REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
UNIVERSITÉ Dr YAHIA FARÈS DE MÉDÉA

Faculté de la **T**echnologie

Département génie civil



Projet de Fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master LMD

Spécialité : Génie Civil

Option : Construction et matériaux

Formulation et caractérisation d'un béton de sable fluide à base de déchets céramique

Réaliser par :
M.r BABCHIKH Oussama
M.r HAMADOUCHE Amine

Considére :
Mr.Guendouze Mouhamed
M^{elle}. Boukhelkhal Djamila

juin 2017

Remerciement

Au terme de ce travail, on remercie en premier dieu ***Allah*** *qui a donné la force pour achever cette étude*

On exprime notre profonde gratitude à notre promoteur D.r ***Guendouz Mohamed*** *Pour ses conseils et ses aides précieuses.*

Ce travail n'aurait pu se finaliser sans la contribution de Mademoiselle ***BOUKHELKHAL Djamila***

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

Tous les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner mon travail.

Dédicaces

Babchikh Oussama

بسم الله الرحمن الرحيم

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents que dieu les protège, pour leurs soutien durant la période de ma formation, pour leurs bienveillance.

Mes frères et toute ma famille.

Je remercie mon binôme(frère) HAMADOUCH Amine , qui vient chaque semaine de wilaya de Chlef à Medea

Tous mes amis surtout : larbi aissa islam, Kardi zakaria, Bendaib Oussama, Serhouni Kemal , Karmazli Youcef

Dédicaces

Hamadouche Amine

بسم الله الرحمن الرحيم

Je dédie ce travail en signe de respect et de reconaissance :

A celle qui a tout donné, sacrifié, à la femme qui représentes

pour moi le

symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et

qui régne sur mon coeur,

« ma mére »

A celui qui m'a toujours dirigé, guidé, aidé et encouragé afin

de me voir affronter la vie avec sérénité, à l'homme qui a

toujours souhaité me voir à la hauteur

« mon pére »

A mon binhom (frère) :BABACHIKH OUSSAMA

A ma très chère sœur ; NOURE EL HOUDA .IMANE

A toute la famille hamadouche

A mes très chère amis :larbi aissa islam, kadri zakaria, taher ghazoule , el kedime zakaria, kamal serhouni .et tous mes amis qui connaisse

A mes camarades promotion 2016/2017

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو المساهمة في تثمين و رسكلة نفايات الخزف المصقول. و دراسة تأثير دمج هذه النفايات مع نسب محددة (5% 10% , 15%, 20% , 25%) على خصائص الخرسنيات الرملية ذاتية الرص (خ.ر.ذ.ر) في الحالة الرطبة و في الحالة الصلبة.

بينت الدراسة التجريبية ارتفاع مقاومة الانضغاط للخرسانة الرملية ذاتية الرص (خ.ر.ذ.ر) مع بزيادة نسبة نفايات الخزف المصقول,و لذلك فمن الممكن استخدام هذه النفايات في مختف الانشاءات ونستطيع ان نقول ان هذا النوع من الخرسنات انه بديل اقتصادي وبيئي وتكنولوجي في نفس الوقت .

الكلمات المفتاحية : الخرسانة المرصوصة ذاتيا , الخرسنيات الرملية , مقاومة , نفايات , الخزف المصقول .

RÉSUMÉ

L'objectif principal de ce travail consiste à valoriser et recycler les déchets de faïence et étudier l'impact de l'intégration de ces déchets avec des pourcentages (5%,10%,15%,20% et 25%) aux propriétés de béton de sable autoplaçant (BSAP) dans l'état frais et l'état durci.

L'étude expérimentale a montré que la résistance à la compression du béton de sable autoplaçant (BSAP) est augmentée en fonction d'augmentation du pourcentage de déchets de faïence, Par conséquent, il est possible d'utiliser ces déchets dans diverses constructions et on peut dire que ce type de bétons est un alternative économique, environnementale et technologique en même temps.

Mots clés : Béton autoplaçant ; Béton de sable ; Résistance ; Déchets ; faïence .

Abstract

The main objective of this work is to upgrade and recycle earthenware waste and to study the impact of the integration of this waste with percentages (5%, 10%, 15%, 20% and 25%) on propertys of Self-Compacting Sand -Concretes (SCC) in the fresh state and in the cured state.

The experimental study showed that compressive strength of self-compacting sand-concretes (SCSC) increasing as an percentage of earthenware waste. Consequently, it is possible to use this waste in various constructions and we Can say that this type of concretes as an economic, environmental and technological alternative at the same time.

Key words : Self-compacting ; Sand-concretes ; Resistance ; Waste ; Earthenware

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Résumés

Sommaire

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Symboles et Abréviation

INTRODUCTIONGENERALE……..……..…...1

CHAPITRE 1 : REVUES *BIBLIOGRAPHIQUE*

1.1 Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction 3

1.1.1 Introduction 3

1.1.2 Valorisation des déchets et sous produits industriels dans le domaine génie civil ... 3

1.1.2.1 Les déchets 3

1.1.2.2 Constitution chimique du déchet 3

1.1.2.3 Les types de déchets 3

1.1.2.4 Différents déchets utilisés en génie civil 7

1.1.3 Activité du recyclage des déchets en construction 9

1.1.3.1 Recyclage des déchets 9

1.1.3.2 Technique de recyclage 10

1.1.3.3 Type de recyclage 11

1.1.3.4 Impacts du recyclage sur l'environnement 12

1.2 Céramique et déchets de céramique 12

1.2.1 Céramique 12

1.2.1.1 Définition 12

1.2.1.2. Historique 12

1.2.1.3 Types de céramique 13

1.2.1.4 Composition 18

1.2.1.5 Classification des produits céramiques 18

1.2.1.6 Propriétés de céramique 18
1.2.1.7 Les étapes de fabrication de cerramique 19
1.2.1.8Avantages et Les Inconvénients de cerramique 20
1.2.2 Déchets céramiques en chiffres 21
1.3 Béton de sable 21
1.3.1. Historique 21
1.3.2 Définition 22
1.3.3 Spécificité du béton de sable 23
1.3.4 Les composant du béton de sable 23
1.3.4.1 Ciments 23
1.3.4.2 Les sables 24
1.3.4.3 L'eau 24
1.3.4.4 Les adjuvants 24
1.3.4.5 Autres ajouts 24
1.3.5 Propriétés essentielles du béton de sable 25
1.3.5.1 Propriétés générales 25
1.3.6 Domaines d'emploi des bétons de sable 28
1.3.6.1 La préfabrication 28
1.3.6.2 La projection 29
1.3.6.3 Béton de sable coulé 29
1.3.6.4Routes , chaussée de sable coulé 30
1.3.7 Méthodes de formulation des bétons de sable 31
1.3.7.1 Approche théorique de la formulation des bétons de sable 31
1.3.7.2 Méthode expérimentale de formulation 38
1.3.7.3 Les différentes étapes de la formulation 38
1.3.7.4 Détermination du dosage en fines d'addition 40
1.4 Béton autoplaçant 42
1.4.1 Définition 42
1.4.2 Historique 43
1.4.3 Les composants d'un BAP 43
1.4.3.1 Les granulats 44
1.4.3.2 le ciment 45

1.4.3.3 Les ajouts minéraux 46
1.4.3.4 Les Superplastifiants 47
1.4.3.5 L'eau de gâchage 47
1.4.3.6 Les agents de viscosité 48
1.4.4 Propriétés des BAP 49
1.4.4.1 Propriétés des BAP à l'étatfrais 49
1.4.5 Essais de caractérisation des BAP à l'état frais 53
1.4.5.1 Essais sur mortier frais 53
1.4.5.2 Essais sur béton frais 54
1.4.6 Domaines d'application Le béton autocompactant 57
1.4.7 Mise en oeuvre des BAP 59
1.4.8 La formulation des bétons autoplaçants 62
1.5 Valorisation des déchets de céramiques dans les matériaux à base cimentaires 63
1.5.1 Etats frais 63
1.5.2 Etat durci 64
1.6 Conclusion 65

CHAPITRE 2 : MATERIAUX ET ESSAIS

2.1 Introduction 66
2.2 Caractérisation des matériaux utilisés 66
2.2.1 Ciment 67
2.2.2 Le sable 69
2.2.3 Ajouts (fillers) 71
2.2.4 Déchets de céramique (faïences) 72
2.2.5 Eau de gâchage 73
2.2.6 Adjuvant 73
2.3 Protocol expérimental 74
2.3.1 Composition des bétons 74
2.3.2 Mode opératoire 75
2.3.3 Confections des éprouvettes 76

2.3.4 Essais réalisés 77
2.3.4.1 Essai réalisé à l'état frais 77
2.3.4.2 Essais réalisé à l'état durci 80
2.4 Variables étudiées 84
2.5 Conclusion 85

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

3.1 Introduction 86
3.2 Caractéristiques du BSAP à l'état frais 86
3.2.1 Etalement au mini Cône 86
3.2.2 Temps d'écoulement dans l'entonnoir (V-fannel) 87
3.2.3 Densité 88
3.2.4 L'air Occlus 88
3.3 Caractéristiques du bsap à l'état durci 89
3.3.1 Résistances à la compression 89
3.3.2 Approche de durabilité 90
3.3.3 Retrait 91
3.3.4 Gonflement 92
3.4 Conclusion 93
Conclusion général 94
Recommandations 95
Références bibliographiques 96
ANNEXES.. 106

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 composition céramiques……..18**Tableau 1.2** Essais permettant la détermination de la capacité de passage…….……50

Tableau 1.3 Essais permettant la détermination de la capacité de remplissage……..……51

Tableau 2. 1 Analyse chimique du ciment et composition du clinker ……...……68

Tableau 2.2 Caractéristique physiques du ciment…….……68

Tableau.2.3 Propriétés physiques du sable utilisé…….…...70

Tableau. 2.4 Caractéristiques physiques de les fillers de marbre utilisées……..…71

Tableau.2.5 Les caractéristiques de déchets de faïence utilisés…….…..73

Tableau. 2.6 Compositions des Béton de sable auto plaçant a base déchet de faïence…….74

Tableau. 2.7 Essais de caractérisation sur bétonsfrais……...……77

Tableau. 2.8 Essais de caractérisation sur bétons durci……80

LISTE DES FIGURES

Fig.1.1Déchets organiques……05

Fig.1.2 déchets médicaux et pharmaceutique……06

Fig.1.3 Types Déchets dangereux……..06

Fig.1.4 pot en terre cuite pour huile d olive en mai 2013……13

Fig.1.5. Bâtiment construit en briques, à Zuidhorn……..14

Fig.1.6.La brique émaillée était déjà connue dans la Mésopotamie antique……15

Fig.1.7. Plat de barbier en Faïence Lithocérame de Briare vers 1840……..16

Fig.1.8.Protection des faïences début XX^{e} siècle……..16

Fig.1.9. Les étapes de fabrication de cerramique……..20

Fig.1.10. Répartition en chiffre d'affaires des céramiques en Europe par secteur……21

Fig.1.11. Phare de port Said réalisé en béton aggloméré Coignet (Egypte)1869……22

Fig.1.12. Schéma explicatif de l'apparence du BS pur, BS chargé et du béton traditionnel……...23

Fig.1.13. Influence du module de finesse du sable sur la maniabilité d'un BS…….…...26

Fig.1.14. Influence de la nature du sable sur la maniabilité (avec fines d'addition calcaire)……..26

Fig.1.15. effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance……..27

Fig.1.16. influence de la nature de l'addition sur le niveau de résistance……28

Fig.1.17.Le béton de sable dans la Préfabrication……28

Fig.1.18. Le béton de sable en projection…….29

Fig.1.19.Le béton de sable coulé……..29

Fig1.20 rout en béton de sable……..30

Fig.1.21 Dallage en BS fluidifié auto compactant (Base aérien de Dijon)…….....30

Fig.1.22. Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines…….....33

Fig.1.23. Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour

deux tailles du sable…….…34

Fig.1.24. Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise

en œuvre donnée…….……34

Fig.1.25. Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle)……..….36

Fig.1.26. Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition…….41

Fig.1.27. masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition…….41

Fig 1.28. Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP. Aspect à l'état frais

d'un BO plastique et d'un BAP…….…..43

Fig 1.29. Critère de blocage et géométrie du calcul, Jin……..…....…44

Fig 1.30. Rhéogramme du corps de Bingham et profil de vitesse en conduite……..…51

Fig 1.31. Rhéogramme d'un fluide newtonnien et d'un binghamien…….…..…52

Fig 1.32. Essai d'Etalement pour mortier…….....…53

Fig 1.33. Essai à l'Entonnoir pour mortier……..…..54

Fig.1.34. Essai d'étalement (slump flow)…….55

Fig.1.35. Détermination de l'étalement……..…….……56

Fig 1.36. Essai d'entonnoir (V-funnel)……..……..….57

Fig.1.37. Le pont Akashi Kaikyo…….…….....…58

Fig.1.38. Béton fluide pour fondation …….……..59

Fig.1.39. L'ouvrabilité du béton à base de déchets céramiques…….…..……63

Fig.1.40.la densitédu béton à base de déchets céramiques…….……...64

Figure 1.41. Absorption d'eau des bétons à base de dechet de céramique (brique)……..…64

Fig 1.42. Évolution de la résistance à la compression à l'âge de 7 jours,14 jours et 28jours…….……..……65

fig.2.1. Le ciment utilisé…….……..……67

fig.2.2.Sable roulé d'Oued Souf……...……...….69

fig2.3 La granulométrie du sable et de déchets de faïence utilisés……..69

fig.2.4 Analyse chimique de sable utilisé……...……..70

Fig.2.5les fillers de marbre……..……..…..……71

Fig.2.6procédure de recyclage de déchets de faïences utilisés …….…..…….…..72

Fig.2.7L'Adjuvant utilisé…….……..….…74

Fig. 2.8 Procédure de malaxage…….……...……..76

Figure 2.9 Séquence de malaxage du BSAP……76

Fig.2.10 Fabrication des éprouvettes…….…..……....77

Fig.2.11. Mesure de l'étalement de BSAP…….…….…….…...78

Fig.2.12. Essai d'écoulement à l'entonnoir en V……..78

…

Fig.2. 13.Aéromètre ……...….….79

Fig. 2.14 Mesure de la densité du béton de sable……..……..…79

Fig.2.15 Presse hydraulique(2000 kN)…….…..…..80

Fig.2.16 Dispositif de rupture à la compression……..…81

Fig.2.17 Dispositif de la résistance à la compression.……....….81

Fig.2.18 Essai d'absorption……..……82

Fig .2.21 Variables étudiées…….……..….….84

Fig.3.1 Etalement des BSAP à base de déchets de faïences avant reglage……86

Fig.3.2 Etalement des BSAP à base de déchets de faïences après reglage……..87

Fig.3.3 Temp de d'écoulement de BSAP à base de déchets de faïences……87

Fig.3.4 Densité des BSAP à base de déchets de faïences……88

Fig.3.5l'air Occlus des BSAP à base de déchets de faïences……89

Fig.3.6Résistance à la compressiondes BSAP à base de déchets de faïences…….90

Fig.3.7 Absorption capillaire des BSAP à base de déchets de faïences……91

Fig. 3.8 Retrait des BSAP à base de déchets de faïences……..92

Fig.3.9 Gonflement des BSAP à base de déchets de faïences……..92

SYMBOLES ET ABREVIATION

BSAP :béton de sable aoutoplaçant

BSAPF :béton de sable aoutoplaçant à base de déchet de faïence

BSAPT : témoins

BSAP 5 %F : béton sable aoutoplaçant avec 5 % de déchet de faïence ;

BSAP10 %F : béton sable aoutoplaçant avec 10 % de déchet de faïence

BSAP 15 %F : béton sable aoutoplaçant avec 15 % de déchet de faïence ;

BSAP20 %F : béton sable aoutoplaçant avec20 % de déchet de faïence ;

BSAP 25 %F : béton sable aoutoplaçant avec 25 % de déchet de faïence ;

C : Dosage du ciment exprimé en Kg/m3 ;

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

Dmax : La dimension du plus gros grain de l'étendue granulaire ;

E/C : Eau / Ciment ;

***f*c** : Résistance souhaitée du béton a 28 jours;

P : Pourcentage en volume des déchet

RC : La résistance a compression ;

S : sable ;

V : Volume des vides du mélange granulaire;

V0 : Constante expérimentale comprise entre 0,7 et 0,8;

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

Mmarbre : masse nécessaire pour 1 m3 du béton de sable aoutoplaçant

MV sable : masse volumique absolue du sable ;

V sable : volume du sable ;

Vair =volume d'aire

VC=volume de ciment

VE =volume d'eau

V adj= volume d'adjuvant

$V_{sable=}$ volume du sable

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'augmentation du volume des déchets solides pose actuellement de sérieux problèmes dans les zones urbaines. L'augmentation de cette production des déchets constituent une menace pour la qualité de l'environnement. De plus . les déchtes solides exercent une pression sur le sol, les ressources en eau et compromettent ainsi la santé humaine et animale. En effet, certains déchets possèdent des qualités très importantes et leur introduction dans certains matériaux de construction améliore certainement leurs propriétés mécaniques ou thermiques. Parmi ces déchets on distingue les déchets de faïences .

Le béton de sable est un matériau utilisé bien antérieurement au béton traditionnel,depuis au moins un siècle et demi sous l'appellation de "béton aggloméré", qui est l'ancêtre du béton de sable aujourd'hui,aussi le béton de sable présente beaucoup d'avantages tels que : la bonne résistance, l'absence de ségrégation, la facilité de la mise en oeuvre, etc.

Notre travail consiste donc à récupérer les déchets de faïence et ajouter dans la masse du béton de sable autoplaçant en différents pourcentages (5%,10%,15%,20% et 25 %), Pour cela nous avons réparti notre travail comme suit :

Le premier chapitre présente une revue bibliographique sur la valorisation des déchets et activité de recyclage en construction des déchtes de faïences ,aussi, les particularities et les domaines d'application des bétons de sable et les caractéristiques du béton autoplaçant en tant que matériau, ses propriétés aux deux états, frais et durci,

le deuxième chapitre décrit les caractéristiques des matériaux de base utilisés, les formulations des composites, et les techniques expérimentales utilisées durant cette étude pour évaluer les propriétés des bétons de sable autoplaçant fabriqués à base des déchets de faïences à l'état frais (elatement,temp d'écoulement, air occlus, densité), les propriétés mécaniques (résistance à la compression) et la durabilité (absorption d'eau, les variations dimensionnels (retrait et gonflement) .

Le troisième chapitre présente les résultats de la caractérisation des différents bétons obtenus à l'état frais et durci, ainsi que les indicateurs de la durabilité.

Enfin nous présentons, quelques conclusions et recommandations pour les futurs travaux.

CHAPITRE 1 :

Revues bibliographique

1.1 VALORISATION DES DÉCHETS ET ACTIVITÉ DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION

1.1.1 Introduction

La valorisation des déchets ou revalorisation est un ensemble de procédés par lesquels on transforme un déchet matériel ou organique dans l'objectif d'un usage spécifique comme le recyclage, le compostage ou encore la transformation en énergie : dans ce deuxième cas, on parle de valorisation énergétique. La valorisation des déchets peut être considérée comme une solution préférable à la mise en décharge **[1].**

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

1.1.2.1 Les déchets

Un déchet est tout résidu résultant d'un processus d'extraction, exploitation, transformation, production, consommation, utilisation, contrôle ou filtration et d'une manière générale, tout objet et matière abandonnée ou que le détenteur doit éliminer pour ne pas porter atteinte à la santé, à la salubrité publique et à l'environnement **[2]**.

1.1.2.2 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 **[3].**

1.1.2.3 Les types de déchets

Chaque type de déchtes a diffrérentes méthodes de gestion associés et différencie les déchets selon leurs natures et dangers ainsi que leurs lieux de production. On site :

A. Les déchets industriels

On distingue plusieurs types de déchets industriels :

A.1 - Les déchets industriels toxiques

Devant êtres traités avec de multiples précautions.

A.2 - Les déchets industriels banals (DIB) ou déchets non dangereux

Ils sont issus d'activités commerciales, artisanales, industrielles ou de service. Ils regroupent principalement les plastiques, les papiers cartons, les textiles, le bois non traité, les métaux, les verres et matières organiques.

A.3 - Les déchets industriels spéciaux (DIS)

Les déchets spéciaux sont des déchets qui, en raison de leur composition ou de leurs propriétés, présentent un danger pour la santé humaine ou pour l'environnement. Ce type de déchet doit donc subir un ensemble de traitements appropriés pour en réduire la toxicité et le risque de contamination. Ils nécessitent donc des filières spécifiques de collecte, transport, traitement, recyclage et élimination **[4].**

B. Déchets inertes

Tout déchet qui ne produit pas de réaction physique ou chimique tels les déchets provenant de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation et qui ne sont pas constitués ou contaminés par des substances dangereuses ou par d'autres éléments générateurs de nuisances **[5].**

C . Les déchets biodégradables

Tout déchet pouvant subir une décomposition biologique naturelle, anaérobique ou aérobique, comme les déchets alimentaires, les déchets de jardins, de papiers et de cartons ainsi que les cadavres d'animaux. Ces déchets sont au moins pours partie détruis naturellement , plus au moin rapidement , en général par les bactréries , champignons et autres micro-organismes et / ou par des réaction chimique (oxydation , minéralisation)**[5].**

D . Déchets organiques

Les termes suivants recouvrent la même notion : bio déchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères). Il s'agit de :

- Déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts).
- Déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs, etc.…





Fig.1.1 Déchets organiques **[6].**

E. Déchets ultimes

Tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le refus de tri, le déchet industriel banal issu des ménages et des déchetteries ainsi que les boues de stations d'épuration.

Outre les déchets ultimes : « ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment». Eux seuls devraient encore pouvoir être mis en décharge **[7].**

F. Les déchets médicaux et pharmaceutiques

Tout déchet issu des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, palliatif ou curatif dans les domaines de la médecine humaine ou vétérinaire et tous les déchets résultant des activités des hôpitaux publics, des cliniques, des établissements de la recherche scientifique, des laboratoires d'analyses opérant dans ces domaines et de tous établissements similaires **[5].** Ce type de déchet est traite au niveau des hôpitaux par l'incinération .



Fig.1.2 Déchets médicaux et pharmaceutique **[8]**.

G. Déchets dangereux

Toutes formes de déchets qui, par leur nature dangereuse, toxique, réactive, explosive, inflammable, biologique ou bactérienne, constituent un danger pour l'équilibre écologique tel que fixé par les normes internationales dans ce domaine ou contenu dans des annexes complémentaires.



Fig.1.3 Types déchets dangereux **[9].**

H . Les déchets recyclables

Matériaux de construction, métaux, matières plastiques : ces matériaux peuvent être réutilisés tels quels dans d'autres domaines ou recyclés : par exemple, les métaux sont refondus et réintégrés dans de nouvelles pièces, les plastiques sont hachés et servent de rembourrage ou de combustible …

On s'intéresse sur les déchets de métaux (fer, aluminium, plomb,…) qui possèdent une valeur marchande et qui se présentent sous 3 formes:

1- les chutes de fabrication (rebuts, limailles), sont utilisées dont notre projet **[7].**

2- les objets métalliques en fin de vie (moteurs, outils, canalisations, câblages...)

3- les composés métalliques destinés à être traités pour en extraire le métal contenu (catalyseurs de pots d'échappement,…).

1.1.2.4 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 **[10].**

A. Déchets industriels dangereux mais non toxiques

Ce type de déchets regroupe généralement :

- Des déchets de fer, de cuivre, de plomb,
- Des produits de préservation du bois,
- Des déchets solides dangereux de construction et de démolition de bâtiment à caractère industriel.

B. Déchets inertes

Ce sont des déchets non susceptibles d'évolution physique, chimique ou biologique importante. Ils sont essentiellement constitués de déblais et gravats et ne doivent pas être mélangés avec d'autres déchets. Les dépôts de déchets inertes sont souvent à l'origine de décharges sauvages **[7].**

Ce type de déchets regroupe :

- Des déchets solides de construction et de démolition des bâtiments à caractère d'habitation situé ou non sur un site industriel.
- Des déchets solides et inertes de travaux routiers,
- Des éléments en béton, mortier de ciment et béton,
- Des terres de déblais non contaminées.

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 **[11].**

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.) **[10].**

E. Déchets ménager et assimilés

Ce type de déchets regroupe :

- Des déchets en matériaux de synthèse ;
- Des déchets solides non dangereux de construction ou de démolition de bâtiment à caractère industriel ;
- Déchets volumineux ou "encombrants" soit collectés en porte à porte, soit réceptionnés dans une installation mise à la disposition des ménages ;
- Déblais et gravats produits par les ménages réceptionnés dans des déchetteries ou des dépôts réservés aux seuls déchets inertes ;
- Déchets de matière alimentaire (Déchets de café) ;
- Déchets ménagers spéciaux (DMS), ne pouvant en raison de leur danger être éliminés sans risques avec les déchets ménagers. Ils sont réceptionnés dans des déchetteries équipées à cet effet
- Déchets végétaux issus de l'habitat pavillonnaire ;
- Déchets de l'automobile (huiles, épaves, batteries, pneus, …) ;
- Des déchets commerciaux, emballages et autres résidus générés par les activités commerciales comme les déchets plastiques**.**

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

Appelés quelquefois 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.

1.1.3 Activité du recyclage des déchets en construction

1.1.3.1 Recyclage des déchets

Le recyclage est un procédé de traitement des métaux, plastiques, déchets (déchet industriel ou ordures ménagères) qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui composaient un produit similaire arrivé en fin de vie, ou des résidus de fabrication. L'un des exemples qui illustre ce procédé est celui de la fabrication de bouteillesneuves avec le verre de bouteilles usagées, même s'il est considérablement moins efficace énergétiquement que le système des récipients de verre consignés (lait, eau minérale, vinaigre, huile, vin, pots de yaourts…)

Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures :

- la réduction du volume de déchets, et donc de la pollution qu'ils causeraient (certains matériaux mettent des décennies, voire des siècles, pour se dégrader) ;
- la préservation des ressources naturelles, puisque la matière recyclée est utilisée à la place de celle qu'on aurait dû extraire

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

- Réduire : regroupe les actions au niveau de la production pour réduire les tonnages d'objets (par exemple les emballages) susceptibles de finir en déchet ;
- Réutiliser : regroupe les actions permettant de réemployer un produit usagé pour lui donner une deuxième vie, pour un usage identique ou différent ;
- Recycler : désigne l'ensemble des opérations de collecte et traitement des déchets permettant de réintroduire dans un cycle de fabrication les matériaux qui constituaient le déchet **[12].**

1.1.3.2 Technique de recyclage

A. Procédés du recyclage

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique.

- Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants.
- Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer.
- Le recyclage dit« organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz.

B. La chaîne du recyclage

B.1 Collecte de déchets

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis en centres d'enfouissement technique. Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés ni à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence. La collecte sélective, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui crée le déchet le trie lui-même. À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où

différentes opérations permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations **[13].**

B.2 Transformation

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

B.3 Commercialisation et consommation

Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés. Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés.

1.1.3.3 Type 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 ;
- **le recyclage sélectif** : il est choisi lorsque les matériaux de démolition sont homogènes ;
- **le recyclage en site fixe** : les matériaux de démolition sont acheminés vers des installations montées en permanence sur un même site **[14].**

1.1.3.4 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 **[14]**

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 CERAMIQUE ET DECHETS DE CERAMIQUE

1.2.1 Céramique

1.2.1.1 Définition

Les céramiques sont définies selon le Larousse comme étant « Art de fabriquer les poteries, fondé sur la propriété des argiles de donner avec l'eau une pâte plastique, facile à façonner, devenant dure, solide et inaltérable après cuisson ». La société américaine ASTM (American Society for Testing and Materials) définit une céramique comme : « un article ayant un corps vitrifié ou non, de structure cristalline ou partiellement cristalline, ou de verre, dont le corps est formé de substances essentiellement inorganiques et non métalliques, et qui est formé par une masse en fusion qui se solidifie en se refroidissant, ou qui est formé et porté à maturité, en même temps ou ultérieurement, par l'action de la chaleur. » Les céramiques sont des matériaux inorganiques, non métalliques, nécessitant de hautes températures lors de leur fabrication. Il s'agit en général d'oxydes métalliques, et plus généralement de métaux oxydés,mais pas uniquement. Les céramiques ont en général une structure cristalline, parfois associée à une phase amorphe. Lorsque la majorité est amorphe, on parle de vitrocéramique ; lorsque la totalité est amorphe, on parle du verre. **[15].**

1.2.1.2. Historique

L'art de fabriquer des poteries en modelant et en cuisant l'argile a été pratiquée par les civilisations les plus anciennes, et d'ailleurs l'examen des objets en terre cuite relevés au cours des fouilles est l'un des meilleurs outils dont disposent les archéologues. La poterie remonte à au moins 15.000 ans avant notre ère ; elle est devenue une industrie en Égypte depuis -5.000 ans et l'usage du kaolin est avéré en Chine depuis -4.000 ans au moins.

Le domaine des céramiques est traditionnellement lié à ceux des verres et des ciments. De façon semblable, la fabrication de verres à base de silicates est également très ancienne. Les verres naturels tels que l'obsidienne ont été utilisés depuis l'âge de pierre et les premières vitres ont été fabriqués vers -12.000 ans. Au contraire, l'industrie du ciment est bien plus récente. Les Égyptiens avaient utilisé le calcaire calciné, autrement dit la chaux, pour fabriquer des mortiers ; plus tard, les Romains combinèrent la chaux avec les cendres

volcaniques pour obtenir un véritable ciment hydraulique. L'industrie des ciments, telle que nous la connaissons, ne date guère qu'un siècle **[16].**

1.2.1.3 Types de céramique

Les produits céramiques prennent une part importante dans le domaine de génie civil, car suivant leur mode de fabrication, ils ont des propriétés variées, bien différentes les unes d'autres. A la base de tous les procédés de fabrication, il y a l'argile, qui, mélangée à l'eau, donne une pâte dont la propriété est de durcir à la chaleur. En faisant varier les différents composants de la pâte, la quantité d'eau et le degré de chaleur, on modifie les caractéristiques du matériau, qui devient plus ou moins dur, plus ou moins poreux, etc. **[16].**

A) Terre cuite

La terre cuite est un matériau céramique obtenu par la cuisson d'argile. Elle est utilisée pour réaliser des poteries, des sculptures et pour la fabrication de matériaux de construction, briques, tuiles ou carreaux.

La résistance de la terre cuite est fonction de sa composition et de sa température de cuisson. On peut donc rencontrer, notamment dans les pays chauds et humides d'Asie, des pavés en terre cuite au sol sur lesquels se sont progressivement imprimées des empreintes **[17].**



Fig.1.4 pot en terre cuite pour huile d olive en mai 2013**[17].**

A.1 Les terres cuites vernissées

Ce sont des terres cuites de même composition que les précédentes, mais dont la surface est recouverte d'un vernis ou d'un léger émaillage qui les protège contre l'humidité. Les carreaux de terre cuite vernissée sont ainsi d'entretien plus facile, mais leur teinte naturelle est parfois modifiée par le vernissage. **[16].**

A.2 Les terres cuites réfractaires

Par une addition de quartz au mélange de base, on obtient un produit résistant aux agents chimiques et aux températures élevées. Les terres cuites réfractaires servent à la fabrication de briques spéciales destinées aux revêtements intérieurs des foyers de cuisinières, fours ou barbecues. **[16].**

B) La brique

La brique d'argile est l'un des plus anciens matériaux de construction connus. Servit-elle à édifier la tour de Babel il y a 12 000 ans? La question reste posée, mais la brique servit en tout cas pour construire Babylone 3 000 ans avant Jésus-Christ, puis les ouvrages colossaux des Romains, la Grande Muraille de Chine et certaines cathédrales (Lubeck, Albi). Bien utilisée, elle défie les siècles et les intempéries. De nos jours, la fabrication en est entièrement mécanisée : traitement de la pâte (autrefois, les ouvriers piétinaient l'argile humide), façonnage, séchage (il durait jadis près de deux ans) et cuisson. Les fours modernes peuvent traiter jusqu'à trois millions de briques à la fois, à une température de 900 à 1000 °C, 1250 °C pour les briques vernissées. Parfois, la présence de sel dans l'atmosphère de cuisson confère aux produits une légère glaçure. La brique bien cuite est lisse d'aspect et rend un son clair ; la brique mal cuite est friable et rend un son sourd. **[16].**



Fig.1.5. Bâtiment construit en briques, à Zuidhorn **[18].**



Fig.1.6. La brique émaillée était déjà connue dans la Mésopotamie antique**[18].**

C) Les faïences

Les faïences sont des terres cuites recouvertes en surface d'un émail qui les rend imperméables aux liquides. La fabrication s'effectue en deux stades : d'abord établissement et cuisson de l'objet, appelé alors "biscuit de faïence", puis émaillage et nouvelle cuisson pour durcir le décor. Suivant la composition de la pâte et la nature de l'émaillage, on obtient des faïences différentes. Elles servent à l'exécution de poteries culinaires, de vaisselle plus ou moins décorée, d'appareils sanitaires ou de carreaux de revêtement.

Si par émaillage la faïence est rendue imperméable, elle reste toutefois fragile et sensible aux brusques changements de température. C'est pourquoi les carreaux de faïence, qui offrent un choix de couleurs et de motifs variés, ne sont utilisés qu'en revêtement mural. Faciles à entretenir, ils ne sont pas attaqués par les acides et ne se rayent que difficilement. Ils sont couramment employés pour protéger les murs des locaux humides (salles de bains, cuisines,

etc.) ou pour créer une note décorative sur une table ou sur un plan de travail. En principe, ils résistent à la chaleur, veillez cependant à ne pas les exposer à une température trop élevée qui ferait fissurer l'émail et enlèverait au carreau ses qualités d'étanchéité.

Les carreaux de faïence sont en général de forme carrée (150 mm x 150 mm ou 108 mm X108 mm) ou rectangulaire (100 mm x 150 mm), et d'une épaisseur assez faible, de 4 à 6 mm.
Vous pourrez constater que, parmi les nombreuses fabrications présentées sur le marché, il existe parfois une énorme différence de prix de vente. Cela provient du mode de fabrication des carreaux qui peuvent être soit émaillés en continu sur une chaîne automatique (carreaux unis, jaspés...), soit émaillés, puis décorés à la main un par un pour reproduire un motif donné. Ce dernier procédé (encore utilisé de nos jours et dans la plus pure tradition artisanale) est évidemment d'un coût plus élevé**[16].**



Fig.1.7 Plat de barbier en faïences Lithocérame de Braire vers **[19].**



Fig 1.8 Protection des faïences début XX^{e} siécle **[19].**

D) Les grès

Ils sont composés d'une pâte argileuse, additionnée de minéraux riches en feldspath. Ce mélange est cuit à une température voisine de 1300 °C, température à laquelle les fondants, ainsi que le feldspath, provoquent la vitrification de la pâte. C'est ce phénomène qui assure au grès son imperméabilité, sa bonne résistance aux chocs et aux agents chimiques et sa très grande dureté (il raye le verre).

Ces qualités permettent de l'employer dans l'équipement ménager (plats de cuisson, vases, etc.), mais aussi dans l'équipement des habitations : tuyaux d'écoulement d'appareils sanitaires ou revêtements de sols et de murs. Les grès se présentent sous différentes formes**[16].**

D.1 Carreaux de grès ordinaire ou grès cérame

Étant donné sa dureté, un carrelage de grès cérame est pratiquement inusable. Sa non-porosité le rend insensible aux taches, et, comme il n'absorbe pas l'eau, il ne craint pas le gel. Il peut donc être utilisé à l'extérieur pour recouvrir une loggia, une terrasse ou même une piscine. Employé surtout pour les sols, il peut revêtir les murs avec la même endurance ; son entretien est pratiquement nul.

D.2 Carreaux de grès émaillé

De même composition que le grès cérame, les carreaux de grès émaillé présentent une surface émaillée comme s'il s'agissait d'un carreau de faïence. L'apport d'oxydes métalliques permet d'obtenir des nuances variées qui n'existent pas dans le grès cérame naturel. La surface émaillée est parfois trop lisse et trop brillante pour un emploi en revêtement de sol. On préfère, dans ce cas, une utilisation murale, d'autant plus qu'il existe une très grande variété de couleurs et de motifs sur le marché .

D.3 Carreaux de demi-grès

La conception de base est la même que pour le grès cérame, mais la cuisson s'effectue à une température plus basse (1100 °C), ce qui n'assure qu'une vitrification partielle de la pâte.

Le produit obtenu est légèrement moins dur qu'un grès cérame et il est parfois légèrement poreux, c'est la raison pour laquelle il est préférable de ne pas l'utiliser comme revêtement extérieur.

Les dimensions des carreaux de grès sont très variables. Suivant le type de revêtement à exécuter (sol ou mur), on peut disposer de petits éléments de 1 à 2 cm de côté, de carreaux ayant sensiblement les cotes d'un carreau de faïence, ou de dalles carrées ou rectangulaires d'une surface plus imposante **.**

E) Les mosaïques

Le terme "mosaïque" définit non pas un produit, mais un assemblage d'éléments de petites dimensions formant une fresque ou reproduisant un dessin. Par extension, on désigne par ce terme les carrelages réalisés à l'aide de petits éléments de 1 à 5 cm de côté. Suivant la forme de ces éléments, l'assemblage peut être **[16].**

1.2.1.4 Composition de céramiques

Le tableau (1.1) suivant résume les différentes compositions de céramiques :

Tableau 1.1 Composition céramiques **[16].**

Composition	Argile (%)	Kaolin (%)	Feldspath (%)	Craie (%)	Talc (%)	Quartz (%)
Grès	80					20
Faïence	50		20	20	20	30
Porcelaine dure	3	42	25	5		25
Vitréous	50		25			25

1.2.1.5 Classification des produits céramiques

On peut classer les céramiques selon leur application, selon leur mode d'élaboration et la forme finale et selon leur composition chimique **[16]** :

- Selon leur application
- Selon leur mode d'élaboration et la forme finale
- Selon leur composition chimique

1.2.1.6 Propriétés de céramique

Le choix d'un matériau céramique face aux métaux ou aux plastiques s'impose lors de conditions d'utilisation extrêmes : température, pression, corrosion, et ce d'autant plus si ces conditions sont simultanées ou prolongées dans le temps. Ceramaret se positionne sur le segment des céramiques techniques et structurelles à base d'oxydes , principalement l'alumine et la zircone **[16].**

Les propriétés typiques d'un matériau céramique présentent les avantages suivants : haute résistance à l'usure, à la chaleur, à la pression et aux attaques chimiques (gaz et liquides) , dureté élevée , très bon isolant électrique et matériau relativement léger

Le choix de la matière première s'effectue, au cas par cas, en fonction des performances attendues, tout en optimisant les coûts de fabrication. Les économies sont d'autant plus sensibles que la fabrication est répétitive, même pour un nombre élevé de pièces à produire. La mise en forme se fait par compaction de poudre, permettant ainsi d'obtenir des pièces proches des dimensions finales, sans usinage. Ceramaret diminue par conséquent le nombre d'opérations secondaires onéreuses.

La densification se réalise dans des fours à haute température (>1'500°) au cours de l'étape de frittage. Des tolérances dimensionnelles ou géométriques extrêmes (de l'ordre du micron) peuvent naturellement être obtenues par un usinage complémentaire, respectivement un enlèvement de matière par abrasion à base de diamant.

1.2.1.7 Fabrication de cerramique

La fabrication des produits céramiques s'effectue dans différents types de fours, à partir d'un vaste éventail de matières premières et dans des formes, dimensions et couleurs extrêmement nombreuses. Le procédé global de fabrication d'un produit céramique est toutefois relativement uniforme, en dehors du fait que la fabrication des carreaux pour sols et murs, de la vaisselle et des objets décoratifs (céramiques domestiques), des appareils sanitaires et des céramiques techniques passe fréquemment par un procédé de cuisson en plusieurs étapes **[20].**

- Les étapes de fabrication de cerramique

- Stockage et transport des matières premières
- Préparation des matières premières
- Façonnage/formage des produits
- Séchage des produits céramiques
- Traitement de surface et décoration des produits céramiques
- Cuisson
- Traitements ultérieurs (finition des produits)
- Ajout de matériaux auxiliaires
- Triage, conditionnement et stockage **[20].**

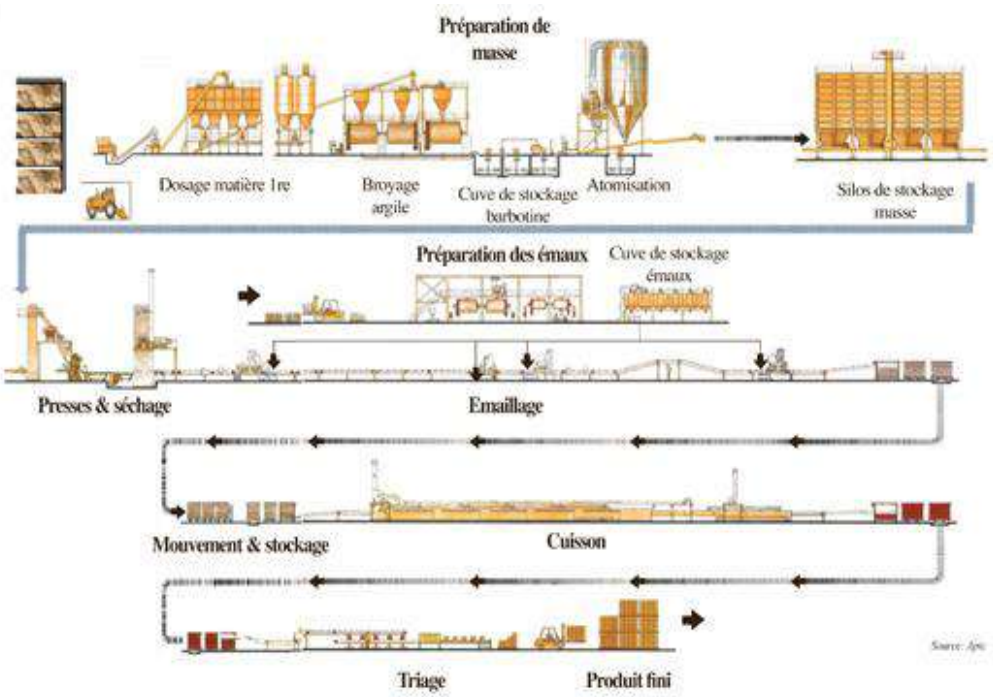


Fig.1.9 Les étapes de fabrication de cerramique **[21].**

1.2.1.8 Avantages et Les Inconvénients de cerramique

1) Avantages

- Résistance a la corrosion
- résistance a l'usure
- Résistance a l'endommagement

- Résistance a la dégradation thermique
- Résistance chimique
- Résistance en compression
- Isolation thermique & électrique **[22].**

2) Les Inconvénients

- Tolérances dimensionnelles difficiles à contrôler pendant le traitement.
- Faible tension.
- Faible résistance aux chocs.
- Peut se fissurer quand il est touché avec des objets lourds.

1.2.2 Déchets céramiques 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 1.10) sontl'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].**

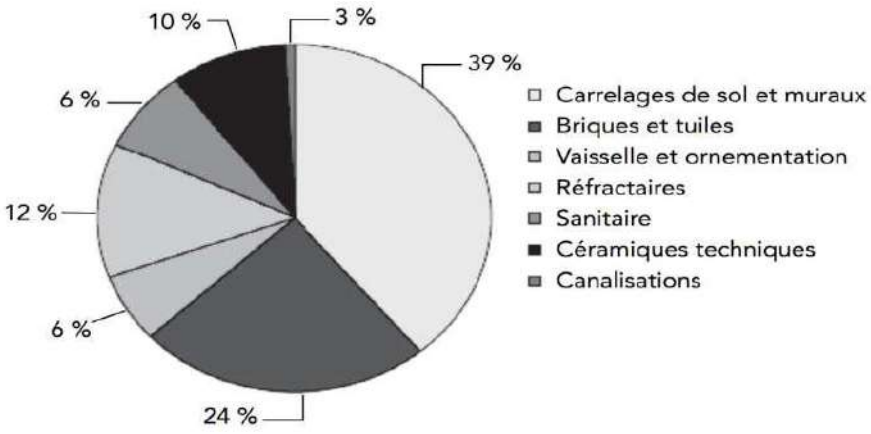


Fig.1.10. Répartition en chiffre d'affaires des céramiques en Europe par secteur **[16].**

1.3 BETON DE SABLE

1.3.1. Historique

Le béton de sable est un matériau connu depuis fort longtemps, et a été utilisé dans plusieurs pays et dans des domaines différents. Les pays les plus connus pour l'utilisation de ce matériau sont la France et la Russie. Le béton de sable trouve en effet ces origines dans “le béton aggloméré”, mis au point par le Français F. COIGNET dans le troisième quart du XIXe siècle. Ce matériau se composait à l'époque de sable, de ciment, de chaux et d'eau. Plusieurs ouvrages ont été réalisés à partir de ce matériau et constituent les premières applications de cette technique. On cite à titre d'exemple : le mur de soutènement à Passy, la maison COIGNET à Saint Denis, la tour de port Said (h=52m) en Egypte fig le pont de Brooklyn **[23].**



Fig.1.11. Phare de port Said réalisé en béton aggloméré Coignet (Egypte)1869 **[24].**

De hauteur fut également construit en béton aggloméré composé de sable d’une plage avoisinante et de chaux importé de France photo COIGNET exporte sa technique jusqu’aux USA, où son entreprise "New York andlong island Coignet stone compagny" construit en 1871-72 en blocs de béton aggloméré le pont de Brooklyn à New York **[23].**

Vers la fin du IXX *eme* et au début du XX *eme* siècle, marquant la période de l’apparition du béton utilisant des granulats de gros calibres ainsi que l’utilisation de ciment à la place de la chaux qui a engendré une augmentation de résistance (allant jusqu'à 20MPa) furent facilement

obtenus. A compter de là, le béton aggloméré ancêtre du béton de sable a cédé la place au béton connu jusqu'à nos jours. **[23].**

1.3.2 Définition

Selon la norme française NF P 18-500 **[25]** , le béton de sable est un béton fin constitué par un mélange de sable(s), de ciment, d'addition(s) et d'eau ; outre ces composants de base, le BS comporte habituellement un (ou plusieurs) adjuvant.

Les ajouts (fibres, colorants, ...) utilisés dans le béton traditionnel peuvent également être incorporés au mélange.
L'incorporation de gravillons d/D autorise l'appellation «béton de sable» tant que le rapport massique G/S reste inférieur à 0,7 (G = gravillon ; S = sable) : on parle alors de béton de sable chargé (Fig. 1.12)

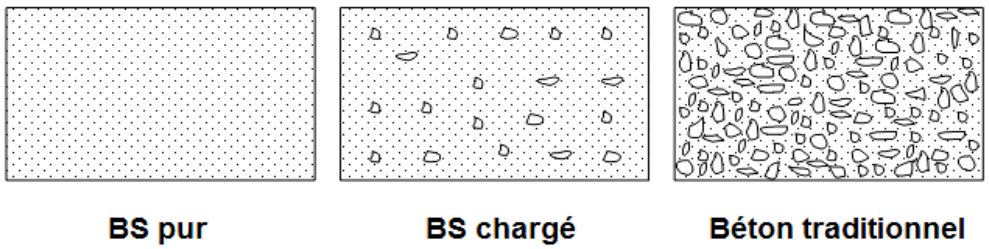


Fig.1.12. Schéma explicatif de l'apparence du BS pur, BS chargé et du béton traditionnel **[26].**

On peut admettre l'emploi d'un granulat à granulométrie continue de 0 mm à un maximum de 8 mm tant que le rapport pondéral entre les éléments supérieurs à 4 mm et les éléments inférieurs à 4 mm reste également inférieur à 0,7 **[25].**

1.3.3 Spécificité du béton de sable

Le béton de sable se distingue d'un béton traditionnel par un fort dosage en sable(s), l'absence ou le faible dosage de gravillons et l'incorporation d'addition(s) **[26].**

Le béton de sable se distingue d'un mortier par sa composition, le mortier est en général fortement dosent ciment et ne comporte pas systématiquement d'addition, et surtout par la

destination : les bétons de sable sont essentiellement destinés aux usages traditionnels du béton **[25].**

1.3.4 Les composant du béton de sable

1.3.4.1 Ciments

Le ciment 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) **[26].**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.

1.3.4.2 Les sables

Pour la réalisation d'un béton de sable, aucune condition n'est mise quant à l'origine du sable utilisé, qu'il s'agit d'un sable naturel alluvionnaire, d'un sable de carrière issu de concassage ou sable de dune. Seule leur propreté compte (l'utilisation d'un sable non propre n'est pas toléré)**[23].**

1.3.4.3 L'eau

L'eau utilisée pour la confection des bétons de sable est conforme à la norme NFP18-303. L'eau efficace comprend, en plus de l'eau de gâchage, une quantité non négligeable d'eau apportée par les additions, adjuvants et autres ajouts, et surtout par les sables **[26].**

1.3.4.4 Les adjuvants

Comme pour les autres bétons, les bétons de sable utilisent les adjuvants sous divers formes : plastifiants, super-plastifiants, etc. les adjuvants confèrent physiquement et économiquement aux bétons des avantages considérables entre autre l'amélioration de la maniabilité, l'utilisation du béton dans les conditions difficiles, ils permettent aussi l'utilisation d'autres types de matériaux dans le béton.

On utilise dans les bétons de sable les mêmes adjuvants que dans les bétons traditionnels, et pour en exploiter les mêmes propriétés. La spécificité du béton de sable privilégie toutefois l'usage du plastifiant ou super plastifiant : ils améliorent la maniabilité, le plus souvent avec

augmentation de résistance par suite d'une diminution de la teneur en eau et de la défloculation des éléments fins. On se contentera à expliquer ceux qui on été utilisés dans cette étude. Les adjuvants employés devront par ailleurs être conformes à la norme NF P 18-103 **[26].**

1.3.4.5 Autres ajouts

A . Les fibres

Elles sont surtout utilisées dans le but de réduire le retrait au premier âge : dosage et nature sont des paramètres très importants pour assurer l'efficacité de cet ajout. On utilise dans la plupart des cas des fibres organiques (polypropylène) pour contrecarrer les effets du retrait de prise et éviter la fissuration qui en résulte. Si l'on veut améliorer la ductilité, on pourra utiliser des fibres d'acier ou des fibres de fonte amorphe **[26].**

B. Les gravillons

On considère qu'un béton de sable peut contenir un certain pourcentage de gravillons et conserver sa domination de béton de sable d'une façon pratique, on pourra considérer qu'on a affaire à un béton de sable tant que le rapport massique G/S (gravillons sur sable) reste inférieur à 0,70 (G/S< 0,70) **[26].**

C. Les colorants

Les colorants habituellement utilisés dans les bétons traditionnels peuvent également être employés pour certains usages de bétons de sable : ils nécessitent toutefois un soin particulier dans l'homogénéisation et une formulation appropriée du béton de sable pour conserver une stabilité de la teinte au cours du temps **[26].**

1.3.5 Propriétés essentielles du béton de sable

1.3.5.1 Propriétés générales

A) Granulométrie et maniabilité

Une des particularités du béton de sable est de nécessiter davantage d'eau que les bétons classiques ; ceci se traduit par des valeurs du rapport E/ C systématiquement supérieures à 0,5.

Ce rapport est généralement compris entre 0,6 et 0.8 par rapport à un E/ C de 0,5 à 0,6 pour le béton ordinaire avec des maniabilités comparables ; cette particularité est due à une surface spécifique plus importante du mélange qui a besoin d'être mouillée.

La granulométrie du sable influe sur les besoins en eau de mélange ; plus le sable est riche en éléments grossiers plus la maniabilité s'améliore comme le traduit la Figure (1.13) qui exprime une relation entre le module de finesse et la maniabilité.

La Fig.1.9 montre clairement que la maniabilité est améliorée quand le rapport E/C augmente. Cependant pour un rapport E/C fixe, la maniabilité dépend de la nature des fines d'ajout.

La faible étendue granulaire du béton de sable et donc la grande homogénéité combinée à une bonne maniabilité attribuent au béton de sable un meilleur comportement que les bétons traditionnels, vis-à-vis de la ségrégation **[26].**

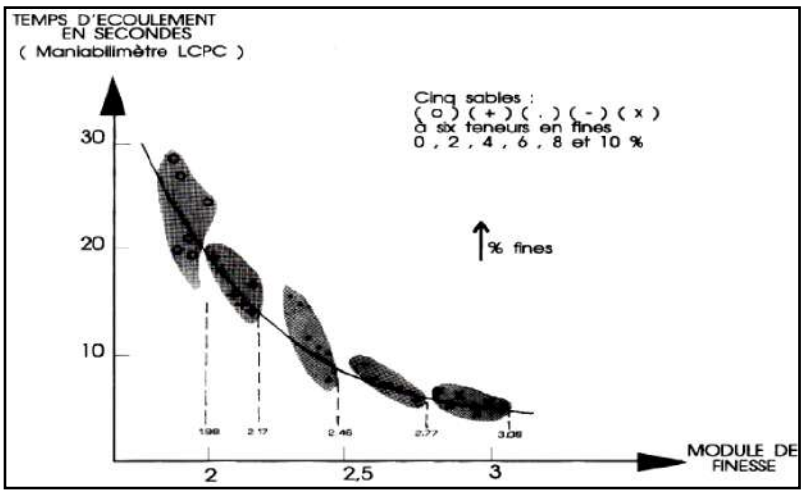


Fig.1.13. Influence du module de finesse du sable sur la maniabilité d'un BS **[26].**

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 (1.14) .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 alluvionnaire (plus compact).

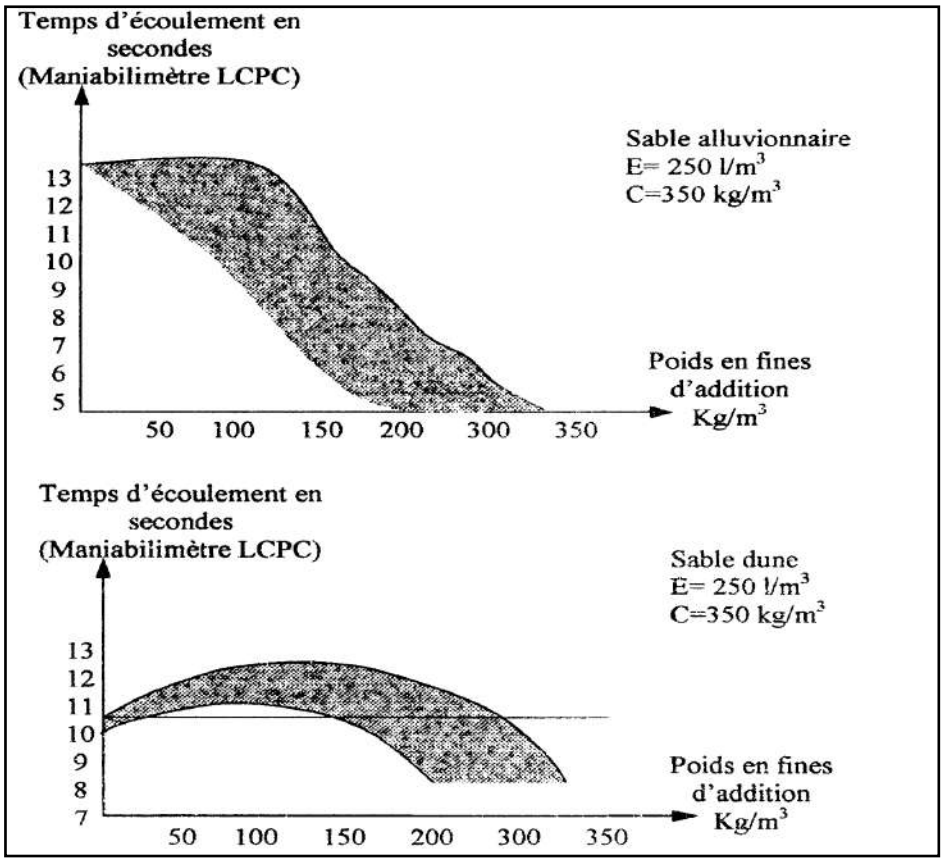


Fig.1.14. Influence de la nature du sable sur la maniabilité (avec fines d'addition calcaire) **[26].**

B) Granulométrie et résistance

A dosage en ciment constant, la résistance peut être différente en fonction d'un certain nombre de paramètres et en particulier **[26]** :

a. La finesse de l'addition

plus l'addition est fine plus elle est efficace au niveau du gain en compacité et donc en gain de résistance ; ce résultat est valable quel que soit la granulométrie du sable. (Figure. 1.15).

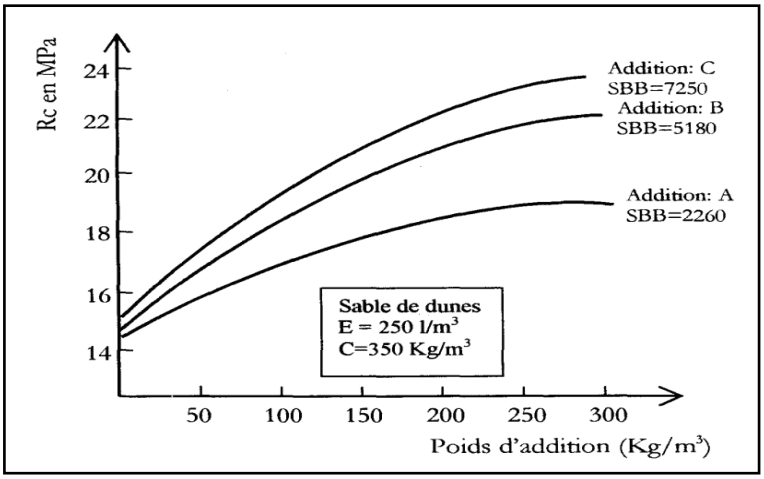


Fig.1.15. Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance **[26].**

b. La nature de l'addition

A même dosage selon la figure.(1.16) on peut 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.

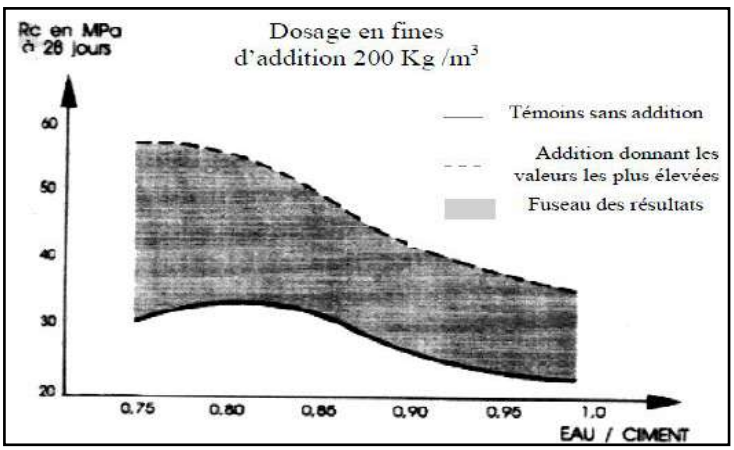


Fig.1.16. Influence de la nature de l'addition sur le niveau de résistance **[26].**

1.3.6 Domaines d'emploi des bétons de sable

Le béton de sable peut être utilisé dans différents domaines, et sous plusieurs formes. Laplupart des applications actuelles tiennent davantage à ses propriétés spécifiques **[23]**

Les figures suivantes illustrent ces applications :

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 la (figure 1.17)

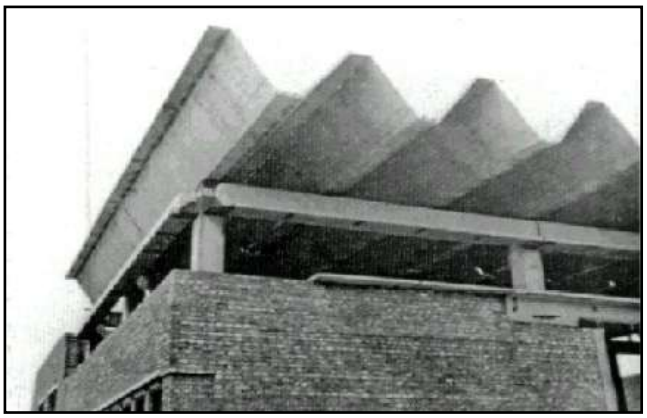


Fig.1.17. Le béton de sable dans la Préfabrication **[23].**

1.3.6.2 La projection

Le béton de sable peut être également utilisé en projection dans des travaux de rénovation, de ponts, l'égout visitables et de bâtiments La projection de BS est une technique intéressante spécialement dans le cas des réhabilitations des structures d'ouvrages souterraines (Figure 1.18) 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 **[23] .**



Fig.1.18. Le béton de sable en projection **[28].**

1.3.6.3 Béton de sable coulé

Il peut être coulé sur place dans les routes et autoroutes, dans les aérodromes et en Bâtiment (Figure 1.19)

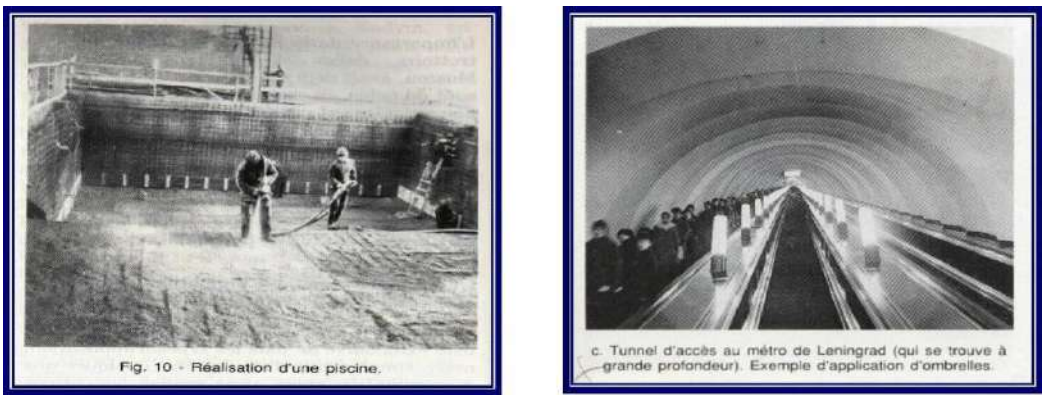


Fig.1.19. Le béton de sable coulé **[29].**

1.3.6.4 Routes, Chaussée et dallage

Dans le domaine des routes et autoroutes (Figure 1.20) dans les aérodromes et en bâtiment, les BS peuvent être utilisés dans la réalisation des structures de chaussées pour améliorer leur résistance à l'usure et dans la production des équipements de voirie extrudés (ex : caniveaux, bordures, séparateurs, etc.)**[2].** L'utilisation de BS dans ces domaines se trouve en premier lieu justifiée par l'économie sur le coût des matériaux, la facilité de mise en œuvre et la qualité esthétique des produits. Dans le cas des structures de chaussées ou des dallages utilisant le BS, une étude de dimensionnement est nécessaire. Les calculs doivent être réalisés en respectant les normes et les règles en vigueur, notamment celles des performances mécaniques.



Fig1.20. Rout en béton de sable **[30].**



Fig.1.21. Dallage en BS fluidifié auto compactant (Base aérien de Dijon) **[29].**

1.3.7 Méthodes de formulation des bétons de sable

Dans la formulation des bétons traditionnels, on cherche généralement d'obtenir les propriétés essentielles : l'ouvrabilité et la résistance mécanique, à partir d'une combinaison de leurs constituants (sable, gravillon, ciment et eau). Dans ce cas, il existe plusieurs méthodes de formulation permettant de viser ces propriétés, en se fixant généralement la taille des plus gros granulats sur la base de considérations technologiques.

Dans le cas du BS (caractérisés par sa granulométrie fine), l'application directe des méthodes de formulation adaptées aux bétons traditionnels conduit généralement à des dosages très élevés en ciment. A cet effet, les pâtes de ces bétons contiennent toujours, en supplément du ciment et de l'eau, des ajouts et des adjuvants, afin de minimiser le dosage de ciment.

Deux types d'approches de formulation sont présentées : une approche théorique, basée essentiellement sur l'optimisation de la compacité du BS en partant de la relation de Caquot et une méthode expérimentale, basée sur la réalisation de gâchées **[26].**

1.3.7.1 Approche théorique de la formulation des bétons de sable

Les agrégats d'un béton jouent un rôle d'ossature et la pâte (généralement le ciment avec l'eau) assure, dans un premier temps, la cohésion et l'écoulement, puis joue le rôle d'une colle liant les agrégats et donnant une certaine durabilité au matériau durci. Le premier problème qui se pose lors d'une formulation d'un béton est la compacité du squelette granulaire définie

comme le rapport du volume des constituants solides sur le volume total du mélange; il faut assurer au mélange une compacité maximale et donc diminuer au maximum la porosité. Cependant la détermination de cette compacité maximale n'est pas facile et fait l'objet de modélisation poussée. Caquot **[31]** 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/Dmax).

$V=V_0 \left(\frac{d}{D}\right)^{1/5}$……...(Equation 1.1)

V : Volume des vides du mélange granulaire ;

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

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

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

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

A. Dosage en fines d'un béton de sable

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

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

2. Toute l'étendue du sable comprise entre 80m m 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 80m m et l'étendue du sable comprise entre 80 m m et le diamètre maximal, la porosité du sable peut être calculée selon la formule précédente de Caquot :

$Ps = V= 0.75\ (0.08/D)^{1/5}$ ……..….(Equation 1.2)

Ps(V) : Porosité du sable d'étendue 80m m et D_{max} Dmax : Diamètre maximal du plus gros grain du mélange. La constante expérimentale (V0) 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 la coupure 80m m, et à combler la porosité du sable ainsi calculée.

En effet, il est impossible de prendre en compte la distribution de la taille pour les fines d'ajout car l'assemblage géométrique relève surtout des forces électriques inter-granulaires. En apportant quelques simplifications, Caquot s'est rendu compte que le volume de l'ensemble des particules fines (< 80m m) et le volume des vides associé a l'empilement de ces fines sont égaux, autrement dit le volume des vides restant dans le mélange est égal au volume de l'ensemble des fines d'ajout.

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

$$[\text{Fines}] = 0.38\,(0.08/D_{max})^{1/5} \quad \text{(Equation 1.3)}$$

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.1.22).

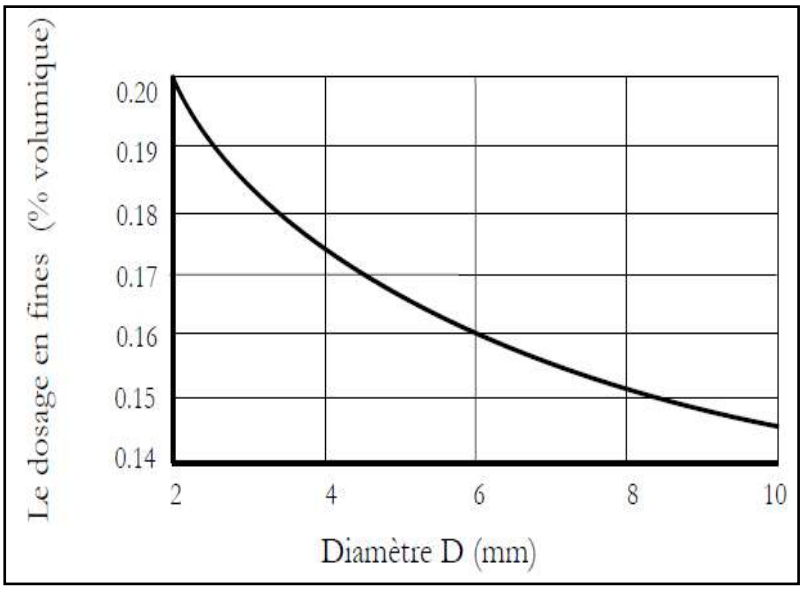


Fig.1.22. Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines **[26].**

B. 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

$(e + v)_{min} = 0.8\ (d/D_{max})^{1/5}$ ……..(Equation 1.4)

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

$d = (60 / (f))\ mm \times \rho$ .....(Equation 1.5)

Avec:

f : surface spécifique exprimée en cm^2/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 mm pour le diamètre ; ainsi l'élargissement de l'étendue est la seule solution pour la réduction de la porosité théorique minimale comme la (Figure 1.23) le montre :

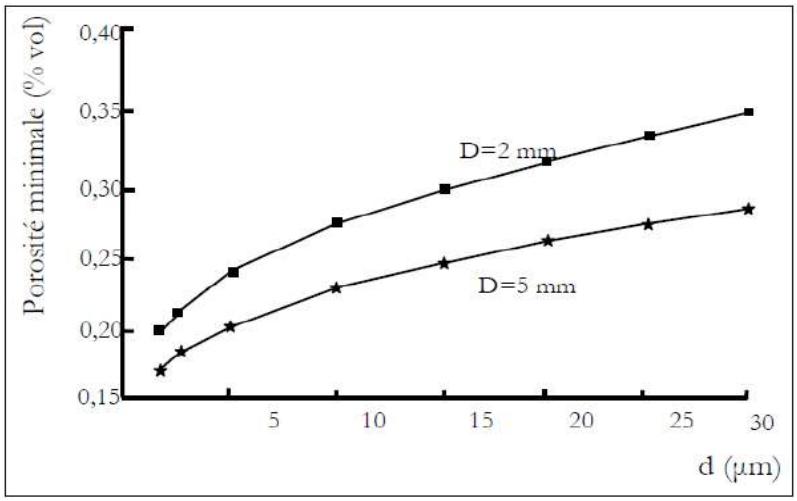


Fig.1.23. Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles du sable **[26].**

On remarque que la porosité minimale d'un mélange granulaire varie considérablement avec son étendue granulaire, mais cette porosité est décomposée en un volume d'eau (e) et un volume de vides (v). En pratique, confectionner un béton avec les strictes quantités d'eau conduit à une mauvaise ouvrabilité ;(la Figure 1.24) nous montre la relation entre l'ouvrabilité et le dosage en eau.

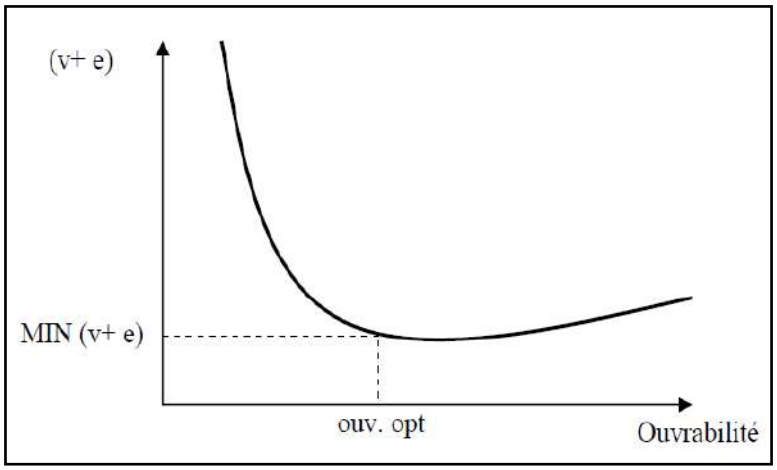


Fig.1.24. Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée **[26].**

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

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

Dans les bétons de sable cette quantité est légèrement supérieure à celle des bétons ordinaires et la formule qui suit conduit à des teneurs en air de l'ordre de 3 à 5%.

[Vides] = K [eau] ……..… (Equation 1.6)

Avec :

K : constante comprise entre 0.2 et 0.25.

C. Dosage en sable

Afin de compléter un volume unitaire de béton de sable, ($1m^3$), de la formulation, le dosage en sable est obtenu en faisant soustraire au mètre cube du mélange les dosages estimés précédemment des autres constituants (fines, eau, vide). [Sable]=1000-[fines]-[eau]-[vide]

(l/m^3). Il reste à noter que le volume du sable ainsi calculé regroupe toutes les particules de taille supérieure à 80mm, soit du sable, soit de la fraction des fines d'addition.

D. Estimation de la résistance en compression

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

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

$$R_b = \frac{Kf \times Rc}{\left(1 + \frac{3.1(e+v)}{c(1+K_1+K_2)}\right)^2} \quad \text{.....(Equation 1.7) [55]}$$

Avec:

Kf : coefficient granulaire compris entre 4.5 et 5 ;

Rc : classe vraie du ciment (MPa) ;

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

V : air piégé (l/m^3) ;

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

Rb : 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= Kfil (Fil/C) ;

0< Kfil £ 0.4 K1<0.2

K1 : coefficient pouzzolanique

K2 : coefficient d'activité du filler calcaire. (Voir figure 1.29.)

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

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

Cette formule ne peut être utilisée que par une identification précise de l'activité des additions par l'intermédiaire des coefficients déjà mentionnés. Les valeurs données pour les différents coefficients d'activité ont, ici, un caractère essentiellement indicatif, d'autres additions peuvent être également utilisées, telles que les fines siliceuses généralement considérées inertes et les fines de laitier qui peuvent présenter un caractère hydraulique non pris en compte dans la formule précédente **[55],** alors que d'autres paramètres pourraient influer sur l'activité liante des fillers telles que la répartition granulaire, la forme des grains, et leur porosité. Cette activité pour chaque type de filler présente un optimum au-delà duquel elle ne développe plus des performances mécaniques.

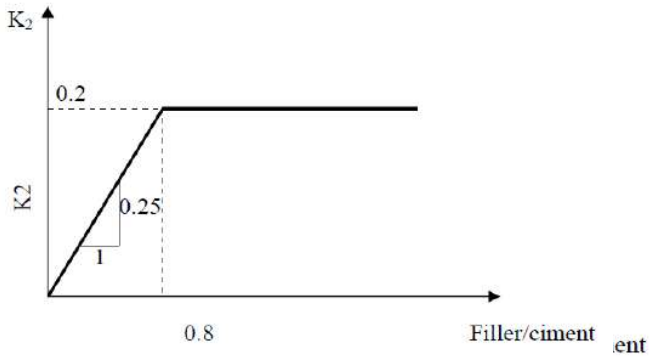


Fig.1.25. Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle) **[26].**

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

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

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

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

1.3.7.2 Méthode expérimentale de formulation

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

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

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

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

Diverses formulations de bétons de sable ont déjà été réalisées par cette méthode, on cite à titre d'exemple : le béton de pieux, le béton routier, le béton de projection etc., et ont donné pleine satisfaction **[26].**

1.3.7.3 Les différentes étapes de la formulation

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

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

A) Dosage en ciment

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

B) Dosage en eau

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

C) Détermination du dosage en sable

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

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

$V_{air} + V_C + V_E + V_{adj} + V_{sable} = 1000$ (En litres). …… (Equation 1.8)

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

Msable = MVA * Vsable……..……..……. (Equation 1.9)

Msable: masse nécessaire pour 1 m^3 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 m^3).

$MVAT = m_{ciment} + m_{eau} + m_{adj} + m_{sable}$ ……..…….…… (Equation 1.10)

D) 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 (1)

- 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).

$S_i = S_{i-1}(MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) + V * MVA_{sable}$…..…… (Equation 1.11)

Où

S_i : 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° 2). Il sera retranché si 1'écoulement au maniabilimètre est inférieur à 7s (+V dans la formule n° 2) 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.

1.3.7.4 Détermination du dosage en fines d'addition

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

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

Notre objectif, est d'obtenir une formule de un mètre cube dans laquelle la masse volumique apparente théorique tend vers la masse volumique apparente réelle, et un temps d'écoulement adéquat. Pour chaque gâchée, on détermine la maniabilité ainsi que la masse volumique apparente réelle (MVAR) que l'on compare à la masse volumique apparente théorique (MVAT) de la formule. Si besoin, la correction sur le sable s'effectue à l'aide de la formule suivante :

$S_i = S_{i-1}-(MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1})$ …… (Equation 1.12)

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 1.47 et 1.48

- **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.

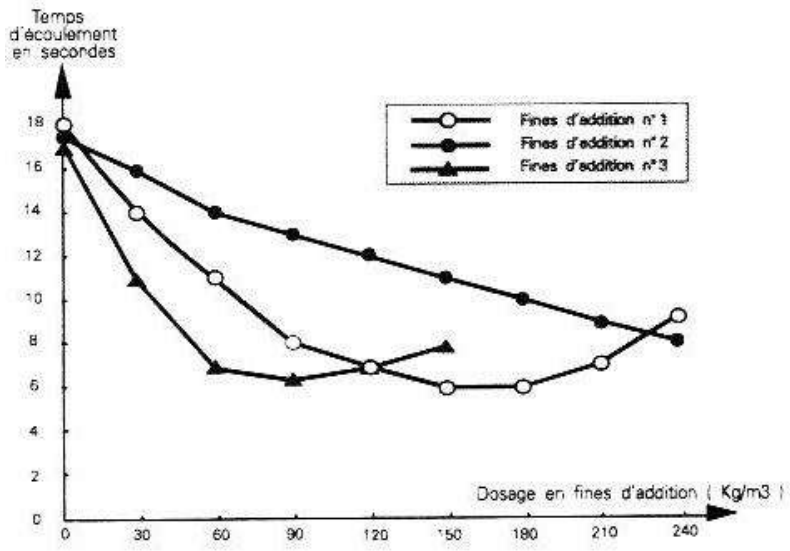


Fig.1.26. Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition **[26].**

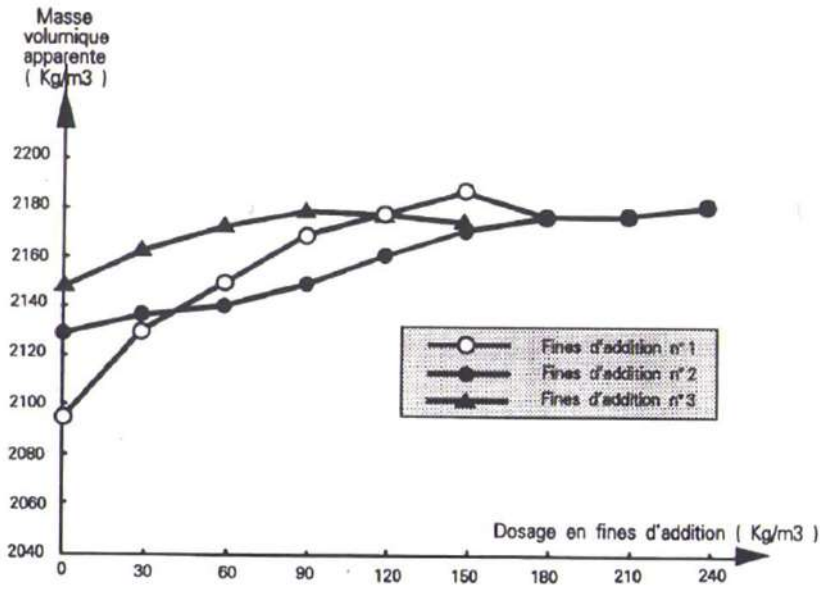


Fig.1.27. Masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition **[26].**

1.4 BETON AUTOPLAÇANT

1.4.1 Définition

Un béton autoplaçant est un béton très fluide, homogène et stable, mis en œuvre sans vibration (la compaction des BAP s'effectuent par le seul effet gravitaire) et conférant à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant aux bétons classiques mis en oeuvre par vibration .

La fluidité des bétons autoplaçants est due à une quantité de fine élevée et à l'utilisation des superplastifiants. Ces adjuvants spécifiques issus de technologie moléculaire récente permettent de réduire de manière importante le volume d'eau, tout en conférant au béton autoplaçant une importante fluidité, ils assurent aussi le maintient de l'ouvrabilité du béton durant un temps déterminé. Une nouvelle famille d'adjuvants, appelés agents de viscosité, entre également parfois dans la formulation des BAP qui vont donner une viscosité à la pâte **[32]**.

En effet, la qualité de matériau autoplaçant confère au béton plusieurs avantages techniques et socio-économiques par rapport au béton ordinaire.**[33].**

1.4.2 Historique

Les chercheurs K. OZAWA ET K. MAEKAWA de Université de Kochi (Tokyo) ont développé le premier prototype de BAP pendant l'été de 1988 **[34] [35]** . Ces résultats ont été présentés par K. OZAWA pour la première fois au 2ème Congrès de l'Asie de l'Est et Pacifique sur le Génie Civil et la Construction, tenu en Janvier 1989 à Chiangmai (Thaïlande) . Trois années plus tard, en Mai 1992, au 4ème Congrès International CANMET & ACI à Istanbul **[36]** l'intervention du K. Ozawa a accéléré la diffusion mondiale du concept de cette nouvelle génération de béton.

1.4.3 Les composants d'un BAP

Les BAP sont des bétons à quatre composants : les granulats, le liant, l'eau et les ajouts.Les granulats et le ciment utilisés pour un BAP sont les mêmes que ceux utilisés pour la fabrication d'un béton ordinaire. Ce qui particularise la composition des BAP, c'est la proportion des différents constituants et non pas leurs propriétés. En plus des granulats, la formulation d'un BAP se distingue par la présence d'un ajout chimique et /ou minéral. **[37,38].**

Les constituants de base d'un béton ordinaire sont le ciment, l'eau et les granulats. Les différents constituants proposées pour composer les bétons autoplaçants, en plus du ciment et de l'eau dosés de manière à obtenir une résistance mécanique donnée, sont: les granulats, les fines, le superplastifiant et parfois l'agent de viscosité. La figure (1.28) montre les composantes des deux types de béton, le béton ordinaire et le béton autoplaçant.

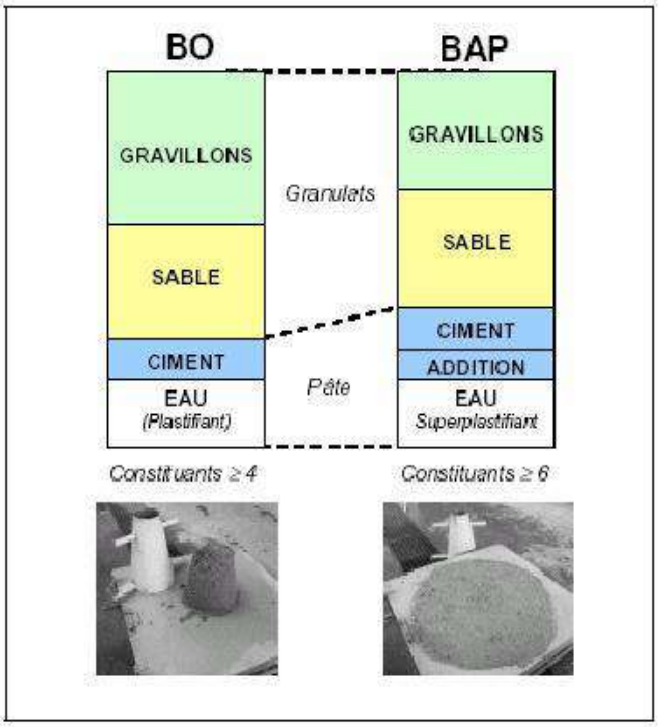


Figure 1.28. Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP.
Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP**[39].**

1.4.3.1 Les granulats

Les BAP sont réalisés avec des granulats roulés ou concassés, toutefois, comme pour un béton ordinaire, la forme des granulats a une influence sur le comportement rhéologique. Le coefficient de frottement est plus faible entre les granulats roulés qu'entre les granulats concassés.

Les granulats roulés présentent par ailleurs un plus petit vide inter granulaire, ce qui nécessite une plus petite quantité de pâte de ciment pour le remplir.

Les granulats permettent tout d'abord de réduire considérablement le coût global du béton (cinq fois moins chers que le ciment), mais leur influence est déterminante sur la résistance mécanique du béton à l'état durci. La résistance mécanique du béton dépend fortement de la nature des granulats (propriétés intrinsèques), et de la compacité du squelette global, ainsi que l'adhérence entre les granulats et la pâte du béton **[40].**

D'autre part le sable est un facteur important pour la fabrication du BAP vu qu'il a une influence déterminante sur ses propriétés à l'état frais. Si la proportion de sable augmente par

rapport au gravier, la demande en eau et le rapport E/C augmentent, tandis que la viscosité diminue. Et inversement en cas de diminution de la proportion de sable. Le sable présente une demande en eau réduite lorsque sa teneur en fines est faible **[41]**.

D'autre part la flottabilité des granulats concassés dans la pâte de ciment est meilleure, raison de leur plus grande surface spécifique à masse identique.

Afin d'empêcher tout risque de blocage lors du coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 15 mm.

Dans sa thèse Bethmont **[42]** explicite que la taille maximale D_{max} des granulats, étant un facteur non négligeable, peut provoquer un blocage. Il apparaît que le risque de blocage, pour un ferraillage donné, augmente lorsque le diamètre maximum des granulats augmente. Jin **[43]** reporte que Fujiwara et al, ont calculé, dans le cas d'un ferraillage unidirectionnel (ferraillage vertical uniquement) et dans le cas d'un ferraillage bidirectionnel (ferraillage verticale et horizontal), un espacement minimum au-delà duquel le risque de blocage diminue. Ils obtiennent les critères présentés sur la figure 1.29 **[43]**:

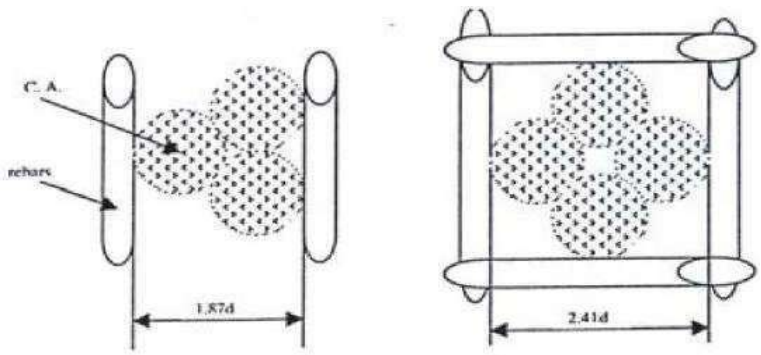


Fig 1.29. Critère de blocage et géométrie du calcul, Jin **[43].**

1.4.3.2 Le ciment

Les ciments les plus courants dans le monde du génie civil, sont les ciments à base de clinker Portland, produit obtenu par la cuisson d'un mélange de calcaire et d'argile. Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous la forme d'une poudre minérale fine, s'hydratant en présence d'eau, et forme une pâte qui fait prise et durcit progressivement à l'air ou dans l'eau. Le durcissement du ciment est principalement dû à l'hydratation du silicate tricalcique, un composant majeur du clinker. C'est le constituant fondamental du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide, en liant les différents constituants. Le clinker est accompagné de sulfate de calcium (gypse ou anhydrite) nécessaire pour régulariser la prise, c'est à dire faire en sorte que le béton (ou la pâte de ciment) reste en phase dormante pendant une période suffisamment longue (de l'ordre d'une heure et demi) avant le passage à l'état solide. Cette phase est propice à la réalisation des tests d'écoulement puisqu'on considère que la structure de la matrice n'est pas modifiée par le processus d'hydratation. Différents types de ciment existent sur le marché, et se distinguent par leurs relations avec les propriétés du béton. Ainsi, le choix du type de ciment, est conditionné par les performances souhaitées du béton (résistance à la compression, temps de début de prise, etc.).**[44]**

1.4.3.3 Les ajouts minéraux

La plupart des ajouts minéraux sont des sous-produits provenant de l'industrie et leur coût est souvent égal au coût du transport et de manipulation (broyage par exemple). Ainsi l'incorporation des ajouts minéraux à la formulation de béton comme substituant du ciment (produit plus cher), contribue à réduire le coût du béton, à réduire la quantité de combustible utilisée pour l'industrie du ciment, ainsi que l'émission du CO_2 de l'industrie cimentière dans la nature **[45].**

Les ajouts minéraux substituant le ciment peuvent être classés en fines pouzzolaniques telles que la fumée de silice et la pouzzolane et fines inertes telles que le calcaire. Une autre classification est basée sur la source de chaque produit d'où on trouve :

<u>Les produits artificiels</u>

- le laitier des Hauts Fourneaux
- les cendres volantes,

- la fumée de silice,
- l'argile calcinée (méta kaolin)
- les déchets d'incinération
- les déchets de briques concassées

Les produits naturels

- la pouzzolane naturelle (cendres volcaniques, scories)
- le calcaire
- l'argile opaline
- les additions siliceuses (sable)

1.4.3.4 Les Superplastifiants

Les superplastifiants sont des formes avancées de plastifiants. Ce sont des produits qui peuvent être ajoutés au béton en plus petite quantité que les plastifiants, soit au plus 2% du poids du ciment, sans pour autant créer des effets secondaires (effet retardateur excessif, entraînement d'air). La compétition entre l'effet de défloculation et le ressuage détermine l'influence globale des superplastifiants sur la zone de transition inter faciale. Selon le rapport E/C utilisé, les superplastifiants peuvent avoir un effet bénéfique ou délétère. Avec un E/C de 0.55, le ressuage est dominant, ce qui occasionne une zone de transition inter faciale de moindre qualité dans la plupart des cas. Il s'agit par contre d'une situation extrême puisque l'utilisation des superplastifiants n'est généralement pas nécessaire à un tel rapport eau/ciment. Avec un E/C de 0,4, le compromis entre la défloculation et le ressuage se reflète bien, par l'excès de conductance inter faciale, l'ajout de superplastifiant et l'augmentation de son dosage apporte une meilleure dispersion des grains de ciment mais favorise **[44].**

1.4.3.5 L'eau de gâchage

L'eau utilisée ne doit pas présenter un excès d'impuretés **[47]** qui peuvent étériorer les propriétés des bétons (résistance, propriétés esthétiques, des armatures, etc.). Une partie de l'eau ajoutée au béton est mobilisée par les granulats (absorption, adsorption), alors qu'une deuxième partie est consommée par l'hydratation, et une troisième partie reste libre dans la

matrice du béton. Cette dernière est principalement responsable de la fluidité du béton, en agissant sur la concentration en solides de la suspension entre les granulats. **[46].**

L'augmentation du dosage en eau augmente la fluidité du béton et entraîne la diminution de la concentration en solides; au niveau rhéologique, le seuil de cisaillement et la viscosité diminuent. Cependant, l'introduction excessive d'eau provoque la chute de la résistance mécanique du béton à l'état durci, ainsi que l'apparition des phénomènes de ségrégation à l'état frais. König et al **[48]** ont utilisé, avec succès, de l'eau recyclée pour la fabrication d'un béton autoplaçant dans le cadre de béton prêt à l'emploi.

1.4.3.6 Les agents de viscosité

Généralement les superplastifiants diminuent la viscosité du béton, ce qui rend le matériau plus sensible vis-à-vis du phénomène de ségrégation. Les agents de viscosité ont, eux, la propriété essentielle de modifier le comportement rhéologique des milieux aqueux dans lesquels ils sont utilisés (ce rôle peut aller du simple épaississement jusqu'à la gélification) et peuvent être utilisés avec intérêt dans la composition des BAP. Si la formule ne contient pas d'agent de viscosité, il est nécessaire d'avoir une plus grande quantité de liant pour assurer un écoulement sans ségrégation.

Les agents de viscosité peuvent être de différentes natures :

- Polysaccharide obtenu par fermentation microbiologique du type gomme welan ou gomme de xanthane ;
- Dérivés cellulosiques à base de méthyle cellulose, d'hydroxy-éthyl cellulose ;
- Colloïde naturel ;
- Suspension des particules siliceuses.

Le mode d'action des agents de viscosité se fait par adsorption des molécules d'eau sur les longues chaînes du polymère induisant un gonflement du polymère qui augmente la viscosité de l'eau et par conséquent celle de la pâte de ciment.

En général les agents de viscosité utilisés sont des polysaccharides hydrosolubles **[49].** Khayat et al. **[49]** ont fixé 3 catégories générales pour les agents de viscosité : les polymères naturels, semi-synthétiques et synthétiques.

agents de viscosité possèdent un rôle très important pour maintenir la stabilité des mélanges cimentaires. Ils assurent une cohésion entre les différentes phases d'un mélange, augmentant ainsi la résistance à la ségrégation des mélanges, et empêchent les mouvements libres d'eau, réduisant le ressuage. Au niveau rhéologique, ils agissent en augmentant à la fois le seuil de cisaillement et la viscosité des mélanges **[49].**

Les agents de viscosité peuvent avoir une seconde fonction, le retard de prise, ainsi que l'entraînement d'une certaine quantité d'air, entraînant des conséquences sur la résistance mécanique du béton. Les effets secondaires sont fonction du type et du dosage de l'agent de viscosité utilisé.

1.4.4 Propriétés des BAP

Les bétons autoplaçants (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 analogues 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.

1.4.4.1 Propriétés des BAP à l'état frais

Les propriétés générales d'un béton autoplaçant frais sont la fluidité et l'homogénéité. Ces propriétés sont étudiées sur plusieurs aspects, et peuvent se diviser en trois critères mesurables par des tests empiriques :

- la Capacité au Remplissage

- la Capacité de Passage

- la Résistance à la Ségrégation

- Rhéologie

A) La résistance à la segregation

La ségrégation d'un mélange correspond à l'absence d'homogénéité dans la distribution des constituants ce qui provoque généralement une séparation de phases solide et liquide ou bien une séparation des phases solides en fonction de leurs dimensions **[50].** La ségrégation peut donc se manifester dans un béton de façons différentes, comme la séparation entre la pâte et les granulats, la séparation entre le gravier et le mortier qui peut conduire à un blocage en zones confinées, et une répartition non homogène de l'air occlus.

B) La capacité de passage

La capacité de passage décrit la capacité du mélange de béton frais à l'étalement à travers des espaces confinés sans ségrégation, sans perte d'uniformisation et sans blocage. En définissant la capacité de passage, il est nécessaire de considérer, la géométrie et la densité du ferraillage, la capacité de remplissage du mélange ainsi que la dimension maximale du granulat.

La dimension à définir est l'espacement entre les bars, cet espacement doit permettre l'écoulement normal du béton. L'espacement entre la barre de ferraillage et le coffrage n'est pas à considérer car le béton peut contourner la barre et n'aura pas besoin de s'étaler continuellement à travers cet espace. La capacité de passage peut être déterminée à l'aide de trois dispositifs, le cône d'Abrams en présence du J-Ring, la boîte en L (L-Box) et la boîte en U (U-Box) (Tableau 1.2)

Tableau 1.2 Essais permettant la détermination de la capacité de passage**[44]**

Propriété	Essais à réaliser
Capacité de passage	- Etalement au cône d'Abrams en présence d'anneau de bars (J-Ring test) - Temps à T_{50} au cône d'Abrams en présence du J-Ring - Différence d'Hauteurs au J-Ring - Essai de la Boite en L (L-Box test) – Mesure de H2/H1 -Essai de la boite en U (U-Box test)

C) Capacité au remplissage

La capacité au remplissage du béton est définie comme l'habilité du béton à entreprendre un changement dans sa forme sous l'effet de son poids propre **[51]** , même dans le cas de présence d'obstacles qui peuvent interférer avec son écoulement. Cette capacité au remplissage peut être déterminée à l'aide de deux dispositifs, le cône d'Abrams et l'Orimet (Tableau 1.3).

Tableau 1.3 Essais permettant la détermination de la capacité de remplissage**[44]**

Propriété	Essais à réaliser
Capacité au Remplissage	- Etalement au Cône d'Abrams (Slump-Flow) - Temps à T_{50} au cône d'Abrams (T_{50} Slump-Flow) - Temps d'écoulement à l'entonnoir en V (V-Funnel) - Etalement au cône d'Abrams en présence d'anneau de bars (J-Ring test) - Etalement au Tube Orimet (Orimet) - Essai du caisson (Fill Box)

D) Rhéologie des BAP

La rhéologie est une branche de la mécanique qui étudie l'écoulement des matériaux et l'interaction entre les états de sollicitations (contraintes) et les déformations, en fonction de leurs caractéristiques de viscosité, d'élasticité et de plasticité.

Comme certains matériaux ne répondent pas exactement à la théorie de l'élasticité et de la mécanique des fluides, le vocable « rhéologie » a été inventé par des physiciens spécialistes de l'étude des matériaux dirigés par E.C. Bingham **[52].** Entre le solide parfait et le liquide parfait newtonien, il est apparut nécessaire d'élaborer cette discipline nouvelle. L'intérêt de la rhéologie grandit chaque jour depuis son apparition en 1928 **[53]** avec l'apparition de nouvelles substances au comportement complexe tel que : pâtes, boues, suspensions, émulsions, polymères, etc. Pour le cas du béton, on s'intéressera à l'étude de l'écoulement du béton alors qu'il est encore à l'état frais et maniable.

Certaines substances qui peuvent s'écouler montrent toutefois une capacité à conserver une certaine forme sans que cette matière ne soit soutenue par un moule. Par exemple, du béton dans un cône d'affaissement aura exactement la forme du moule et lorsque le moule est

soulevé, le béton adopte une nouvelle forme pour laquelle toutes les forces de cisaillement sont inférieures à la résistance en cisaillement du béton. C'est l'existence de ce seuil de cisaillement qui fait que le béton peut conserver cette forme malgré la force de gravité qui tend à niveler le béton complètement **[53]** . De tels corps montrant un seuil de cisaillement avant écoulement sont non Newtonien et dit plasto-visco-élastique. Un cas particulier de ce type de comportement est le cas du corps de Bingham (Figure 1.30) lequel présente une relation linéaire entre le taux de cisaillement et la contrainte de cisaillement après avoir franchis le seuil de cisail1ement **[53].**

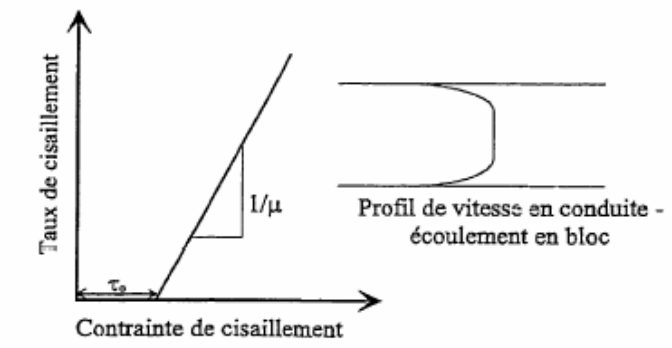


Figure 1.30. Rhéogramme du corps de Bingham et profil de vitesse en conduite **[53].**

D'après Couarraze et Grossiord **[53]** , Bingham modifie de la façon suivante l'équation a base de Newton

$$T = \tau 0 + \mu \gamma$$

Dans cette équation, les deux coefficients sont et caractérisent entièrement le comportement rhéologique du matériau. Le premier, τ0 est le seuil de cisaillement et le deuxième, μ est la viscosité plastique. Ceci implique que si une seule mesure couple-vitesse (ou contrainte de cisaillement et taux de cisaillement) est effectuée (Figure 1.31), le corps de Bingham ne peut être différencié de celui de Newton car une droite ne passant pas par l'origine doit nécessairement être définie par au moins deux points **[53]**.

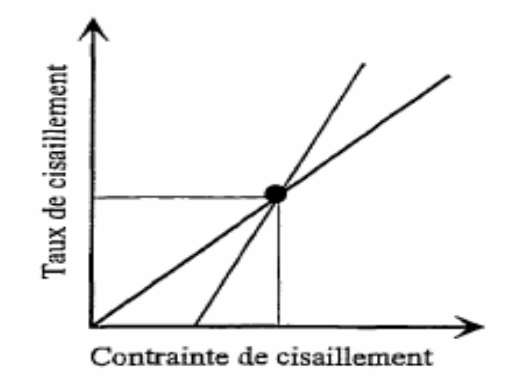


Figure 1.31. Rhéogramme d'un fluide newtonnien et d'un binghamien **[53].**

Tous les fluides plastiques présentent un écoulement à noyau ou écoulement en bloc. En conduite, si la pression appliquée pour déplacer le corps n'est pas assez élevée pour vaincre le seuil de cisaillement pour toute la masse du corps, au centre, le corps se déplacera en bloc alors qu'en périphérie, le corps s'écoulera comme un liquide. L'exemple le plus familier est celui de la pâte dentifrice qui sort en boudin lorsqu'on presse le tube. Le noyau est très important car la pression appliquée est faible.

1.4.5 Essais de caractérisation des BAP à l'état frais

1.4.5.1 Essais sur mortier frais

- Le BAP a un volume en gros granulats moins important que le béton ordinaire, et donc les propriétés du mortier sont dominantes.
- L'évaluation des propriétés du mortier est une partie intégrale de la formation des BAP, et donc la connaissance des propriétés du mortier est utile.
- Tester un mortier est beaucoup plus commode que tester un béton.

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique placé sur plaque en verre, une fois le moule soulevé, le diamètre d'étalement du mortier est mesuré suivant deux directions perpendiculaire, la moyenne est retenu. (Figure 1.32).



Figure 1.32. Essai d'Etalement pour mortier.

Dans l'essai de l'entonnoir (V-funnel), l'entonnoir est rempli de 1.1 litre de mortier, et untemps d'écoulement est calculé entre l'instant de l'ouverture de l'orifice de l'entonnoir etl'instant de l'apparition de la première lumière en regardant verticalement vers le bas del'entonnoir. Figure (1.33)

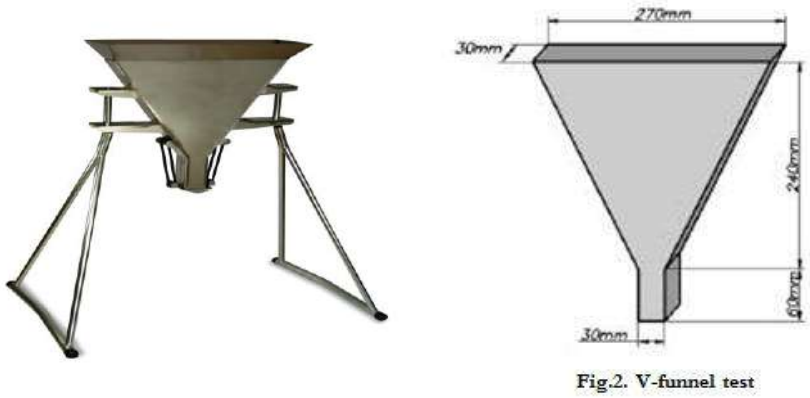


Fig 1.33. Essai à l'Entonnoir pour mortier.

1.4.5.2 Essais sur béton frais

A) Essai de l'étalement au cône d'Abrams

L'essai le plus courant, car le plus facile à mettre en œuvre, permettant d'évaluer la fluidité est l'essai d'étalement réalisé avec le cône d'Abrams. Le principe de cet essai est de mesurer le diamètre moyen final que prend le béton après le soulèvement vertical du cône Figure(1.34)

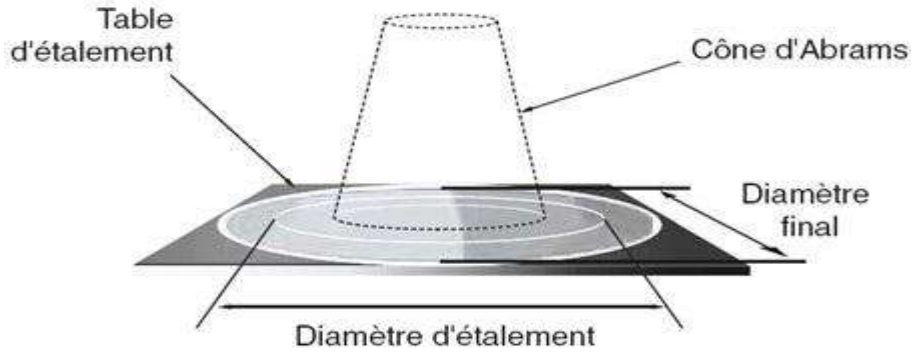


Fig.1.34. Essai d'étalement (slump flow)**[44].**

Le diamètre de la galette de béton est le paramètre caractérisant de la fluidité, plus il est grand, plus le béton est fluide (grande capacité de remplissage). L'étalement final d'un béton autoplaçant peut varier entre 50cm et 80cm en fonction de l'utilisation du béton **[54], [55].**

Ceci permet aussi de détecter visuellement les premiers signes de ségrégation du béton (présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette, accumulation de gravier au centre d'une galette de mortier).

- **Mesure de la vitesse d'étalement**

Le temps de passage de la galette de béton à un diamètre de 50cm donne une idée sur la vitesse de déformation du béton. Cette mesure, le T_{50}, est une valeur qualitative. En général, des valeurs élevées de T_{50} traduisent un béton de vitesse de déformation faible (viscosité élevée). Pour un béton autoplaçant, la littérature mentionne des valeurs allant jusqu'à 7 secondes **[56]** , **[57].**

Cependant, certains auteurs considèrent que cette valeur peut atteindre 12 secondes, pour des bétons autoplaçants avec une faible vitesse de déformation **[58], [59].**

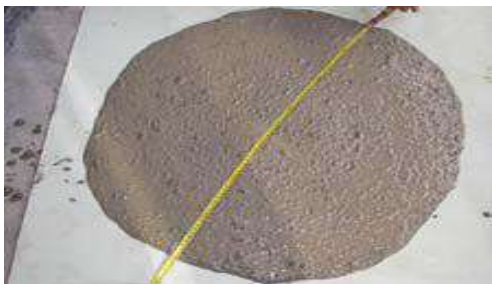


Fig.1.35. Détermination de l'étalement

B) Essai de l'écoulement à l'entonnoir (V-funnel)

Cet essai permet une éva luation qualitative du béton autoplaçant **[60]** : il caractérise la capacité de passage du béton à travers un orifice. L'entonnoir existe en dimensions différentes, et il est destiné à imposer un écoulement du même type que celui imposé entre deux armatures parallèles. Le plus souvent, la partie inférieure de l'entonnoir est rectangulaire de dimensions 7,5 cm x 6 ,5 cm. Elle est équipée d'une trappe (figure1.36).

L'essai consiste à observer l'écoulement du béton à travers l'entonnoir et à mesurer le temps d'écoulement entre le moment où la trappe est libre et le moment où on aperçoit le jour par l'or ifice. Le béton autoplaçant doit s'écou ler avec une vitesse constante ; un simple changement de vitesse de l'écoulement est un signe de blocage, donc de ségrégation dans le béton. Cet essai permet aussi d'évaluer la viscosité du béton lors d e l'écoulement : pour des bétons de même étalement au cône d'Abrams Par exem ple, la viscosité est d'autant plus élevée q ue la durée de l'écoulement à l'entonnoir est longue **[61]**

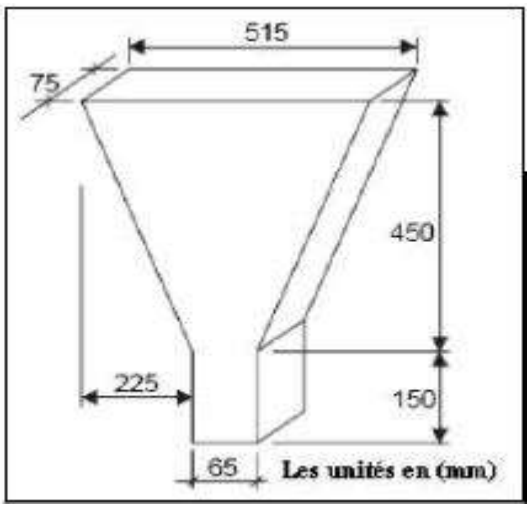


Fig 1.36. Essai d'entonnoir (V-funnel)**[44].**

Le temps d'écoulement d u béton autoplaçant à l' entonnoir doit être généralement inférieur à12 secondes **[61]** . Quelques recommandations visent un temps compris entre 5 secondes et 12 secondes pour obtenir un béton de viscosité suffisante **[61].**

1.4.6 Domaines d'application du béton autocompactant

Les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton La plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, poutres, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.).

Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation de structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique est délicate, c'est-à-dire, présentant des **[62]** :

- Densités de ferraillage importantes

- Formes et géométries complexes : voiles, courbes,

- Voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts,

- Voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures

- Exigences architecturales et qualité de parement particulière.

. Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation de structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique est délicate, c'est-à-dire, pré- sentant :

– Des densités de ferraillage importantes
– Des formes et des géométries complexes: voiles courbes, etc.
– Des voiles minces et de grande hauteur: piles de ponts, etc.
– Des voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.
– Des exigences architecturales et de qualité des parements particulières.
– Des accès difficiles voire impossibles pour déverser le béton dans le coffrage et pour assurer la vibration .

Le pont Akashi Kaikyo figure (1.37), le plus long pont suspendu au monde (3910 m) où 390 000 de béton autoplaçant ont été versés dans les coffrages des fondations et des piliers très congestionnés sans vibration (OKAMIRA et coll.1994).



Fig 1.37. Le pont Akashi Kaikyo. **[62].**



Fig.1.38. Béton fluide pour fondation .

1.4.7 Mise en oeuvre des BAP

La principale différence, entre un BAP et un béton traditionnel, réside dans le comportement du matériau à l'état frais et donc dans sa mise en oeuvre. La spécificité d'un BAP est d'être extrêmement fluide. Il se compacte sous l'effet de son propre poids et ne nécessite donc pas de vibration pour être mis en place. Par ailleurs, le matériau doit être stable pour assurer l'homogénéité de la structure finale.

En terme de mise en oeuvre, les BAP offrent des conditions plus souples que le béton traditionnel du fait de la suppression de la vibration. Un autre avantage majeur des BAP est la réduction de la durée de la phase de coulage : la vidange de la benne se fait plus rapidement, l'écoulement du matériau est bien évidemment plus aisé, la phase de vibration est supprimée et l'arase supérieure est plus facile à réaliser.

- **Coulage**

La méthode traditionnelle de remplissage par le haut du coffrage peut être utilisée avec une hauteur de chute plus importante. Il convient cependant de la limiter à 5m, pour éviter des problèmes de ségrégation dus à la chute du béton dans le coffrage **[63]** . L'utilisation d'un tube plongeur peut être une alternative pour limiter la hauteur de chute du matériau.

La fluidité des BAP permet par ailleurs l'injection du matériau en pied de coffrage, même pour des éléments verticaux.

D'après les recommandations de l'AFGC **[63],** quel que soit le mode de remplissage retenu, il convient de limiter la longueur de cheminement horizontal dans les coffrages. Une perte d'homogénéité peut en effet se manifester lorsque ce cheminement est trop important. Ainsi, la longueur de cheminement maximale préconisée est de 10 m. (Dans certains cas, elle peut être limitée à 5 m).

- **Coffrage**

Différentes études ont montré que la pression exercée par les BAP sur les coffrages était plus faible que celle attendue, et dépendait de la vitesse de remplissage du coffrage **[64.65]**. D'après Assaad et Khayat **[66]** l'augmentation de la vitesse de coulage de 5 à 25m/h induit une augmentation de pression de 15% de l'hydrostatique sans, toutefois, un effet significatif sur la chute des pressions avec le temps. Ceci proviendrait du caractère thixotrope du matériau, c'est à dire de sa capacité de structuration au repos **[67]** . La pression exercée par le BAP sur le coffrage dépendrait non seulement de la vitesse à laquelle il est mis en place mais également du mode de remplissage choisi. Lorsque le remplissage est effectué rapidement ou lorsqu'il est effectué en pied de coffrage, la pression latérale exercée sur le coffrage serait de l'ordre de la pression hydrostatique car le matériau n'a pas le temps de se structurer. En revanche, un remplissage plus lent et effectué par le haut du coffrage permet au matériau de se structurer et se comporte toujours comme un fluide **[67]**.

Concernant la préparation des coffrages, notamment vis à vis de l'étanchéité et de l'absence de débris, les précautions à prendre sont similaires à celles pratiquées pour les bétons traditionnels **[63]** . Les recommandations de la FFB **[68]** précisent cependant que l'étanchéité en pied de coffrage est essentielle et que la propreté des coffrages est à vérifier tout particulièrement. En effet, l'aspect de surface des BAP étant un de leurs principaux atouts, il convient d'apporter un soin particulier à la préparation des coffrages. Ce temps de préparation supplémentaire n'est cependant pas pénalisant pour l'avancement du chantier et reste négligeable face au gain de temps apporté par la suppression de la phase de vibration.

Selon Matabee et al **[69]** la perte de pression pour un BAP, dans le cas de coulage par pompage, est de l'ordre de 40% par rapport au béton vibré. D'après Assaad et Khayat **[70]** la pression latérale exercée sur le coffrage d'un BAP ayant 650±15 mm d'étalement est significativement influencée par la concentration des gros granulats. Plus le volume de ces

derniers est important, moins importante est la pression maximale initiale et plus vite elle diminue.

- **Vibration**

L'absence de vibration simplifie par ailleurs le calage des armatures et des réservations. Comme pour les bétons traditionnels, il convient de vérifier les conditions atmosphériques avant coulage. En dehors de la gamme 5-25°C, des dispositions particulières sont à prendre **[68,71].** Andriamanantsilavo et al **[72]** ont étudié l'influence de la vibration sur la cinétique des pressions pour les pâtes (E/C=0.36). L'absence de vibration entraîne un ralentissement du déroulement des différentes phases. Ce ralentissement est d'autant plus significatif que la hauteur du mélange augmente. L'absence de vibration retarde l'annulation de la pression de 90 minutes.

- **Cure**

Une attention particulière doit être portée à la cure des BAP, c'est à dire à la protection mise en oeuvre pour éviter l'évaporation, et particulièrement dans le cas d'applications horizontales. Le faible ressuage **[73]** des BAP les rend en effet plus sensibles au retrait plastique **[63,74]** . D'une manière générale, il est recommandé d'éviter une évaporation trop importante dans les premières heures après mise en oeuvre [**63].** D'après les recommandations de la FFB **[68]** , comme pour tous les bétons ayant reçu un produit de cure, le ponçage ou le grenaillage est obligatoire avant la pose de tout revêtement solidaire au support. Cette préparation doit être réalisée le plus tard possible dans le cas des bétons autonivellants (applications horizontales), au minimum après 28 jours. Rilem **[75]** confirme ce qui a été dit.

- **Transport**

La réception du béton sur chantier doit permettre de vérifier l'aptitude du béton à être mis en oeuvre sans aucune vibration et la conformité à la formule nominale. Cette opération est essentiellement basée sur la mesure de l'étalement.

En raison de sa fluidité élevée, le BAP ne peut être transporté qu'au moyen d'un camion malaxeur. Il est indispensable de faire tourner la toupie lentement pendant toute la durée du transport. Un clapet de fermeture est recommandé pour les transports dans des endroits à forte pente. Avant de décharger le béton, il faut faire tourner la toupie à vitesse élevée durant deux minutes environ **[76].**

1.4.8 La formulation des bétons autoplaçants

La formulation du BAP repose sur les mêmes bases technologiques que celles d'un béton vibré. Dans le cas du béton vibré, il s'agit de remplir les vides entre les granulats avec la pâte de ciment composée de ciment, d'additions et d'eau, afin d'obtenir un béton offrant les qualités requises (ouvrabilité et compacité). Par contre dans le cas du BAP, la pâte de ciment doit non seulement remplir les vides intergranulaires, mais il faut en plus prévoir un volume excédentaire d'environ 65 à 100 l/m^3. Dans le cas d'un mélange constitué exclusivement de granulats concassés, cette valeur peut même s'élever jusqu'à 100 à 120 l/m^3.

Cet excédent constitue une condition indispensable aux propriétés de fluidité exceptionnelles des BAP. Étant donné que le volume des vides du mélange varie en fonction de la nature et de la provenance des granulats, ceci peut entraîner des adaptations et modifications de la composition d'un BAP dans chaque cas particulier.

Les différentes propriétés des bétons autoplaçants (fluidité, viscosité, résistance à la ségrégation, aptitude au remplissage, etc.) rendent leur formulation relativement compliquée. Même si de nombreuses études ont été effectuées pour comprendre les principes qui régissent le comportement de ces bétons en milieux confinés, aucune méthodologie pratique de formulation ne semble avoir été établie, permettant à un chercheur ou à un ingénieur de fabriquer un béton autoplaçant à partir de données de base sur les matériaux locaux et un cahier de charges précis **[77].**

Réaliser un béton autoplaçant est une opération complexe qui nécessite de trouver une bonne combinaison de matériaux compatibles, et le dosage convenable de chacun de ces constituants afin d'obtenir une formulation répondant aux propriétés des BAP.

Il est impossible de réaliser une formulation universelle de béton autoplaçant; chaque chantier utilisant ses propres matériaux (matériaux locaux) doit mettre au point sa propre formulation.
De multiples approches se sont développées à travers le monde pour la formulation d'un béton autoplaçant. Nous rapportons un exposé général sur les approches principales et quelques de ses modifications.

1.5 VALORISATION DES DECHETS DE CERAMIQUES DANS LES MATERIAUX A BASE CIMENTAIRES

1.5.1 Etats frais

A) L'ouvrabilité

❖ Md Daniyal et al **[84]** ont étudie l'influence de déchets céramiques (tuile) (avec des pourcentages de (0%,10%,20%,30%,40% et 50%)) sur l'ouvrabilité du béton ordinaire. Ils ont conclus que l'affaissement du béton est diminué en fonction d'augmentation du pourcentage de déchets céramique (Fig.1.39).

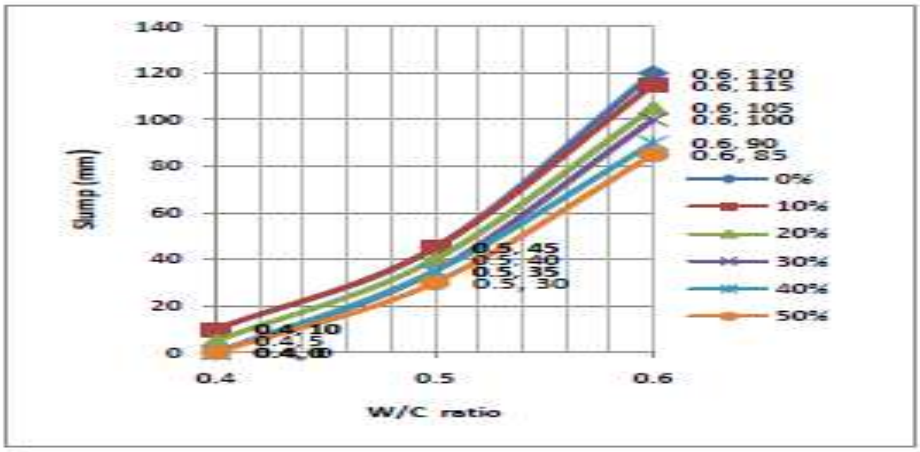


Fig.1.39. L'ouvrabilité du béton à base de déchets céramiques. **[84]**

B) La densité

❖ Md Daniyal et al **[84]** ont étudié l'influence de déchets céramiques (tuile) avec des pourcentages de (0%,10%,20%,30%,40% et 50%) sur la densité du béton ordinaire dans ce cas nous voyons que la densité diminue et comme un résultat en peu facilement remarquer que le béton a une masse volumique à été inversement touchée par l'augmentation de la proportion de ciment .

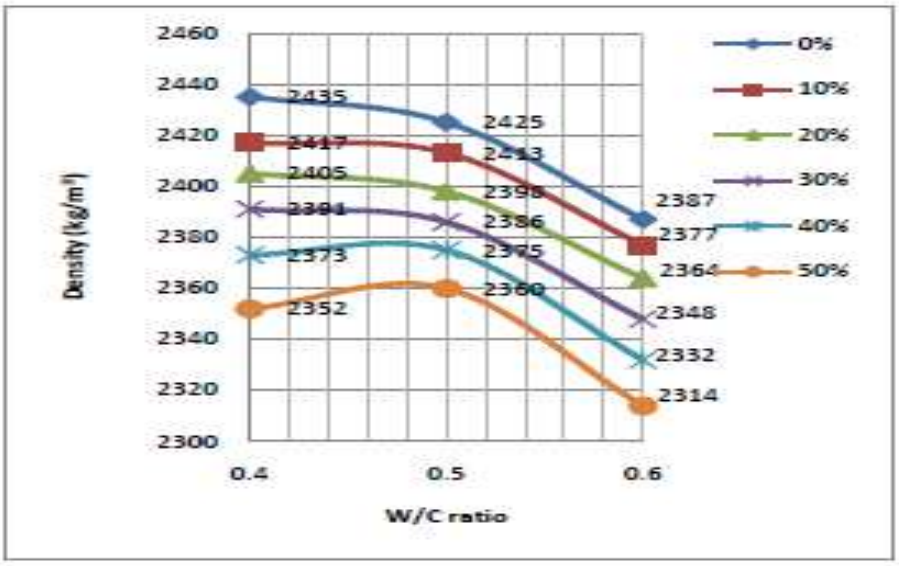


Fig.1.40 La densité du béton à base de déchets céramiques. **[84]**

1.5.2 Etat durci

A) Absorption capillaire

❖ Hadjoudja.M et al **[85]** ont montré que l'absorption capillaire de béton de sable est augmenté en fonction d'augmentation de pourcentage de fillers de brique (figure 1.41).

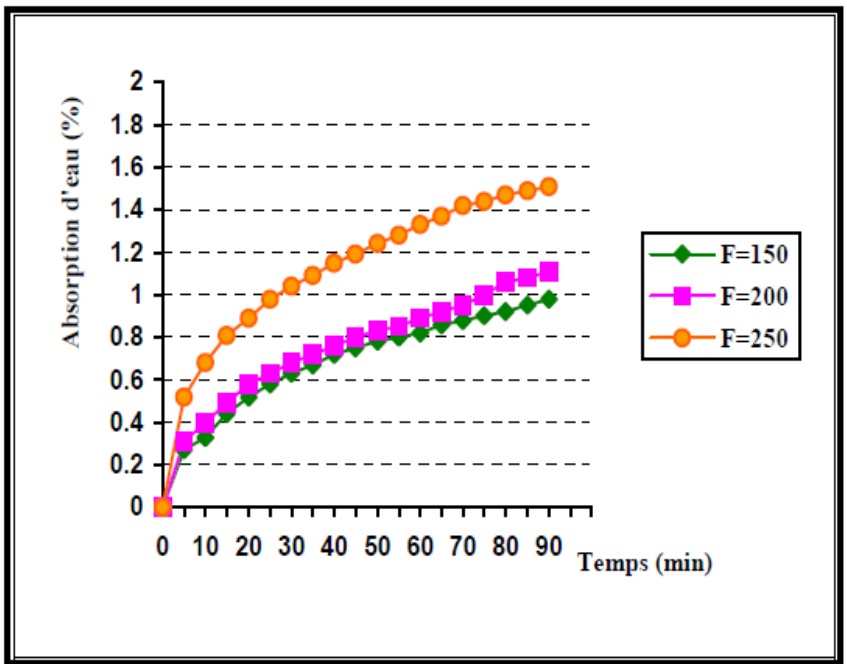


Fig 1.41. Absorption d'eau des bétons à base de dechet de céramique (brique) **[85].**

b) Résistance à la compression

❖ Saikia et al **[86]** ont conclus dans ces étude sur l'influence de déchets céramiques sur le comportement mécanique de béton que la résistance à la compression est augmentée en fonction d'augmentation du pourcentage de déchtes de céramiques (figure 1.42).

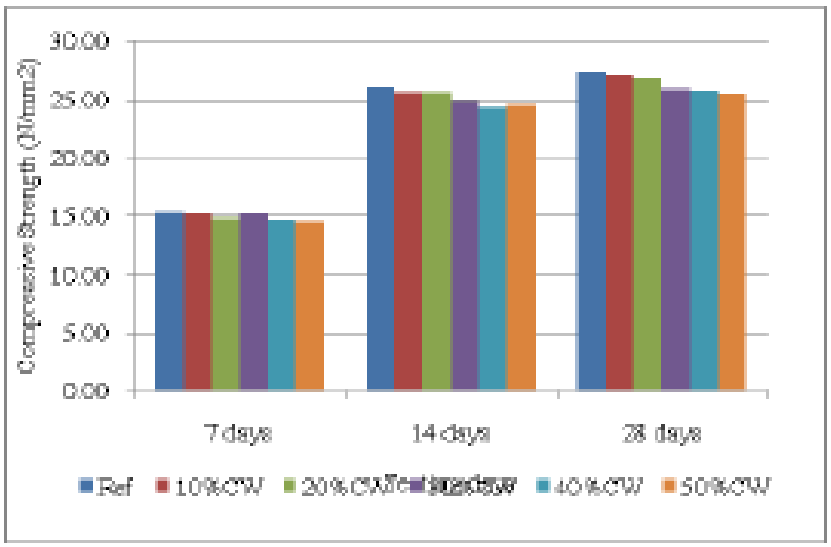


Fig 1.42. Évolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage déchets céramique **[86].**

1.6 CONCLUSION

Cette partie de recherche bibliographique a été mené pour revue la problématique des déchets solide et comment recycler ainsi que de leurs valorisations , Ensuite, nous avons consacré l'étude sur le déchets de faïences pour faire le point sur les connaissances relatives à la durabilité des BAP et BS, bétons de fabrication récente, par rapport à celle des bétons ordinaire et ceux à base des déchets de faïences**.**

De cette lecture sur les déchets solide (faïence) , on peut sortir avec une conclusion donnant les points essentiels de ce qu'il faut retenir. c'est que nous devons exploiter ces déchets dans de domaine de génie civil et pour son importance dans la préservation de la nature et à des fins économiques importantes.

Chapitre0 2 :

Matériaux et essais

2.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre on présente les matériaux utilisés pour la confection des bétons avec leurs caractéristiques et les essais faites au laboratoire, comme pour tous les bétons, la formulation doit être définie avec le plus grand soin et les grandeurs caractéristiques sont classiques et bien connues à savoir :

- la granularité ou le fuseau granulaire du squelette.
- les dosages en sable, ciment, d'addition, d'eau et d'adjuvant.

La caractérisation des bétons de sable autoplaçant à base de déchet de faïence, à l'état frais et à l'état durci, nécessite de définir les corps d'épreuve sur lesquels seront mesurées les grandeurs spécifiques du matériau et les techniques d'essai. Les différents essais faits au cours de ce travail sont :

A)Sur béton frais

- Etalement au minicôneNF EN 12350-8 **[91].**
- Densité NF EN 12350-6 **[92],** NA 436 **[93].**
- v-fanal NF EN 12350-9**[94].**
- Air oclue **NF EN 12350-7[88].**

B) Sur béton durci

- Compression pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions 4×4×16cm NF P 18-412 **[95]** [NF EN 196-1] **[87]**.
- Absorption d'eau par capillarité NF 13057 **[96].**
- Retrait et Gonflement NF P 15-404 **[97].**

2.2 CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES

Pour la confection des bétons, des matériaux locaux de la wilaya de Médéa ont été utilisés et caractérisés expérimentalement au laboratoire de génie civil du Hall de Technologie del'université de Médéa et suivant les normes en vigueur.

Le choix des matériaux s'est porté, tout d'abord, sur leur disponibilité dans la région (Médéa) et surtout pour fabriquer un bétoncomparable à celui utilisé dans les chantiers.

2.2.1 Ciment

Un seul type de ciment est utilisé au cours de cette étude expérimentale. Il s'agitd'un ciment portland composé CEM II/A 42.5R, produit par la cimenterie CIBA-LAFARGE à M'sila en Algérie dont l'ajout est le calcaire,et commercialisé sous le nome de EL MATINE.

A. Définition

Le ciment ç'est une poudre grisde hautes résistances initiales et finales, 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.

Ce ciment présente des performances mécaniques et des caractéristiques physicochimiques on forme à la norme NA 442 **[89],** et à la norme NF P 15-301 **[90].**



Fig. 2.1 Le ciment utilisé.

B. Analyse et caractérisation

Le Tableau ci-dessous (2.1) résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique de ciment (Annexes).

Tableau 2.1 : Analyse chimique du ciment et composition du clinker.

Analyse chimique du ciment	Perte au feu (%)	10.0±2[104]
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00[104]
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	2.5±0.5[104]
	Teneur en oxyde de magnésium MgO(%)	1.7±05[104]
	Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	0.02-0.05[104]
Composition hypothétique du clinker	Silicates tricalciques C3S (%)	60±3[104]
	Aluminates tricalciques C3A (%)	7.5±1[104]

Au tableau (2.2) nous présentas les différents caractéristique physique er mécanique du ciment utilisé dans cette étude.

Tableau 2.2 : Caractéristique physiques du ciment.

Caractéristique		Valeur
Masse volumique absolue (g /cm^3)		0.99
Masse volumique apparent (g /cm^3)		3.04
Consistance normale de la pâte de ciment (%)		26.5±2.0[104]
Prisométrie (Min) - **Début de prise** - **Fin de prise**		 150±30[104] 230±50[104]
Classe de résistance (MPa)		≥ 42.5[104]
Retrait à 28 jours(µm/m)		< 1000[104]
Finesse (BLAINE)(cm^2/g)		3700-5200[104]
Expansion(mm)		≤3.0[104]
Résistance à la compression (MPa)	2 jours	> 10[104]
	28 jours	≥42.5[104]

2.2.2 Le sable

Le sable utilisé dans cette étude est un sable naturel de OUED SOUF provenant de la région deOUED SOUF, située à600 km au sud-est d'Alger, sa classe granulaire est 0/3. La Figure.2.2 suivantedonne un aperçu sur la nature de ce sable utilisé et ces les propriétés physiue sont représentées dans le Tableau.(2.3)



Fig2.2 Sable roulé d'Oued Souf utilisé

L'analyse granulométrique de sable utilisé est présentée sur la Figure (2.3) suivante :

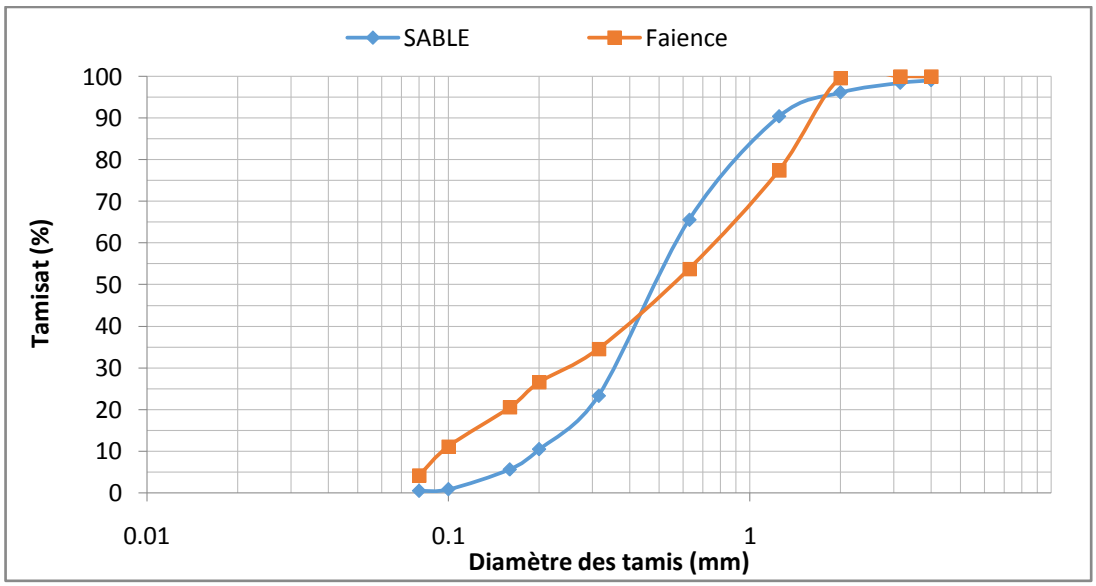


Fig.2.3 La granulométrie du sable et de déchets de faïences utilisés.

Tableau2.3 Propriétés physiques du sable utilisé.

Caractéristique	sable	Normes
Classe granulaire	0 /3	NF EN 933-1**[98]**
Module de finesse	2.02	
Masse volumique absolue (g/cm3)	2.64	NF EN 1097-6**[99]**
Masse volumique apparente (g/cm3)	1.58	NF EN 1097-3**[100]**
Equivalent de sable (%)	à vue : 88.01	NF EN 933-8**[101]**
	à piston : 82.11	
Compacité (%)	60	NF EN 1097-6**[98]**
La porosité (%)	40	NF EN 1097-6**[98]**
Taux d'absorption d'eau (%)	0.44	NF EN 1097-6**[99]**

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

Le spectre obtenu démontre deux régions avec deux pics d'absorbance maximale caractéristique des groupements fonctionnels , la première région comporte un pic d'une forte intensité , son amplitude tombe vers 3421.23 CM-1 (BANDE_OH alcool , caractéristique typique des polysaccharides) et la deuxième région avec un pic une amplitude vers 3072.71 cm-1 (bande OH caractéristique des acides carboxyliques) , cette dernière constitue une vibration d'élongation du groupe O_ H des dimères d'acide carboxylique avec une absorption d'élongation du groupe O_ H des dimères d'acide carboxylique avec une absorption large de liaison O_ H compris entre 3300 et 2500 cm-1 , tandis qu'une autre région porte deux pics , le premier d'une forte intensité de bande étroite qui absorbe vers 1366.79 cm-1 (bande C_O caractéristique d'un alcane son liaison compris entre 1360 et 1380 cm-1 , le deuxième pic avec une amplitude de 1042.10 cm-1 (bande C_OH caractéristique des alcanes) cette liaison compris entre 1030 et 1060 cm-1 , aussi, le spectre montre une bande de 694.40 cm-1 (bande O_H caractéristique des cycles aromatiques) , la liaison compris entre 660 et 720 cm-1**..**

Le spectre obtenu sur le sable utilisé montre que sa nature est calcaire (Figure2.4).

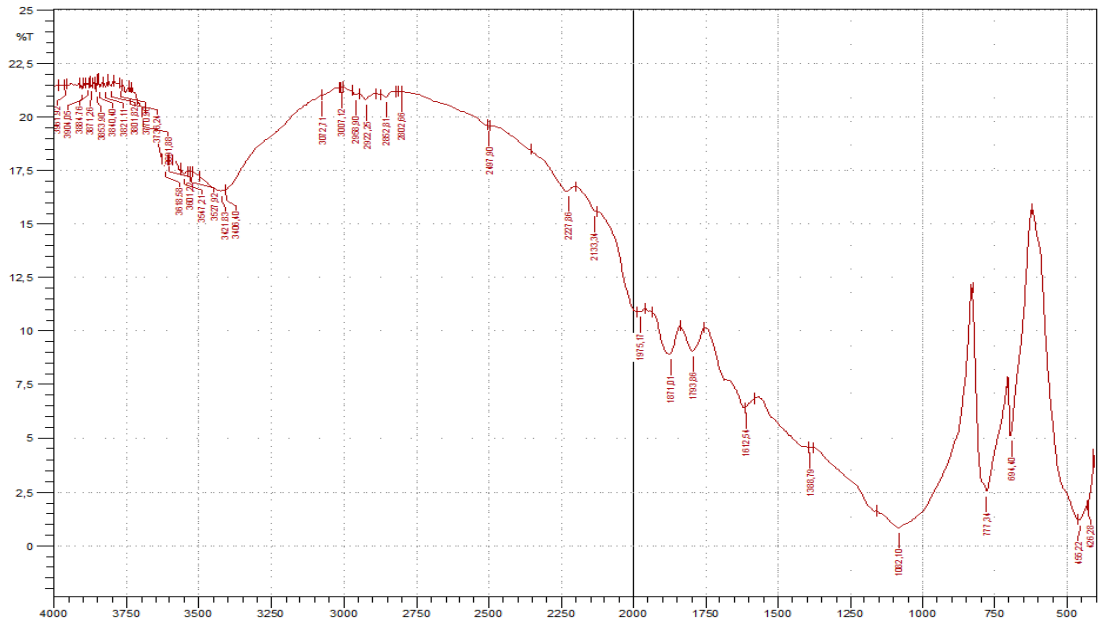


Fig.2.4 Analyse chimique du sable utilisé.

2.2.3 Ajouts (fillers)

Les fillers utilisées dans notre cas sont defillers de marbre (Fig.2.5). Ils sont obtenus par tamisage manuelle (au tamis 80 µm) et broyage des déchets de concassage de roche de marbrese trouvant dans la région de Zawya wilaya de Blida. Rappelons que les fine de marbre sont les plus adaptés au béton de sable et donnent de meilleures performances **[102].**Leurs caractéristiques physiquessontmentionnées dans le Tableau.(2.5)ci-dessous et l'analyse chimiques dans le Tableau. 2.4suivant :

Tableau. 2.4 Caractéristiques physiques de les fillers de marbre utilisées.

Caractéristiques	**Valeurs**
La masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.083
La masse volumique absolue (Kg/ m^3)	2.73
Surface spécifique du Blaine (Cm^2/g)	2423



Fig.2.5 Les fillers de marbre utilisées.

2.2.4Déchets de céramique (faïences)

Les déchets utilisées dans notre études provient de la récupération de déchets de faïencesrejetés dans la nature après avoir récupéré,concassés broyes et tamises(Fig. 2.6) et ajouté dans la masse du béton de sable (par rapport au volume du sable) en différents pourcentage (5% ,10%,15% 20% et25%).Le tableau (2.5) résumé les différentes caractéristiques physiquesdesdéchets de faïencesutilisés.

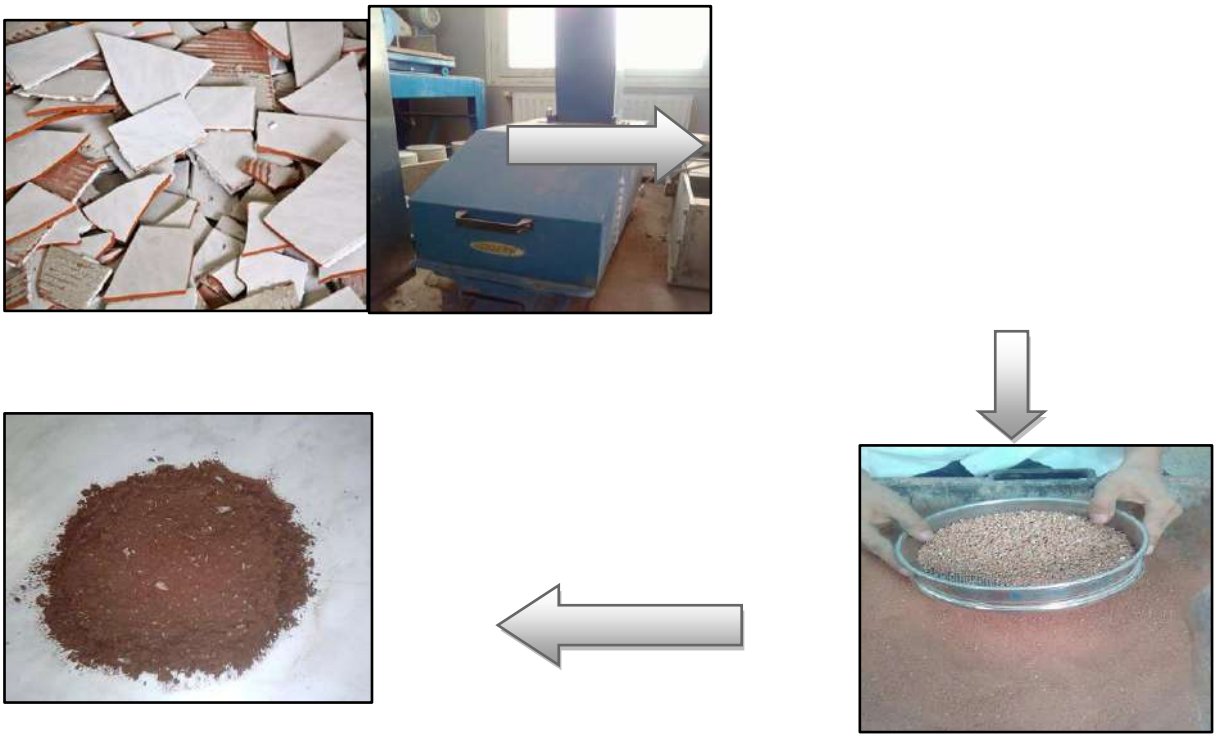


Fig. 2.6procédure de recyclage de déchets de faïences utilisés.

Tableau.2.5 Les caractéristiques de déchets defaïencesutilisés.

Les caractéristiques	Déchets de faïence
Module de finesse	**2.9**
La masse volumique apparente (Kg/m3)	**1.02**
La masse volumique absolue (Kg/m3)	**2.44**
La compacité (%)	**42**
La porosité (%)	**52**
Absorption d'eau (%)	**0.4**

2.2.5 Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la fabrication du BSAP est celle de distribution considérée comme potable, exempte de toute impureté nuisible au béton et conforme à la norme [NF EN 1008] **[103].**

2.2.6 Adjuvant

L'adjuvant utilisé est un super plastifiant haut réducteur d'eau fabriqué par la société, Algérienne Granitex commercialisé sous l'appellation 'MEDAFLUID145', de forme liquide ; de couleur marron ; d'un PH égal à 6, de densité 1,065 ± 0,015 et d'une teneur en chlore <1g/L (Fig. 2.7).



Fig.2.7 L'Adjuvant utilisé.

2.3 PROTOCOL EXPERIMENTAL

La composition du béton de sable autoplaçant pour la confection des éprouvettes est basée sur la méthode théorique SABLOCRETE 1994**[26].**Nous sommes basé sur la confection des bétons dont le nombre de gâchées réalisées s'élève à 6. Avec une gâchée on produit03éprouvettes qui seront destinées aux différents essais de caractérisation, d'où le nombre d'éprouvettes a dépassé 60.

2.3.1 Composition des bétons

Les différentes compositions obtenues sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau. 2.6 Compositions des Béton de sable autoplaçant à base déchets de faïence

Composant (kg/ m³	**BSAPT**	BSAP **5% F**	BSAP **10% F**	BSAP **15% F**	BSAP **20% F**	BSAP **25% F**
Ciment	350	350	350	350	350	350
F/Marbre	250	250	250	250	250	250

Sable	1400	1330	1260	1190	1120	1050
Eau (l / m³)	247.35	247.35	247.35	247.35	247.35	247.35
Adjuvant (%)	1.4	1.4	1.4	1.6	1.7	2
Déchets cérmique	0	64.7	129.39	194.09	258.5	528.18
E/C	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41

(* par rapport à la masse du liant)

BSAPT : béton de sable autoplaçant temoin**.**

BSAPF : Béton de sable autoplaçant à base de déchets de faïences.

2.3.2 Mode opératoire

Le malaxage des bétons obtenus a été effectué à l'aide d'un malaxeur à axe vertical d'une capacité de 5l pour la confection des éprouvettes 4X4X16cm. Le but recherché est de répartir, le plus régulièrement possible, chaque constituant, afin d'assurer un mélange homogène et d'obtenir ainsi les mêmes propriétés. La même procédure de gâchage a été utilisée pour tous les mélanges de béton (Fig.2.9)

1- Introduction du sable et du ciment plus fillers; puis un malaxage à sec pendant 30sec.

2- Ajout deux tiers d'eau de gâchage, puis un malaxage pendant 1minute.

3 – Ajoutdu superplastifiant, on le mélange avec le tiers de la quantité d'eau nécessaire, puis un malaxage pendent 3 min , après laissé reposer 3 minutes et malaxer 1.5min

4 - En cas de béton à base de déchet de céramique on ajoute le sable et ciment plus fillerset le de déchet de céramique, puis malaxage pendent une minute jusqu'à ce qu'on voit tous les constituants soient mouillés et tout le mélange soit homogène ;

5 – Mesurer le diamètre de l'etalement , la densité, le temps d'écoulement à l'entonnoir en (V-Fannel) et l'air occlus.du béton frais immédiatement au fin du malaxage.



Fig. 2.8 Procédure de malaxage

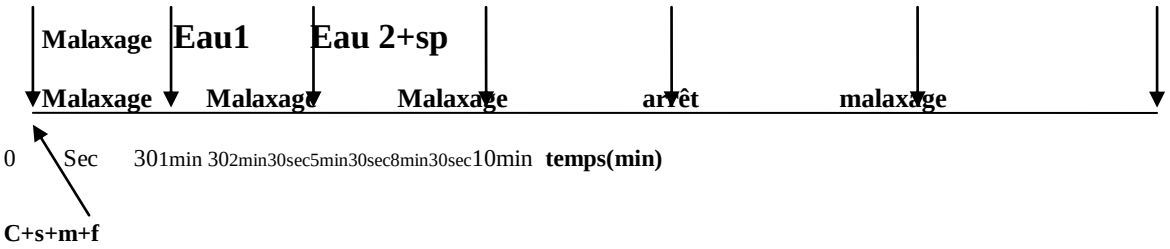


Figure 2.9 Séquence de malaxage du BSAP.

2.3.3 Confections des éprouvettes

Les différents types de bétons de sable autoplaçants sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Le béton a été coulé dansdes éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm destinées aux essais de compression et de variation dimensionnelles , Juste 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 : dans l'eau à 20°C ± 2°C et à l'air libre d'un climat moyen (laboratoire).

Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire pendant environ 24 heures avant l'âge d'essai .



Fig. 2.10 Fabrication des éprouvettes.

2.3.4 Essais réalisés

Deux types d'essais réalisés sont :

- ✓ les essais à l'état frais pour évaluer al'étalement,temps d'écoulement ,air oclue et la densité.
- ✓ les essais à l'état durci pour déterminer les performances mécaniques et la durabilité des bétons de sables autoplaçants.

2.3.4.1Essai réalisé à l'état frais

Les différents essais réalises a l'état frais sont représentés dans le tableau(2.7)

Tableau. 2.7 Essais de caractérisation sur béton de sable autoplaçant à l'état frais.

Essais	Appareil	Nombre d'essais
Diamètre de l'étalement	Mini Cône	5
Temps d'écoulement	Entonnoir en v-fanal	5
Densité	Moule (1L) + balance	5
Air ouclue	Aéromètre à mortier	5

A) L'étalementau mini Cône[91]

L'essai d'étalement au cône permet de mesurer la consistance d'un béton autoplaçantl'équipement utilisé consiste:

• Table d'étalement: Le plateau de la table d'étalement doit être recouvert d'une plaque en acier inoxydable, d'une épaisseur minimale de 2 mm.

• Mini Cône: moule en métal, d'une épaisseurde 4 cm. La paroi intérieure du moule doit être lisse, sans aspérités telles que des protubérances de rivets et sans déformations locales.



Fig.2.11 Mesure de l'étalement de BSAP

B) Ecoulement à l'entonnoir en V-FUNNEL

La norme NF EN 12350-9 **[94]** décrit la méthode de détermination de la durée d'écoulement du BAP 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 ouverte 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 segregation statique, un blocage partiel des granulats pourra également être observé.Figure (2.12) :



Fig.2.12 Mesure du temps d'écoulement.

C) L'air occlus NF EN 12350-7 [**88]**

L'air occlus est le volume d'air relatif qui resterapiégé dans le béton, même après la mise en œuvre. Pourréaliser un béton le plus compact possible, il fautdiminuer le volume d'eau sans augmenter le volumed'air occlus et par conséquent sans diminuer lamaniabilité du mélange. Il est possible d'évaluer laquantité d'air enfermée lors de remplissage d'un volumeen exploitant un volume de référence cylindrique . dans notre cas , et pour évaluer l'air occlus des déférents BSAP nous avant utilisé un aéromètre (LCL) à mortier conformément à la même . Figure(2.13) :



Fig. 2.13Aéromètre à mortier.

D) La densité

La masse volumique du béton de sable a été mesurée selon la norme NF EN 12350-6 **[92]** NA436 **[93].**



Fig. 2.14 Mesure de la densité du béton de sable autoplaçant.

2.3.4.2 Essais réalisé à l'état durci

Le tableau ci-dessous résume les différents essai réalisés sur BSAP à l'état durci :

Tableau. 2.8 Essais sur béton de sable autoplaçant durci.

Essais	Appareil	Nombre d'essais
Compression	Presse hydraulique	10
Retrait	Réctractomètre.	5
Gonflement		5
L'absorption d'eau	/	5

- **Essais de compression**

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [NF EN 196-1] **[87]** par compression pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions 4×4×16 cm, à 3. 7, 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 kN conforme à la norme [NF P 18-412] **[95]**(Figure.2.15).



Fig. 2.15 Presse hydraulique(2000 kN).

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 à la contrainte moyenne d'écrasement sur trois éprouvettes à chaque âge d'essai (3j.7j.28j). (Figure. 2.16).

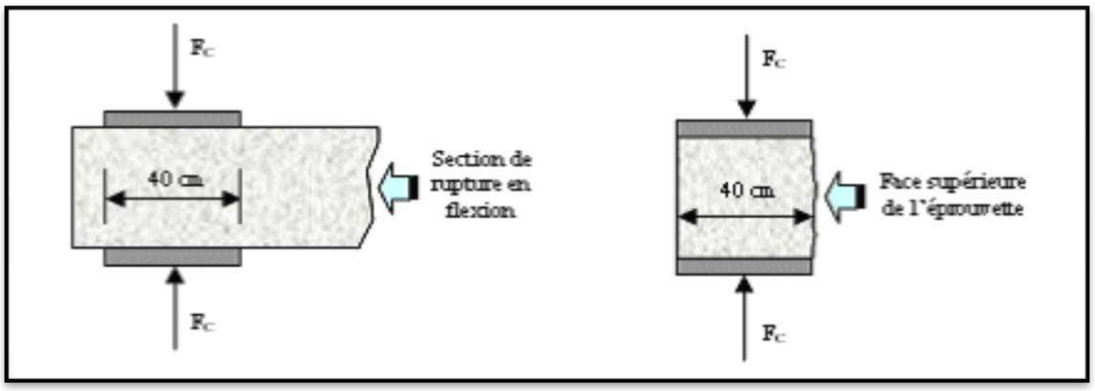


Fig.2.16 Dispositif de rupture à la compression**.**

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiquée sur la Fig. 2.16.

La contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$R_c = F_c / b^2$$

R_c : Résistance à la compression en (MPa).

F : Charge de rupture en (N).

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



a-L'éprouvette avant l'écrasement. b-L'éprouvette après l'écrasement.

Fig.2.17 Dispositif de la résistance à la compression.

- **Absorption d'eau**

Dans cet essai de mesure d'absorption de l'eau de béton, on prend un morceau d'éprouvette de béton déjà sécher et on le pesé (m0), après on introduire le dans un bac remplir de 1 cm d'eau (Fig.2.18), pendant chaque intervalle de temps (15 min, 30 min ,1 h, 2 h ,4h ,24h, on remesure les morceaux (mi), le différent de poids c'est le poids de l'eau absorbé (mi- m0) [NF13057] **[96].**

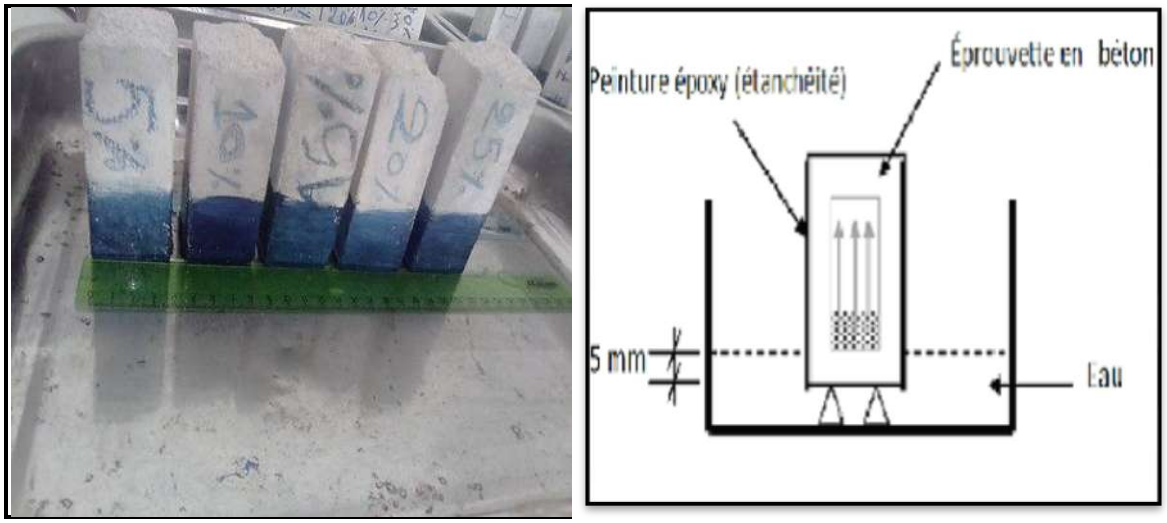


Fig.2.18 Essai d'absorption.

- **Les variations dimensionnelles (Retrait et gonflement)**

En l'absence de toute charge, le béton se déforme instantanément. Ces déformations sont dues essentiellement à une perte d'eau de gâchage par évaporation, qui se traduit par un rétrécissement des éléments en béton.

Le retrait dépend non seulement des conditions de conservation (humidité, température) mais dépend aussi des constituants du béton. Les mesures du retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques de 4x4x16cm conformément à la norme [NF P 15-404] **[97].** Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 h, placées dans un réctractomètre (Fig : 2.19) 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) La conservation des éprouvettes est faite à l'air libre dans le laboratoire à une température de 25 à 30°C en cas de retrait et à l'eau en cas de gonflement.

- **Expression des résultats**

Pour chaque éprouvette ; sont calculés les rapports:

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

L0 : Longueur de base, prise égale à 280mm.

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

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

Le compte rendu donne les valeurs de ces rapports pour les différents âges et pour lesdifférentes éprouvettes mesurées. Les moyennes arithmétiques de ces 3 valeurs à un âgedéterminé caractérisent la valeur du retrait et celle du gonflement à cet âge de l'échantillon(éventuellement, de la variation de masse).

- **Conduite de l'essai**

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar delongueur L = 280 mm Soit dl(t) la valeur lue sur le comparateur au temps t ; l'éprouvette aune longueur au temps considéré :

$$l=L+dl\ (t)$$

Soit l (t0) la longueur de l'éprouvette au temps t0 choisi d'origine. En générale, cetteorigine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes .Lavariation de longueur au temps t sera :

$$\Delta l(t)=l(t)-l(t0)=dl(t)-dl(t0)$$

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

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t0)}{L}$$

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).

2.4 VARIABLES ETUDIEES

Les variables d'étude utilisés au cours de ce travail sont résumées dans la Figure.(2.21) suivante :

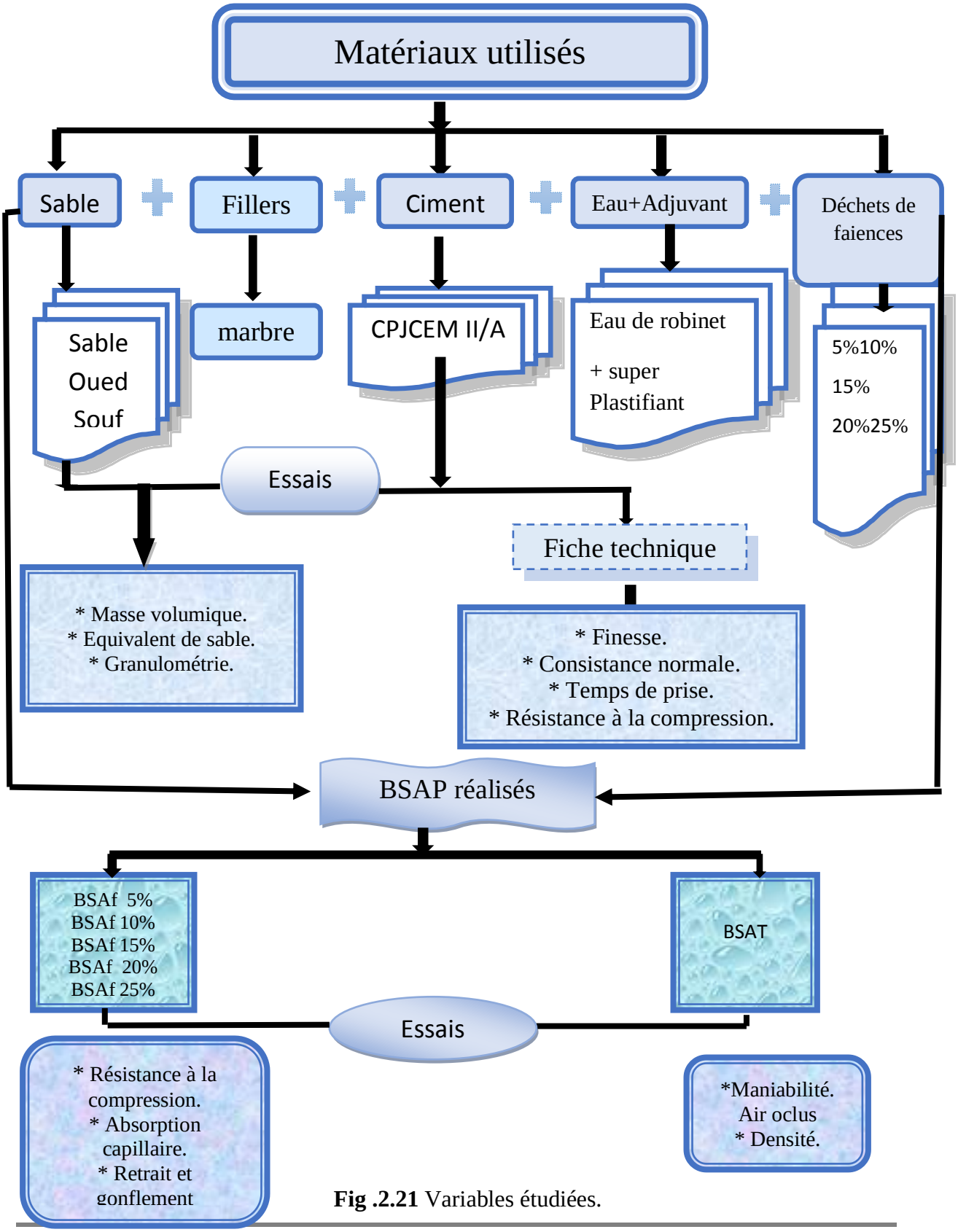


Fig .2.21 Variables étudiées.

2.5 CONCLUSION

L'utilisation des matériaux locaux et des déchets industriels recyclés dans la fabrication du BSAP est constituée une alternative économique et technologique importante dans certains pays en voie de développement.

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

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

- Les procédures expérimentales et les essais faitéau a laboratoire sur le bétons de sable aoutoplaçant à base de déchet de faïences à l'état frais et à l'état durci au cours de cette étude.

- Pour évaluer la durabilité du BSAP à base de déchets de faïencess, nous avons choisi les essais de l'absorption d'eau, les variations dimensionnelles (retrait et gonflement), et la résistance à la compression.

Chapitre 03 :

Résultats et interprétations

3.1 INTRODUCTION

L'objet de ce chapitre estd'analyser et interpréter le résultats obtenus pour les différents essais réalisés. Nous nous intéresserons à l'étude des résultats des essais effectués sur le BSAP après avoir fixer tous les paramètres avec pour seule variable le pourcentage de déchet de céramique (faïence), nous étudierons ensuite l'effet de ces déchets sur le comportement des BSAP à l'état frais et à l'état durci.

3.2 CARACTERISTIQUES DU BSAP A L'ETAT FRAIS

3.2.1 Etalement au mini Cône

L'étalement des différents bétons de sable autoplaçant obtenus est représenté dans la figure 3.1 ci-dessous :

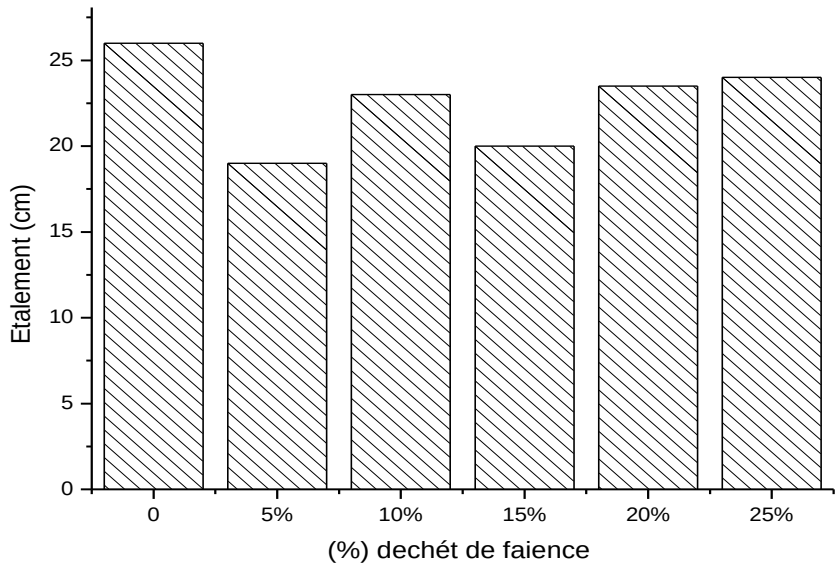


Fig.3.1 Etalement des BSAP à base de déchets de faïences avant reglage.

D'après les figures, on remarque que l'étalement de bétons de sable autoplaçantvarie en fonction dupourcentage de substitution du sable parle déchet de faïence. On constate aussi que plus le pourcentage dedéchets de faïencesaugmente, plus l'étalement diminue.Cela est peut étredue à la couche imperméable de faïence .

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 (26 (cm)est visé) comme indiquela figure(3.2) suivante :

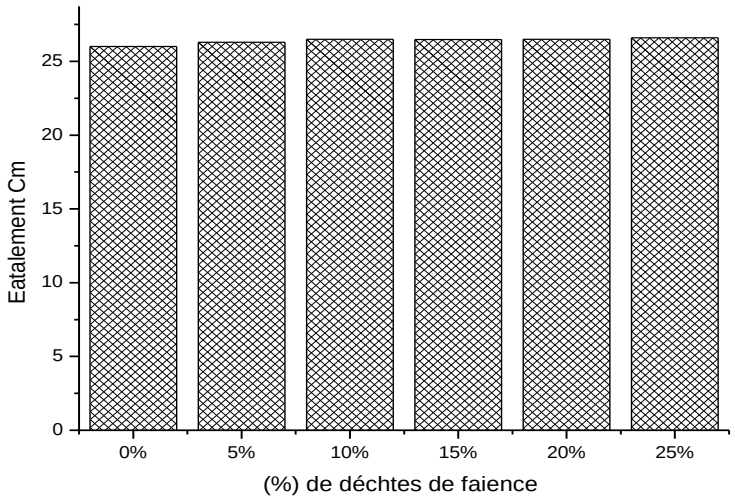


Fig.3.2 Etalement des BSAP à base de déchets de faïences après reglage.

3.2.2Temps d'écoulement dans l'entonnoir (V-Fannel)

La mesure du temps de passage de différents BSAP obtenus est représentée dans la figure 3.3 ci-dessous :

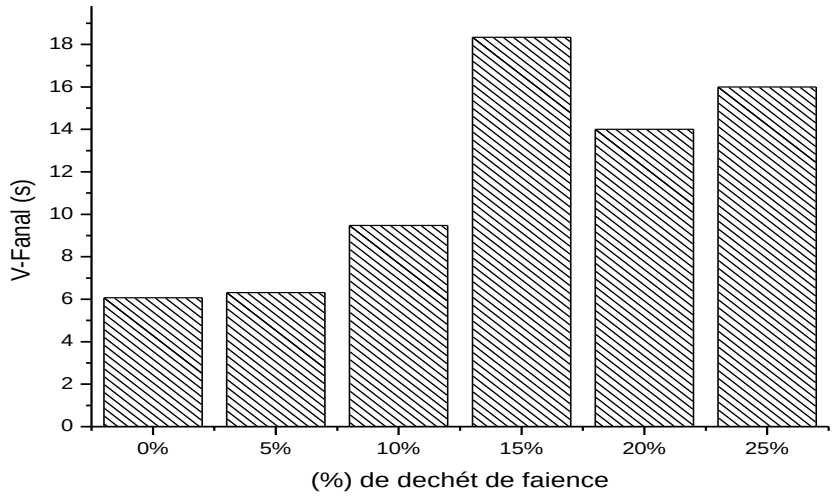


Fig.3.3 Temp d'écoulement de BSAP à base de déchets de faïences.

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

3.2.3 Densité

La densité des différents bétons de sable autoplaçant obtenus est représentée dans la figure 3.4 ci-dessous :

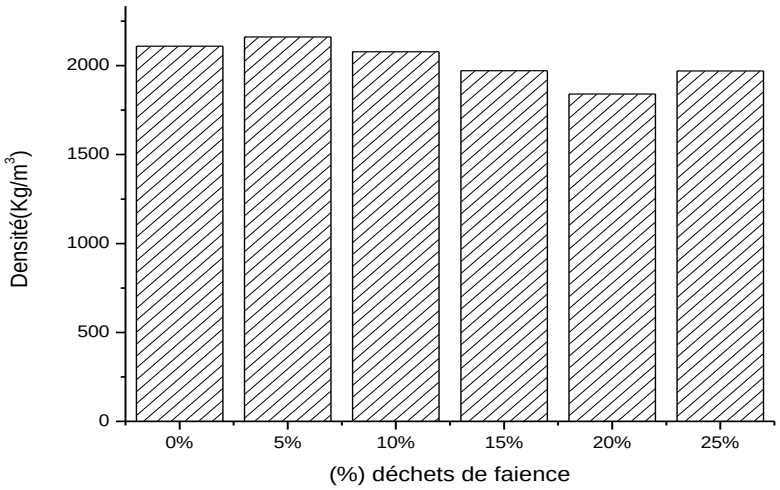


Fig.3.4 Densité des BSAP à base de déchets de faïences.

D'après la figure précédenteon remarque que la densité du béton à base de déchets de faïence est moyennement constante par rapport au béton de sable autoplaçant témoin, ce résultat est logique et estattendu, puisque la densité defaïence est presque égale la densité du sable naturel substitué.Ce qui endiffèrent avec les résultats de Md Daniyal et al**[84].**

3.2.4 L'air Occlus

Dans cet essai, l'air occlus est mesuré (en pourcentage) pour chaque gâché du béton de sableautoplaçant etles résultats obtenus sont résumés dans la figure 3.5 suivante :

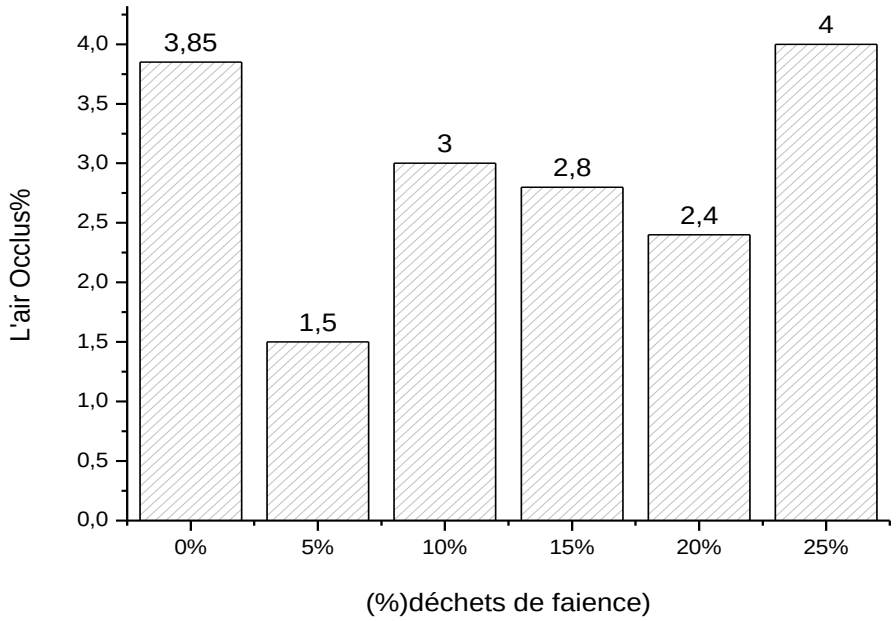


Fig.3.5l'air Occlus des BSAP à base de déchets de faïences.

D'après les résultats obtenus, on remarque que l'incorporation de déchets de faïence à la masse de différents types de béton de sable autoplaçant cause moins d'air occlus par rapport au béton de sable autoplaçant témoin. Cela explique que ces types de bétons sont plus compactes et par conséquence moins poreux par rapport au béton de sable autoplaçantde référence.

3.3 CARACTERISTIQUES DU BSAP A L'ETAT DURCI

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

3.3.1 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 3.6suivante :

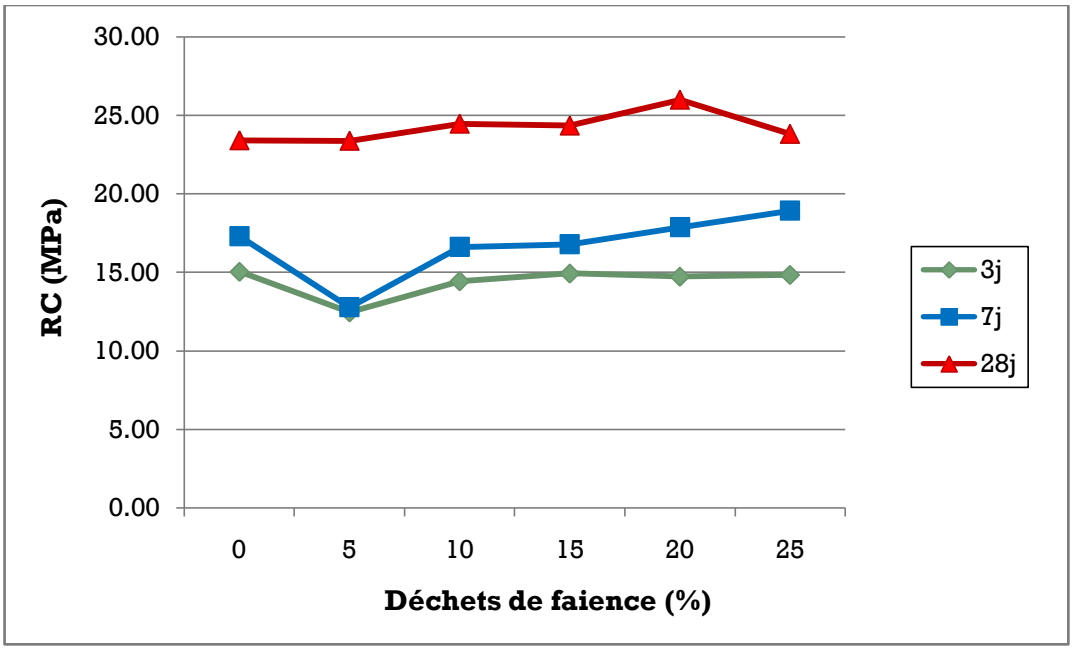


Fig.3.6Résistanceà la compressiondes BSAP à base de déchets de faïences.

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la compression des différents bétons de sable autoplaçantsaugmente en fonction de l'âge et suit la même cinétique que celle du béton de sableautoplaçants de référence. La figure(3.6) montre que la résistance à la compression argumente en fonction de substitution du sable par le déchtes de faïencejusqu'à 20% . Le gain de la résistance est estimé à 11%.Cette augmentation peut s'expliquer par la combinaison entre le sable et le grain de faïence qui mène à l'augmentation de la résistance au delà de 20% la résistance commence à diminuée,Ce qui en concordance avec les résultats de LAKHI JYOTI SAIKIA et al **[86].**

3.3.2 Approche de durabilité

*** Absorption d'eau par capillarité**

Les résultats d'absorption d'eau par capillarité des différents bétons de sable réalisés sont illustrés dans les figures 3.7 suivantes :

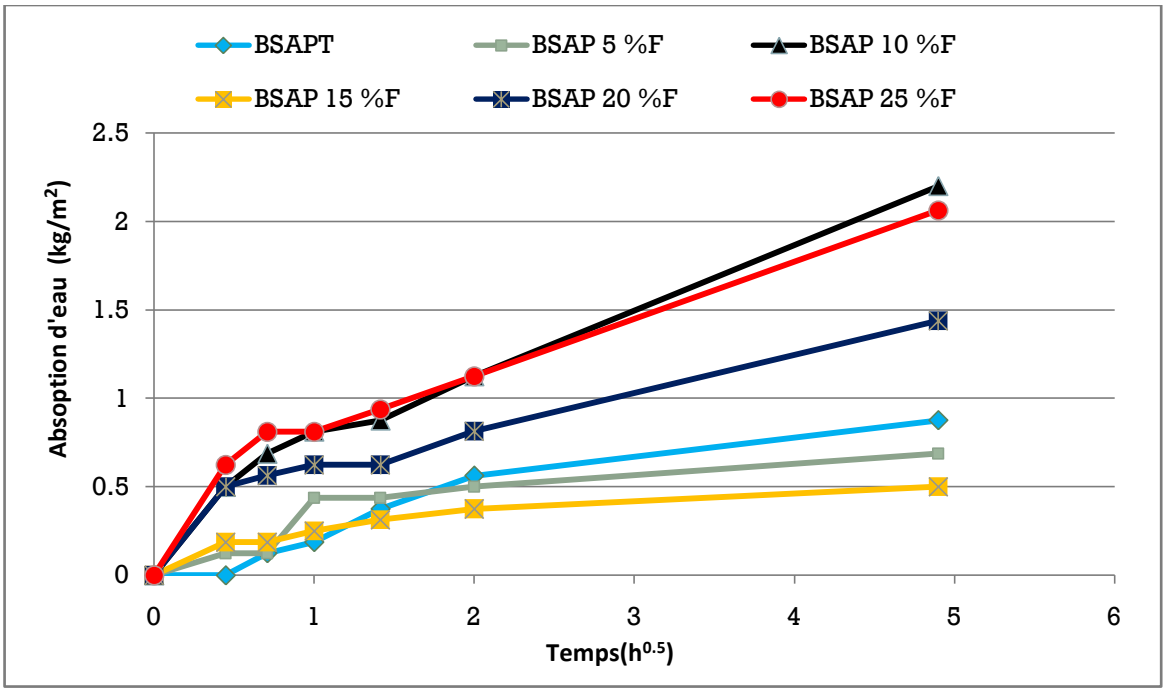


Fig.3.7 Absorption capillaire des BSAP à base de déchets de faïences.

A partir des résultats précédents on constate en premier lieu que l'absorption initiale de tous les bétons de sable autoplaçantsà base de déchets de faïences est nettement plus importante.que celle du béton de sable autoplaçant de référence. Cette augmentation est liée par l'introduction de déchets de faïences dans la masse du béton, qui se traduit par une augmentation plus ou moins prononcée du volume de vides associée à une diminution de la compacité du matériau. En second lieu, il est nettement visible que l'absorption d'eau finale des bétons de sable autoplaçantà base de 5 % et de 15 %est moins important par rapport au béton de sable autoplaçant témoin.Ce qui confirment les résultats de HADJOUDJA M. et BEDERINA M. **[85]**.

3.3.3Retrait

Le retrait des différents bétons de sable autoplaçants obtenus est représenté dans la figure 3.8 ci-dessous :

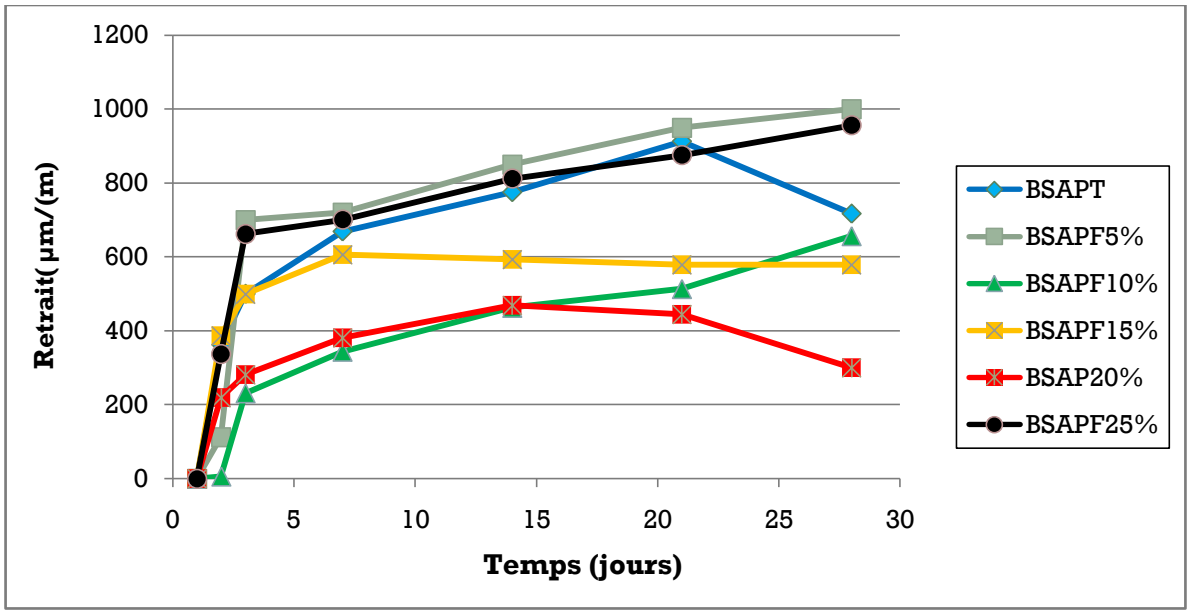


Fig. 3.8 Retrait des BSAP à base de déchets de faïences.

Nous pouvons remarquer clairement que le retrait de béton de sable autoplaçant à base de déchets de faiences est nettement moins important que celui du béton de sable autoplaçant de référence à l'exception des BSAP 05% et 25%.Cette augmentation du retrait est liée probablement à l'absorption de chaque type de béton. Cependant ces valeurs du retrait sont acceptables pour divers usages de béton structural.

3.3.4 Gonflement

Le gonflement des différents bétons de sable autoplaçant obtenus est représenté dans la figure 3.9 ci-dessous :

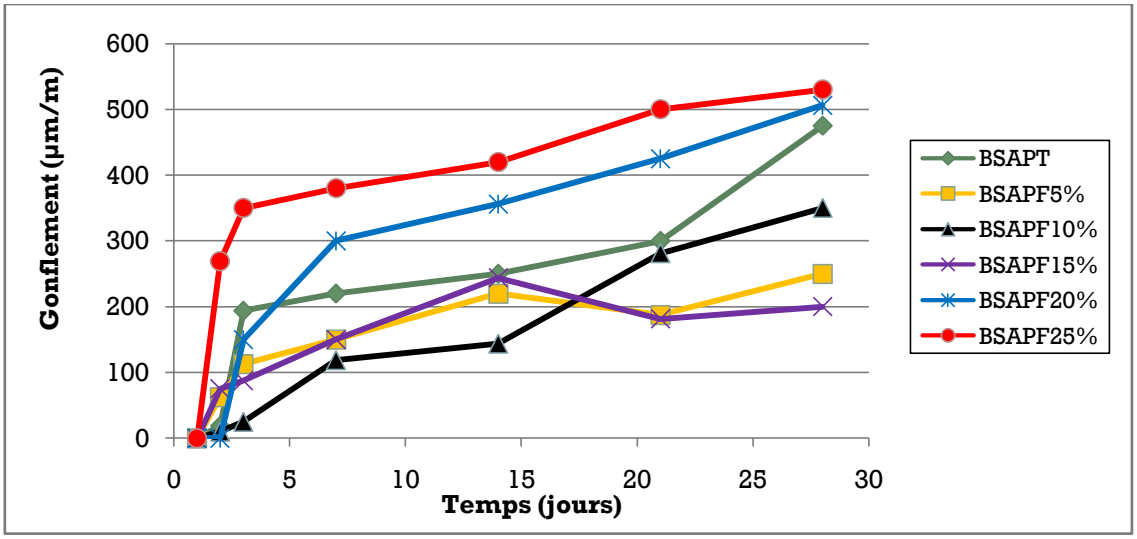


Fig.3.9 Gonflement des BSAP à base de déchets de faïences.

D'après les figures (3.9)on remarque que les valeurs du gonflement varient d'un béton à un autre selon le pourcentage de déchets de faiences incorporés. On remarque aussi que le taux de gonflement de béton de sable autoplaçantà base de 20 % et 25 % de déchets de faïences est plus important que ceux du BSAP témoin. Par contre, on voit clairement que les autres types de BSAP présentent un gonflement moins important par rapport au BSAP témoin.Ce changement est lié à la porosité et à l'absorption de chaque type de béton.

3.4 CONCLUSION

L'analyse des résultats expérimentaux peut mener aux quelques conclusions suivantes:

- L'étalement de BSAP est diminué en fonction d'augmentation de déchets de faïences.
- Le temps de passage augmente avec l'augmentation du pourcentage de déchets de faïences.
- La densité de BSAP reste presquement constante en fonction d'incorporation de déchets de faïences.
- L'air occlus des différents BSAP diminue en fonction d'augmentation de déchets de faïences.
- la résistance à la compression argumente avec l'augmentation du pourcentage de substitution du sable par le déchet de faïence jusqu'à 20 % .
- L'absorption capillaire initiale de tous les BSAP à base de déchets de faïence est plus importante que celle de BSAP témoin. Par ailleurs,les BSAP à base de 5 % et 15 % présentent un taux d'absorption finale moins important par rapport au béton de sable autoplaçant témoin
- Tous les BSAP présentent un retrait moins important par rapport au BSAP témoin à l'exception des BSAP 05% et 25%.Deméme,le taux de gonflement de BSAP à base de déchets de faïence est moins important que celle du BSAP de référence à l'exception des BSAP 20% et 25 % de déchets faïences.

Conclusions générales et Recommandations

CONCLUSIONS GENERALES

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

- L'étalement desBSAP diminue en fonction d'augmentation de déchets de faïences.
- La substitution du sable par les déchets de faïences influe négativement sur la densité du béton de sable autoplaçant
- L'air occlusdesBSAP diminue en fonction d'augmentation de déchets de faïences.
- La résistance à la compression augmenté en fonction de substitution du sable par le déchets de faïences jusqu'à 20 % du taux de substitution.
- L'absorption capillaire initiale de tous les BSAP à base de déchets de faïences est plus importante que celle de BSAP témoin. Par ailleurs,les BSAP à base de 5 % et de 15 % présentent un taux d'absorption finale moins important queceux du BSAPT.
- Le retrait du BSAP augmente en fonction de substitution du 10% ,15% et 20% du sable par les déchets de faïencse. Cependant,le taux de gonflement de BSAP à base de déchets de faïences est moins important que celle du BSAP de référence à l'exception des BSAP 20% et 25 % de déchets faïences.

Sur la base des résultats obtenus, on peut conclure que l'utilisation des déchets de faïencesconstitue une alternative économique, environnementale et technologique très importante pour le pays. L'utilisation de ces types de béton (BSAP à base de déchets de faïence) est conseillé pour les différent voie de construction (béton structurel, dallage, route, chaussé, réparation, …..)

RECOMMANDATIONS

Nous recommandons ce qui suit :

- Etude de la rhéologie du béton de sable autoplaçant à base de déchets de faïences.

-Valorisation de sable de dune et de déchets de faïences 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 faïences.

- Etude du pompage de BSAP à base de déchets de faïences.

-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.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

[1]«https://fr.wikipedia.org/wiki/Valorisation_des_d%C3%A9chets »

[2] « www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/files/000151394.pdf »

[3] Okamura. H, and M. Ouchi, «Self Compacting Concrete: Development, present use and future», In self compacting concrete: Proceedings of the first international RILEM symposium, A.Skrendahl, and O.Petersson, Eds. RILEM Publications, Cachan, France, 1999.

[4]«http://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-dechets-speciaux-7337/»

[5] Maeljambou valorisation des déchets inertes du PTB suivant le principe d'ecologie industrielle et territoriale,université de sherbrooke, janvier 2015

[6]« http://www.soulard-recyclage.fr/dechets-organiques/ »

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

[8]« http://www.libe.ma/Entretien-avec-le-professeur-Taib-Ajzoul-Quel-devenir-pour-nos-dechets-medicaux-et-pharmaceutiques_a4787.html »

[9] Types Déchets dangereux

[10] 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), 195 p

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

[12] WIKIPIDIA R2CYCKAGE DE Déchets

[13] Propriétés mécaniques et de longévité des agrégats réutilisés souillés employant béton.Ciment et composé concret, 32(2010) 421-426.Elsevier, la science directe.

[14] Quebaud M., 'Caractérisation des granulats recyclés - Etude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats', Thèse de doctorat, Université d'Artois, Fance, décembre 1996.

[15] « http:/www.larouce.fr »

[16] « http://www.cerameurop.com/ »

[17] « https://fr.wikipedia.org/wiki/Terre_cuite »

[18] « https://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_(mat%C3%A9riau) »

[19] https://fr.wikipedia.org/wiki/Fa%C3%AFence

[20] Document de référence sur les meilleures techniques disponibles , Fabrication des céramiques Août 2007

[21]« http://www.leconomiste.com/article/979443-mini-safari-industriel-chez-les-ceramistes »

[22]« https://sites.google.com/site/thekacassite/ceramic/what-are-the-advantages-and-disadvantages-of-ceramic »

[23] BOUKERROU MOHAMED, Étude des Propriétés Rhéologiques et Physico-mécaniques du Béton de Sable avec Référence particulière au Sable de Dune, FACULTE DE GENIE CIVIL Université Houari Boumediene Algies, 2012

[24] « http://doc.lerm.fr/beton-de-sable/ »

[25] AFNOR, ″Bétons- Bétons de sable″; Projet P 18-500.

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

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

[28]http://www.beton-vicat.fr/Nos-produits/Par-Gamme/Defiperf-BETON-SPECIFIQUE/Defiperf-Projete

[29] 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.

[30] « http://www.premium-engineering.com/downloads/beton-routes.pdf »

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

[32]F.Buyle, Bonin, «Bétons autoplaçants ».

[33] Okamura. H, and M. Ouchi, «Self Compacting Concrete: Development, present use and future», In self compacting concrete: Proceedings of thefirst international RILEM symposium, A. Skrendahl, and O. Petersson, Eds. RILEM Publications, Cachan, France, 1999.

[34] Ozawa. K, et. al. «Development of high performance concrete based on the durability design of concrete structures», Proceedings of the second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC), Vol.1, pp 445-450, January, 1989.

[35] C. Ozyildrim, D.S. Lane, « Investigation of Self Compacting Concrete », Virginia Transportation Research Council, 2003.

[36] K.Ozawa, S.Tagtemsirikul, and K.Maekawa, «Role of materials on the filing capacity of fresh concrete», In Proceedings of The Fourth CANMET and ACI International Conference on fly ash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete, American Concrete Institute, May1992, pp212-137.

[37] J-C.BRAQUENIER et J.DESNYTER, le béton autoplaçant ou autocompactant, 2000.

[38] Z. ABIB, « Formulation et caractérisation des bétons autoplaçants », thèse de magister USTHB, 2004

[39] ENFAC, SCC, « Specification and guidelines for SCC» Février2002.

[40] ROUIS F. « formulation et propriétés mécaniques d'un béton autoplaçant a basse ciment pouzzolanique et (ou) ciment de laiter »

[41] EL BARRAK M. « Contribution à l'étude de l'aptitude à l'écoulement des bétons autoplacants à l'état frais » Thèse de Doctorat de l'universitétoulouse III – Paul Sabatier, Juillet 2005, 228 pages.

[42] Bethmont S. « Mécanismes de segrégation dans les bétons autoplaçants (BAP) Etude expérimentale des intéractions granulaires » Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, Décembre 2005.

[43] Jin J. « Properties of mortar for self-compacting concrete » PhD thesis, University College London, 2002, 398 pages

[44] Mr. RAHIM HAMZA ,Mr. BELLAL AHMED ,L'effet de la natureet dimensions des granulats sur l'ouvrabilité et les résistances mécaniques d'un béton Autoplçant,Département de Génie civil universite Dr. YAHIA FARES DE MEDEA ,2012

[45] EL BARRAK M. « Contribution à l'étude de l'aptitude à l'écoulement des bétons autoplacants à l'état frais » Thèse de Doctorat de l'université toulouse III – Paul Sabatier, Juillet 2005, 228 pages.

[46] Boukendakdji O« etude de l'influence des parameters de formulation sur les proprieties d'un béton autoplaçant : optimisation des conditions opératoires »

[47] NF EN 1008 « Eau de gâchage pour bétons - Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du

béton, telle que l'eau de gâchage pour béton (indice de classement : P18 -211) », Juillet 2003.

[48] König G., Dehn F., Weise F. and Hertel C. «*Applications of ready-madebinders for self-compacting concrete (SCC)*»Proceedings of thesecond International Symposium on Self Compacting Concrete , Japan, 2001, pp. 361-367.

[49] Khayat K.H., « *Viscosity-Enhancing Admixtures for cement-based materials- An overview* » Cement and Concrete Composites, 20, pp. 171-188, 1998.

[50] M. El Barak, «Contribution de l'étude de l'aptitude à l'écoulement des bétons autoplaçant à l'état frais», thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2005.

[51] Sonebi M. and Bartos P.J.M. « Filling ability and plastic settlement of self-compacting concrete » Materials and Structures, 2002, Vol 35, pp. 462-469.

[52] Chapdelaine F. « Etude sur la mesure de la rhéologie du béton frais » Mémoire de Master (M.Sc.), 1998 Université de Laval, 126 pages.

[53] Couarraze, G. et Grossiord, J.L. « Initiation à la rhéologie » Lavoisier, Paris, 1983, 219 pages.

[54]- Walraven .J, "Structural aspects of self compacting concrete", Proceedings of the fourth CANMET/ACI/JCI International Symposium: Advances in Concrete Technology, Tokushima, Japan, 1998.

[55]- Projet Région "Amélioration des constructions par la maîtrise des BAP" Conseil Régional Midi-Pyrénées dans la thématique de recherche "l'homme etsa région",2005.

[56]- Grünewald.S, Walraven.J.C, "Rheological measurements on self- compacting fibre reinforced concrete", Proceedings of the Third International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Islande, pp. 49-58, 2003.

[57] Nielsson I, Wallevicl.O.H ,Rheological evaluation of some empiric Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Islande, pp. 59-68, 2003.

[58]-Utsi.S, Emborg.M, Carlswärd.J, "Relation between workability and rheological parameters", Proceedings of the Third International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Islande, pp. 154-164, 2003.

[59]-Bui .V.K, Akkaya .Y, Shah .S.P, "Rheological Model for self-consolidating concrete", ACI Materials Journal, 99, 6, pp. 549-559, novembre-décembre2002.

[60] Wallevik J.E. «Relationship between the Bingham parameters and slump»

Cement and Concrete Research, 2006, vol 36, pp. 1214–1221

[61] RILEM, «Self-Compacting Concrete. State-of-the-art report of RILEMTechnical Committee 174-SCC», Edited by A. Skarendahl and O. Petersso,

RILEM Publications, France, 2001

,[62] MmeBENAKLI SARAH Caractérisation expérimentale des bétons autoplaçants obtenus par ajout des déchets de construction, Département de Génie Civil UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU,2012

[63] Association française de Génie Civil (AFGC) « Bétons Auto-Plaçants Recommandations provisoires » juillet 2002, 63 pages.

[64] Billberg P. « Form Pressure generated by self-compacting concrete » Proceedings of the third international RILEM conference on SCC, août 2003, Reykjavik, Islande, pp. 271-280.

[65] Leehmann and Hoffman « Pressure of self-compacting concrete on the formwork » Proceedings of the third international RILEM conference on SCC, août 2003, Reykjavik, Islande, pp. 288-295.

[66] Assaad J.J. and Khayat K.H. « Effect of casting rate and concrete temperature on formwork pressure of self-consolidating concrete » Materials and Structures (2006) vol 39, pp. 333–341.

[67] Ovarlez and Roussel « A physical model for the prediction of lateral stress exerted by self-compacting concrete on formwork » Materials and Structures (2006) vol 39, pp. 269–279.

[68] Fédération française du béton (FFB) « Recommandations de mise en oeuvre des BAP et des BAN » SEBTP, édition 2003

[69] Matabee K. Maeda, Yamada K. and Uchida A. "Evaluation on the practicability of SCC" Proceedings of the first International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete, 1999, Sweden, pp. 617-628

[70] Assaad J. and Khayat K.H. « Effect of Coarse Aggregate Characteristics on Lateral Pressure Exerted by Self-Consolidating Concrete » ACI Materials Journal, May-June 2005, pp. 145-153.

[71] Projet National BAP « Aide à la rédaction de cahier des charges techniques pour le Bétons Auto-Plaçants (BAP) » Mars 2005.

[72] Andriamanantsilavo N.R., Amziane S. et Baudeau P.« Étude expérimentale sur l'évolution de la pression exercée par une pâte de ciment contre un coffrage pendant la prise » Rhéologie, 2003, vol. 3, pp. 12-21.

[73] Okamura H. and Ouchi M. « Self-compacting concrete » Journal of advanced Concrete Technology, 2003, vol 1, n°1, pp. 5-15.

[74] Turcry P. « Retrait et fissuration des bétons autoplaçants- influence de la formulation » Thèse de doctorat de l'Ecole centrale de Nantes, 2004, 213 pages.

[75] RILEM Technical Committee « Final report of RILEM TC 188-CSC 'Casting of self-compacting concrete» Materials and Structures, 2006, vol 39, pp. 937–954.

[76]Holcim « Le béton autocompactant Recommandation » Suisse, SA, Version 26.11.2004

[77] Sedran T., "Les bétons autonivelants - Synthèse bibliographique", Bulletin liaison des laboratoires des ponts et chaussées N°169, mars-av 1995, pp. 53-60.

[78] Jean-christopheBraquenier, « Le Béton Autoplaçant ou Autocompactant », Recherche et Etude, pp14-22, Automne 2000.

[79] P.Turcy, A.Loukili, « Différentes approches pour la formulation des bétons autoplaçants, Influence sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques», Revue Française de Génie Civil. Volume 7- n° 4/2003, pp 425-450.

[80] Petersson O., Billberg P. and Van B.K. "A model for self-compacting concrete" Proceedings of RILEM International Conference on Production Methods and Workability of Fresh Concrete, Paisley, Ecosse, 1996.

[81] Billberg P. "Self-compacting concrete for civil engineering structures – the Swedish experience", Report 2:99, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 80 p., 1999.

[82] Ozawa K., Tangtermsirikul S. and Maekawa K. "Role of powder materials on filling capacity of fresh concrete", Proceedings of the 4th CANMET/ACI Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, 1992, Istanbul, Turquie, pp. 121-137.

[83] Hasni L., "Bétons autoplaçants - Synthèse bibliographique", rapport de recherche CEBTP, juillet 1999, 46 pages.

[84] Md Daniyal1, Shakeel Ahmad2 , Application of Waste Ceramic Tile Aggregates

in Concrete , Department of Civil Engineering, Aligarh Muslim University, Aligarh, India, December 2015

[85] CIM béton, 2008, Fiche technique édité par le centre d'information sur le ciment et ses applications : « Les mortiers », Tome 3, Paris, France.

[86] G. SIVAPRAKASHa,*,V.SARAVANAKUMARb and LAKHI JYOTI SAIKIAc, experimental study on partial replacement of sand by ceramic waste in concrete cpg student, hindustan university, chennai (t.n.) india,2016

[87] NF EN 196-1 Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : détermination des résistances mécaniques - Avril 2006.

[88] NF EN 12350-7, 1999, « Essai pour béton frais. Partie 7 : Teneur en air occlus »,

AFNOR

[89] NA 442, Normes Algérienne : « Ciment - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants », 1994, 2000.

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

[91] NF EN 12350-8 a présente norme européenne spécifie Essai pour béton frais - Partie 8 : béton autoplaçant Essai d'étalement au cône d'Abrams.

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

[93] NA 436 ,1992-08-20 «béton frais, détermination de la consistance-essais d'affaissement».Norme algérienne.

[94] NF EN 12350-9 a présente norme européenne spécifie la méthode de détermination de la durée d'écoulement à l'entonnoir en v pour le béton autoplaçant..

[95] NF P 18-412, «caractéristiques particulière des machines hydrauliques pour essais de compression. 1981.

[96] NF 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.

[97] NF P 15-404, Normes AFNOR : « Essais pour béton durci - Partie 1 : forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules »1989.

[98] NF EN 933-1, 1997, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 1: Détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage », AFNOR.

[99] NF EN 1097-6, 2001, « Essais 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.

[100] 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.

[101] NF EN 933-8, 1999, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 8: Evaluation des fines. Equivalent de sable », AFNOR.

[102] Mr HADJOUDJA Mourad ; «Contribution à l'étude physico-mécanique et durabilité du béton de sable de dunes –Influence du traitement de cure et de l'ajout des fillers» Thèse de magister l'U.S.T.H.B Alger 2001.

[103] NF EN 1008, « Eau de gâchage pour bétons: spécification d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton », AFNOR. 2003.

[104] La caractéristique de ciment selon la fiche technique.

Annexe

Annexe A



Fig.A1. Ficher technique du ciment utilisé.

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction d'ouvrage d'art (ponts, viaducs tunnels...)
- Préfabrication lourdes
- Béton à haute performance
- Applications techniques



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec)	Gravillons (sec) 8/15mm 15/25mm	Eau (litres)
Dosage pour béton	+ X 1	+ X7	+ X5 + X4	+ 25 L

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques	Norme
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

• Temps de prise à 20° (NA 230)	Norme
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)	Norme
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Résistance à la compression	Norme
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

• Propriétés physiques	Norme
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 days (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

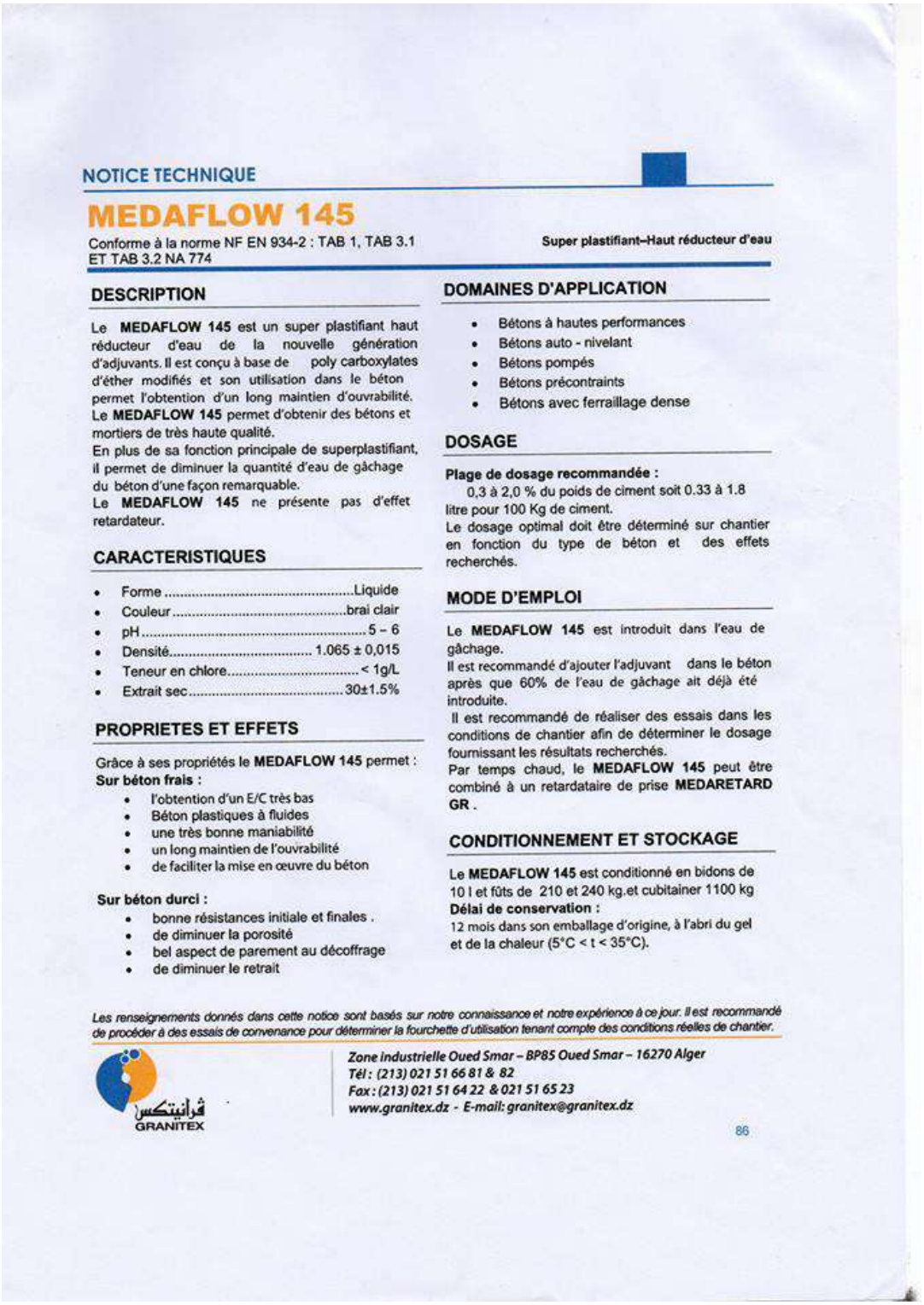
1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- MANUTENTION : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



LAFARGE ALGÉRIE
Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com

Fig.A1. Ficher technique du ciment utilisé



NOTICE TECHNIQUE

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.

GRANITEX

Zone Industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz

86

Fig.A2. La fiche technique du adjuvants utilisé





Fig.A4. Tamiseuse électrique**Fig.A 3.**Malaxeur





Fig.A5. Essai de compression **Fig.A6.**Essais d'équivalent de sable





Fig .A8 Préparation les éprouvettes pour l'essai de l'absorption.

Fig .A7 l'essaie d'absorption.



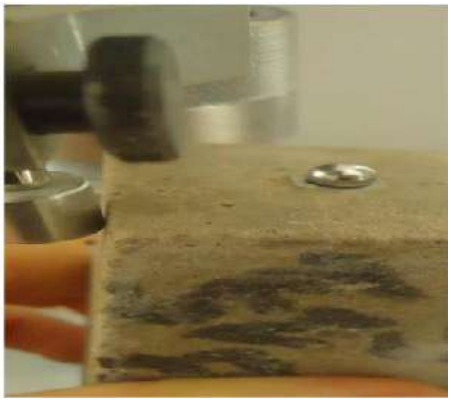






Fig.A9. Mesure de retrait et gonflement

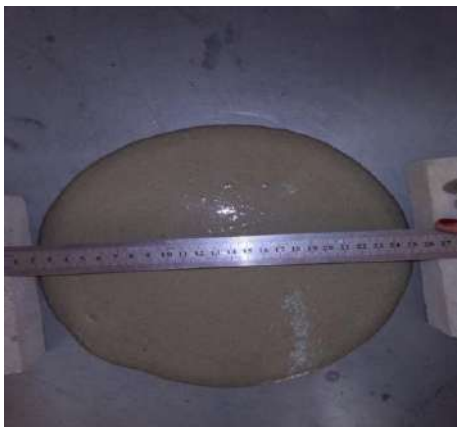


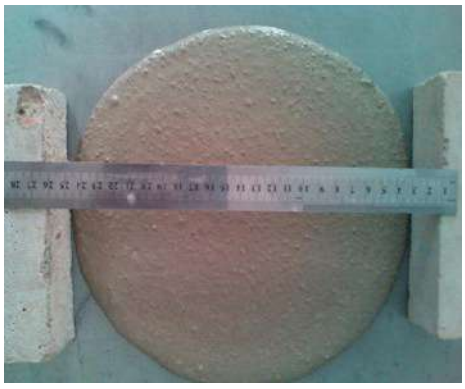


Fig.A10. Etalement BSAPT .**Fig.A11.**Etalement BSAPF 5%





Fig.A12. Etalement BSAPF 10% **Fig.A13.** Etalement BSAPF 15%



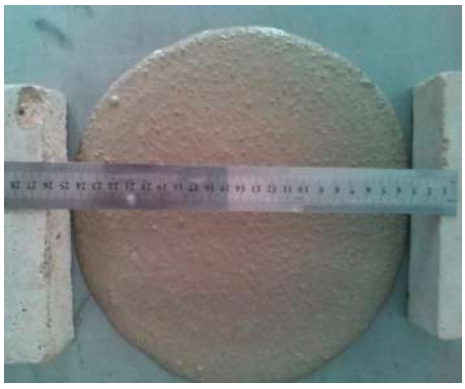


Fig.A14 . Etalement BSAPF 20% **Fig.A15.**Etalement BSAPF25 %



Fig. A16. Les éprouvettes après l'écrasement BSAPF 10 %



Fig.A17. Les éprouvettes après l'écrasement BSAPF 25 %