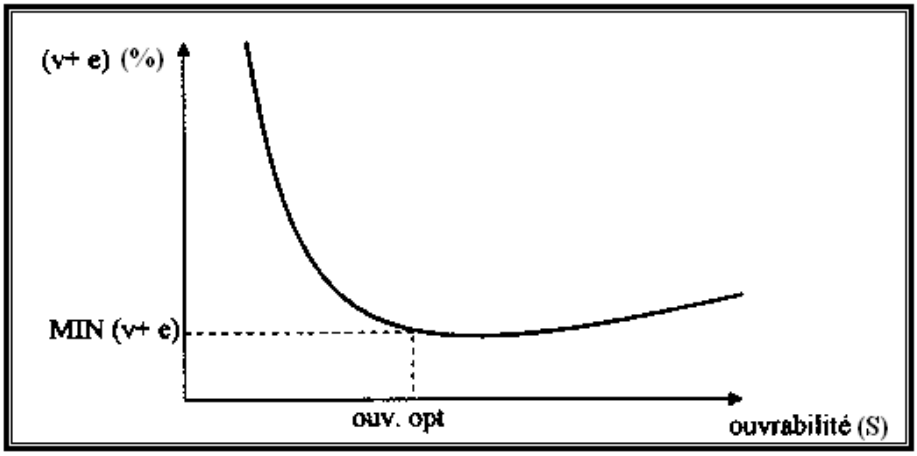


Fig.1.36: Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée. [30]

Finalement, pour estimer le dosage en eau, il faut préalablement évaluer la quantité d'air piégée. Dans le cas des 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%.

[Vide] = K [eau] (Equation 6)

Avec :

K : constante comprise entre 0.2 et 0.25.

- **Dosage en sable**

Pour estimer le dosage en sable, il suffit de compléter au mètre cube la somme des constituants fines, eau et vides, comme ci-dessous :

[Sable]=1000-[fine]-[eau]-[vide] (l/m3)

Il reste à noter que le volume du sable ainsi calculé regroupe toutes les particules de taille supérieure à 80 μm, soit du sable, soit de la fraction des fines d'addition.

- **Estimation de la résistance en compression**

L'estimation de la résistance en compression se fait par référence aux méthodes classiques adoptées pour les matrices cimentaires qui consistent à partitionner la contribution du squelette granulaire, de la nature du liant et des dosages des constituants de la pâte.

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

$$R_b = \frac{Kf * Rc}{\left(1 + \frac{3.1(e+v)}{c(1+K1+K2)}\right)^2} \qquad \text{(Equation7)}$$

Kf : coefficient granulaire compris entre 4.5 et 5 ;

Rc : classe vraie du ciment (MPa) ;

e : dosage en eau totale (l/m3) ;

V : air piégée (l/m3) ;

C : dosage en ciment (kg/m3) ;

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

Avec

K1 = Kcv (CV/C) +Kfs (FS/C);

0.2<Kcv<0.4 ;

2<Kfs<3.3 ;

K1 0.5 K2= Kfi1 (Fil/C);0<Kfil 0.4 ;

K1<0.2

K1 : coefficient pouzzolanique

K2 : coefficient d'activité du filler calcaire.

Kcv., Kfs, Kfil : coefficients d'équivalence en ciment des différentes additions en fines.

CV, FS, FIL : dosage en cendres volantes, fumée de silice et filler calcaire (kg/m3)

Cette formule ne peut être utilisée que par une identification précise de l'activité des additions par l'intermédiaire des coefficients déjà mentionnés (Kcv., Kfs et Kfil).

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. [45]

Ainsi d'autres paramètres pourraient également jouer un rôle sur l'activité liante des fillers tels que la répartition granulaire, la forme des grains, et leur porosité. L'activité de filler calcaire présente un optimum au-delà duquel la contribution de l'activité de filler ne participe plus aux développements de performances mécaniques figure 1.37.

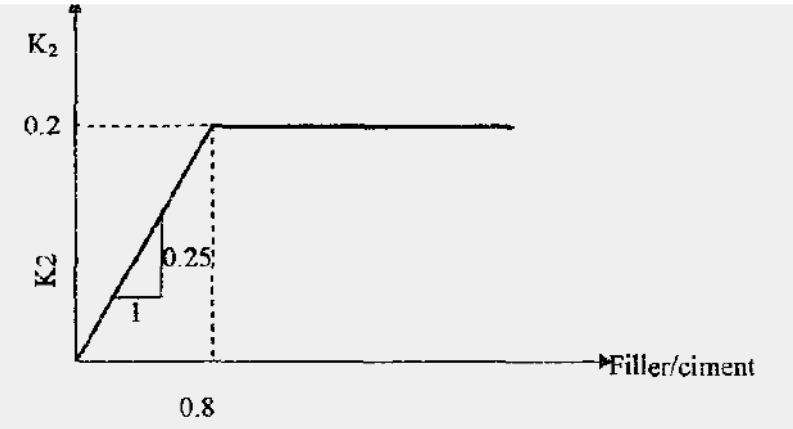


Fig.1.37: Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle). [30]

Ainsi il y a d'autre paramètre qui s'ajoutant pour le dosage en fines, toute fois le dosage en fines est estimé en terme de compacité, ces fines regroupant le ciment, l'addition (filler calcaire, cendres volantes …) et la fraction du sable inférieur à 80 μm, ainsi que l'optimum de la résistance serait atteint pour les dosages en ciment et en addition, solution du système suivant :

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

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.

Elle ne peut être utilisée que dans un cadre limité, ceci est dû aux nombreuses hypothèses qui la jalonnent, c'est aussi pour cela que cette approche ne sera acceptée qu'après passage à l'expérience qui la confirme.

On peut résumer toutes les étapes de la formulation théorique sous forme d'organigramme.

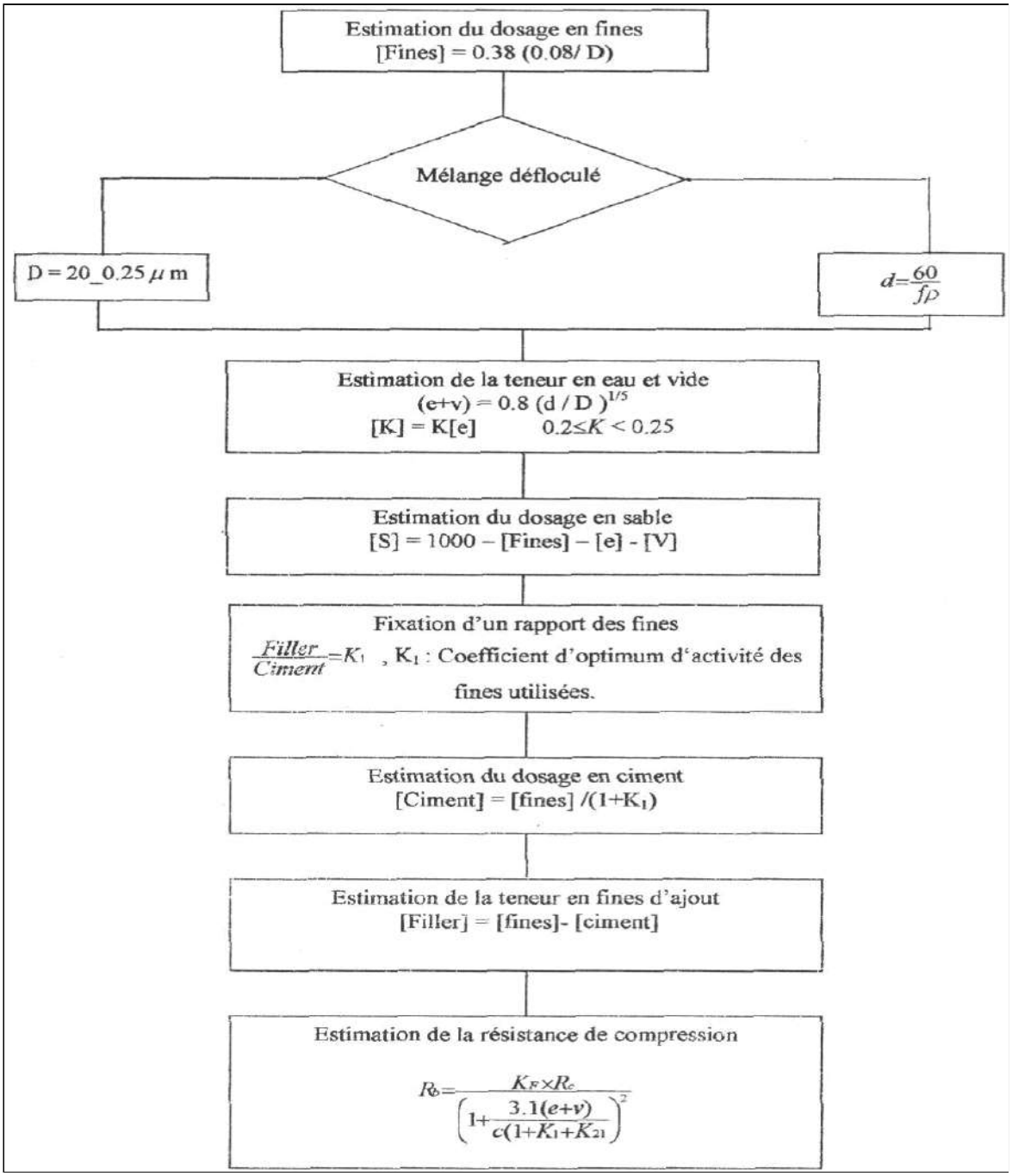


Fig.1.38: Organigramme de la méthode théorique. [46]

1.3.7.2 Méthode expérimentale de formulation des bétons de sable

- **Détermination d'une formule de base sans fines d'addition**

Pour cela on cherche à réaliser un béton de sable dont la maniabilité est comprise entre 7 et 10 secondes au maniabilimètre LCPL ; ce béton est composé seulement de ciment, d'eau et de sable.

- ✓ **Le dosage en ciment**

Les dosages en ciment sont souvent influencés par la destination du béton (bâtiment, barrage, milieu agressif...etc.), mais on opte toujours à des minimums selon les prescriptions et les normes en vigueur. Ces dosages sont fixés lors de l'étude et sont notés par C (kg/m3).

- ✓ **Dosage en eau**

L'estimation du dosage en eau est approximative. A ce stade de la formulation et sur la base de l'expérience, les praticiens donnent à titre indicatif un dosage en eau de 220 l/m3 pour un dosage en ciment de 350kg/m3, 250l/m3 d'eau pour un dosage en ciment de 400Kg/m3, mais on peut toujours utiliser la formule exposée dans la méthode théorique permettant d'estimer le dosage en eau en fonction de la porosité du squelette granulaire.

$$E = \frac{800}{1+\alpha} * \left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{1}{5}}$$

α: compris entre 0.1 et 0.15 ;

d : est la borne inférieure de la phase solide du béton (mm) ;

D : est la borne supérieure de l'étendue granulaire du sable (mm) ;

- ✓ **Détermination du dosage en sable**

Dans un premier temps et pour permettre la défloculation des fines, on utilise un fluidifiant réducteur d'eau au dosage normal préconisé par le fabricant (N% du poids des éléments inférieurs à 80 μm).

Le béton contient toujours un volume d'air Vair , la teneur en air des bétons est de l'ordre 3% en volume. Cette valeur est supérieure pour le béton de sable et se situe entre 5 % et 7 % du volume. Le dosage en sable peut être calculé par soustraction des différents volumes des constituants précédents

$$V_{sable} = 1000 - V_c - V_{adj} - V_{air} - V_{eau} \qquad \text{(Equation 8)}$$

Connaissant la masse volumique absolue du sable, on peut déduire la masse nécessaire pour la formulation d'un mètre cube du béton de sable.

$$M_{sable} = MVA * V_{sable} \qquad \text{(Equation 9)}$$

Msable: masse nécessaire pour 1 m3 du béton de sable.

MVA sable : masse volumique absolue du sable.

V_{sable} : volume du sable.

Après détermination des différentes proportions des constituants, cette formulation permet de calculer la masse volumique apparente théorique (MVAT) en sommant l'ensemble des masses ainsi calculées pour le volume unitaire (1 m3).

$$MVAT = m_{ciment} + m_{eau} + m_{adj} + m_{sable} \qquad \text{(Equation 10)}$$

- ✓ **Réglage de la maniabilité et du rendement de la formule**

Le mélange obtenu selon les formules précédentes doit répondre aux objectifs fixés et qui se résument dans les deux critères essentiels :

• La masse volumique apparente réelle doit être égale à la masse volumique apparente théorique calculée par la formule (9)

• La maniabilité du mélange sera comprise entre 7 et 10 s selon le maniabilimètre LCPC.

L'objectif est d'obtenir une formule de un mètre cube (c'est-à-dire faire tendre la masse volumique apparente théorique (MVAT) vers la masse volumique apparente réelle (MVAR)) et le temps d'écoulement de 7 à10 S.

La formule du béton doit être corrigée à l'aide de l'équation itérative suivante (correction sur le sable).

$$Si = S_{i-1}(MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) + V * MVA_{sable}. \qquad \text{(Equation 11)}$$

Où

Si : dosage en sable après correction

S_{i-1} : dosage en sable avant correction MVAT,

MVAR : les masses volumiques du béton théorique et réel

MV sable : masse volumique absolue du sable

V : le volume d'eau à rajouter ou à retrancher selon l'écoulement.

Il sera rajouté si 1'écoulement au maniabilimètre est supérieur à 10s (-V dans la formule précédente n° 10). Il sera retranché si 1'écoulement au maniabilimètre est inférieur à 7s (+V dans la formule n° 10) Après chaque correction la masse volumique théorique sera comparée à la masse volumique réelle. En ajustant le dosage en eau et en sable conformément à ce principe, le dosage en eau devient définitif et le temps d'écoulement est alors compris entre 7 et 10 s, et la formule fait le mètre cube du béton de sable.

- ➢ **Détermination du dosage en fines d'addition**

Les fines d'ajout sont destinées à corriger l'indice des vides des sables et à limiter le dosage en ciment des bétons de sable. Elles sont incorporées au mélange de base à un rapport E / C

constant et à un dosage optimal permettant d'augmenter la compacité sans changement du volume total (MVAR=(MVAT).

Ce qui revient à dire que la masse volumique théorique du mélange et la masse volumique réelle restent égales. Pour cela des gâchées de béton de sable seront réalisées aux différents dosages en fines dans leur plage d'emploi usuelle. Pour chaque gâchée, les essais de maniabilité et la détermination de la masse volumique doivent être réalisés et fixés précédemment afin de les comparer aux critères imposés. Si ces derniers ne sont pas vérifiés, la correction sur le sable s'effectue toujours selon la formule suivante jusqu'à égalité des masses volumiques théorique et expérimentale.

$$Si = S_{i-1}-(MVAT_{i-1} -MVAR_{i-1}) \qquad \text{(Equation 12)}$$

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/m^3 de fines. Figures 1.39 et 1.40

- **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/m3de fines.

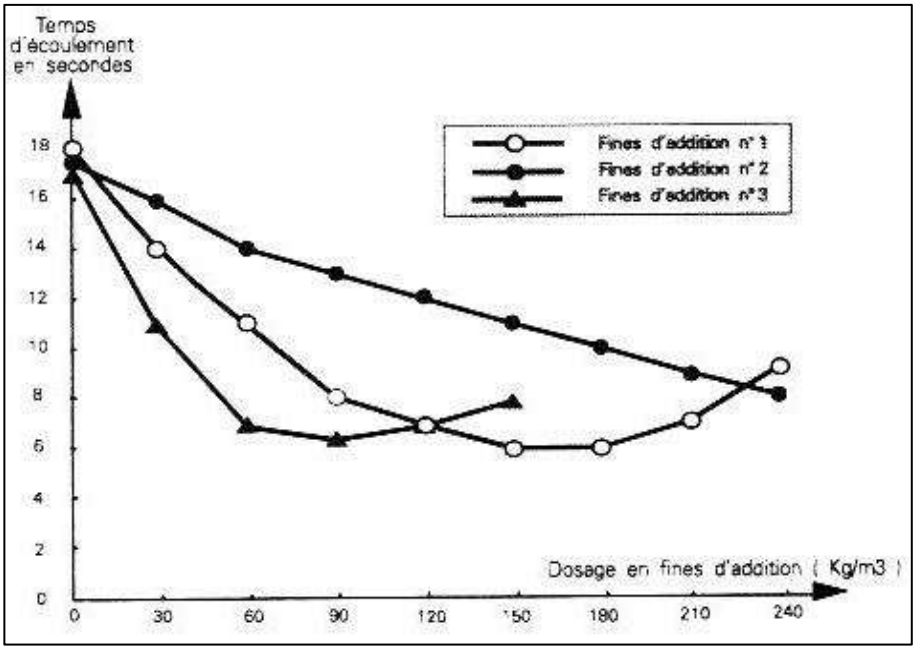


Fig.1.39: Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition. [30]

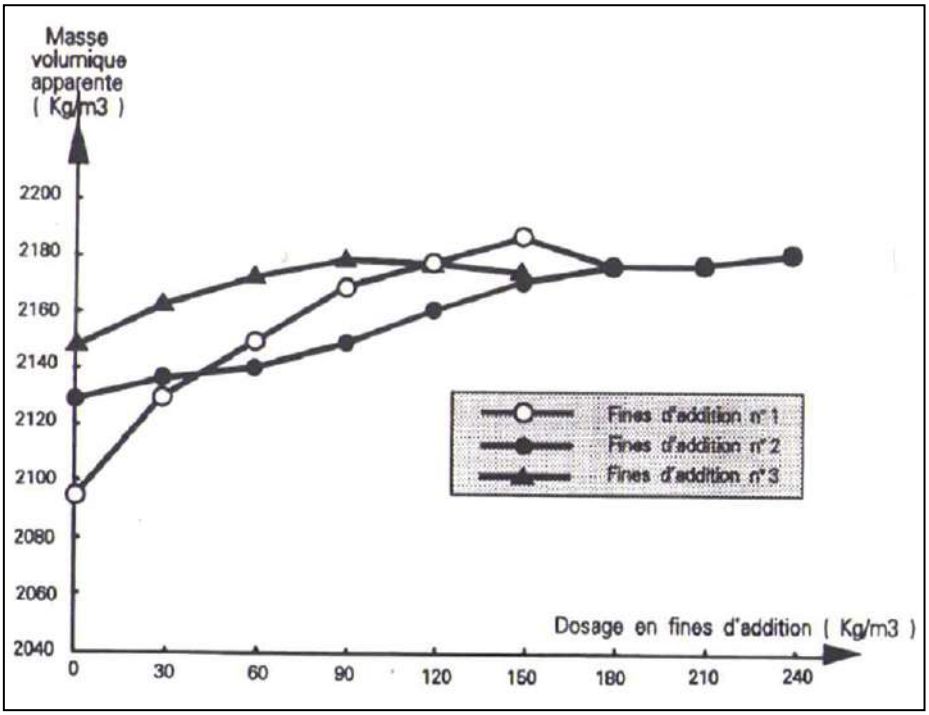


Fig.1.40: masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition. [30]

1.4 Béton auto-plaçant

1.4.1 Introduction

Les BAP se distinguent des bétons ordinaires principalement par leurs propriétés à l'état frais, qui sont le résultat d'une formulation spécifique. Cette dernière doit pouvoir concilier deux propriétés à priori contradictoires, une très grande fluidité et une bonne résistance à la ségrégation (stabilité). L'association française de génie-civil définit dans ses recommandations provisoires les BAP comme des bétons « très fluides, homogènes et stables » [47]

La mise en place, sous le seul effet de la gravité, nécessite une grande fluidité du matériau, mais il est aussi indispensable que le béton conserve une stabilité satisfaisante et une parfaite homogénéité. Ces deux propriétés contradictoires sont obtenues par l'ajout et le dosage adéquat de superplastifiants et de fines et/ou l'emploi d'agents de viscosité.

Un BAP doit être assez fluide pour pouvoir être mis en place avec un débit suffisant et remplir les coffrages sans apport de vibration sous l'effet de son propre poids tout en restant homogène. Cependant, lors de l'écoulement d'un béton fluide au droit

d'un obstacle (par exemple, une armature de ferraillage), les gravillons ont tendance à venir en contact pour former des voutes solides qui bloquent l'écoulement. C'est ce que l'on appelle le risque de blocage. Ainsi, le béton doit présenter une bonne résistance ségrégation en phase d'écoulement y compris au droit des armatures. Un béton auto-plaçant doit aussi avoir une bonne résistance à la ségrégation statique (une fois mis en place) jusqu'à sa prise et rester homogène afin de satisfaire aux propriétés mécaniques souhaitées. Ainsi la difficulté du cahier des charges d'un BAP est la recherche d'un compromis satisfaisant entre une grande fluidité et une bonne résistance à la ségrégation aussi bien au repos qu'en écoulement. [48]

1.4.2 Propriétés des BAP

Les bétons auto-plaçant (BAP) sont des bétons très fluides, qui se mettent en place sans vibration. Lors du coulage dans un coffrage, le serrage d'un BAP est assuré sous le simple effet de la gravité. Grâce à leur formulation, ils offrent des caractéristiques exceptionnelles d'écoulement et de remplissage des coffrages tout en résistant parfaitement à la ségrégation. Homogènes et stables, ils présentent des résistances et une durabilité analogue à celles des bétons traditionnels dont ils se différencient par leurs propriétés à l'état frais. La fluidité du BAP permet sa mise en place aisée par pompage.

Les BAP sont formulés de manière à obtenir le compromis optimal entre fluidité et résistance à la ségrégation et au ressuage. Ils offrent une plus grande qualité esthétique des parements.

Les BAP sont utilisés aussi bien coulés en place sur chantier, livrés à partir de centrales de béton prêt à l'emploi et mis en œuvre généralement par pompage,

Qu'en usine de préfabrication d'éléments en béton. Ils présentent à l'état durci des performances et des durabilités analogues à celles des bétons traditionnels mis en œuvre par vibration. Leur durée de vie est au moins équivalente à celle des bétons traditionnels. Les prescriptions et les règles de conception et de dimensionnement des structures en béton sont applicables au BAP, ce qui permet de les utiliser en lieu et place de bétons de même caractéristiques mécaniques. [49]

1.4.3 Compositions de BAP

Les constituants des BAP peuvent être assez différents de ceux des BO. Ils peuvent différer tant par leurs proportions que par leur choix. Étant donné le mode de mise en place des BAP, les constituants entrant dans la fabrication du BAP, selon leur utilisation, en trois catégories ;

les matériaux de base (ciment, granulats et eau de gâchage), les additions minérales, ainsi que les adjuvants chimiques. [50]

1.4.3.1 Matériaux de base

Les granulats, le ciment et l'eau forment les éléments de base de tous types de béton.
Ils sont qualifiés ainsi puisqu'ils sont historiquement les seuls constituants des bétons de nos ancêtres et parce qu'ils ont toujours les plus grosses proportions relatives dans le mélange de BAP.

- **Les granulats**

Les granulats roulés ou concassés peuvent en principe être utilisés. Les granulats roulés en vrac présentent un plus petit volume de vide inter granulaire, ce qui nécessite une plus faible quantité de pâte de ciment pour le remplir. La flottabilité des granulats concassés dans la pâte de ciment est cependant meilleure, en raison de leur plus grande surface spécifique. Masse identique. Afin d'empêcher tout risque de blocage du BAP parles barres d'armature lors du coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 16 mm L'expérience a néanmoins montré qu'il était également possible d'utiliser des granulats de diamètre maximal différent. Le mélange pour béton (granularité)est caractérisé par une teneur levée en sable et en éléments fins. Le passant au tamis de 2mm devrait être idéalement compris entre 38 et 42%. De m me, la proportion de farines (0,125 mm) ne devrait pas être trop faible, l'optimum tant situ. Entre 4 et 8%. Le choix d'une granularité continue appropriée est tr s important, tant donné la forte incidence du volume des vides sur la quantité nécessaire de pâte de ciment.
Afin d'assurer une bonne stabilité du BAP (éviter toute ségrégation), il est recommandé de choisir un sable spécialement optimisé, au besoin recomposé. Partir de plusieurs fractions.

- **Le ciment**

En principe, tous les types normalisés de ciment conviennent pour la fabrication de
BAP. Cependant, l'utilisation du ciment portland (contenant seulement le clinker) nous donne toute latitude pour varier et contrôler les quantités introduites des additions minérales.

- **L'eau de gâchage**

Toute eau du réseau public d'eau potable convient pour la fabrication de béton
Auto-plaçant. Les eaux recyclées de gâchage et de lavage ne conviennent que sous certaines conditions restrictives en raison d'éventuels effets indésirables sur les propriétés du béton.

Etant donné que le dosage en eau influence de manière considérable la viscosité et la capacité d'auto-plaçant du béton, il est indispensable de s'écarter le moins possible de la valeur planifiée. Il est ainsi très important de mesurer et de prendre en compte l'humidité des granulats et tout spécialement du sable. Cas échéant, on tiendra également compte de la teneur en eau des adjuvants.

1.4.3.2 Additions minérales

L'emploi des pouzzolanes minérales pour faire des mortiers et des bétons est connu depuis l'Antiquité. Ces pouzzolanes désignent un grand nombre d'additions minérales aux origines diverses, mais qui présentent tous, le fait d'être fins et de réagir en présence d'eau et de chaux. De nos jours, des quantités considérables de plusieurs types de ces additions continuent d'être utilisées.

Nous présentons ci-dessous les différentes additions minérales éventuelles qu'on peut incorporer dans les compositions des BAP :

- Les fillers calcaires
- Les pouzzolanes naturelles
- Le laitier de haut fourneau
- La fumée de silice
- Les cendres volantes, …

1.4.3.3 Adjuvants chimiques

Afin d'obtenir une très grande fluidité requise d'un béton auto-plaçant utilise généralement un adjuvant fluidifiant de la dernière génération, base de poly carboxylates.

Ces adjuvants permettent de réduire de manière importante le dosage en eau tout en ayant également un effet sur la viscosité. L'efficacité d'un adjuvant peut-être plus ou moins prononcée selon le ciment et les additions utilisés (compatibilité). De plus, un dosage élevé en adjuvant retarde généralement le début de prise.

L'utilisation d'un adjuvant stabilisateur permet de réduire le risque de ségrégation du BAP (ressuage, granulats grossiers coulant vers le bas), qui devient ainsi plus stable et moins sensible aux variations du rapport E/C.

Dans chaque cas, il convient donc de sélectionner les adjuvants les mieux appropriés à un ciment donné au moyen d'essais préliminaires sinon, il faut s'attendre à devoir recourir à des

dosages, levés en adjuvants, voire à l'apparition d'un raidissement prononcé, avec perte des performances recherchées du BAP. [50]

- **Les superplastifiants**

Les superplastifiants sont des produits organiques qui, ajoutés à de faibles proportions (de 0,2 à 2 % environ) au béton frais permettent de modifier les propriétés rhéologiques durant une période plus ou moins longue. L'utilisation de superplastifiants nous permet d'obtenir un béton très liquide pouvant être mis en place sans vibration ni ressuage ou ségrégation. [51]

En tant qu'adjuvant, le superplastifiant peut avoir plusieurs fonctions dans un mélange cimentaire. La fonction de base est la fluidification, puisqu'il provoque un important gain d'ouvrabilité d'un mélange.

Le superplastifiant est responsable d'un effet de plastification : à même teneur en eau, il permet d'augmenter l'ouvrabilité, sans diminuer les résistances à long terme de la pâte, du mortier ou du béton. La fonction « réducteur d'eau » se manifeste par la réduction du rapport E/C pour une même ouvrabilité. Ceci permet donc d'augmenter les performances mécaniques du mélange. [52]

L'utilisation de superplastifiant dont l'action est schématisée sur figure 1.43 permet de concilier la diminution de la teneur en eau et la fluidité du béton tout en conservant de bonnes performances mécaniques du matériau. [51]

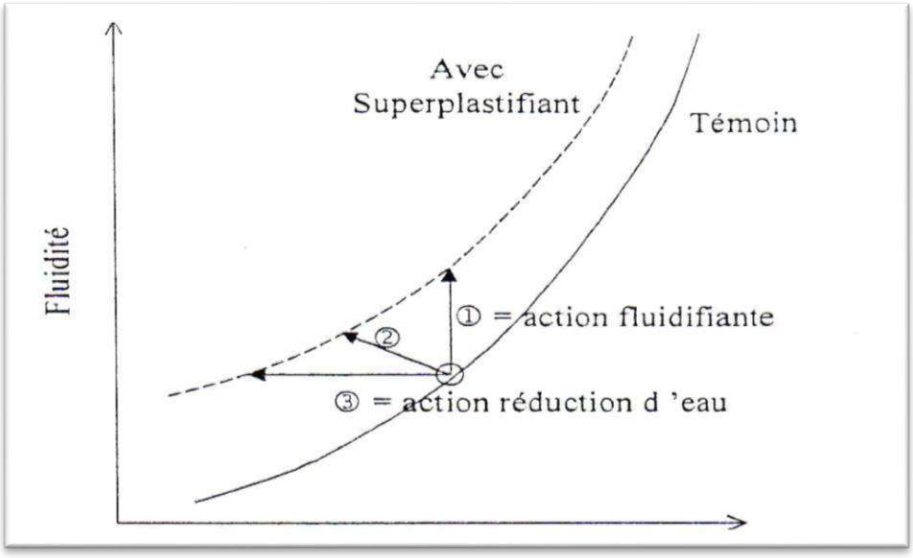


Fig.1.41: Les utilisations des superplastifiants.

1– augmentation de la fluidité (teneur en eau égale).

2– diminution de la teneur en eau et augmentation de la fluidité

3 – diminution de la teneur en eau (à fluidité égale).

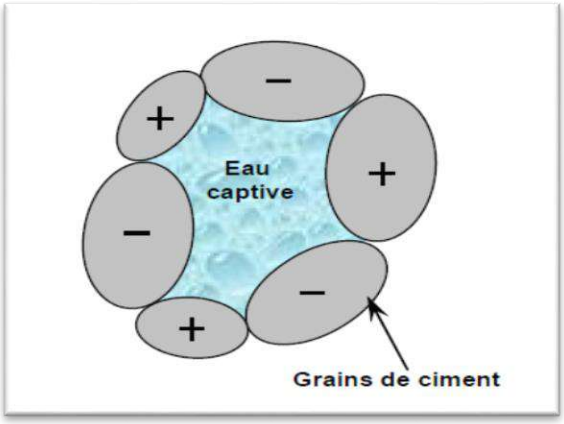


Fig.1.42: Pâte de ciment non adjuvantée

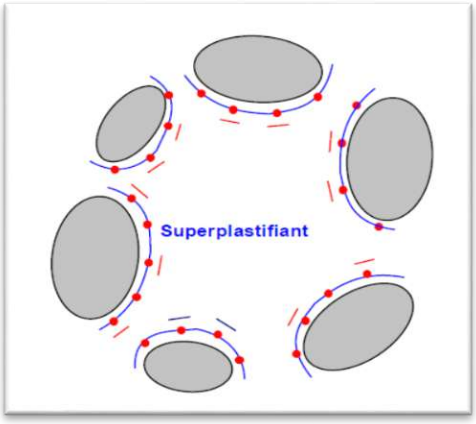


Fig.1.43: Pâte de ciment additionnée d'un superplastifiant

1.4.3.4 Autres additions

En plus des additions minérales indispensables caractérisant la composition de la pâte de ciment du BAP, les additions inertes suivantes sont aussi parfois utilisées :

- les pigments pour la coloration d'éléments architectoniques
- les fibres d'acier comme armature constructive
- les fibres de polyéthylène (fibres PE) pour améliorer la résistance au feu
- les fibres de polyéthylène ne (fibres PP) pour empêcher les fissures de retrait plastique.

1.4.4 Les Essais de caractérisation des bétons auto-plaçant

Plusieurs essais ont été développés pour déterminer les propriétés rhéologiques tant au point de vue de la fluidité que de la ségrégation (essai à la boîte en L, et au cône en V, essai d'étalement, divers rhéomètres, essai d 'enfoncement de billes, etc.). Certains essais permettent de qualifier soit la fluidité du béton, soit son comportement rhéologique. Pour évaluer la résistance à la ségrégation statique, on est actuellement contraint de faire des mesures sur béton en cours de durcissement ou durci (sciage et comptage de granulats, ultrasons, micro-tomographie 3D, etc…) [53]

1.4.4.1 Les essais à l'état frais

- **Essai d'étalement**

Cet essai est très simple à faire puisque qu'on utilise le même équipement que pour l'affaissement. Il permet d 'avoir une très bonne idée de la déformabilité du béton autoplaçant. Plus, l 'étalement est élevé, meilleure est la déformabilité. [54]

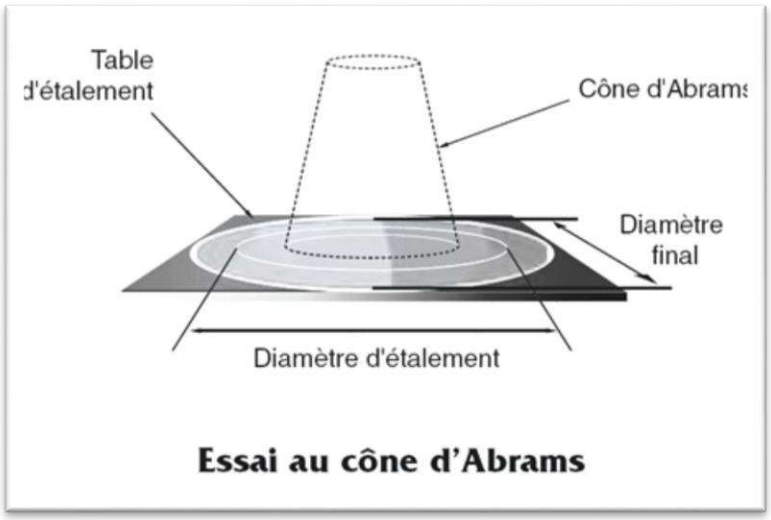


Fig.1.44: Essais au cône d'abrams.

On vise habituellement un étalement compris entre 600 et 700 mm pour un béton autoplaçant.

Il faut cependant noter que cet essai donne seulement une idée de la déformabilité et qu'il faut donc le compléter par un essai mesurant la résistance à la ségrégation ou la capacité de remplissage.

Cet essai est réalisé en utilisant une boite ayant une forme en L, elle permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que sa mise en place ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables [54] Un dessin technique de la boîte est décrit par la figure 1.45

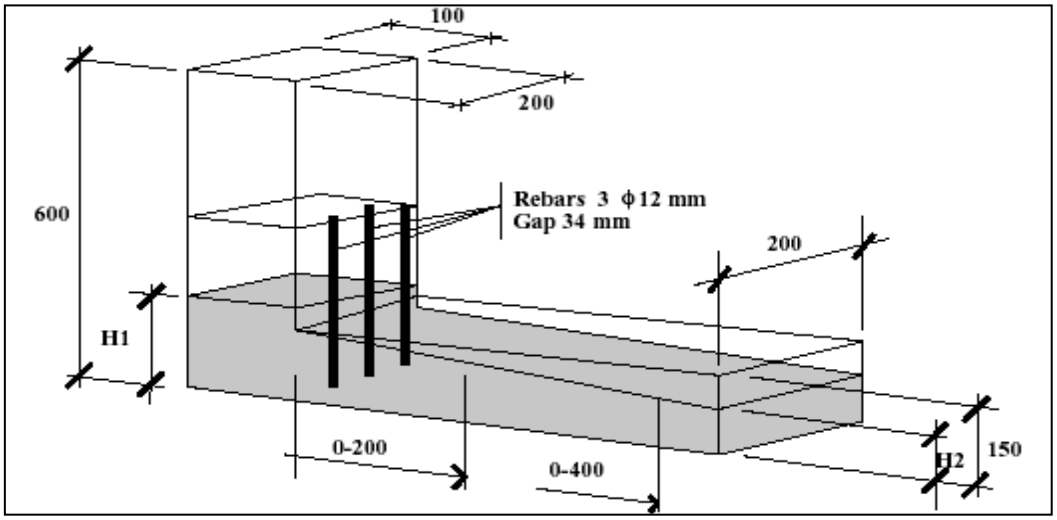


Fig.1.45: schématisation la boîte L-BOX.

Quand le béton ne s 'écoule plus, on mesure les hauteurs H1 et H2 et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage H2/H1. Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferraillage et qu'il se produit un amoncellement de granulats en aval de la grille. C'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation. Il est également possible d'exprimer le résultat de l'essai par la seule valeur de H1. Cette mesure est plus précise que le rapport H2/H1 mais son utilisation est moins répandue. [54]

- **Essai de l'entonnoir (V-funnel/Orimet)**

Le dispositif expérimental du test de l 'entonnoir est décrit sur la Figure suivante:

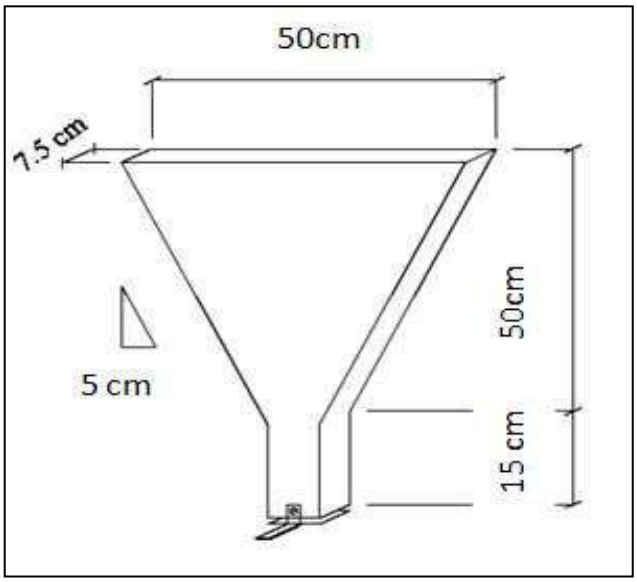


Fig.1.46: Test à l'entonnoir (V-funnel/ Orimet)

La stabilité des BAP est déterminée par l'essai de l'entonnoir. Généralement, on peut distinguer deux types d'appareillage : les entonnoirs à section circulaire et ceux à section rectangulaire. L'essai est censé mesurer la résistance à la ségrégation du béton et donner un indice sur la déformabilité.

Il simule l'écoulement restreint du béton à son passage à travers des zones confinées. Après le remplissage de l'entonnoir par le béton, on ouvre la porte de décharge au fond et on mesure le temps de vidange total. Le temps d'écoulement nécessaire pour qualifier un BAP dépend de la pente d'écoulement.

Dans le cas de l'entonnoir de la figure, on recommande un temps d'écoulement inférieur à 10 secondes.

- **Mesure de la teneur en air occlus**

Pour la mesure de l'air occlus dans le béton frais Figure1.49, on utilise la méthode dite « par pression ». Comme le seul élément compressible dans le béton frais est l'air occlus, la compression de l'air fait chuter la pression appliquée au béton frais. Cette diminution est proportionnelle à la quantité d'air présente dans le béton. Cet essai est effectué à l'aide d'un aéromètre selon la norme française. [55]

Le pourcentage de l'air occlus dans les bétons autoplaçants n'est pas limité à une valeur fixe, mais, plus il augmente plus il influe négativement sur les performances mécaniques de notre béton.



Fig.1.47: Mesure de l'air occlus à l'aide d'un aéromètre.

- **Les masses volumiques**

La masse volumique réelle du béton frais doit être systématiquement mesurée. Cela permet de vérifier le rendement de la composition en comparant la masse volumique déterminée

expérimentalement avec la masse volumique théorique. Elle est mesurée par la pesée d'un récipient de 1 litres (fond de l'aéromètre) remplis de béton auto-plaçant sans vibrer.

Si m est la masse du récipient plein de béton (arasé à l'aide d'une règle) et m0 celle du récipient vide, la densité est déduite par l'application de la formule suivante : MVR = (m – m0) / V [kg/m3], où MVR est la masse volumique réelle du béton frais et V le volume du récipient utilisé (1 litres).

La masse volumique réelle MVR est normalement égale à la masse volumique théorique MV calculée à partir de la formulation théorique du béton avec comme source d'incertitude la quantité d'air occlus.



Fig.1.48: Mesure de la masse volumique réelle.

- **Essai de stabilité au tamis**

C 'est un essai de qualification des bétons auto-plaçants face au risque de ségrégation. Il consiste à déposer deux litres de béton sur un tamis ayant des mailles de 5mm d 'ouverture. [54]

Après 5minutes, on pèse la quantité de mortier ayant traversé le tamis. Cette quantité par rapport à la quantité de mortier initialement présente dans le contenant de 2L donne l'indice de ségrégation. On vise un indicede 30% au plus pour un béton autoplaçant [AFGC, 2000].



Fig.1.49: Tamis de 5mm + fond - Mesure de la laitance.

1.4.4.2 à l'état durci

Les particularités de composition des bétons auto-plaçants conduisent à étudier les différentes propriétés mécaniques de ces bétons et plus particulièrement les déformations instantanées et différées, supposées différentes de celles des bétons vibrés. [56]

- **Résistance à la compression**

Les BAP se caractérisent par un rapport E/C bas, ce qui amène à des bonnes résistances mécaniques. [56]

L'utilisation de fillers dans une formulation de béton génère une accélération de sa résistance mécanique aux jeunes âges. Les particules fines du filler, lorsqu'elles sont bien défloculées par les superplastifiants, favorisent l'hydratation du ciment, principalement par un effet physique, et conduisent à une matrice cimentaire dont la structure est plus dense.

- **Résistance à la traction par flexion**

Les demi–prismes issus de la rupture des prismes par flexion sont ensuite testés en compression par écrasement Figure 1.50 Ces essais sont principalement conduits à titre comparatif. En effet, les valeurs de résistances à la compression déduites de cet essai sont surestimées, du fait que l'élancement est faible et que les parois latérales sont cisaillées.

La contrainte de rupture est obtenue en divisant la charge de rupture par la surface de contact presse / échantillon, soit 4x4 cm.



Fig.1.50: Mesure de la résistance à la compression sur demi-prisme.

- **Le retrait**

Le retrait endogène des BAP est plus faible (les valeurs s'échelonnent entre 50 200μm/m) que celui des BV.

Le retrait endogène est similaire pour BAP et BV, présentant le même rapport E/C, la présence de l'addition n'a en général pas d'effet significatif, au moins à long terme,sur la déformation chimique. Les données sur le retrait de séchage sont très partagées d'un coté le retrait total est trouvé équivalent pour BAP et BV et de l'autre, il est trouvé sensiblement supérieur dans le cas des BAP. [56]

- **Fluage**

Le fluage peut être défini comme une augmentation de la déformation sous une contrainte constante. Comme cette augmentation de la déformation peut être plusieurs fois supérieure à la déformation sous l'application d'une charge, la prise en compte du fluage est d'une importance considérable lors de calcul des structures de bétons. le phénomène de fluage dépend de la distribution des efforts au sein de la structure et aussi de type de matrice de ciment.

Proust trouve des valeurs de même ordre de grandeur de BAP et pour BV Ces résultats sont confirmés par Turcry, où il indique qu' 'en compression, le fluage total du BAP est identique à celui de BV. [56]

1.4.5 Les avantages et les inconvénients de BAP

1.4.5.1 Les avantages

Les avantages des BAP sont :

- Très fluides (Classe de consistance S5 au sens de la norme NF EN 206-1) ;
- Absolument homogènes ;
- Mis en œuvre sans vibration ;
- Ils présentent des résistances et des durabilités analogues à celles des bétons traditionnels ou à celles des Bétons à Hautes Performances mis en œuvre par vibration.
- Le coulage facilité de structures complexes et souvent fortement ferraillées.

1.4.5.2 Les inconvénients

Le désavantage principal de ce béton est qu'il entraîne un accroissement du coût des matières premières, de la fabrication et du contrôle. Sur chantier, il nécessite également des coffrages plus lourds afin de reprendre les pressions exercées. En effet, les données de la littérature concernant les pressions exercées par les BAP sont parfois contradictoires mais il est recommandé de retenir de manière conservatrice une pression en pied de coffrage correspondant à la poussée hydrostatique du béton frais.

Cependant, de manière globale, des économies résultant de la rapidité de mise en place, de la diminution de main d'œuvre, de l'usure moindre des coffrages et de l'amélioration sensible de la qualité finale ont toujours été constatées.

1.4.6 Domaine d'emploi de BAP

L'utilisation des BAP présente des intérêts architecturaux importants puisque, sans augmenter les performances mécaniques d'une structure donnée, ils permettent l'optimisation des sections ou la réalisation d'éléments de forme complexe.

Les BAP constituent donc une alternative particulièrement intéressante au béton vibré dans les différents domaines de la construction : bâtiment, ouvrages d'art, tunnels, préfabrication, réhabilitation, etc. [57]

- **Utilisation des bétons auto-plaçant en Algérie**

En Algérie, il existe très peu de rivières, ce qui diminue considérablement la disponibilité des agrégats alluvionnaires et donc roulés, qui sont à la base de la confection d'un bon béton auto- plaçant, alors qu'il existe des centaines de carrières qui produisent des milliers de tonnes de granulats calcaires concassés.

Notre étude a pour but, l'utilisation de granulats concassés algériens dans la confection des bétons autoplaçants stables et durables. Ceci pourra encourager les entreprises de construction algériennes à utiliser ce type de formulation, d'où l'intérêt pour le développement de l'industrie de la construction en Algérie.

1.5. Valorisation des déchets de carrelage dans les matériaux cimentaires

1.5.1 Influence de déchet de carrelage sur les propriétés des matériaux cimentaires

1.5.1.1 Etats frais

Mongi Ben Ouezdou et al. [58] ont étudié l'influence de la valorisation des déchets de marbreries et d'usines de carrelage en tant qu'addition minérale sur les caractéristiques d'un Béton autoplaçant (BAP). Ils ont constaté que tous les BAP testés présentent un étalement supérieur à 65 cm et inférieur ou égal à 75 cm, soit une grande fluidité .Ils ont constatés aussi que la densité est diminuée en fonction d'augmentation du pourcentage de la poudre de marbre (tableau 1.2).

Tableau 1.2: Essais de caractérisation des bétons à l'état frais [58]

Essais	BOV	BAPF	BAPD1	BAPD2	BAPD3	Norme
Affaissement (cm)	14	-	-	-	-	Très plastique
Etalement : Ø (cm)	-	75	65	68	71	$65 \leq Ø \leq 75$
Entonnoir V : T (s)	-	8.15	7.85	7.97	8.12	$8 \leq T \leq 14$
Tamis : ∏ (% laitance)	-	23.8	14.8	19.6	15.2	$10 \leq ∏ \leq 20$
Boite en L : H2 / H1	-	0.90	0.85	0.90	0.88	$H2/H1 \geq 0.80$
ρ théorique (Kg/m3)	2392.84	2383.19	2327.31	2366.83	2318.19	-
ρ expérimentale (Kg/m3)	2365.48	2320.41	2300.15	2272.16	2219.28	-

Benamara et al. [59] ont étudié l'effet de recyclage de déchet de polissage du carrelage comme filler sur le comportement du BHP. Les principaux essais effectués sur les bétons (l'ouvrabilité, le pourcentage d'air occlus et la masse volumique) sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1.3: L'air occlus, ouvrabilité et la masse volumique des bétons frais. [59]

Propriétés	BO	BC	BDPC	BSD
% d'air occlus	2.40	1.65	1.30	1.65
Aff. (*cm*)	7.00	7.70	9.00	7.70
MV (*Kg/m3*)	2410	2588	2560	2592

1.5.1.2 Etats durci

A. Résistances à la compression

Mongi Ben Ouezdou et al. [58] ont étudié l'effet d'incorporation de déchets de carrelage sur la résistance à la compression de BHP et de BAP par rapport au leurs témoins respectives. Ils ont constaté que les bétons auto-plaçant et les BHP ont présenté des résistances plus importantes que celles du béton témoins (Fig.1.51)

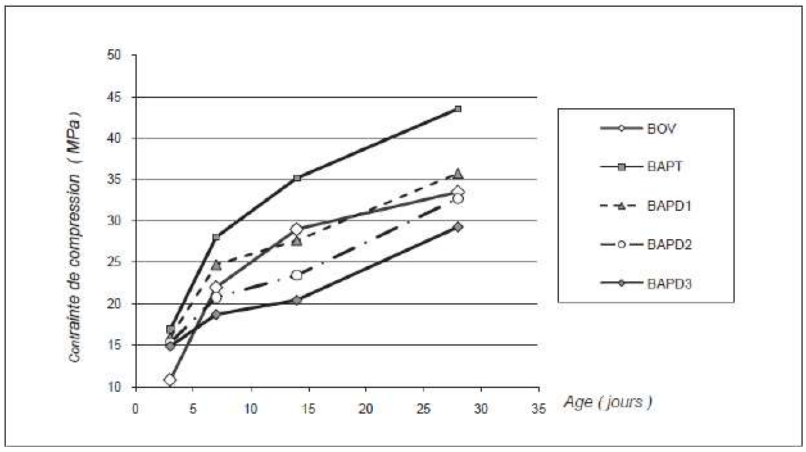


Fig.1.51: Résistance à la compression pour différents bétons.

Benamara et al. [59] ont étudié l'influence d'ajout de 15% du déchet de polissage de carrelage sur la résistance à la compression d'un béton de sable de dune et béton ordinaire comme indique la figure suivante :

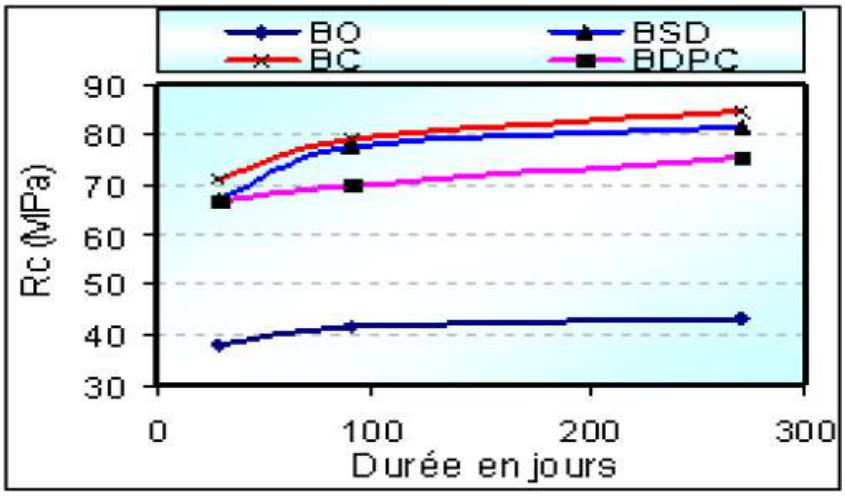


Fig.1.52: Résistance à la compression des bétons à base de déchet de carrelage.

Les auteurs ont constaté d'après les résultats obtenus que la résistance des bétons à base de déchet de polissage de carrelage est plus importante quel celle des béton à base de ciment ordinaire [59]

B. la résistance à la traction

Ben Ouezdou et al. [58] ont étudié l'influence de déchets de marbreries et de carrelages sur la résistance à la traction d'un béton autoplaçant les resultats trouvés sont présentés à la figure 1.53:

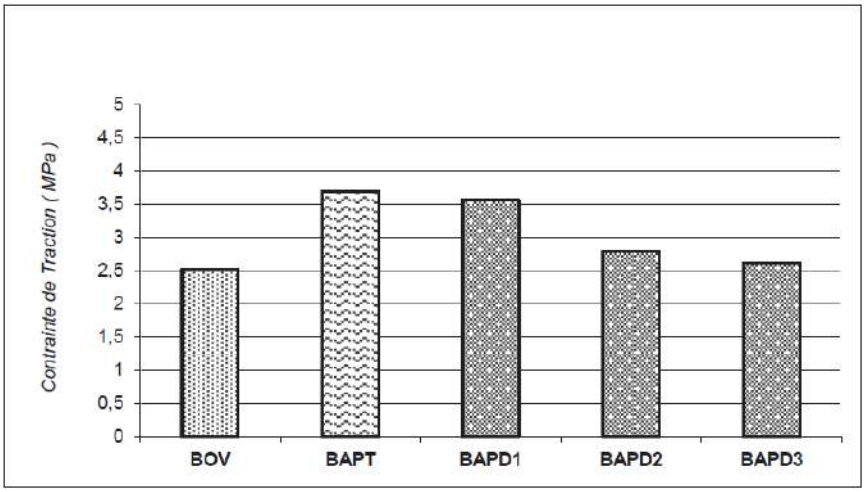


Fig.1.53: Résistance à la traction des bétons.

Ils ont constaté que Les résistances à la traction des BAP avec déchets de marbreries et de carrelages sont supérieures à celles du BOV et comparables à la résistance du BAPT (pour le BAPD1). [58]

1.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons passé en revue la problématique des déchets usagés non réutilisables, ainsi que de leur recyclage et valorisation. Puis on a donné une généralité sur les différents déchets de carrelage (définition, origine, composition, propriétés, utilisation), le béton autoplaçant et le béton de sable (définition, historique, composition, caractéristiques, utilisation), puis on a terminé ce chapitre par la valorisation des déchets de carrelage dans les matériaux cimentaires.

Chapitre 02 :
Matériaux et Essais

2.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons, les caractéristiques des matériaux utilisés durant ce projet de recherche, la procédure du malaxage pour confectionner nos mélanges, les compositions des différents mélanges utilisés dans le cadre de cette étude, ainsi les différents essais expérimentaux réalises pour caractériser les mélanges à l'état frais et durci.

2.2. Caractérisation des matériaux utilisés

2.2.1. Le sable

Le sable utilisé dans cette étude est un sable roulé provenant de la carrière d'OUED SOUF situé à 500 Km au sud de l'Algérie, sa classe granulaire est de 0/3. La figure 2.1 suivante donne un aperçu sur la nature de sable et s'analyse granulométrique est représentée dans la figure.2.2 suivante :



Fig.2.1 Aspect du sable utilisé.

Les caractéristiques physiques du sable utilisé sont regroupées dans le tableau 2.1. Les valeurs de l'équivalent de sable (selon la norme NF EN 933-8**)** [60] mettent en évidence la propreté de ce dernier (pauvres en éléments fins).

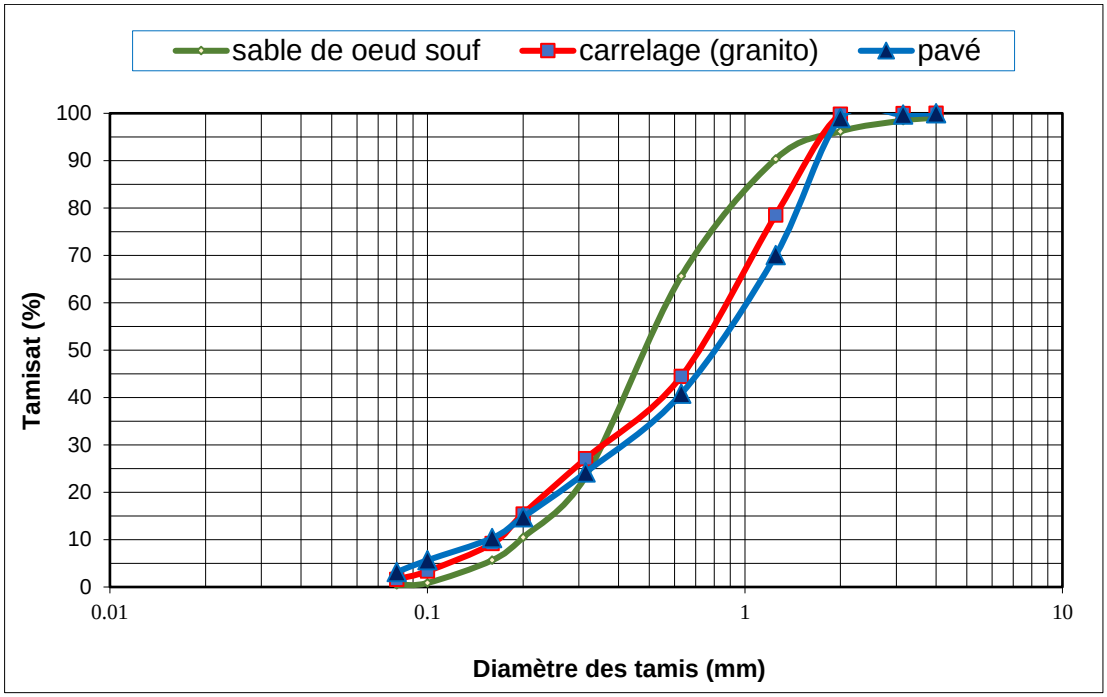


Fig.2.2. Courbe granulométrique du sable et de déchets de carrelages utilisée.

Tableau .2.1. Caractéristiques physiques du sable utilisé.

Caractéristiques	**Sable**	**Normes**
Classe granulaire	**0/3**	NF EN 933-1 [61]
Module de finesse	2.2	NF EN 933-1 [61]
Masse volumique absolue (Kg/ m^3)	2.64	NF EN 1097-6 [62]
Masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.63	NF EN 1097-3 [63]
La compacité (%)	62	NF EN 1097-3 [63]
La porosité (%)	38	NF EN 1097-3 [63]
Equivalent de sable (%)	81.9	NF EN 933-8 [60]
Coefficient d'absorption d'eau (%)	0.42	NF EN 1097-6 [62]

- **Analyse chimique du sable utilisé**

Le sable utilisé a été analysé à l'aide d'une spectrophotométrie infrarouge, pour l'identification des différents groupements caractéristiques de la biomolécule.

Le spectre obtenu sur ce sable démontre que sa nature est calcaire (Figure2.3).

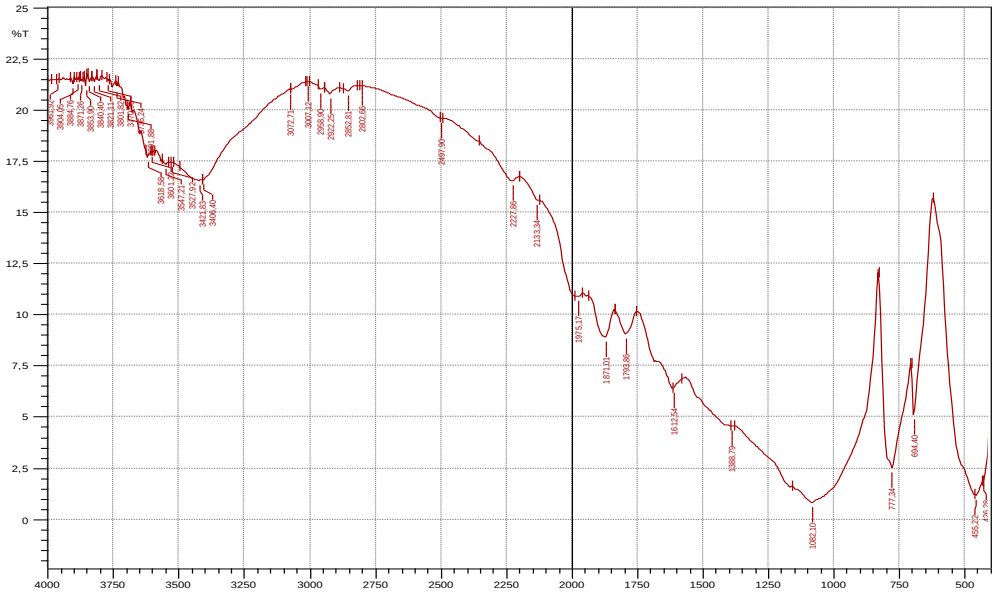


Fig.2.3. Courbe d'analyse chimique du sable utilisé.

2.2.2. Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est le ciment portland composé ''MATINE'' CPJ-CEM II/A 42.5R, produit par la cimenterie CIBA-LAFARGE à M'sila en Algérie dont l'ajout est le calcaire. C'est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, le résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile. Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'aluminium (Al $_2$O3) et le fer (Fe_2O3). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 °C et 1500°C.En présence d'eau à lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés. MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physicochimiques on forme à la norme NA 442 [65], et à la norme NF P 15-301 [43].



Fig.2.4 Le ciment utilisé.

- **Analyse et caractérisation**

A. Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker

Selon la fiche technique du ciment (Annexe A.1). Le Tableau. (2.2) résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker,

Tableau 2.2 Analyse chimique du ciment et composition du clinker.

Analyse chimique du ciment	Perte au feu (%)	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	2.00-2.50
	Teneur en oxyde de magnésium MgO(%)	1.90-2.30
	Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	0.01-0.03
Composition Hypothétique du Clinker	Silicates tricalciques C3S (%)	58.00-64.00
	Aluminates tricalciques C3A (%)	6.00-8.00

B. Essais physiques

- **La finesse**

La finesse du ciment influe d'une façon considérable sur sa résistance mécanique, sa consistance normale et son temps de prise. La finesse est déterminée par la surface spécifique de Blaine. Elle est calculée en fonction du temps à l'aide du perméabilimètre de Blaine d'après la norme [NF P 15-476] [66].

- **La consistance normale**

C'est la quantité d'eau de gâchage qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesée pour obtenir une pâte dite normale, elle est mesurée à l'aide de l'appareil de Vicat d'après la norme [NF P 15-431] [67].

- **Le temps de prise**

Le début et la fin de prise sont déterminés à l'aide de l'aiguille de Vicat sur une pâte de consistance normale placée dans un moule tronconique d'après la norme NF P 15-473 [68].

Le Tableau 2.3 résume les résultats des essais physiques sur le ciment utilisé.

Tableau .2.3. Caractéristique physiques du ciment.

Caractéristique	**Valeur**
Masse volumique apparent (g/cm^3)	3.04
Masse volumique absolue (g/cm^3)	0.99
Consistance normale de la pâte de ciment (%)	25.5-28.00
Prisométrie (Min) - **Début de prise** - **Fin de prise**	 120-180 210-280
Classe de résistance (MPa)	≥ 42.5& 62.5
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Finesse (BLAINE) (cm^2/g)	4300-4800
Expansion (mm)	0.50– 2.50

C. Essais mécaniques sur le ciment

Selon la fiche technique (Annex A.1) les essais mécaniques sur le ciment ont été effectués conformément à la norme NF P 15-471 [69] sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm³ à raison de trois éprouvettes rapportées à la moyenne par âge. Le mortier utilisé est un mortier normalisé : 450 g de ciment, 1350 g de sable naturel et 225 g d'eau. Le Tableau 2.4 résume l'évolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge.

Tableau.2.4. Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge.

Ages (jour)	Résistance à la compression (MPa)
2	>20
28	≥42.5 et 62.5

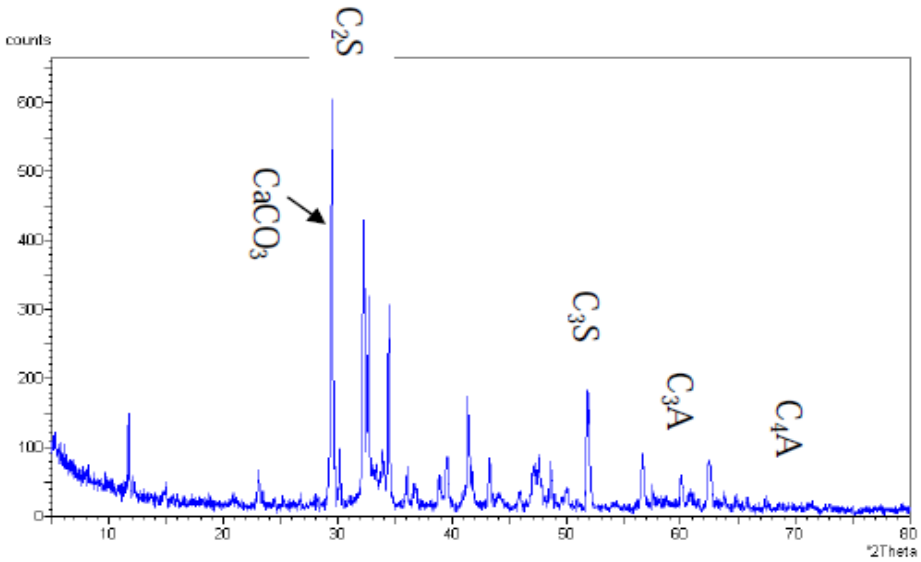


Fig.2.5 Diagramme de DRX appliqué sur le ciment utilisé.

2.2.3 Ajouts (fillers)

Les fillers utilisés dans notre étude sont de nature marbre (Fig.2.6). Ils sont obtenus par le broyage des déchets de concassage de la carrière de Skikda abandonnée et se trouves dans l'usine de marbre de Zawya wilaya de Blida. Rappelons que la poudre de marbre est la plus adapté au béton et donnent de meilleures performances. Leurs caractéristiques physiques sont mentionnées dans le Tableau.2.5. Suivante.



Fig.2.6. Fillers de marbre utilisés.

Tableau.2.5. Caractéristiques physiques des fins de marbre utilisées.

Caractéristiques	Valeurs
La masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.083
La masse volumique absolue (Kg/ m^3)	2.73
La finesse (Cm^2/g)	2400

2.2.4. Adjuvant

L'adjuvant utilisé est un Super plastifiant-Haut réducteur d'eau (annexe A.2) fabriqué par la société Algérienne GRANITEX, commercialisé sous l'appellation 'MEDAFLOW145', de forme liquide ; de couleur brai clair ; d'un PH égal à 5-6, de densité 1,065 ± 0,015 et d'une teneur en chlore< 1g/L (Fig.2.7). [70]



Figu.2.7. L'adjuvant utilisé.

2.2.5. Eau de gâchage

L'eau utilisée pour le gâchage des BSAP est une eau potable de distribution de notre laboratoire, exempte d'impuretés, et sans aucun traitement supplémentaire. Son PH mesuré régulièrement est voisin de 7,5.

2.2.6. Déchets de carrelage (granito et pavé autobloquant)

Les déchets utilisées dans notre étude proviennent de les récupération de déchets de carrelages types granito et pavé, rejetés dans la nature après avoir les récupérer, concasser broyer et tamiser (au tamis de 2 mm) et extraites sous forme de poudre (Fig. 2.8 et fig. 2.9) et ajouter dans la masse du béton de sable autoplçant par substitution volumique du sable avec des pourcentages de 10, 20, 30, 40, 50 et 60% pour le cas de déchets de granito et 10, 20, 30, 40 et 50%) pour le cas de déchets de pavé autobloquant.

La granulométrie de ces déchets est représentée dans la figure.2.2 et leurs caractéristiques physiques sont données dans le tableau 2.6 suivant :

Tableau 2.6**.** Caractéristiques physiques des granulats de carrelage.

Caractéristiques	Déchet de (granito)	Déchet de (pavé)
Masse volumique absolue (kg/m^3)	2,61	2.49
Masse volumique apparente (kg/m^3)	1.26	1.24
Module de finesse	2.4	2.5
La compacité (%)	48	50
La porosité (%)	52	50
Coefficient d'absorption d'eau (%)	0.65	0.79

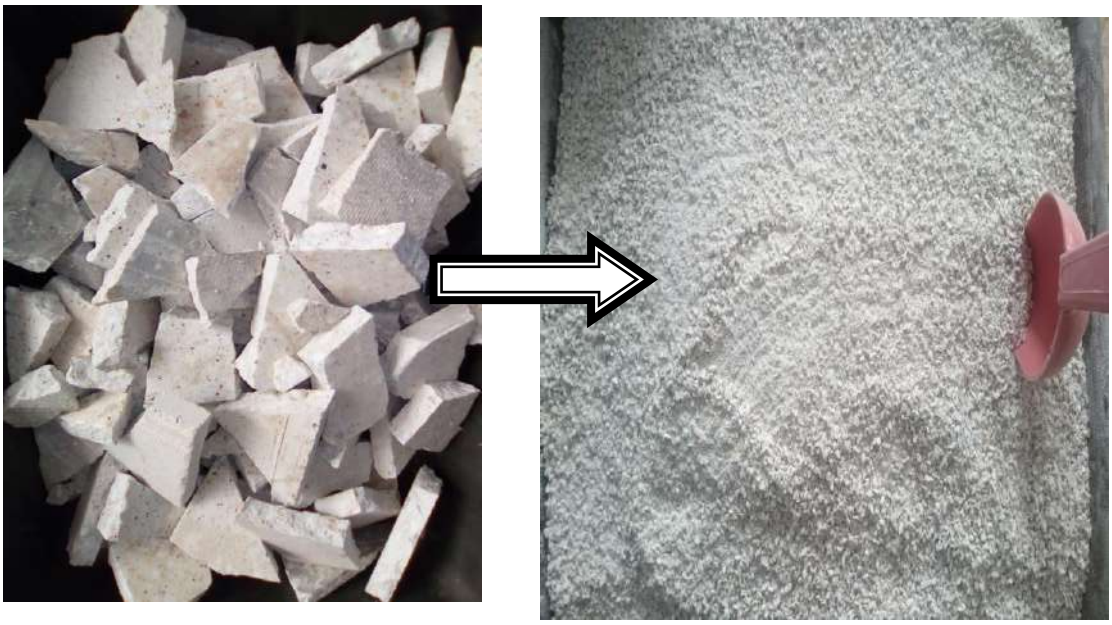


Fig.2.8. Aspect de déchets de granito utilisé.

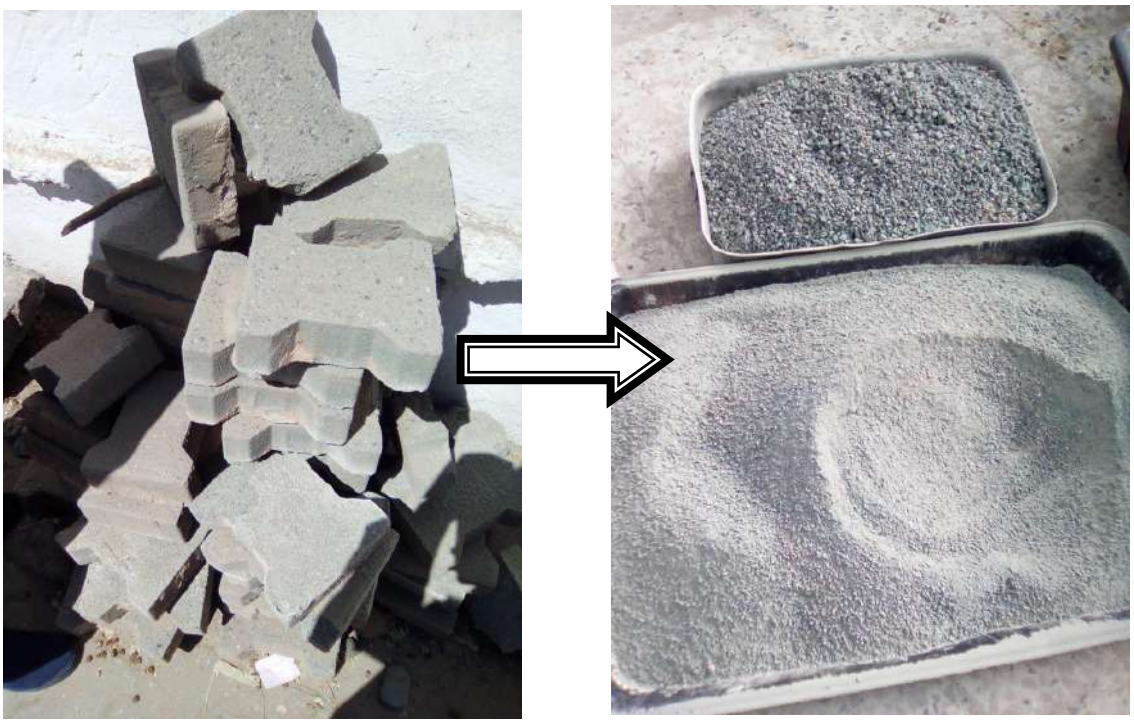


Fig.2.9. Aspect de déchet de pavé utilisé.

2.3. Compositions des mélanges

La composition du béton de sable autoplaçant pour la confection des éprouvettes est basée sur la méthode théorique SABLOCRETE 1994 [30]. Les déchets de carrelages sont incorporés dans la masse du béton de sable par substitution volumique du sable avec les pourcentages de

10, 20, 30, 40, 50 et 60% pour le déchet de granito et 10, 20, 30, 40 et 50% pour le déchet de pavé autobloquant.

Dans la première étape : on a essayé de formuler et d'optimiser la formulation du béton de sable autoplaçant Témoin pour avoir une formulation de base.

Dans la deuxième étape on a incorporé nos déchets (granito et pavé autobloquant) dans la masse de béton pour voir l'effet de ces déchets sur les caractéristiques du béton de sable autoplaçant. Le tableau 2.7 résume les différentes compositions du BSAP obtenus :

Tableau 2.7. Compositions des Béton de sable autoplaçant à base de déchets de granito.

Béton	**Ciment (Kg /m^3)**	**Fillers de Marbre (Kg /m^3)**	**Sable (Kg /m^3)**	**Granito (Kg /m^3)**	**Eau (l /m^3)**	**Adj (%)***
BSAPT	350	250	1400	0	247.4	1.4
BSAP10%G	350	250	1260	138.46	247.4	1.1
BSAP 20%G	350	250	1120	276.92	247.4	1.2
BSAP 30%G	350	250	980	415.38	247.4	1.3
BSAP 40%G	350	250	840	553.84	247.4	1.6
BSAP 50%G	350	250	700	692.31	247.4	1.8
BSAP 60%G	350	250	560	830.77	247.4	2

(***** % par rapport à la masse de ciment)

Tableau .2.8**.** Compositions des Béton de sable auto plaçant a base déchet de pavé autobloquant.

Béton	Ciment (Kg /m^3)	Fillers de Marbre (Kg /m^3)	Sable (Kg /m^3)	Pavé (Kg /m^3)	Eau (l/m^3)	Adj* (%)
BSAP 10%P	350	250	1260	138.46	247.4	1.3
BSAP 20%P	350	250	1120	276.92	247.4	1.5
BSAP 30%P	350	250	980	415.38	247.4	1.7
BSAP 40%P	350	250	840	553.84	247.4	1.9
BSAP 50%P	350	250	700	692.31	247.4	2

(***** % par rapport à la masse de ciment)

Avec :

BSAPT : Béton de sable auto-plaçant témoin.

BSAPG : Béton de sable autoplaçant à base de déchets de granito.

BSAPP : Béton de sable autoplaçant à base de déchets de pave autobloquant.

2.4. Malaxage et conservation

Le malaxage des bétons de sable autoplaçant se fait en malaxeur à mortier d'une capacité de 5 L. L'introduction des constituants se fait du plus gros au plus fin. 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. Le malaxage de chaque mélange se fait de la manière suivante :

- On verse les gros grains (le sable) ;
- Puis on ajoute les fillers et le ciment après on malaxe à sec pendant 30 sec ;
- On verse deux tiers d'eau de gâchage, puis on malaxe pendant 1 minutes ;
- Après on ajoute de super plastifiant avec le tiers de la quantité d'eau nécessaire et on mélange pendant 1 minute ;

- Après, malaxes le mélange à vitesse rapide pendant 3 minutes, puis on laisse le mélange repose 3 minute ;
- Puis lancer vitesse rapide pendant 1 minute et 30 sec.

- L'Introduction du déchet de carrelage a été effectuée au départ (après l'introduction du sable).

➢ Mesurer de l'étalement, temps de passage, la densité et l'air occlus du béton frais immédiatement au la fin malaxage.



Fig.2.10. Le malaxage de BSAP.

2.5 Essais réalisé à l'état frais

Les différents essais réalisés sur le béton de sable autoplaçant à l'état frais sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2.9. Essais sur BSAP frais.

Essais	Appareil	Nombre d'essais
Etalement	Mini cone	12
Temp de passage	V-funnel	12
Densité	Moule (1L) + balance	12
Air occlus	aéromètre	12

2.5.1. L'étalement

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique place sur une surface horizontale lisse, une fois le moule soulevé, le diamètre d'étalement du BSAP est mesuré suivant deux directions perpendiculaire, la moyenne est retenue. La figure 2.11 nous donne une idée sur les étapes de l'essai d'étalement au mini cône.



Fig.2.11. Mesure de l'étalement du béton de sable autoplaçant.

2.5.2 Ecoulement à l'entonnoir en V-FUNNEL

La norme NBN EN 12350-9 [71] d'essai d'écoulement à l'entonnoir en V-funnel décrit la méthode de détermination de la durée d'écoulement du BSAP à travers l'ouverture d'un entonnoir en V figure 2.12. Pour cet essai, un entonnoir en forme de V, équipé d'une trappe, est rempli de béton frais. La trappe est ouvert 10 secondes après le remplissage et le temps nécessaire à l'écoulement du béton hors de l'entonnoir est mesuré et consigné comme la durée d'écoulement à l'entonnoir en V. Il permet d'évaluer la viscosité du BAP. Si le béton a une faible résistance à la ségrégation dynamique, un blocage partiel des granulats pourra également être observé.



Fig.2.12. Mesure de temp de passage du BSAP.

2.5.3. La densité

La masse volumique du BSAP a été mesurée selon la norme NF EN 12350-6 [72]



Fig.2.13. Mesure de la densité du béton de sable autoplaçant.

2.5.4 Mesure de la teneur en air occlus

Pour la mesure de l'air occlus du BSAP (figure 2.14), on a utilisé la méthode dite « par pression ». Comme le seul élément compressible dans le béton frais est l'air occlus, la compression de l'air fait chuter la pression appliquée au béton frais.

Cette diminution est proportionnelle à la quantité d'air présente dans le béton. Cet essai est effectué à l'aide d'un aéromètre selon la norme française [73].

Le pourcentage de l'air occlus dans les bétons autoplaçants n'est pas limité à une valeur fixe, mais, plus il augmente plus il influe négativement sur les performances mécaniques de notre béton.



Fig.2.14. Mesure de l'air occlus de BSAP à l'aide d'un aéromètre.

2.6. Préparation des éprouvettes

Les différents types de bétons de sable autoplaçant sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Le béton a été coulé dans des moules métalliques de forme prismatiques 4x4x16 cm destinées aux essais de compression et de variation dimensionnelles, conformément aux norme NF EN 12390-2 [74]



Fig.2.15. Fabrication des éprouvettes.

2.7. Conservation

Après la confection, toutes les éprouvettes ont été couvertes afin d'éviter le risque d'évaporation excessive et le retrait plastique. Après 24 heures de la confection, les éprouvettes ont été démoulées et conservées selon deux modes différents : à l'air libre d'un climat moyen (laboratoire), et dans l'eau à 20°C ± 2°C.

2.8. Essais sur béton durci

Les essais effectués sur le béton de sable autoplaçant durci sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 2.10. Essais sur bétons de sable autoplaçant durci.

Essais	Appareil	Dimension (cm)
Compression	La presse hydraulique	4x4x16
Variation dimensionnelle	retractomètre	4x4x16
Capacité d'absorption d'eau	Essaie d'absorption	demi-prisme 4x4x16

2.8.1. Essai de compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [NF EN 196-1] [75] par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à l'âge 3,7 et 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000

KN conforme à la norme [NF P 18-412] [76] (fig.2.1) Pendant l'essai, la vitesse de chargement est constante.

La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette correspond, la contrainte de compression est la moyenne d'écrasement sur trois éprouvettes à chaque âge d'essai (3j.7j.28j) [77].

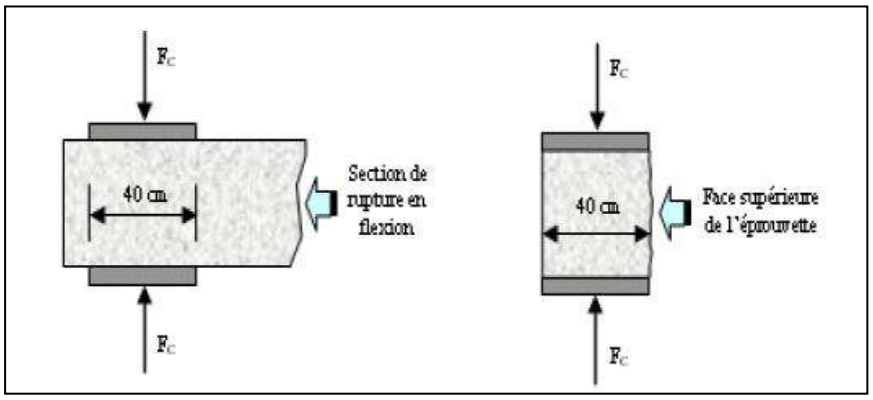


Fig.2.16. Dispositif de rupture à la compression.

La contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$R_C = \frac{F_C}{b^2} \quad \text{..... (Equation 2.1)}$$

R_C : Résistance à la compression en (MPa) ;

F_C: Charge de rupture en (N) ;

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.





Fig.2.17. Essais de compression.

2.8.2 Essai de la variation dimensionnelle

Le retrait est un facteur très important dans la pratique, car il entraîne souvent l'apparition de fissures qui peuvent nuire à la durabilité du béton. La présence des éléments fins engendre des modifications dans le squelette solide vis-à-vis de la déformation (retrait) du béton.

Les mesures du retrait à l'air libre et gonflement sous l'eau ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16cm^3 conformément à la norme [NF P 15-404] [78].

Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 h, placées dans un réctractomètre (fig.2.18) munis d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait et gonflement à tout moment à court terme et moyenne terme (du 1j jusqu'a 28 jours)



Fig.2.18. Mesure de variation dimensionnelle à l'aide de retractomètre.

- **Principe de mesure du retrait et gonflement**

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur L = 160 mm. Soit dl(t) la valeur lue sur le comparateur au l'éprouvette a une longueur au temps considéré :

$$l = L + dl(t) \qquad \text{……..……..} \quad \text{(Equation 2.2)}$$

Soit l (t_0) la longueur de l'éprouvette au temps t_0 choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera :

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t0) = dl(t) - dl(t0) \text{……..} \quad \text{(Equation 2.3)}$$

La variation relative de longueur est généralement désignée par ε et a pour expression :

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t0)}{L} \quad \text{……..……} \quad \text{(Equation 2.4)}$$

Δ L (t) est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule. Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air ΔL (t) est généralement négatif et l'on parle alors de retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau, Δl(t) peut être positif : il y a alors gonflement).

Avec :

ΔL: Variation de longueur par apport à la longueur origine,

L0 : Longueur de base, prise égale à 160mm.

ΔM: Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage,

M : Masse de l'éprouvette au moment du démoulage.

2.8.3 Absorption capillaire

Dans cet essai, on prend un morceau d'éprouvette de béton séché. On le pese (m_0) au début, après on l'introduire dans un bac remplit d'un film d'eau (5mm d'eau) fig.2.19, et pendant chaque intervalle de temps (12 min, 30 min ,1 h, 2h ,4h ,24h) on remesure les nouvelles masses des morceaux (m_1), la différence de poids entre m_1 et m_0 c'est le poids de l'eau absorbée (m_1- m_0) (NBN NE 13057) [79].

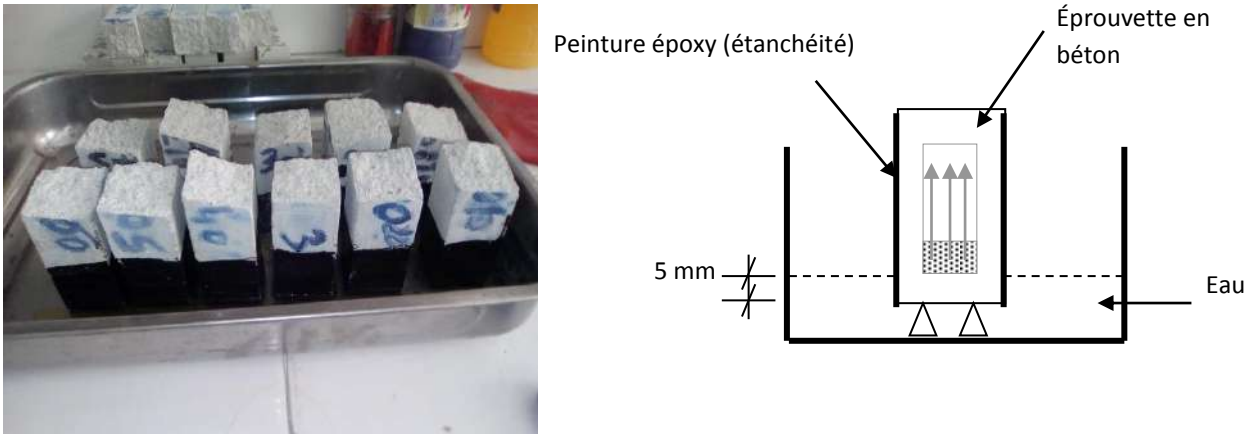


Fig.2.19. Absorption d'eau par succion capillaire des BSAP.

2.9 Variables étudiées

Les variables d'étude utilisés au cours de ce travail sont résumées dans la figure suivante :

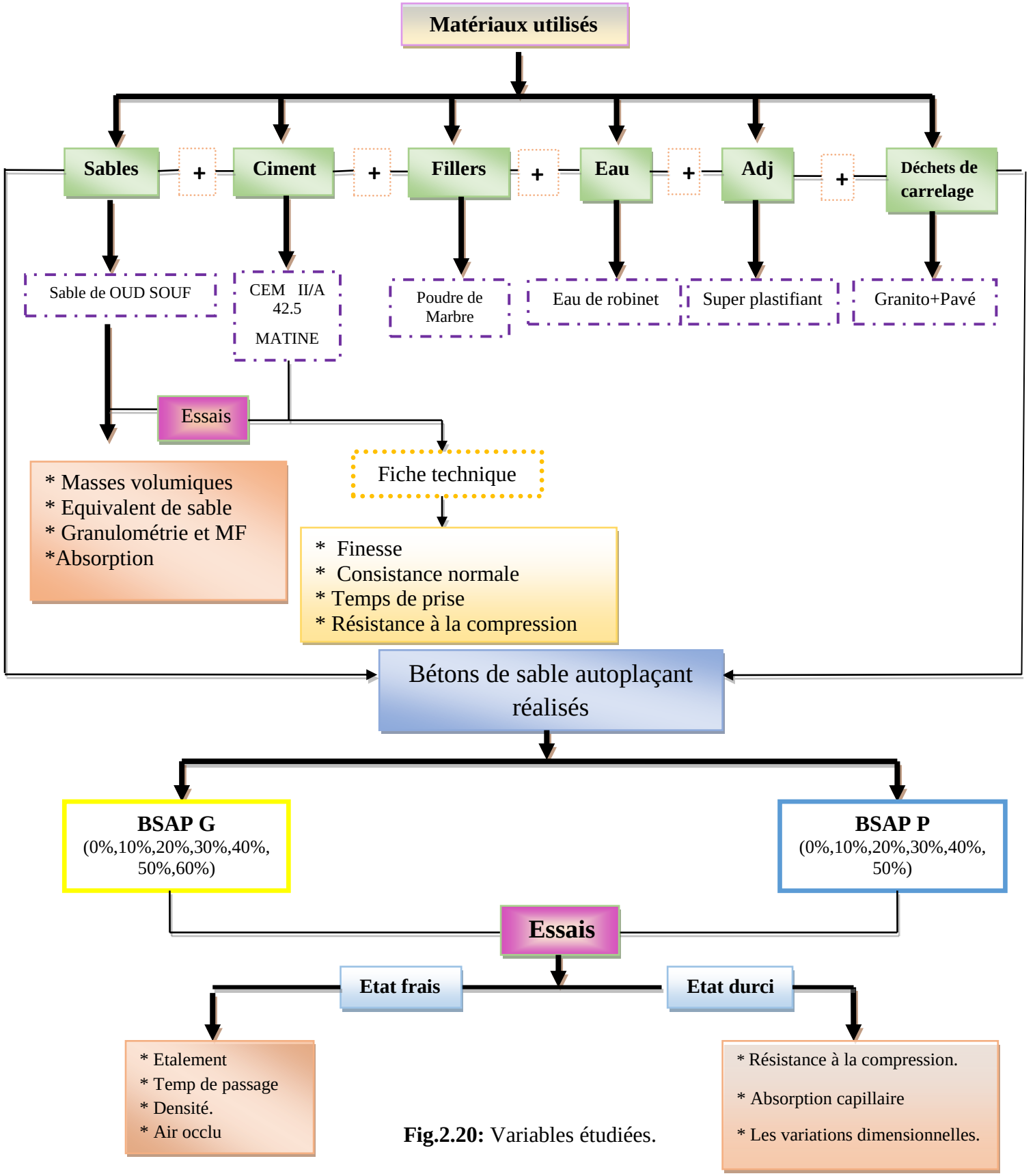


Fig.2.20: Variables étudiées.

2.10 Conclusion

L'utilisation des matériaux locaux et des déchets industriels recyclés dans la fabrication du BSAP constitue une alternative économique et technologique importante dans certains pays en voie de développement. Cette recherche présente une contribution à l'étude de l'effet des déchets de carrelage sur les propriétés frais et durci des bétons de sables autoplaçant.

Cette partie de l'étude a successivement traité les points suivants :

- Caractérisation physique et chimique des matériaux utilisés dans les compositions des BSAP

- La méthode de formulation utilisée, est appelée méthode théorique SABLOCRETE.;

- Les procédures expérimentales et les essais réalisés sur les différents bétons de sable autoplaçant à base de déchets de carrelage à l'état frais et durci au cours de cette étude.

- Pour évaluer la durabilité du BSAP à base de déchets de carrelage, nous avons choisi l'essai d'absorption d'eau et la variation dimensionnelle (retrait et gonflement).

Chapitre 03 :
Résultats et interpétations

3.1 Introduction

Dans ce dernier chapitre on présente les résultats obtenus pour les différents essais réalisés sur le béton de sable auto-plaçant à l'état frais et durci. Les résultats sont rassemblés ci-après et les valeurs données sont les moyennes arithmétiques des trois résultats d'essais.

3.2. Influence de déchets de granito sur le comportement du BSAP

3.2.1 Caractéristiques du BSAPG à l'état frais

3.2.1.1 Etalement

L'étalement des déférent BSAP à base de déchet de granito est représenté dans la figures ci-dessous :

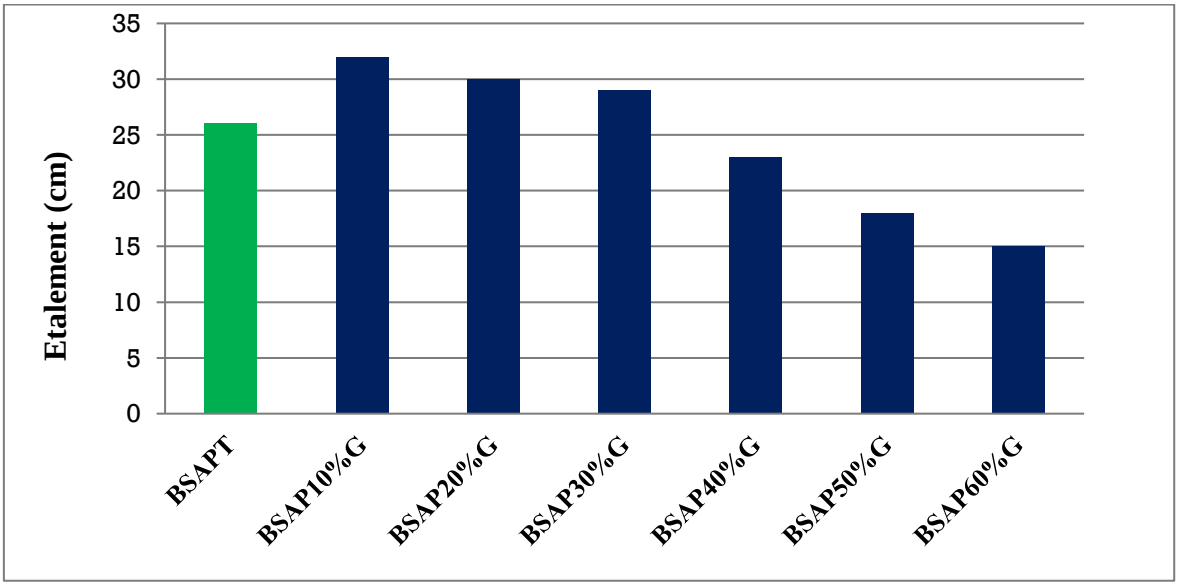


Fig.3.1. Étalement des BSAP à base de déchets de granito avant réglage.

D'après les résultats obtenus, on remarque que l'étalement des bétons de sable autoplaçant varie en fonction du pourcentage de substitution du sable par le déchet de granito. On constate aussi que plus le pourcentage de la poudre de granito augmente, plus l'étalement diminue. Cela est due peut être à l'absorption de déchet de granito incorporé ainsi que à la forme anguleuse de grain de granito. Benamara et al. [59] ont étudiés l'effet de recyclage du déchet de polissage de carrelage comme filler sur l'affaissement du BHP. Ils ont trouvé que l'affaissement est augmenté en fonction d'augmentation du pourcentage de déchets de carrelage.

Pour ce qui s'en suit, et pouvoir comparer les résultats obtenus à l'état durci, on a varié la quantité d'adjuvant pour obtenir un étalement constant (compris entre 26 et 28 (cm) est visé) comme indique la figure suivante :

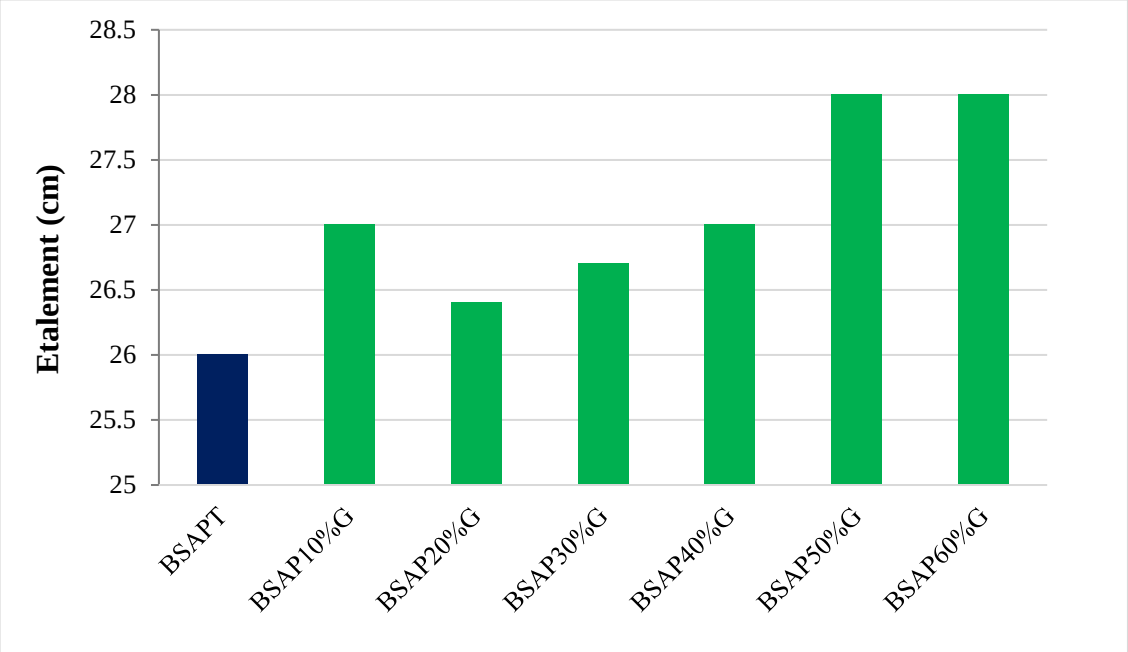


Fig.3.2. Etalement des BSAP à base de déchets de granito après réglage.

3.2.1.2 Temps d'écoulement

Le temps d'écoulement des différents bétons de sable autoplaçant obtenus est représenté dans la figure 3.3 ci-dessous :

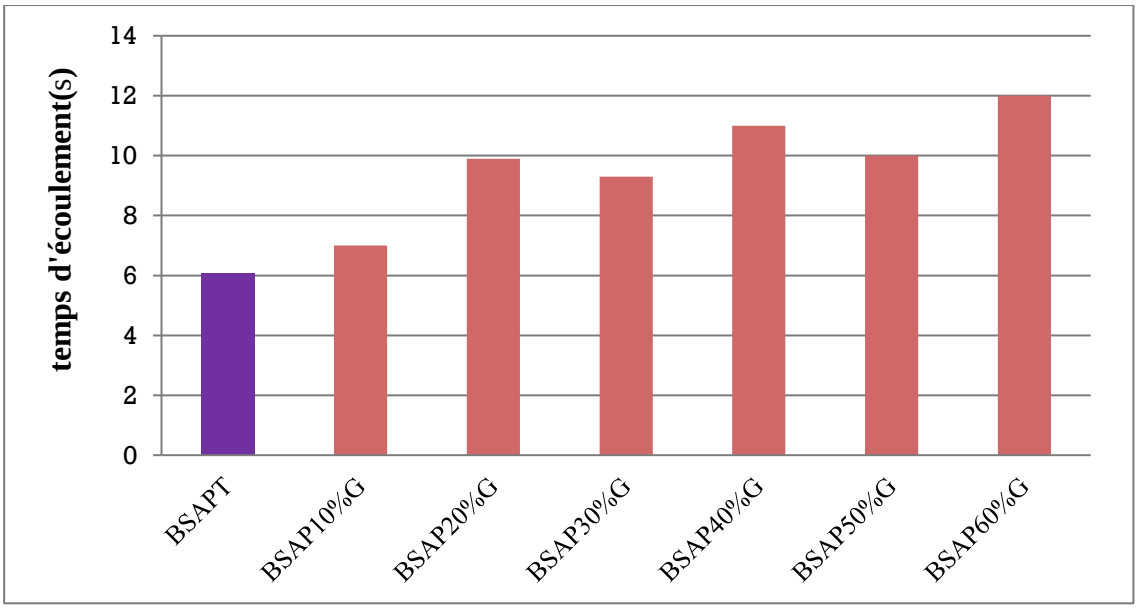


Fig.3.3. Temps d'écoulement des BSAP à base de déchets de granito.

De la même façon que l'étalement, les résultats d'essais V-funnel montrent que le temps d'écoulement augmente en fonction d'augmentation de déchets de granito. Cette augmentation est liée à la forme anguleuse du grain de granito incorporé qui joue un rôle d'obstacle.

3.2.1.3 Densité

La densité des différents bétons réalisés est résumée dans les figures ci-dessous :

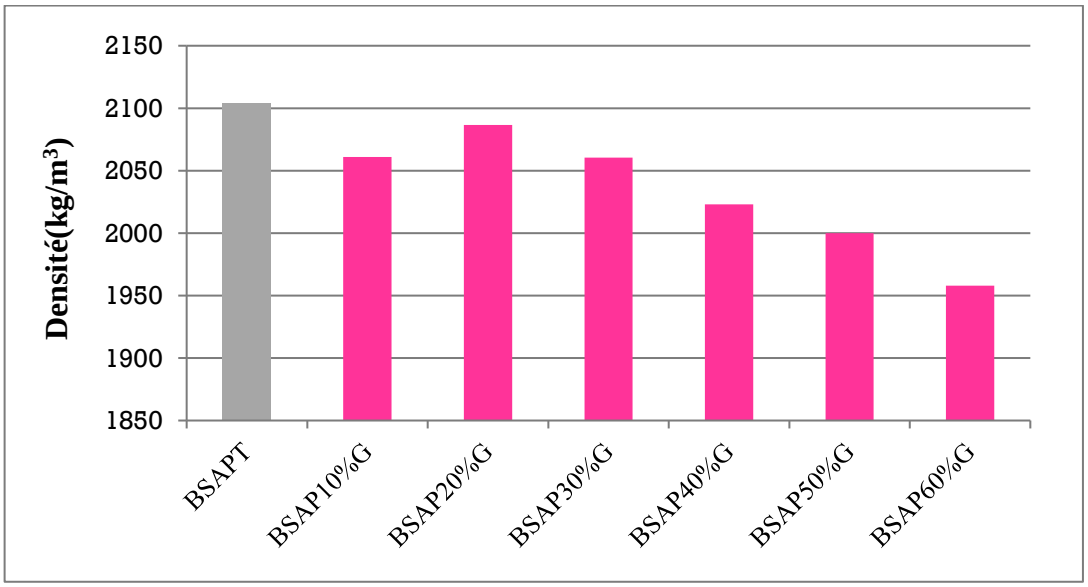


Fig.3.4. La densité des BSAPG à base de déchets de granito

Les résultats obtenus montrent que la substitution du sable par le déchet de granito influe négativement sur la densité du béton de sable autoplaçant. Cette diminution est due sans doute à la porosité successive induite par la forme des grains de granito incorporés dans la masse du BSAP. Ce qui confirme les résultats de Mongi Ben Ouezdou et al [58].

3.2.1.4 Air occlus

Dans cet essai on a mesuré l'air occlus (en (%)) pour chaque gâchée de béton de sable autoplaçant réalisé, et les résultats obtenus sont résumés dans la figure 3.5 suivante.

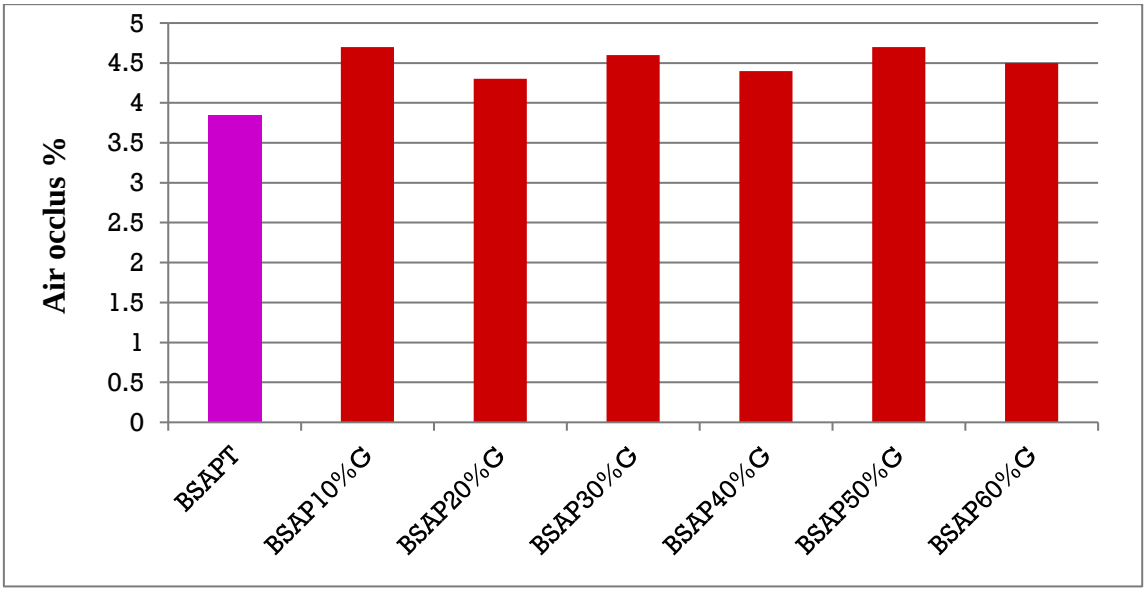


Fig.3.5. L'air occlus des BSAP à base de déchets de granito.

D'après les résultats obtenus, on remarque que l'incorporation de déchets de granito à la masse de différents types de béton de sable autoplaçant cause plus d'air occlus par rapport au béton de sable autoplaçant témoin. Cela explique que ces types de bétons sont moins compactes et par conséquence moins poreux par rapport au béton de sable autoplaçant de référence. Benamara et al, [59] ont étudiés l'effet de recyclage le déchet de polissage de carrelage comme filler sur l'air occlus du BHP, ils ont trouvé que l'air occlus est diminué en fonction d'augmentation du pourcentage de déchets de carrelage.

3.2.2 Caractéristiques du BSAP à l'état durci

De la même façon que le béton de sable frais, les résultats des différents essais réalisés sur les bétons de sable durcis sont résumés ci-dessous :

3.2.2.1. Résistances à la compression

Pour chaque essai, les résultats sont la moyenne de trois (03) mesures prises sur des éprouvettes de 4x4x16cm^3 à l'âge de 3,7 et 28 jours. Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure suivante :

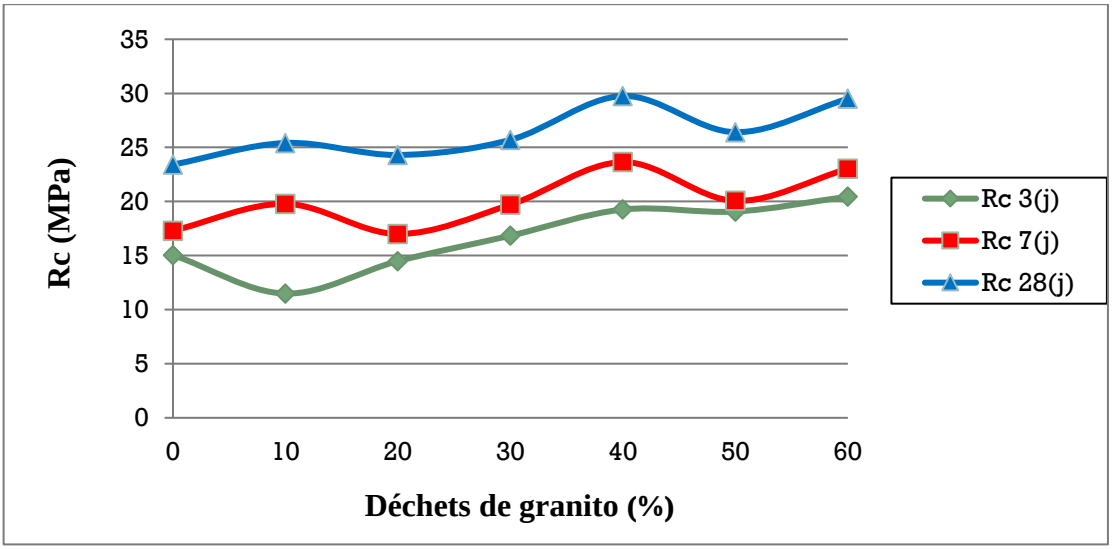


Fig.3.6. La résistance à la compression des BSAP à base de déchets de granito.

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la compression des différents bétons de sable autoplaçant augmente en fonction de l'âge et suit la même cinétique que celle du béton, de sable autoplaçant de référence. La figure ci-dessus montre que quelque soit l'âge du béton la résistance à la compression augmente et passe par un optimum de 28% pour une substitution de 40% du sable par les déchets de granito à l'âge de 28 jours. Ce résultat est logique et attendu parce que les grains de granito incorporés dans la masse du BSAP sont plus durs que celle du sable naturel substitué. Ce qui en concordance avec les résultats de Benamara et al [59].

3.2.2.2 Approche de durabilité

- **Absorption d'eau**

La figure 3.7 représentée l'essai de l'absorption capillaire des BSAP à base de déchet de granito.

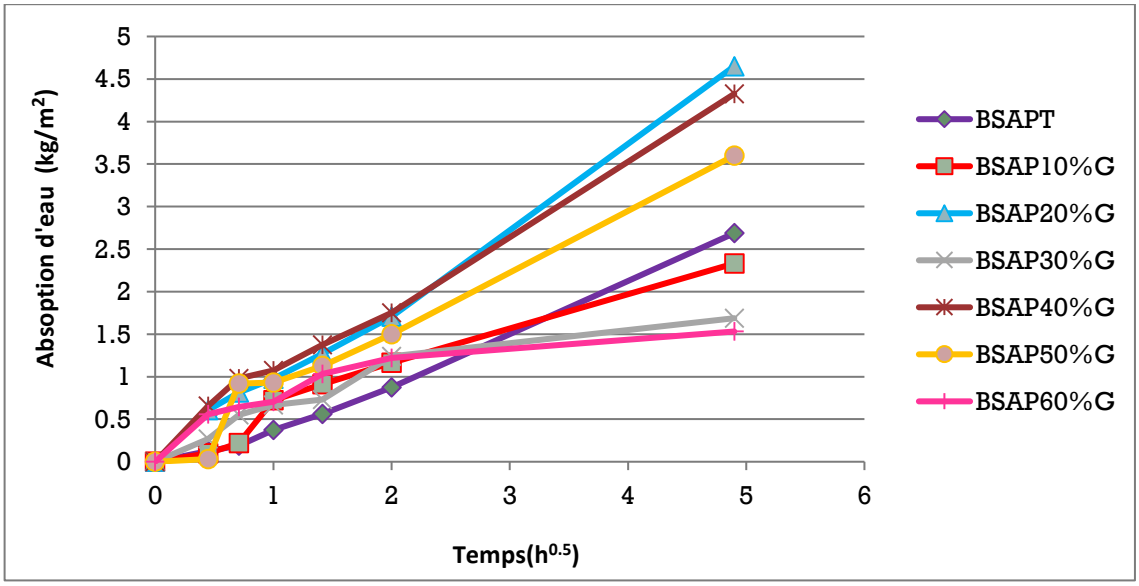


Fig.3.7. Absorption capillaire des BSAP à base de déchets de granito.

A partir des résultats précédents on constate que l'absorption initiale de tous les bétons de sable autoplaçant à base de déchets de granito est nettement plus importante que celle du béton autoplaçant de référence. Cette augmentation est liée à la fois à l'incorporation de déchets de granito dans le béton, qui se traduit par une augmentation plus ou moins prononcée du volume de vides, associée à une diminution de la compacité du matériau, ainsi que à l'absorption de déchets de granito incorporé. Les résultats obtenus montrent que les BSAP à base de 10, 30 et 60% ont des taux d'absorption moins important que ceux du béton de sable autoplaçant témoin.

- **Retrait**

Les valeurs du retrait obtenues sont illustrées par les courbes présentées dans la figure suivante :

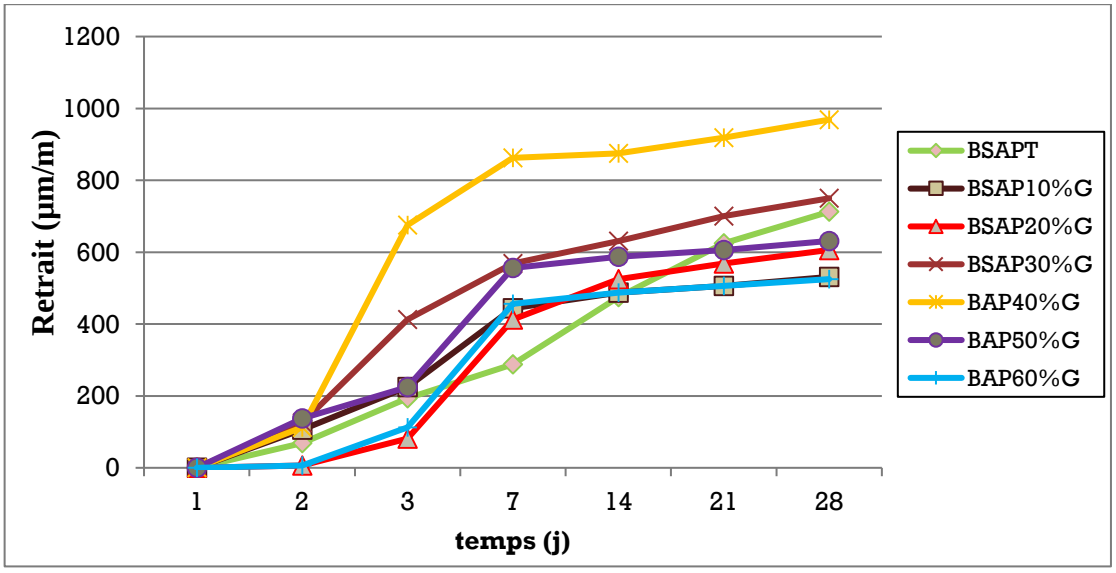


Fig.3.8 : Le retrait des BSAP à base de déchets de granito.

Nous pouvons remarquer clairement que le retrait du béton de sable autoplaçant à base de déchets de granito est nettement plus important que celui du béton de sable autoplaçant de référence. Cette augmentation du retrait est liée probablement à l'absorption des déchets de granito qu'est plus importante que celle du sable naturel. Cependant ces valeurs du retrait sont acceptables pour divers usages de béton structural. Ce résultat confirme les résultats de Benamara et al [59].

- **Gonflement**

De la même façon que le retrait, les résultats du gonflement des différents bétons après 28 jours d'immersion dans l'eau, sont illustrés dans la figure ci-dessous :

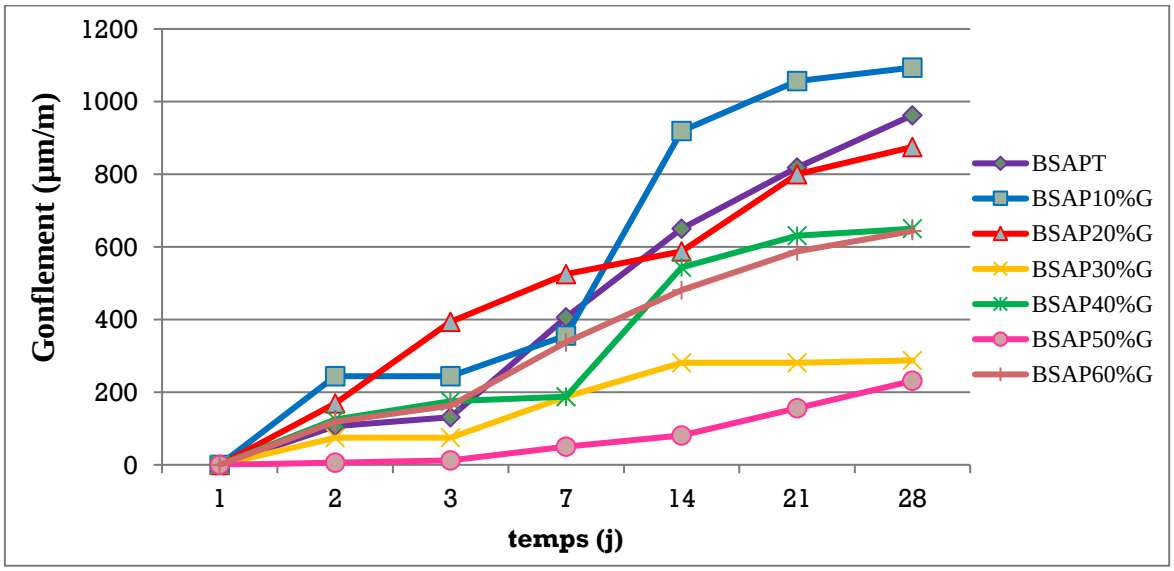


Fig.3.9 : gonflement du BSAPG à base de déchets de granito

D'après les figures ci-dessus, on remarque que les valeurs de taux de gonflement de tous les types de béton de sable autoplaçant augmentent en fonction du temps. Les résultats obtenus montrent aussi que tous les bétons de sable autoplaçant à base de déchets de granito (à l'exception de BSAP10 % G) ayant un gonflement moins important que celui du béton de sable de référence. Les valeurs du gonflement varient d'un béton à un autre selon le pourcentage de déchets de poudre de granito. Cette variation est liée probablement à la porosité continuée de chaque type de BSAP.

3.2.3 Conclusion

Sur la base des résultats obtenus on conclut que :

- L'étalement de BSAP est diminué et le temps d'écoulement en fonction d'augmentation de déchets de granito.
- La densité de BSAP diminue en fonction de substitution du sable par le déchet de granito.
- L'air occlus des différents BSAP augmente en fonction d'augmentation de déchets de granito.
- La résistance à la compression argumente dans les BSAP et passe par un optimum de 28% pour une substitution de 40% du sable par les déchets de granito à l'âge de 28 jours
- L'absorption capillaire de tous les BSAP à base de déchets de granito est plus importante que celle du BSAP témoin.
- Les BSAP à base de déchets de granito présentent un retrait plus important par rapport au BSAP témoin. Par contre le gonflement de tous les BASAP diminue en fonction d'augmentation de pourcentage de déchets de granito.

3.3. Influence de déchets de pavé sur le comportement du BSAP

3.3.1 Caractéristiques du BSAPP à l'état frais

3.3.1.1 Etalement

L'étalement des BSAP à base de déchets de pavé est représenté dans la figure ci-dessous :

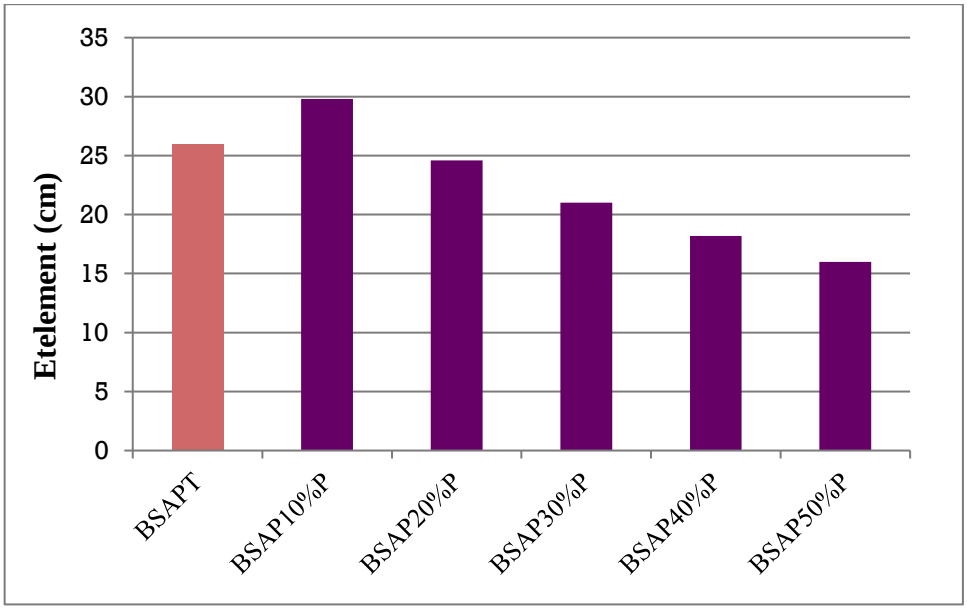


Fig.3.10. Étalement des BSAP à base de déchets de pavé avant réglage.

D'après les résultats obtenus, on remarque que l'étalement de bétons de sable autoplaçant varie en fonction du pourcentage de substitution du sable par le déchet de pavé. On constate aussi que plus le pourcentage de la poudre de pavé augmente, plus l'étalement diminue. Cela est due peut-être à l'absorption de déchets de pavé incorporé ainsi que à la forme anguleuse de grain de pavé. Mongi Ben Ouezdou et al [58] ont trouvés que l'étalement de BAP augmente en fonction d'augmentation de déchets de carrelage.

Pour ce qui s'en suit, et pouvoir comparer les résultats obtenus à l'état durci, on a varié la quantité d'adjuvant pour obtenir un étalement constant (compris entre 26 et 28 (cm) est visé) comme indiquent la figure suivante :

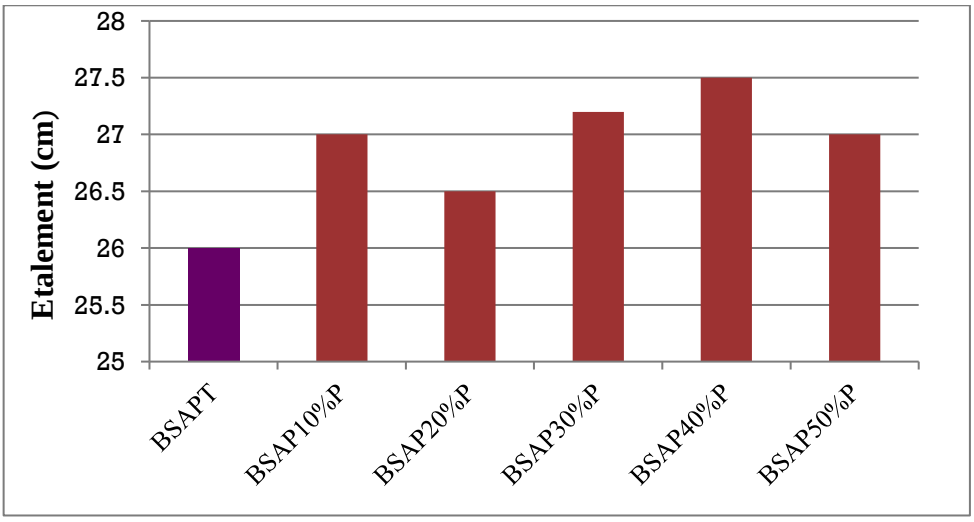


Fig.3.11. Étalement des BSAP à base de déchets de pavé après réglage.

3.3.1.2. Temps d'écoulement

Le temps d'écoulement des différents bétons de sable autoplaçant obtenu est représenté dans la figure 3.12 ci-dessous :

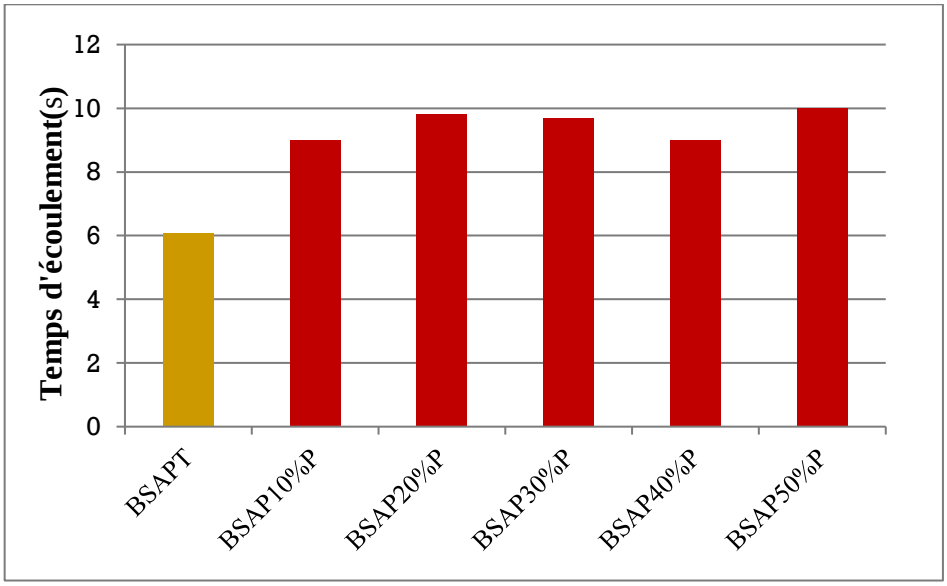


Fig.3.12. Temps d'écoulement des BSAP à base de déchets de pavé.

3.3.1.3 La densité

La densité des différents bétons réalisés est résumée dans l'histogramme suivant :

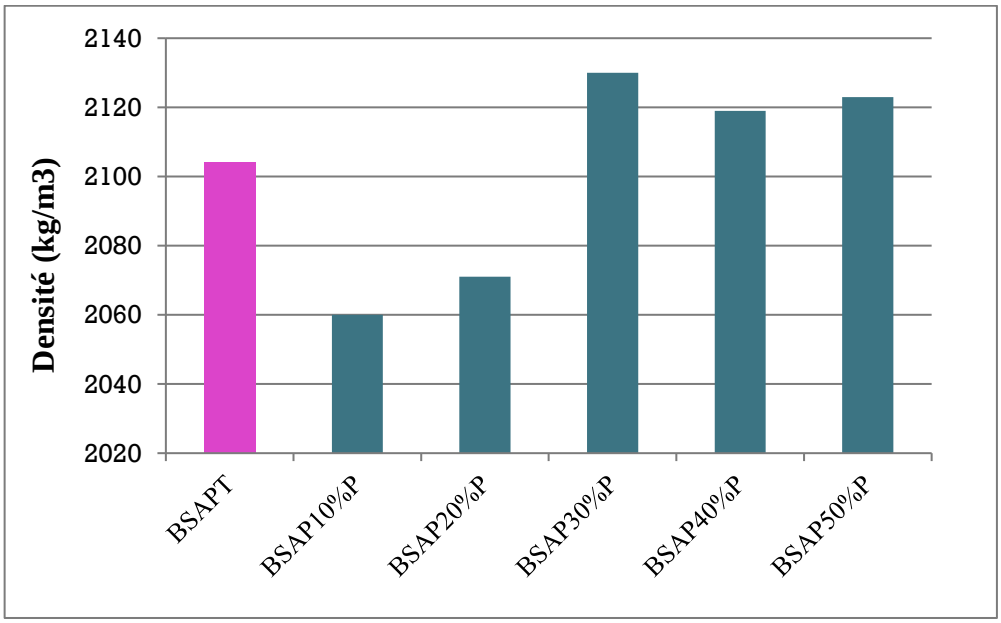


Fig.3.13. La densité des BSAP à base de déchets de pavé.

A partir des résultats précédents on constate en premier lieu que la densité de BSAP est diminuée en fonction de substitution de 10 et 20 % du sable par le déchet de pavé.

En second lieu, il est nettement visible que la densité des différents BSAP est augmentée en fonction d'augmentation du pourcentage de déchets de pavé. Ce changement est liés probablement à la porosité induite par l'incorporation de déchets de pavé dans la masse du BSAP. Ce résultat confirme les résultats trouvés par Benamara et al [59].

3.3.1.4 L'air occlus

Dans cet essai on a mesuré l'air occlus (en (%)) pour chaque gâché de béton de sable autoplaçant réalisé, et les résultats obtenus sont résumés dans la figure 3.14 suivante.

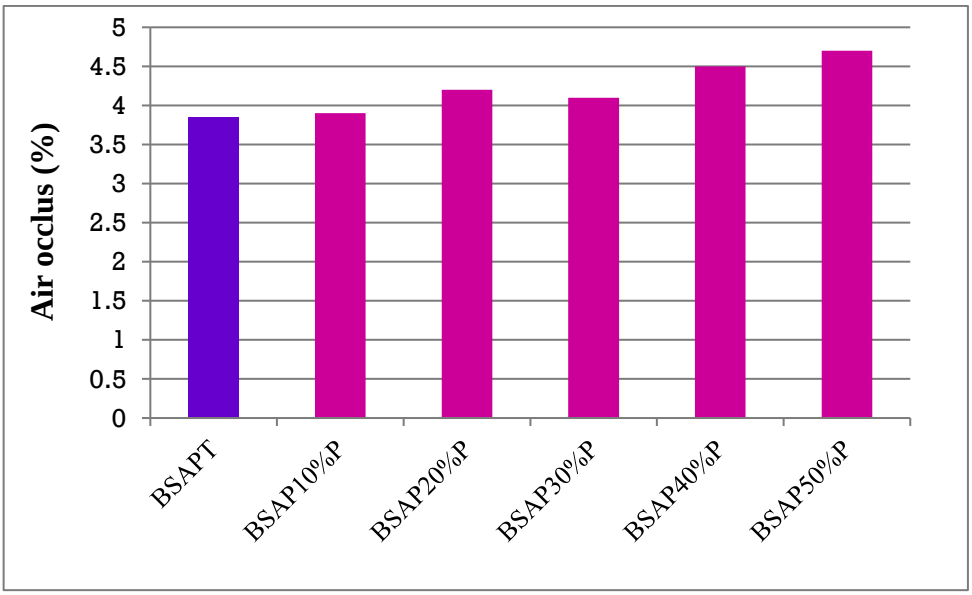


Fig.3.14. Mesure de l'air occlus de BSAP à base de déchets de pavé

Les résultats obtenus montrent que l'incorporation de déchets de pavé à la masse de différents bétons de sable autoplaçant cause plus d'air occlus, et que la quantité d'air augmente en fonction d'augmentation du pourcentage de déchets. Cela explique que ces types de bétons sont moins compactes et par conséquence plus poreux par rapport au béton de référence. Cette augmentation d'air est liée à la granulométrie ouverte et surtout la surface rugueuse des particules de grain de pavé. Benamara et al, [59] ont étudies l'effet de recyclage de déchet de polissage de carrelage comme fillers sur l'air occlus du BHP. Ils ont trouvés que l'air occlus est diminué en fonction d'augmentation de pourcentage de déchets de carrelage.

3.3.2 Caractéristiques du BSAP à l'état durci

De la même façon que le béton de sable frais, les résultats des différents essais réalisés sur les bétons de sable durcis sont résumés ci-dessous :

3.3.2.1. Résistances à la compression

Pour chaque essai, les résultats sont la moyenne de trois (03) mesures prises sur des éprouvettes de 4x4x16cm^3 à l'âge de 3,7 et 28 jours. Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure suivante :

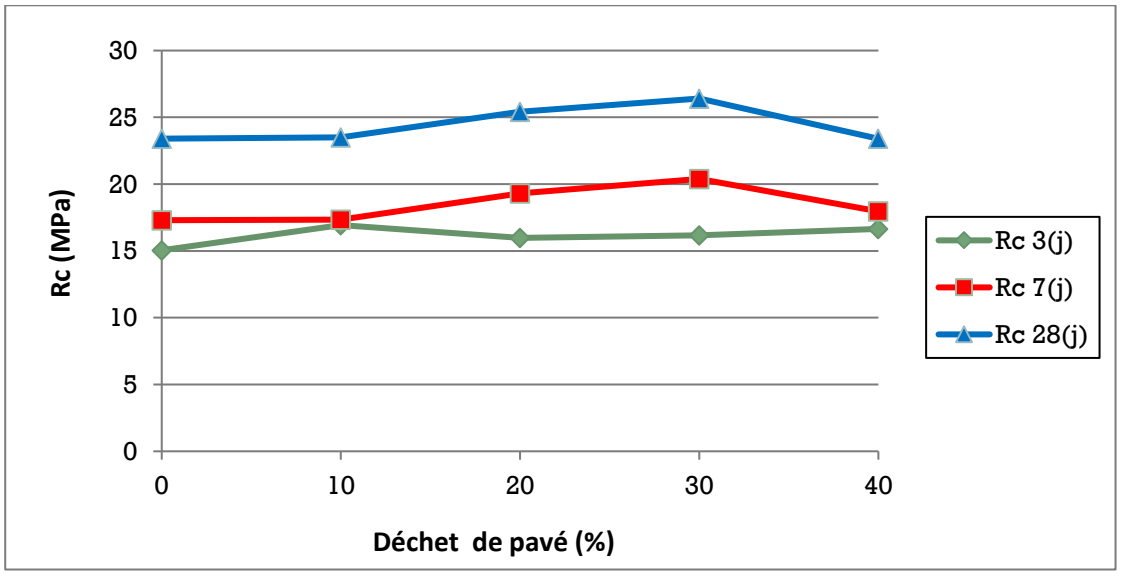


Fig.3.15. La résistance à la compression des BSAP à base de déchets de déchet de pavé.

D'après les résultats trouvés on remarque que la résistance à la compression des différents bétons de sable autoplaçant augmente en fonction de l'âge et suit la même cinétique que celle du béton de sable autoplaçant de référence. La figure ci-dessus montre que quelque soit l'âge du béton la résistance à la compression argumente et passe par un optimum de 13% pour une substitution de 30% du sable par les déchets de pavé à l'âge de 28 jours. Ce résultat est logique et attendu parce que les grains de déchets de pavé incorporés dans la masse du BSAP sont plus durs que ceux du sable naturel substitué. Ce qui en concordance avec les résultats de Benamara et al [59]

3.3.2.2 Approche de durabilité

- **Absorption d'eau**

La figure 3.16 représentée l'essai de l'absorption capillaire sur le BSAPP.

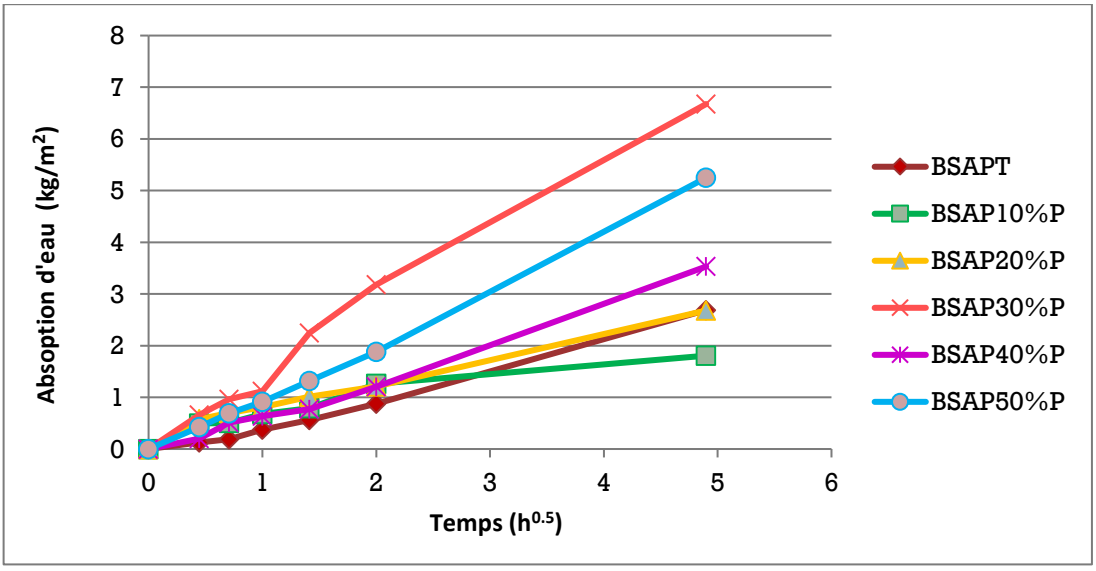


Fig.3.16. Absorption capillaire des BSAP à base de déchets de pavé

A partir des résultats précédents on constate que l'absorption de tous les bétons de sable autoplaçant à base de déchets de pavé est nettement plus importante que celle du béton autoplaçant de référence. Cette augmentation est liée à la fois à l'incorporation de déchets de pavé dans le béton, qui se traduit par une augmentation plus ou moins prononcée du volume de vides, associée à une diminution de la compacité du matériau, ainsi que à l'absorption de déchets de pavé incorporé. Les résultats obtenus montrent que les BSAP à base de 10 et 20% ont des taux d'absorption finalss moins important que ceux du béton de sable autoplaçant témoin.

- **Retrait**

Les résultats obtenus des mesures de retrait du béton de sable autoplaçant sont regroupés aux courbes de la figures 3.17 ci-dessous :

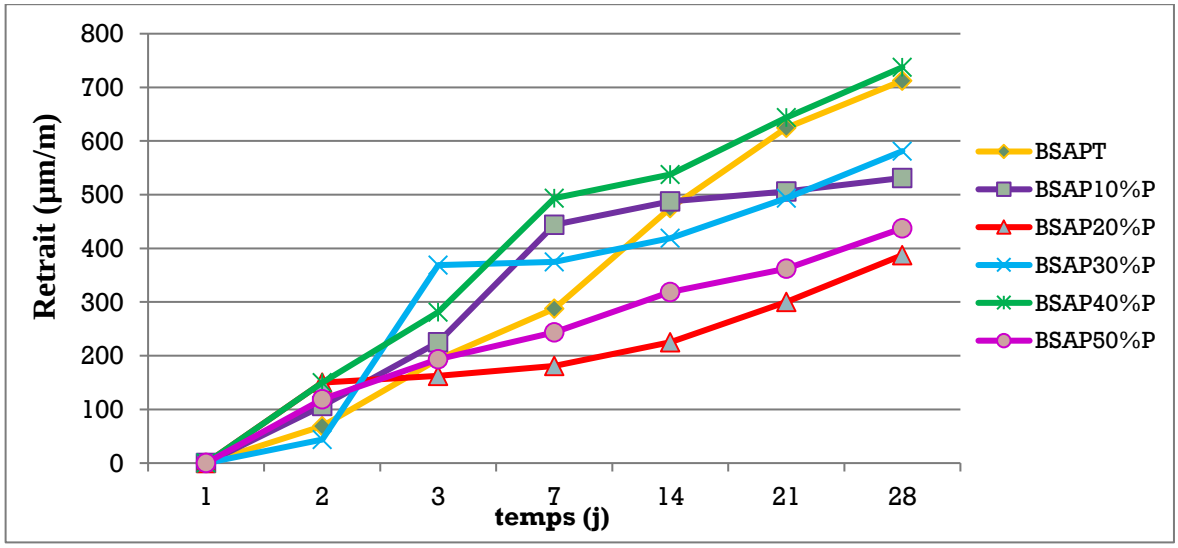


Fig.3.17. Le retrait des BSAP à base de déchets de pavé.

Nous pouvons remarquer clairement que le retrait de béton de sable autoplaçant à base de déchets de pavé est moins important que celui du béton de sable autoplaçant de référence. On enregistre quelques cas particuliers présentés par BSAP à base de 10 et 40% de déchets de pavé qui ont présenté un retrait plus important que celui du béton de sable autoplaçant de référence. Cette augmentation du retrait est liée probablement à l'absorption de déchets de pavé qu'est plus importante que celle du sable naturel. Cependant ces valeurs du retrait sont acceptables pour divers usages de béton structural.

- **Gonflement**

De la même façon que le retrait, les résultats du gonflement des différents bétons après 28 jours d'immersion dans l'eau, sont illustrés dans la figure ci-dessous :

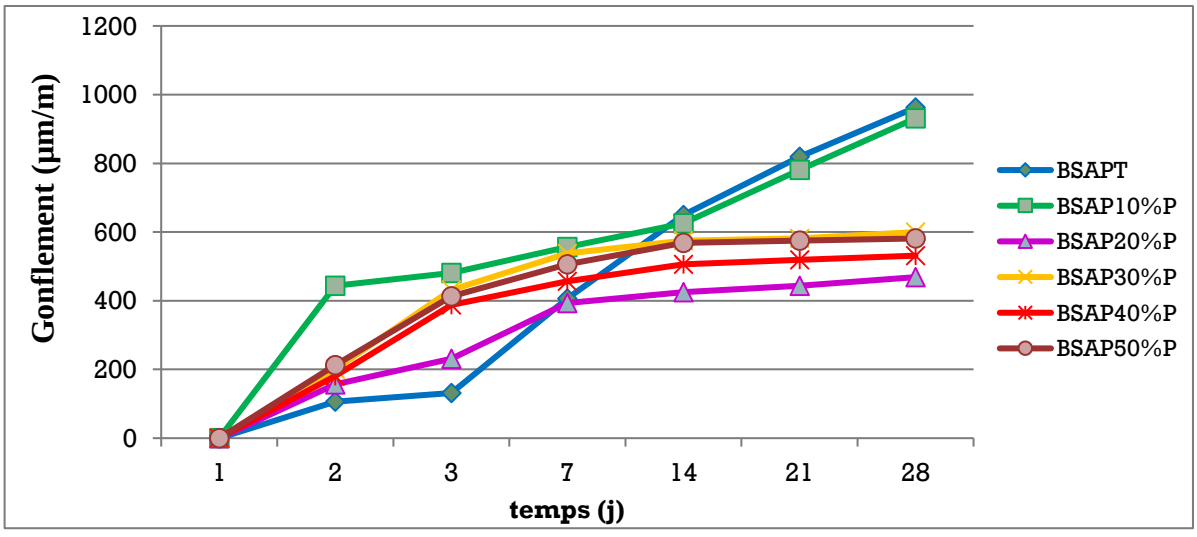


Fig.3.18. Le gonflement des BSAP à base de déchets de pavé

D'après la figure ci-dessus, on remarque que les valeurs de taux de gonflement de tous les types de bétons de sable autoplaçant augmentent en fonction du temps. Les résultats obtenus montrent aussi que tous les bétons de sable autoplaçant à base de déchets de pavé ayant un gonflement initial plus important que celui du béton de sable de référence. Cette augmentation est liée peut-être à l'absorption capillaire initiale de chaque type de BSAP, mais au cours du temps les taux de gonflements de tous les BSAP sont diminués et devient moins important que ceux du BSAP de référence.

3.3.3 Conclusion

Sur la base des résultats obtenus on conclut que :

- L'étalement de BSAP est diminué et le temps d'écoulement augmente en fonction d'augmentation de déchets de pavé.
- La densité de BSAP diminuée au départ en fonction de substitution du 10 et 20% du sable par le déchet de pavé. Au-delà de 20% la densité commence à augmenter et devienne plus importante que celle du BSAP de référence.
- L'air occlus des différents BSAP augmente en fonction d'augmentation de déchets de pavé.
- La résistance à la compression de BSAP argumente et passe par un optimum de 13% pour une substitution de 30% du sable par les déchets de pavé à l'âge de 28 jours
- L'absorption capillaire de tous les BSAP à base de déchets de pavé est plus importante que celle de BSAP témoin.
- Les BSAP à base de déchets de pavé présentent un retrait moins important par rapport au BSAP témoin.
- Le gonflement initial de tous les BSAP augmente en fonction d'augmentation du pourcentage de déchets de pavé.

Conclusions générales

L'analyse des résultats expérimentaux sur l'influence des déchets de carrelage sur le comportement du BSAP peut mener aux quelques conclusions suivantes

- L'étalement des BSAP diminue et le temps de passage augmente en fonction d'augmentation de déchets de granito et de pavé.
- La substitution du sable par les déchets de granito ou de pavé influe négativement sur la densité du béton de sable autoplaçant.
- L'air occlus des BSAP augmente en fonction d'augmentation de déchets de granito et de pavé.
- La résistance à la compression augmente en fonction de substitution de 40% du sable par le déchet de granito et de 30% du sable par le déchet de pavé.
- L'absorption capillaire de tous les BSAP à base de déchets de granito et de pavé est plus importante que celle du béton de sable autoplaçant de référence.
- Les BSAP à base de déchets de granito présentent un retrait plus important par rapport au BSAP témoin .Par contre le gonflement de tous les BSAP diminue en fonction d'augmentation des pourcentage de déchets de granito.
- Les BSAP à base de déchets de pavé présentent un retrait moins important par rapport au BSAP témoin. Par ailleurs, le gonflement initial de tous les BSAP augmente en fonction d'augmentation de pourcentage de déchets de pavé. Par contre le taux de gonflement de tous les BSAP est nettement moins important que ceux du BSAP témoin

Sur la base des résultats obtenus, on peut conclure que l'utilisation des déchets de carrelage (granito et pavé) constitue une alternatif économique, environnementale et technologique très importante pour le pays. L'utilisation de ces types de béton (BSAP à base de déchets de carrelage) est conseillée pour les différent voie de construction (béton structurel, dallage, route, chaussé, réparation, ouvrage d'art…..)

Recommandations

Nous recommandons ce qui suit :

- Etude de la rhéologie du béton de sable autoplaçant à base de déchets de carrelage.
- Valorisation de sable de dune et de déchets de carrelage dans le BSAP.
- Etude de l'effet du mode et du retard de la cure sur les différentes caractéristiques des BSAP à base de déchets de carrelage.
- Etude du pompage de BSAP à base de déchets de carrelage.
- Influence d'autres types de déchets de construction sur le comportement de BSAP.
- Influence de fibres (métallique, végétale, de verre, de carbone,….) sur le béton de sable autoplaçant.

[1] SAADANI SABRINA « Comportement des bétons à base de granulats recycles » université mentouri Constantine.

[2] Journal officiel de la république algérienne : Loi n0 01/19 Relatif à la gestion, au control et à l'élimination des déchets. 12/12/2001.

[3] LZEGHICHI « chapitre 1 : valorisation des déchets industriels » Université – biskra.DZ 2006.

[4] SPERANDIO K : identification des facteurs mobilisateurs des stratégies de gestion des déchets ménagers mises en œuvre par les collectivités locales, thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2001.

[5] COURARD L, « Valorisation des déchets et sous-produits dans le génie civil », Notes de cours (Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées, Service des Matériaux de Construction, 1998).

[6] DEBIEB F. Performances et durabilité du béton à base de granulats recyclés contaminés par les chlorures et sulfates. Thèse PhD, Département génie civil, Université Houari Boumediene Algies ; 2007.

[7] PIMIENTA. P & REMOND. « Bétons de déchets : prévenir les risques », CSTB magazine, n° 109, novembre 1997, pp. 28-30.

[8] institut national de la statique et des études économiques, www.insee.fr. (site Internet google.fr) 2008.

[9] Caractérisation de la longévité des briques brutes et très bien écrasées réutilisées d'employer de bétons et des agrégats, des matériaux et du RILEM concrets (2011).http : //www.rilem.net/ms.php.

[10] QUEBAUD M., « Caractérisation des granulats recyclés - Etude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats », Thèse de doctorat, Université d'Artois, France, décembre 1996.

[11] https://www.pascal-georgeon.com/histoire-du-carrelage.

[12] http://www.samexport.com/index.php/informations/20-definition/36 carrelage?Format=pdf

[13]http://ffc.constructiv.be/~/media/Files/Shared/FVB/Tegelzetter/FR/carreleur module3_for_web.pdf

[14] Dr. GHOMARI FOUAD « Science des matériaux de construction » université Aboubekr Belkaid 2007-2008.

[15] http://www.bricoleur du dimanche.com/fiches-materiaux/verres-carrelages-et-ceramiques/le-carrelage.html.

[16] Chapitre 2 : Produits céramiques université-Sétif.

[17] Source: rapport ECORYS « FWC Sector Competitiveness Studies Competitiveness of the Ceramics Sector » 2008].

[18] http://www.granito.fr/le-granito-la-matiere/historique-granito/

[19] http://www.carreaux-granito.com/

[20] http://www.livios.be/fr/info-construction/finitions/sols/4-generations-dans-le-granito/

[21] https://zanutti-granito.be/granito-terrazzo/

[22] http://www.granito.fr/

[23]https://www.creabeton-materiaux.ch/fileadmin/media/creabeton-materiaux/downloads/gartenbau/Betonsteinbelaege/Betonsteinbelaege_2016_f.pdf

[24] Définition | Pavé autobloquant | Futura Maison

[25] https://pave.ooreka.fr/comprendre/pave-autobloquant

[26] http://www.m-habitat.fr/preparer-son-projet/voies-et-chemins-d-acces/les-paves-autobloquants-3034_A

[27] GAGUI WARDA «L'effet d'ajout des fibres dattiers (saaf et lif) sur les propriétés physico-mécanique des bétons de sable » juin 2015.

[28] K GADRI « chapitre 2 béton de sable » thèses université –biskra.dz 2007.

[29] Desert-Map, 2012 Carte des déserts du monde, téléchargeable du site Internet: http://fr.mapsofworld.com/world-desert-map.htm#.

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

[31] KHADY NDIAYE « optimation des formulations des bétons de sable » mémoire d'ingénieure ; université cheikh anta diol école polytechnique de Thiès-Sénégal juillet 1993.

[32] BEDERINA, «caractéristiques mécaniques et micro structure de béton de sable » mémoire de magistère université de Laghwat ,2000.

[33] ABDELAZIZ BOUDCHICHA «Action des additions et superplastifiants sur les mortiers et bétons (Etude des propriétés rhéologiques et mécanique)» Edition Universitaires européennes.

[34] A.M. NEVILLE, (2000), « Propriétés des bétons », édition EYROLLES, Paris, France 2000.

[35] YANERIC ROUSSEL, « Béton auto-plaçant avec fibres comme matériau de réparation du béton» Mémoire de maîtrise ès science appliquées, Université Sherbrooke (Québec) CANADA (2000).

[36] BELFERRAG ALLAOUA « Intitulé Contribution à l'amélioration des propriétés mécaniques et rhéologiques des bétons de sable de dunes » université Mohamed khider-Biskra 23/05/2016.

[37] SABLOCRET, «béton de sable caractéristique et pratique d'utilisation» Presses de l'école nationale des pontes et chaussées (1994).

[38] Mélanie SHINK, « Fissuration des matériaux cimentaires renforcés de microfibres d'aciers » Mémoire de maîtrisées sciences appliquées, Université LAVAL CANADA (2000).

[39] Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton réalisés par l'association Québec en collaboration avec les manufacturières de fibres métalliques et de fibres synthétiques 2005.

[40] GADRI KARIMA « Contribution à l'étude d'un béton de sable avec fibres et résine destinées pour la réparation mince des structures »mémoire de magistère, université de Biskra 2007.

[41] BENAISSA IMENE « béton de sable projeté pour panneau 3D » université Mohamed Boudiaf-Oran 29/10/215.

[42] CHAOUCHE, A.A. ; BALI A. "Étude caractéristique des bétons de sable de dune", Thèse de magister; ENP Alger, 1993.

[43]NF 15-301, Normes Européenne : « Ciments courants »,1994.

[44] Ngab A.S, Nilson A.H. , Slate F.O "Shrinkage and creep of high strength." A.C.I Journal. 1981, Vol. 78, n°4, p.255 261

[45] NF EN 12350-6, 1999, « Essai pour béton frais. Partie 6 : Masse volumique ».AFNOR

[46] R.GUENOUN, (2003), « Etude et formulation d'un béton de sable de dune », P.F.E, ENP, Alger, Algérie

[47] AFGC.Bétons Auto-plaçants- Recommandations Provisoires. 2000.

[48] AFGC. Recommandations pour l'emploi des bétons auto-plaçants. *AFGC*, 2008.

[49] www.infociments.fr/telecharger/CT-G11.108-117.pdf

[50] thesis.univ-biskra.dz/1328/6/partieI%20chapitre%2002.pdf

[51] MOHAMED IRSSELKHALI fa effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons auto-placants thèse de doctorat de l'université de Constantine soutenue le 20juin2009.

[52] MAHER El BARRAK contribution a l'étude de l'aptitude a l'écoulement des bétons auto-placants a l'état frais Thèse de Doctorat, spécialité Génie Civil Université Toulouse III – Paul Sabatier Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions INSA/UPS – génie civil Soutenue le 12 juillet 2005

[53] YAMMINE JOUMANA Rapport annuel 2005 - Etat d'avancement de la thèse

[54] BENKECHKACHE GHOFRANE « Etude de comportement diffère des bétons auto-placants Influence des paramètres de composition et de chargement » thèse de magister novembre 2007 université mentouri Constantine.

[55] NF P 18-353, Norme Française P 18-353 ; Mesure du pourcentage d'air occlus dans un béton frais à l'aide de l'aéromètre à béton.

[56] BOUKNI BARIZA tenue au feu des bétons auto-placants. Mémoire de magister universite mentouri Constantine décembre 2007

[57] WALRAVEN, "Structural aspect of self-compacting concrete", Proceedings of the third international RILEM conference on SCC, Reykjavik, Islande, pp 15-22, août 2003.

[58] MONGI BEN OUEZDOU « Béton auto-plaçant à base de déchets de marbres et de carrelage » École Nationale d'Ingénieurs de Tunis May 2013

[59] DALILA BENAMARA & BOUZIDI MEZGHICHE « Vers un béton de haute performance élabore de matériaux BHP » université de Djelfa et Biskra Avril 2010.

[60]**NF EN 933-8**, 1999, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 8 : Evaluation des fines. Equivalent de sable », AFNOR.

[61]**NF EN 933-1**, 1997, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 1: Détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage», AFNOR.

[62] **NF EN 1097-6**, 2001, « Esais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 6 : Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau », AFNOR.

[63] **NF EN 1097-3**, 1998, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 3 : Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire », AFNOR.

[64] GUENDOUZ.M Valorisation et recyclage des déchets plastiques dans le béton Université Dr. YAHIA FARES DE MEDEA

[65] **NA 442,** Normes Algérienne : « Ciment - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants », 1994, 2000.

[43] **NF 15-301,** Normes Européenne : « Ciments courants »,1994

[66] **NF P 15-476**, Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments-Détermination de la finesse », Aout 1990

[67] **NF P 15-431**, Normes AFNOR : « Liants hydrauliques – technique des essais détermination du temps de prise sur mortier normal », Février 1994.

[68] **NF P 15-473,** Normes AFNOR : « Méthodes d'essai des ciments-partie 3 : détermination du temps du prise et de la stabilité », Aout 1995.

[69] **NF P 15-471,** Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques », Aout 1995.j,

[70] http://prescriptor.info/fiches/2653/medafluid-145-adjuvants-granitex

[71] **NBNEN 12350-9**essai pour béton frais .partie 9 Béton Autoplaçant. Essai d'écoulement à l'entonnoir en V. bruxelles, NBN, 2010.

[72] **NF EN 12350-6,1999, «** Essais pour béton frais .partie 6 : masse volumique **»**AFNOR.

[73] MOHAMMED RISSEL KHELIFA, effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplacants; Université de Constantine, 2009

[74] **NF EN 12390-2**, 2001, « Essai pour béton durci. Partie 2 : Confection et conservation des éprouvettes », AFNOR.

[75] **]CEN EN 196-1,** Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments -Partie 1 : détermination des résistances mécaniques (indice de classement P15-471) », Aout 1995;

[76] **NF P 18-412, 1981, «** Essais pour béton frais .partie 6 : masse volumique »

[77] DUPAIN.R et all, « Granulats, sols, ciment et béton : Caractérisation des matériauxde génie civil par les essais de laboratoire » ,2éme édition CASTEILLA , Paris,2000.

[78] **NF P 15-404**, Normes AFNOR : « Essais pour béton durci - Partie 1 : forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules »1989.

[79]**NBN NE 13057**, Normes Belge, « Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton-Méthodes d'essai-détermination de l'absorption capillaire », Octobre 1997, Mai 2002.

Annex A.1



Ciment Matine



- Fiche produit Matine
- Fiche application Matine

MATINE

Ciment pour béton exigeant
CPJ – CEM II/B 42,5 R NA 442

MATINEest un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de ta mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine ($Al2O_3$) et le fer ($Fe2O_3$). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique è des températures comprises entre 1300 et 1500°c, En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de micro- cristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301194.

Avec son sac de couleur noire, le Matine est destiné aux constructions qui nécessitent performance et haute résistance, telles que les grands édifices. Il permet la fabrication de bétons de très hautes résistances, et se caractérise notamment par son durcissement très rapide, sa faible demande en eau, sa comptabilité avec tous types d'adjuvants, etc.

Domaine d'utilisation:

MATINE est utilisé pour tous les projets de construction qui nécessitent de hautes résistances mécaniques mais qui ne présentent pas un besoin spécifique en bétons 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 parle taux de chaleur d'hydratation du ciment.
Les principales applications de ce ciment sont:

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles)
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .etc.)
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de dessalement,. . etc.)
- Secteur industriel

Fig.A.1: Fiche technique de ciment utilisé.

Annex A.2

MEDAFLOW 145

Conforme à la norme NF EN 934-2 : TAB 1, TAB 3.1 ET TAB 3,2 NA 774

Super plastifiant–Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 145** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvants. Il est conçu à base de poly carboxylates d'éther modifiés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité.
Le **MEDAFLOW 145** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la quantité d'eau de gâchage du béton d'une façon remarquable.
Le **MEDAFLOW 145** ne présente pas d'effet retardateur.

CARACTERISTIQUES

- Forme .....Liquide
- Couleur .....brai clair
- pH ..... 5 – 6
- Densité,..... 1,065 ± 0,015
- Teneur en chlore..... < 1g/L
- Extrait sec.....30±1,5%

PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 145** permet :

Sur béton frais :

- l'obtention d'un E/C très bas
- Béton plastiques à fluides
- une très bonne maniabilité
- un long maintien de l'ouvrabilité
- de faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- bonne résistances initiale et finales .
- de diminuer la porosité
- bel aspect de parement au décoffrage
- de diminuer le retrait

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto – nivelant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons avec ferraillage dense

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,3 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,33 à 1,8 litre pour 100 Kg de ciment.
Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 145** est introduit dans l'eau de gâchage.
Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 60% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.
Il est recommandé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage fournissant les résultats recherchés.
Par temps chaud, le **MEDAFLOW 145** peut être combiné à un retardataire de prise **MEDARETARD GR** .

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLOW 145** est conditionné en bidons de 10 l et fûts de 210 et 240 kg,et cubitainer 1100 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 notice 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.

Fig.A.2: Fiche technique d'adjuvant utilisé.

Annex A.3

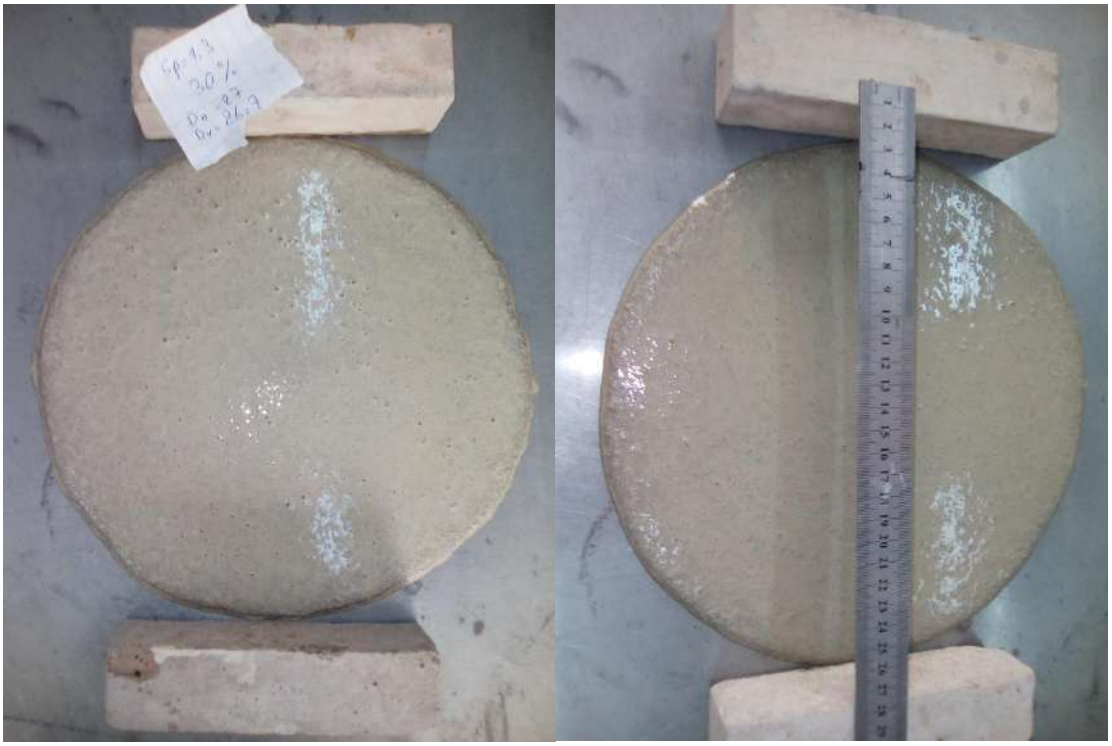


Fig.A.3: essai de l'étalement BSAP a base de déchets de carrelage (30%)



Fig.A.4: Préparation des mélanges.



Fig.A.5: Essai de masse volumique absolu.



Fig.A.6: Essai de masse volumique apparent



Fig.A.7: Essai d'équivalant de sable.