REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Comparaison de la résistance en traction des éprouvettes par différentes techniques de mesure: application aux cas du BAP avec ajout de brique et de verre

---

Présenté par

Mr. Mebarki Chouaib

Mr. Salah Zakaria

Proposé et Dirigé par

Dr. Bentchikou Mohamed

Melle. **Bouleghbar Yasmine**

Promotion 2021

Remerciements

On tient à remercier en premier lieu
DIEU"Allah" Miséricordieux

Qui nous a donné là force et la volonté
d'achever ce modeste travail.
Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur,
Dr. Bentchikou Mohamed, pour avoir dirigé ce travail de recherche.

Nous lui exprimons par la présente notre profond respect et notre profonde gratitude.

Nous remercions également ***Mme Bouleghbar Yasmine***, Co- encadreur, pour nous avoir accueillis et aidés dans la réalisation de nos recherches expérimentales.

Nous remercions le président et les membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail.
Nous tenons à exprimer notre gratitude aux ingénieurs du Hall Technologie de MEDEA

Nous remercions également sincèrement tous les enseignants du Département de génie civil de l'Université de MEDEA,

et tout ce qui ont contribué au bon déroulement de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À ma mère qui m'a donné la vie, symbole de tendresse Tu n'arrêtes jamais de me faire confiance, je serai à tes côtés Jamais reconnaissant d'avoir fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

À mon père, La personne qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite est l'ombre de mes années d'études, la compagne de ma vie, m'encourage, m'aide, et me protège.

Que Dieu les bénisse d'une bonne santé et leur donne une longue vie.

À mes Chére Sœurs MEHDIA, RITADJ et LINA

Et tous les membres de ma grande famille.

Tous mes amis, sans exception, toutes les personnes qui m'ont soutenu quand j'étais au plus mal.

À toute la promo génie civil 2021.

Enfin, je remercie mon cher ami et partenaire pour la contribution à cet humble travail.

ZAKI

MEBARKI Chouaib

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À ma chère mère FATIHA, À mon chère père ABDELKADER

Qui n'ont jamais cess de formuler des prieres à mon tenir compte,

De me soutenir et de m'épauler pour que puisse mes atteind object.

À mes freres, SARA , BELKIS,MOUSSA et SOULAIMAN

Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études

À mon cher grand-père Qui je souhaite une bonne santé

À ma chére binome çhouaib pour sa entente et sympathie

Pour leurs indeficetibles soutiens et leurs patiences infinies

À mon chére Prof SALAM Aboudharaa Qui n'a pas aidé et soutenu dans les moments difficiles.

A mes chéres ami(e)s Oussama Amar Mouhamed Hichem Abdou , Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A tout ma Famille

ZAki SALAh

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم قوة الشد لعينة اختبار من الخرسانة الذاتية التموضع مشكلة من نفايات الطوب الطيني (الأجور % 8) والزجاج (% 12) كبديل جزئي للاسمنت .

بعد تحسين مكونات الخليط للحصول على خرسانة ذاتية التموضع و بالإضافة إلى التوصيف في الحالة المبكرة للخرسانة، يتم استخدام طريقتين غير مباشرتين لاختبار المقاومة في التفاعل وهما: مقاومة الشد بالانحناء ، وقوة الشد عن طريق الانقسام والتي تُقارن نتيجتها لهذا الخرسانة ذاتية التموضع بالطريقة التي تعطي الشد المباشر.

يصنف الاتجاه العام، قوة الشد المقدرة بعد اختبارات الانحناء أو الانقسام أو المباشرة، على التوالي ، على أنها الأكبر والمتوسط والأدنى.

كلمات مفتاحية *: الخرسانة الذاتية* التموضع، *نفايات الأجور والزجاج، الخصائص الفيزيائية، قوة الشد.*

Résumé

Cette étude vise à évaluer la résistance en traction des éprouvettes en béton autoplaçant constitué de déchets de briques) 8 %(et de verre) 12 %(comme substituant partiel du ciment. En optimisant les constituants du mélange pour avoir un BAP et en plus de la caractérisation à l'état frais, deux méthodes indirectes d'essai de la résistance en traction sont utilisées qui sont : la résistance en traction par flexion, et la résistance de traction par fendage et dont le résultat pour ce BAP est comparé avec la méthode donnant la résistance par traction directe.

La tendance globale permet de classer la résistance en traction estimée suite aux essais par flexion, par fendage ou directe, respectivement comme la plus grande, l'intermédiaire et la plus faible.

Mots-clés : *béton autoplaçant, déchets de brique et de verre, propriétés physiques, résistance en traction.*

Abstract

This study aims to evaluate the tensile strength of self-compacting concrete specimens made up of waste bricks) 8% (and glass) 12% (as a partial substitute for cement. By optimizing the constituents of the mixture to have a SCC and in addition to the characterization at the fresh state, two indirect methods of testing the tensile strength are used which are: the tensile strength by bending, and the tensile strength by splitting and whose result for this BAP is compared with the method giving the direct tensile strength.

The overall trend classifies the tensile strength estimated following the bending, splitting or direct tests, respectively as the greatest, the intermediate and the lowest.

Key-words: *self-compacting concrete, brick and glass waste, physical properties, tensile strength.*

SOMMAIRE

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumer

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Notations et Abréviations

Introduction générale..... 1

CHAPITRE I: RECHERCHE BIBIOGRAPHIQUE

I.1 Béton Autoplaçant 4

I.1.1 Définition 4

I.1.2 Les avantages des BAP 4

I.1.3 Constituants des BAP 5

I.1.3.1 Ciment.....5

I.1.3.2 Granulats 5

I.1.3.3 Eau 6

I.1.3.4 Les adjuvants 6

I.1.3.5 Les ajouts minéraux 7

I.1.4 Les propriétés des BAP à l'état frais 7

I.1.4.1 La capacité au remplissage 7

I.1.4.2 La Capacité de Passage.....8

I.1.4.3 La Résistance à la Ségrégation 9

I.1.4.4 Rhéologie 9

I.1.5 Caractérisation des BAP à l'état frais 9

I.1.5.1 Essai d'étalement (Slump Flow).....9

I.1.5.2 Essai de boite en L 11

I.1.5.3 Essai d'écoulement à l'entonnoir....12
I.1.5.4 Essai de stabilité au tamis....12
I.1.6 Caractérisation de BAP à l'état durci....13
I.1.6.1 Résistance à la compression....13
I.1.6.2 Résistance à la traction....14
I.1.6.3 Module d'élasticité....14
I.1.7 Durabilité d'un BAP....15
I.1.8 Méthode de formulation....15
I.1.8.1 La Méthode Japonaise....15
I.1.8.2 Méthode Suédoise....16
I.1.8.3 Méthode Française (LCPC)....16
I.1.9 Domaines d'utilisations privilégiées des BAP....17
I.2 Les déchets....18
I.2.1 Introduction....18
I.2.2 Définition des déchets :....18
I.2.3 Source de déchet :....19
I.2.4 Type de déchet :....19
I.2.4.1 Déchets ultimes :....19
I.2.4.2 Déchets inertes :....19
I.2.4.3 Déchets assimilés :....20
I.2.4.4 Déchets verts :....20
I.2.4.5 Déchets organiques :....20
I.2.4.6 Déchets industriels banals (DIB) :....20
I.2.4.7 Déchets dangereux :....20
I.2.5 Déchets en Algérie:....20
I.2.6 Déchets utilisés en génie civil :....21
I.2.6.1 Laitiers de haut fourneau :....21

I.2.6.2. Laitier d'acier :.....22
I.2.6.3 Marbre :.....23
I.2.6.4 Céramique :.....23
I.2.6.5 Boues rouges :.....24
I.2.6.6 Béton récupéré :.....24
I.2.6.7 Verre de récupération :.....25
I.2.6.8 Sciure de bois :.....26
I.2.6.9 Brique concassée :.....26
I.3 Déchets de brique :.....27
I.3.1 Définition de brique :.....27
I.3.2 Types de brique :.....27
I.3.3 Principaux constituants de la brique et caractéristiques chimiques :.....28
I.3.4 Mode de fabrication de brique :.....29
I.3.5 Valorisation des déchets de la brique :.....29
I.3.5.1 Réutilisation :.....29
I.3.5.2 Recyclage :.....30
I.3.6 L'utilisation de la brique dans le domaine de génie civil :.....30
I.3.7 Utilisations des bétons des déchets de brique :.....30
I.3.8 Effet de la poudre de brique sur la caractéristique de BAP :.....31
I.3.8.1 Etat frais.....31
a. Effet de la poudre de brique sur l'ouvrabilité.....31
I.3.8.2 Etat durci.....34
I.4 Déchet de verre :.....35
I.4.1 Définition de verre :.....35
I.4.2 Les déchets de verre.....36
I.4.3 Valorisation des déchets de verre dans le domaine de matériaux de construction.....36
I.4.4 Fabrication de verre.....36

I.4.5 Types de verre....37
I.4.5.1 Les verres sodocalciques....37
I.4.5.2 Les verres borosilicates....37
I.4.5.3 Les verres au plomb....37
I.4.5.4 Le verre de silice....37
I.4.5.5 Les vitrocéramiques (ou vitro cristallins)....37
I.4.6 La poudre de verre dans les bétons....37
I.4.7 Utilisation de verre dans le domaine de génie civil....38
I.4.8 Comportement du verre dans un milieu cimentaire....38
I.4.9. Réaction pouzzolanique du verre....38
I.4.10 Comparaison du verre à d'autres pouzzolanes :....39
I.4.11 L'utilisation simultanée de verre et de pouzzolane :....40
I.4.12 Réaction alcali-silice du verre :....40
I.4.13 Effet de déchets de verre sur l'ouvrabilité....40
I.4.14 Effet de déchets de verre sur la résistance à la compression....41
I.4.15 Effet de déchets de verre sur la résistance à la traction....42

CHAPITRE II : MATERIAUX ET ESSAIS

II.1. Introduction :....44
II.2-Caractérisation des matériaux utilisés....44
II.2.1. Ciment :....44
II.2.2 Granulats....46
II.2.3 La brique....48
II.2.4 Le verre :....49
II.2.5. Adjuvant :....50
II.2.6. L'eau de gâchage :....50
II.3 Formulation du béton adopté....51
II.3.1-Formulation du mortier autoplaçant....51

II.3.2-Formulation du béton autoplaçant.....53
II.4 Technique expérimentale.....54
II.4.1 Séquence de malaxage du béton.....54
II.5 Essai sur BAP.....56
II.5.1 Etat frais.....56
II.5.1.5 Remplissage des moules.....60
II.5.1.6 Démoulage et conservation des éprouvettes.....60
II.5.2 Etat durci.....61
II.5.2.1 Résistance à la compression.....61
II.5.2.2 Résistance à la traction par flexion.....62
II.5.2.3 Résistance en traction direct.....63
II.5.2.4 Essai de traction par fendage.....64
Conclusion.....66

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1 Introduction.....67
III.2 Etude des MAP.....67
III.2.1 Optimisation des rapports S/M et SP/L.....67
III.3 Etude des BAP.....67
III.4 A l'état frais.....68
III.4.1 L'étalement au cône d'Abrams.....68
III.4.2 Temps d'écoulement à travers le V-funnel.....69
III.4.3 Capacité de passage à travers L-BOX.....70
III.4.4 Stabilité au tamis.....70
III.5 A l'état durci.....71
III.5.1 Résistance à la compression.....71
III.5.2 Traction.....72
III.5.2.1 conservation dans l'eau.....72

III.5.2.2 conservation à l'air 73

III.6 Conclusion 75

Conclusion générale 76

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: différence de mise en place entre le BAP et le BO. 4
Figure I.2:les composants de BO et BAP. 5
Figure I.3:Mesure de l'étalement 10
Figure I.4 :Essai d'étalement d'un BAP 10
Figure I.6:Mesure du taux de remplissage (H2/H1 ≈ 80%). 11
Figure I.5:Schéma de la boite en L. 11
Figure I.7: Essai au tamis. 13
Figure I.8:Variation des résistances mécaniques en compression de BAP en fonction de la composition du liant. 14
Figure I.9: Comparaison des modules d'élasticité d'après les codes de construction de BAP et des bétons vibrés avec leurs valeurs expérimentales. 15
Figure I.10:Laitier de haut fourneau 22
Figure I.11:Laitier d'acier 22
Figure I.12: Marbre 23
Figure I.13: Céramique 24
Figure I.15:Boue rouge 24
Figure I.15:Béton récupéré 25
Figure I.16:Déchet de verre 25
Figure I.17: Sciure de bois 26
Figure I.18: Brique concassée 27
Figure I.20: Evolution de la viscosité des différents types de béton. 32
Figure I.19: Rhéogrammes des différents types de béton 32
Figure I.21: Evolution du seuil de cisaillement des différents types de béton. 33
Figure I.22: Effet de la poudre de brique sur les propriétés mécaniques des BAP. 33
Figure I.23: Evolution de la résistance à la compression des différents types de béton 34
Figure I.24 : Résistance à la flexion des mortiers étudiés 35
Figure I.25: Evaluation de l'activité de pouzzolanique 39
Figure I.26: Influence du dosage en PV sur la résistance à la compression. 41
Figure I.27:La résistance à la compression en fonction de l'âge de mortier en SM. 42
Figure I.28: Résistance en traction par fendage des bétons conventionnels. 43

Figure II.1: Le ciment utilisé 45
Figure II.2: Sable d'oued souf utilisé 46
Figure II.3: Courbe granulométrique d'oued souf 47
Figure II.4: Gravier de Hanacha 3/8 et 8/15 47
Figure II.5:Analyse granulométrie du gravier 3/8 et 8/15. 48

Figure II.6:La poudre de brique (PBR) utilisée. 49
Figure II.7: Poudre de verre 49
Figure II.8: Verre concassé 50
Figure *II*.9:Le super-plastifiant MEDAFLOW 145 utilisé. 50
Figure II.10: Séquence de malaxage du béton autoplaçant. 55
Figure II.11: Séquence de malaxage du BAP et BAP avec l'ajout 55
Figure II.12: Essais d'étalement. 57
Figure II.13: Protocole de l'essai d'entonnoir (V-Funnel). 58
Figure II.14: Protocole de l'essai de la boîte en L-Box. 59
Figure II.15: Protocole de l'essai de stabilité au tamis. 60
Figure II.16: moules et éprouvettes cylindriques (10×20) 60
Figure II.17: Dispositif pour l'essai de la résistance à la compression du béton. 61
Figure II.18: Protocole de l'essai de compression. 62
Figure II.19: Protocole de l'essai de traction par flexion. 62
Figure II.20: Disposition de traction directe 64
Figure II.21: protocole de l'essai de traction par fendage 65

Figure III.1:Etalement des BAP avec les ajouts avec SP constant 68
Figure III.2:Temps d'écoulement des BAP avec les ajouts avec SP constant 69
Figure III.3: L-BOX des BAP aves les ajouts avec SP constant. 70
Figure III.4: Stabilité au tamis de BAP avec les ajouts 70
Figure III.5: Effet du milieu de cure sur la résistance à la compression à 56 jours d'un BAP formulé avec des ajouts de brique et du verre en poudre 71
Figure III.6: Résistance à la traction du BAP conservé à l'eau, obtenue par différents essais 72
Figure III.7: Résistance à la traction du BAP conservé à l'air obtenue par différents essais 73
Figure III.8: Effet du milieu de cure sur la résistance à la traction obtenue par différents essais 74

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: Essais permettant la détermination de la capacité de remplissage 8
Tableau I.2: Essais permettant la détermination de la capacité de passage 8

Tableau II.1: Composition chimique de ciment 45
Tableau II.2: Caractéristiques du ciment utilise 46
Tableau II.3: Propriétés physiques et mécaniques des graviers utilisés. 48
Tableau II.4: Formulation de mortier autoplaçant 52
Tableau II.5: Formulation de mortier autoplaçant 52
Tableau II.6: Formulation optimale du mortier autoplaçant. 52
Tableau II.7: Compositions de différentes formulations BAP témoin étudiés dans un volume de $1m^3$ de béton 53
Tableau II.8: Compositions de différentes formulations BAP avec l'ajout étudiées dans un volume de $1m^3$ de béton 54
Tableau II.9: Les essais de caractérisation sur le béton à l'état frais 56
Tableau II.10: Essais de caractérisation sur le béton à l'état durci. 61

Tableau III 1:Résultats sur BAP pour différents % de SP 68
Tableau III.2:Classes des BAP selon l'étalement et le domaine d'utilisation 69

NOTAION

ET ABRÉVIATION

BAP	Béton Autoplaçant
BAPT	Béton autoplaçant témoin
CEMI 42.5R	Ciment portland ordinaire de classe 42.5MPa
MAP	Mortier autoplaçant
PBR	Poudre de brique recycle
PV	Poudre de verre
BO	Béton Ordinaire
DRX	Diffractomètre de rayon (X)
E	Quantité d'eau
E/C	Le rapport Eau sur Ciment
LCPC	Laboratoire centrale des ponts et chaussées
S/M	Le rapport Sable sur Mortier
E/L	Rapport Eau sur Liant
RAS	Réaction de la silice
SP	Super- plastifiant
G/S	Rapport Gravillon sur Sable
Sp/L	Rapport Superplastifiant sur Liant
R	Résistance
Rc	Résistance à la compression
Rt	Résistance à la Traction
NA	Norme Algérienne
NE	Norme Européenne
Dmax	La dimension du plus gros grain de l'étendue granulaire
Mf	Module de finesse
M	Moment de flexion
I	Moment d'inertie
L	Liant

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Contexte général

Face à la demande croissante de ressources matérielles et à l'exigence de protection de l'environnement dans une perspective de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent d'explorer et d'étudier toutes les possibilités de réutilisation et de recyclage des déchets et sous-produits dans le domaine du génie civil.

L'idée d'un béton fluide ou béton autoplaçant est apparue en 1989, elle été proposée par OKAMURA en 1986 car les japonais avaient besoin d'un béton qui n'exige pas une main d'œuvre nombreuse et qualifiée, et qui fournisse une résistance à la compression élevée à jeune âge pour pouvoir augmenter la productivité.

Les bétons autoplaçants (BAP) sont des bétons spéciaux très fluides, homogènes et stables, dont la spécification est de se mettre en place sous l'effet de leur propre poids à l'aide de sa fluidité et homogénéité sans apport de vibration externe ou interne.

Les BAP possèdent une plage d'utilisation très large, des résistances couvrant la gamme des bétons ordinaires aux bétons à hautes performances et ils peuvent être coulés dans des zones très ferraillées ou dans des zones d'architecture complexe et difficilement accessibles. La suppression de la phase de vibration présente également l'intérêt d'améliorer les conditions de travail sur site, ainsi que le confort acoustique au voisinage du chantier plus particulièrement en zone urbaine.

En effet, la qualité du béton autoplaçant confère au béton plusieurs avantages techniques et socio-économiques par rapport au béton ordinaire ce qui donne aujourd'hui au béton autoplaçant une grande importance dans la recherche scientifique car les chercheurs ont essayés de remplacer les composantes de BAP par des matériaux locaux recyclé.

Objectif de travail

L'objectif de ce travail de recherche est la caractérisation physique et l'étude de durabilité des nouveaux ciments composés fabriqués par substitution d'une partie du clinker par les déchets de brique rouge et de verre finement broyés. Ces déchets de l'industrie des produits se trouvent relativement en abondance en Algérie. Ils représentent entre 10 à 15% de la production nationale qui s'élève, en 2016 à plus de 30 millions de tonnes et restent peu ou pas recyclées jusqu'à présent. Ce nouvel ajout (poudre de brique, poudre de verre) n'entre pas dans le champ de la norme en vigueur en Algérie NA 442, mais son utilisation dans l'industrie du ciment présente plusieurs avantages techniques, économiques et environnementaux à savoir :

- D'éliminer les déchets par recyclage d'où protection de l'environnement.
- Amélioration de la résistance mécanique, l'imperméabilité et la résistance aux attaques chimiques et la résistance à la fissuration d'origine thermique.
- L'ajout est un sous-produit et par conséquent son coût est pratiquement égale au coût de transport ce qui réduit le prix du ciment et du béton.
- Réduire les émissions du gaz carbonique(CO_2) à effet de serre généré par la fabrication du clinker (la production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique).

Plan de travail

Ce mémoire regroupe trois chapitres :

Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur le BAP, leur caractéristiques à l'état frais et durci Ainsi que des notions concernant les déchets de brique et de verre, leur utilisations et l'effet des poudres sur la rhéologie des BAP, … etc. et aussi la valorisation et l'activité de recyclage en construction.

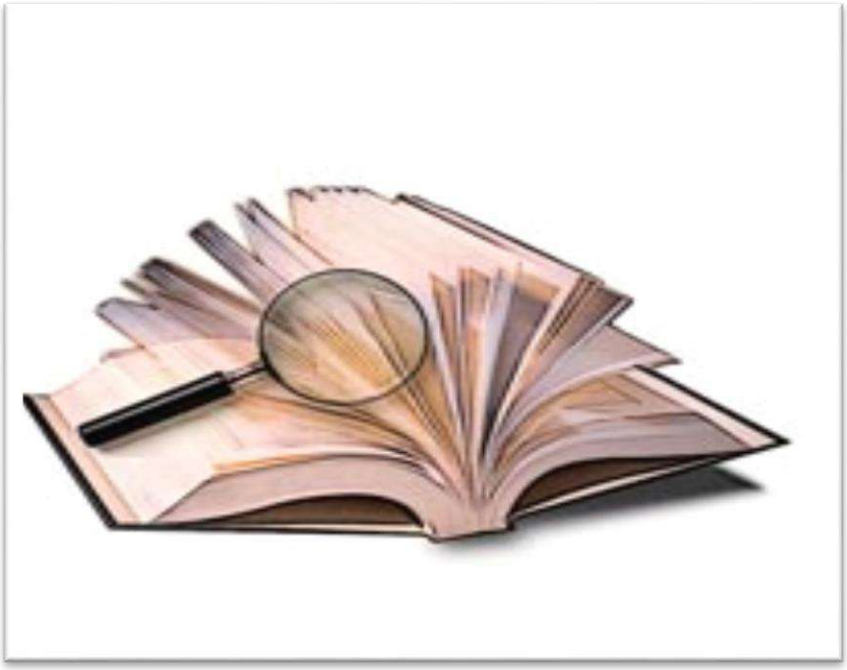
Le deuxième chapitre donne une description des matériaux utilisés et les essais réalisés et fait l'objet d'une section réservée aux détails de l'expérimentation mise en place durant toute la maîtrise de cette recherche.

Le dernier chapitre est consacré à la présentation des résultats et leurs interprétations. Les différentes résultats sont analysés indépendamment les uns des autres.

Finalement, ce travail s'achève par une conclusion générale et des recommandations pour le futur afin de bien enrichir et compléter cette modeste étude, par l'initiation à la recherche.

CHAPITRE I

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE



I.1 Béton Autoplaçant

I.1.1 Définition

Les bétons autoplaçant (BAP) sont très fluides, de sorte qu'ils s'écoulent et se mettent en place sous l'effet de la gravite sans besoin de compactage ou de vibration, et donnent des bétons homogènes et résistants à la ségrégation, et au ressuage. De plus ils sont très déformables et épousent parfaitement les formes des coffrages les plus complexes. Grâce à leur bonne uniformité une fois à la mise en place, ils donnent des structures résistantes et durables. **[1]**

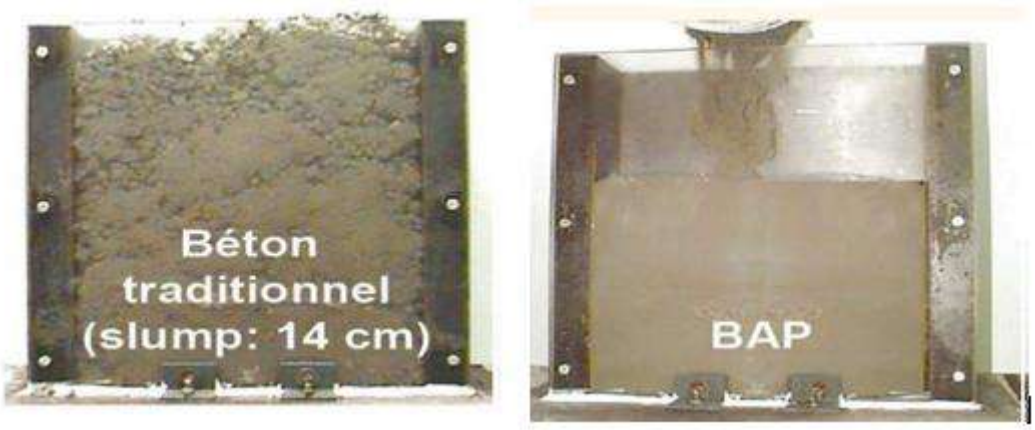


Figure I.1: différence de mise en place entre le BAP et le BO. **[2]**

Les propriétés caractéristiques de ce béton sont les suivantes :

- Fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation.
- Désaération du béton pendant son écoulement.
- Excellente aptitude au remplissage des moindres recoins du coffrage par un béton homogène, même en présence de réservations, d'incorporés et de ferraillage dense.
- Le dispendieux et fastidieux travail de vibration est ainsi supprimé. **[3]**

I.1.2 Les avantages des BAP

- Facilité et rapidité dans la mise en œuvre du béton (coulage en un seul point, augmentation du débit de béton pompé).
- Bétonnage en milieux fortement ferraillés et pour les formes plus complexes.
- Amélioration de la qualité des parements et de l'enrobage des aciers.
- Réduction du coût de la main d'œuvre.
- Absence de systèmes de vibration (intérieurs ou extérieurs) réduisant ainsi les coûts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.

- Réduction du temps de bétonnage et des besoins de ragréage.

Toutefois, certains points restent à surveiller dans l'utilisation du béton autoplaçant

I.1.3 Constituants des BAP

Un béton est constitué de deux parties principales : les granulats et la pâte (voir figure I.2). Par rapport aux bétons classiques, les BAP ont deux constituants supplémentaires qui doivent être présents dans la composition du béton. **[4]**

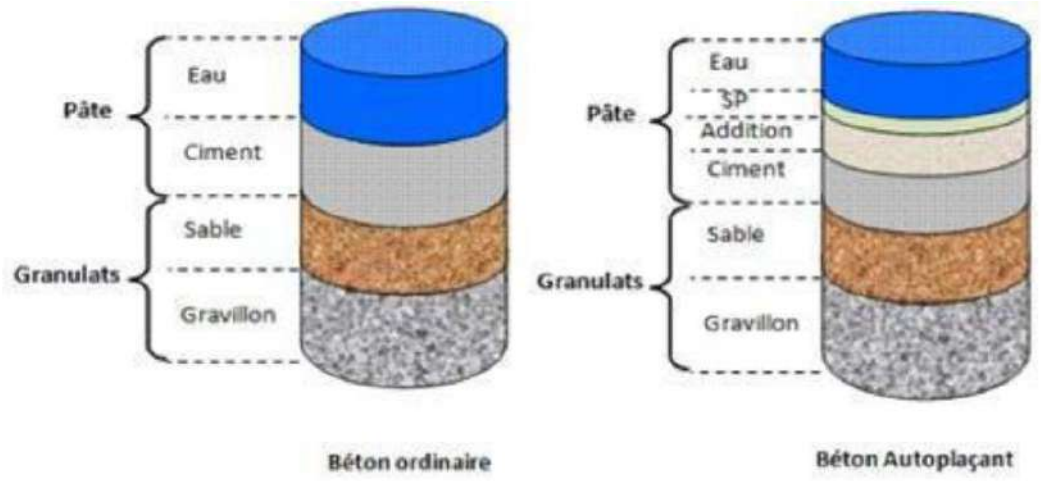


Figure I.2:les composants de BO et BAP. **[5]**

Les constituants du BAP ont un rôle très important dans la détermination des propriétés des BAP à l'état frais et durci. Donc, il est nécessaire de connaître le rôle que peut jouer chaque constituant ainsi que leur influence sur les propriétés des BAP. Cependant, les constituants d'un BAP, sont les mêmes que celui d'un béton ordinaire et qui sont :

I.1.3.1 Ciment

Le ciment généralement utilisé pour la confection d'un béton autoplaçant est soit le ciment Portland CPA-CEMI 42,5 qui contient au moins 95% de clinker et éventuellement un constituant secondaire, soit le ciment Portland composé CPA-CEM II/A et B 42,5 dont l'apport en clinker est de 65 à 94 %, le reste étant composé d'un ou de plusieurs ajouts. **[6]**

I.1.3.2 Granulats

Le dosage des granulats peut avoir une influence sur les propriétés d'ouvrabilité des bétons. Pour obtenir un BAP, le volume du gravier et la taille maximale des granulats ont été réduits pour diminuer les frictions et pour éviter les blocages dans des zones confinées.

L'importance des gros granulats sur la fluidité des BAP a pu être mise en évidence de même qu'il est recommandé d'utiliser des granulats roulés. En effet, les granulats roulés permettent de diminuer le risque de ségrégation. Il est considéré que le volume des gros granulats, dans le béton, est l'un des facteurs les plus importants à prendre en considération.

En effet ils ont constaté que plus la teneur en gros granulats augmente, plus la capacité de remplissage diminue, contrairement au rapport sable sur pâte qui n'influence pas sur le coefficient de remplissage. Le volume des gros granulats est donc limité et le rapport gravillon/sable est proche de 1. **[7]**

Du fait que les frottements entre les granulats limitent l'étalement et l'aptitude au remplissage des bétons, la quantité de granulats est donc limitée, Bethmont a explicité que la taille maximale Dmax des granulats **[8]**, 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.

I.1.3.3 Eau

L'eau utilisée pour la formulation du béton ne doit pas présenter un excès d'impuretés qui peuvent détériorer les propriétés des bétons (résistance, propriétés esthétiques, corrosion des armatures, etc.).**[9]**

I.1.3.4 Les adjuvants

On appelle adjuvant, tout ingrédient autre que le ciment, les granulats et l'eau, que l'on ajoute au mélange. Ce sont le plus souvent des polymères de synthèse au poids moléculaire assez élevé (20000 −30000 gr) **[10].** Les adjuvants sont des produits chimiques solubles dans l'eau, ajoutés à moins de 5% du poids du ciment, au moment du malaxage des mortiers et bétons ou à leur surface lorsqu'ils sont frais, afin d'améliorer certaines propriétés, en modifiant principalement :

- Les solubilités.
- Les vitesses de dissolution.
- L'hydratation des divers constituants d'un liant hydraulique.

Deux aspects pour assurer la fluidité des BAP, par l'augmentation de volume de pate élevée de ciment ou par l'utilisation des superplastifiants (SP).

Les SP permettent d'en modifier les propriétés rhéologiques durant une période plus ou moins longue. Ils permettent d'obtenir des bétons maniables et ouvrables par défloculation des grains de ciment. Les SP sont divisés en familles de produits parmi lesquelles nous citons les principaux :

Polynaphtalènesulfonate (PNS),

Polymélaminesulfonate (PMS),

Lignosulfonatesmodifiés (LS),

Polycarboxylate (PC),

Polyacrylate (PA),

Polyoxyéthylène (POE).

Les structures chimiques des superplastifiants de la nouvelle génération ne sont pas révélées par les fabricants pour des raisons liées au secret industriel.

La fluidité des BAP engendre parfois une ségrégation, qui donne un béton difficile à réaliser en pratique, c'est pour cela qu'on utilise des agents de viscosité. L'utilisation de ce dernier dans la formulation des bétons fluides est devenue récemment une nécessité pour garantir une bonne résistance à la ségrégation du béton.

Les agents de viscosité permettent un maintien de la fluidité et de la capacité de remplissage. L'ajout d'un SP dans un béton augmente son ouvrabilité mais réduit sa viscosité. De ce fait, le matériau devient moins stable du point de vue de la ségrégation et du ressuage. Pour minimiser cet effet, les BAP contiennent souvent un agent de viscosité. Les agents de viscosité peuvent être de différentes natures, en général ce sont des polysaccharides hydrosolubles. **[11]**

I.1.3.5 Les ajouts minéraux

Les BAP sont caractérisés par une fluidité importante et on veille surtout à diminuer la ségrégation et le ressuage. Pour obtenir ces propriétés, on ajoute de fortes teneurs en ajouts minéraux : fumées de silice, laitiers, cendres volantes, pouzzolanes et aditions calcaires.

I.1.4 Les propriétés des BAP à l'état frais

Les guides Européens EFNARC **[12]** pour les BAP, définissent les propriétés à l'état frais en quatre points essentielles, et proposent des essais empiriques à réaliser pour chaque propriété. **[18]**

I.1.4.1 La capacité au remplissage

Le remplissage du béton, ou la déformabilité, est un critère qui découle directement de sa fluidité. La capacité de remplissage est à la fois caractérisée par un degré de remplissage (étalement, Seuil) et par une vitesse de remplissage (T_{50}, temps au V-funnel et viscosité).

Tableau I.1: Essais permettant la détermination de la capacité de remplissage **[13]**

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)

I.1.4.2 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.

Tableau I.2: Essais permettant la détermination de la capacité de passage ***[13]***

Propriété	Essais à réaliser
Capacité de passage	• Etalement au cône d'Abrams en présence d'anneau de bars (J-Ring test) • Temps à T50 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)

I.1.4.3 La Résistance à la Ségrégation

Essais de la résistance à la ségrégation est principalement pour l'homogénéité et la qualité sur site du béton auto-plaçant. Le BAP peut souffrir de la ségrégation durant la mise en place et après mais avant son durcissement. La ségrégation qui se produit après la mise en place est la plus défavorable surtout pour les longs éléments et même pour les éléments minces comme les dalles, ça peut mener vers des dégradations de surface comme sa fissuration. **[14]**

I.1.4.4 Rhéologie

En plus de la fluidité, la viscosité du béton constitue un second critère important pour caractériser le comportement du BAP. Elle peut être déduite à partir de la mesure des frottements internes d'un matériau sous l'effet de sollicitations imposées (contraintes de cisaillement). La viscosité est d'autant plus faible que ces forces de frottement internes sont petites. Lorsque le béton s'écoule et s'étale plus rapidement que la viscosité est faible. **[14]**

I.1.5 Caractérisation des BAP à l'état frais

Plusieurs essais ont été développés pour déterminer les propriétés rhéologiques tant du point de vue de la fluidité que de la ségrégation (essai à la boîte en L, au tube en U et au cône en V, essai d'étalement, divers rhéomètres, essai d'enfoncement de billes, etc.). Certains essais permettent de qualifier soit la fluidité du béton, soit son comportement rhéologique. Pour évaluer la résistance à la ségrégation statique, on est actuellement contraint de faire des mesures

sur béton en cours de durcissement ou durci (sciage et comptage de granulats, ultrasons, microtomographie3D, etc.).**[15]**

I.1.5.1 Essai d'étalement (Slump Flow)

Cet essai est très simple à faire puisque qu'on utilise le même équipement que pour l'affaissement. Il permet d'avoir une très bonne idée de la déformabilité du béton autoplaçant. Plus l'étalement est élevé, meilleure est la déformabilité. **[16]**

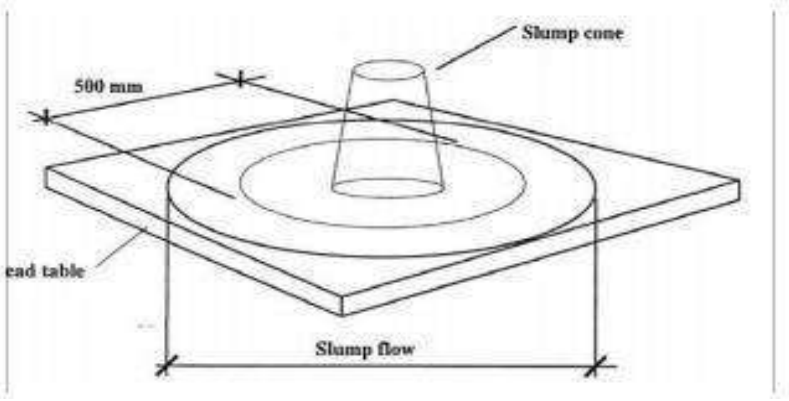


Figure I.3:Mesure de l'étalement.**[16]**

Il est à noter que les recommandations internationales classent les BAP en 3 catégories selon la valeur de l'étalement (SF:Slump Flow) et les applications correspondantes [EFNARC2002]:

- SF1 (550 - 650 millimètres) est approprié pour les structures en béton non renforcées.
- SF2 (660 - 750 millimètres) convient aux applications courantes (murs, colonnes).
- SF3 (760 - 850 millimètres) est employé pour des applications verticales en structures très encombrées, structures avec des formes complexes. **[16]**

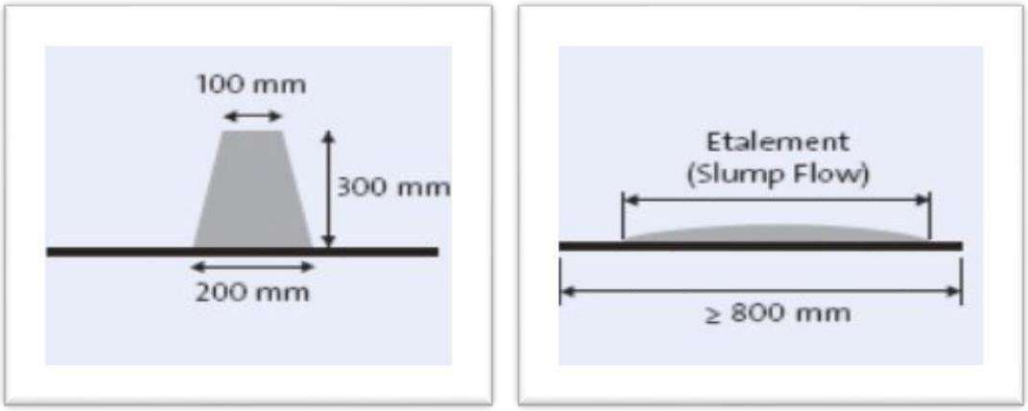


Figure I.4 :Essai d'étalement d'un BAP. **[16]**

I.1.5.2 Essai de boite en L

Cet essai est réalisé en utilisant une boite ayant une forme en L. elle permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que sa mise en place ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables **[16].** Un dessin technique de la boîte est décrit par (la figure I.5).

Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H1 et H2 et on exprime le résultat en

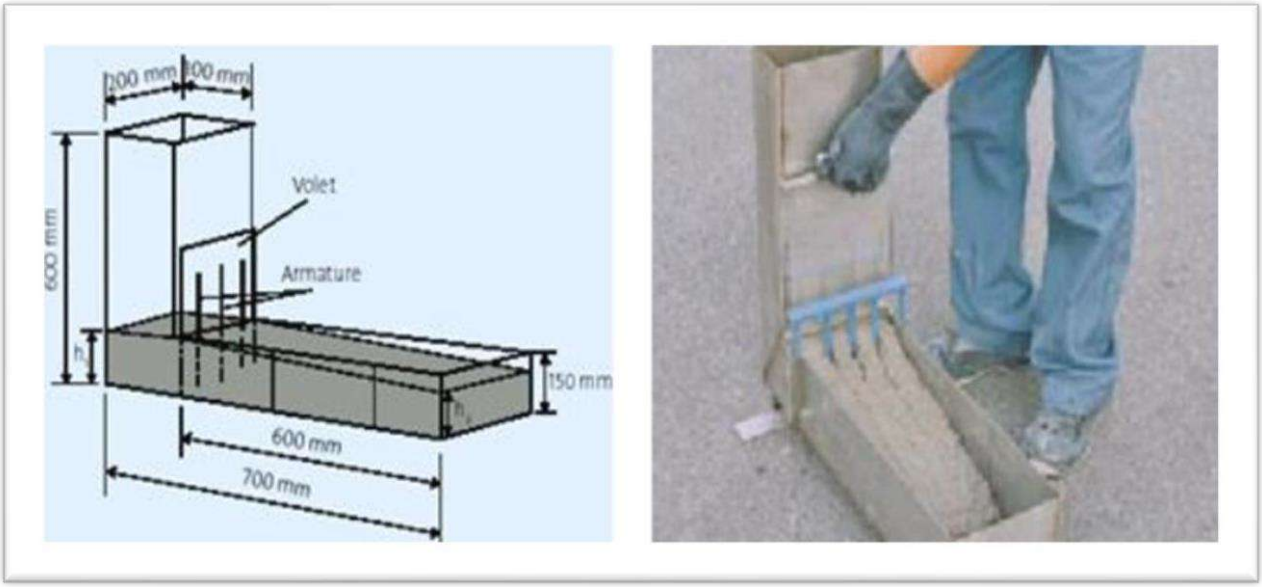


Figure I.5:Schéma de la boite en L. **[16]**

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

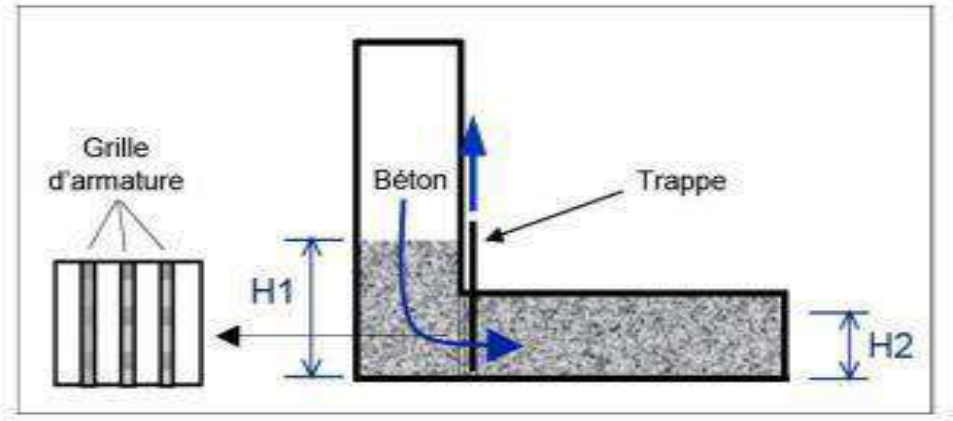


Figure I.6:Mesure du taux de remplissage (H2/H1 ≈ 80%).**[16]**

I.1.5.3 Essai d'écoulement à l'entonnoir

L'essai d'écoulement à l'entonnoir(ou V-funnel test) est utilisé pour évaluer la fluidité et la viscosité des BAP.

Un entonnoir de dimensions définies est rempli de béton jusqu'en haut.

Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert. On mesure le temps (Tv) que met le béton à sortir de l'entonnoir jusqu'à ce que cet entonnoir soit entièrement vide.

Ce temps d'écoulement, qui doit être compris entre 8 et 14 secondes, caractérise la viscosité du béton. Si le béton s'écoule plus rapidement, c'est que sa viscosité est trop faible. bien que l'essai soit conçu pour mesurer la fluidité, le résultat est affecté par d'autres propriétés du BAP que celle de l'écoulement. La forme de cône inversée fera bloquer l'écoulement du béton si, par exemple il y a trop gros granulat. Par contre un temps élevé d'écoulement peut être associé à une faible déformabilité due à une viscosité élevée de la pâte et ou un frottement inter granulaire élevé.

L'EFNARC [EFNARC 2005] définit deux classes de viscosité selon le temps

d'écoulement mesuré à l'entonnoir (V - funnel) : Tv ≤ 6 secondes, pour une bonne capacité

de remplissage même avec des renforts denses et 9 ≤ Tv ≤ 25 pour les autres cas. **[17]**

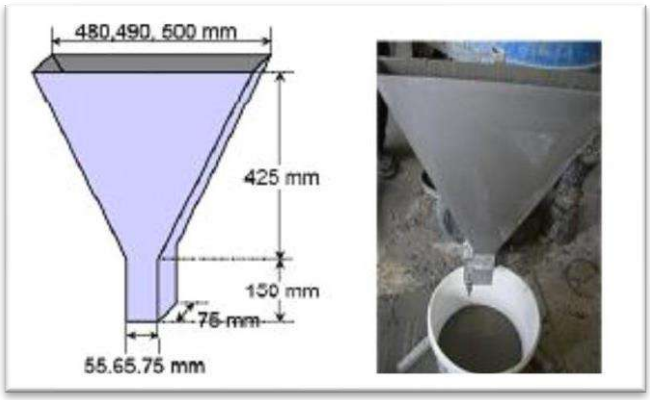


***Figure*.I.7 :** Essais des Entonnoirs.**[18]**

I.1.5.4 Essai de stabilité au tamis

Appelé aussi essai de caractérisation de la ségrégation des bétons autoplaçant, il vise à qualifier les bétons autoplaçant vis-à-vis du risque de ségrégation. Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autoplaçant en laboratoire, ou pour le contrôle de réception de la stabilité du béton livré sur chantier. **[17]**

Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité. Il consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance (laitance)

d'un échantillon de béton (4,8 ± 0,2 kg) passant à travers un tamis de 5mm. Les critères d'acceptabilité d'une formulation d'un béton autoplaçant sont divisés en trois classes :

- 0 % ≤ % laitance ≤ 15 % : stabilité satisfaisante.
- 15% < % laitance ≤ 30 % : stabilité critique : essai de ségrégation à réaliser in situ.
- laitance > 30 % : stabilité très mauvaise : ségrégation systématique, béton inutilisable. **[17]**



Figure I.7: Essai au tamis. **[17]**

I.1.6 Caractérisation de BAP à l'état durci

La caractérisation du béton autoplaçant à l'état durci est basée sur les résistances mécaniques (la compression et à la traction par flexion), comme pour la plupart des bétons directement liés à la qualité du squelette granulaire et au rapport eau efficace sur ciment, elles dépendent aussi de la composition du liant. L'optimisation de ces paramètres permet d'obtenir une large gamme de résistances qui situé entre (35 à 70 MPa à 28 jour). **[13,19]**

I.1.6.1 Résistance à la compression

Les BAP se caractérisent par un rapport E/C bas, ce qui amène à des bonnes résistances mécaniques. L'évolution des résistances à la compression des BAP semble être voisine aux bétons ordinaires en raison de l'utilisation fréquente de fillers calcaires connus pour avoir un effet accélérateur sur l'hydratation des silicates de calcium. Aux très jeunes âges, les résistances des BAP peuvent être affectées lorsque ces bétons contiennent des quantités importantes de superplastifiants car un dosage trop élevé pouvant conduire à un retard de prise considérable. Il est possible cependant d'atteindre des résistances mécaniques élevées au démoulage en optimisant le choix et le dosage en adjuvant. En fonction des propriétés

pouzzolaniques des additions, les résistances mécaniques des BAP peuvent continuer à croître au-delà de 28 jours**. [20,21]**

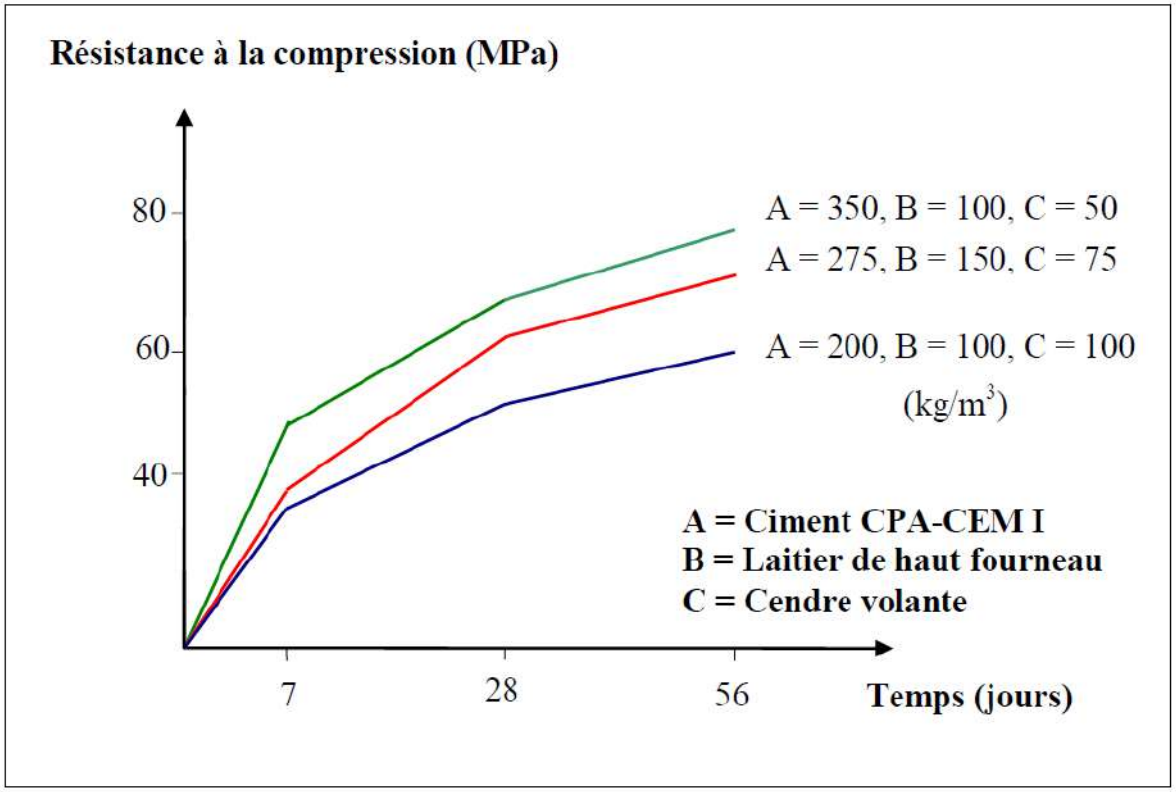


Figure I.8:Variation des résistances mécaniques en compression de BAP en fonction de la composition du liant. **[20]**

I.1.6.2 Résistance à la traction

La particularité des BAP peut entrainer des variations de résistance. Par exemple, la quantité de fines ou bien le volume de sable peuvent influencer la résistance en traction. **[24]**

Ils montrent que l'augmentation de la quantité de sable ou/et du volume de fines entraîne une élévation de la résistance en traction.

En effet, la résistance d'un béton à la traction est conditionnée par de nombreux paramètres. On peut noter que la microstructure de la pâte cimentaire et la porosité de l'auréole de transition sont fréquemment utilisées dans la littérature pour expliquer les variations ou les résultats de résistance à la traction obtenus.

I.1.6.3 Module d'élasticité

Le module d'élasticité dépend à la fois des proportions et des modules des différentes phases constituant un béton. Or, un BAP est composé d'un volume de pâte important et de ratioG/S plus faible qu'un BV.

D'après différents codes (Euro code ou DTU), le module d'élasticité est fonction de la résistance en compression des bétons. Donc, à résistance égale, un BAP devrait avoir le

même module qu'un béton vibré. Or, Persson et Pons et al**[25]** ont montré que le module est similaire pour les BAP et les BV. De même, Konig et al. **[24]** constatent que les modules des BAP sont très proches de ceux des BV. D'autres auteurs indiquent un module plus faible que ceux des bétons vibrés. **[22,23]**

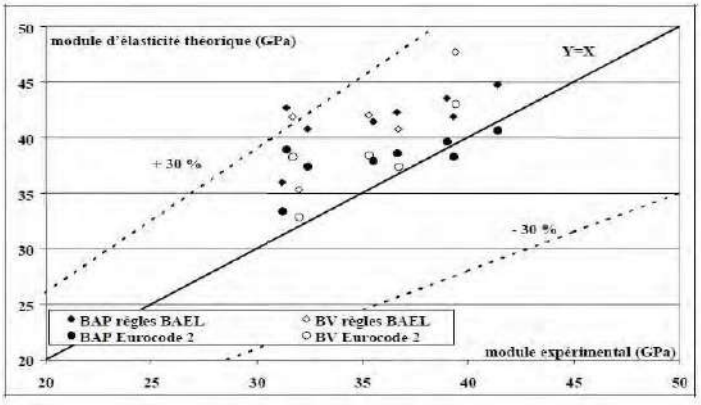


Figure I.9: Comparaison des modules d'élasticité d'après les codes de construction de BAP et des bétons vibrés avec leurs valeurs expérimentales. **[22]**

I.1.7 Durabilité d'un BAP

La durabilité d'une structure en béton est associée étroitement à sa perméabilité. En pratique, la durabilité dépend du choix des matériaux, de la composition du béton, ainsi que du degré de supervision durant la mise en place, la compaction et la cure du béton.**[13]**

I.1.8 Méthode de formulation

Les différentes propriétés des bétons autoplaçants 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 auto-plaçant à partir de données de base sur les matériaux locaux et un cahier

de charges précis **[26].**

La formulation de la composition se fait sur la base des méthodes acquises ces dernières années. Parmi ces dernières en peut citer les suivantes :

I.1.8.1 La Méthode Japonaise

La formulation des BAP par l'approche développée à l'Université de Kochi se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Les bétons obtenus sont sous dosés en granulats et par conséquent loin d'un optimum économique. Le surcoût engendré sur le matériau est compensé, au Japon, par les économies sur la main d'œuvre.

Les principes de formulation et leur application sont les suivants :

1. **Dosage des gravillons:** Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1m³ de béton est limité à la moitié de sa compacité. Par définition, la compacité d'un mélange de grains est le rapport du volume de grains et du volume total du système grains+vides. Elle dépend bien sûr du mode de compactage.
2. **Dosage du sable:** Le volume du sable est posé forfaitairement à 40 % du volume de mortier du béton. La fluidité du béton est garantie par la réduction des frictions granulaires.
3. **Dosage du liant:** La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes (soit ici une masse minimale de ciment de 350 kg/m3). Les rapports massiques eau sur ciment et filler sur ciment peuvent également être choisis sur des critères de résistance.
4. **Dosage de l'eau et du super plastifiant:** Les dosages en eau et en super plastifiant sont déterminés au moyen d'essais sur mortiers, dont le volume de sable est fixé à 40 %. On réalise des mesures d'étalement avec un cône à mortier et des mesures d'écoulement à l'entonnoir **[27].**

I.1.8.2 Méthode Suédoise

Proposée par [Peterson et al, 1996]. La méthode suédoise est basée sur l'étude effectuée par [Tangtermsirikul et al, 1995]. En fait, ils ont repris l'approche d'évaluation du risque de blocage et l'ont intégrée dans le processus de formulation. Le rapport G/S final est celui qui donne le même volume de pâte pour avoir les propriétés recherchées. Les fines, l'eau et le superplastifiant sont ajustés par la suite pour obtenir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement et la résistance à la compression visée. Cette méthode propose une meilleure optimisation du squelette granulaire mais le critère de blocage n'est pas général pour tout type de granulat **[26].**

I.1.8.3 Méthode Française (LCPC)

Proposée par [De Larrard et al, 1994] : Au LCPC, un modèle mathématique a été développé à partir d'un modèle de suspension solide (RENE LCPC). Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre les différents constituants du mélange. Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire avec une précision inférieure à 1% à partir des constituants ci-après :

- Les distributions granulaires.

- Les proportions du mélange.
- La compacité propre.
- La densité apparente.

La procédure à adopter pour déterminer les proportions des divers constituants est la suivante:

- La proportion de liant est fixée a priori (70% de ciment, 30% d'addition par exemple).
- Le dosage, à saturation, du superplastifiant est déterminé. Selon l'expérience du LCPC, ce dosage pourrait conférer au béton une viscosité élevée, la moitié de ce dosage serait plus pertinente.
- Le besoin en eau de ce mélange (en présence du superplastifiant) est déterminé.
- Les calculs sont effectués avec le logiciel en tenant compte du confinement (Effets de paroi).
- La viscosité est fixée de manière arbitraire à 5.104. La teneur en eau est réduite en conséquence et la proportion liant/filler est maintenue constante.
- Les proportions granulats/ phase liante sont optimisées.

Une formulation de béton auto-plaçant est donc proposée basée sur les prévisions du modèle. La teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance ciblée. Le dosage en superplastifiant est ajusté également afin d'obtenir la valeur d'étalement et le seuil de cisaillement souhaités et par conséquent les propriétés requises pour le béton auto-plaçant sont atteintes **[28].**

I.1.9 Domaines d'utilisations privilégiées des BAP

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 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 **[29].**

I.2 Les déchets

I.2.1 Introduction

Les déchets sont tous les résidus d'un processus de production, de transformation ou de consommation, dont le propriétaire ou le détenteur a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer.

En même temps, il est difficile de déposer des sous-produits industriels inertes dans les décharges, et il existe des décharges illégales qui affectent l'environnement. Ces types de résidus peuvent être traités pour être utilisés dans la production de béton.

Le taux de recyclage des déchets de briques utilisés pour fabriquer du béton est faible, ce qui peut être dû au manque de recherche sur l'utilisation et l'utilisation dans les bâtiments et les routes.

Il faut ajouter que les briques ne sont pas faciles à utiliser dans le béton en raison de leur faible compressibilité et de leur forte absorption d'eau.

Ces déchets menacent gravement l'environnement et l'assainissement des eaux souterraines. De plus, il a une apparence désagréable. L'élimination des déchets nécessaire n'est pas simple, parfois plus coûteuse, et nécessite des connaissances spécialisées car ces matériaux ne sont pas standardisés.

I.2.2 Définition des déchets :

Les déchets peuvent être abordés de manière différente en fonction de leurs propriétés. Leur classification peut notamment se faire en fonction de leur état physique (solide, liquide, gazeux), de leur provenance (déchets ménagers, déchets industriels, déchets agricoles), de leur traitement (primaires, secondaires, ultimes) ou encore de leur dangerosité (déchets inertes, déchets banals, déchets spéciaux).

La variété de ces propriétés et des points de vue que l'on peut adopter lorsque l'on s'intéresse aux déchets amène la plupart des auteurs à dire qu'il n'existe pas de définition satisfaisante du déchet. Cette définition est différente en fonction du point de vue réglementaire, environnemental, économique ou encore fonctionnel **[30].**

I.2.3 Source de déchet :

De nombreux bâtiments produisent des matériaux tels que des briques, du béton et du bois qui ne sont pas utilisés ou endommagés pour de nombreuses raisons pendant le processus de construction. La recherche de contrôle indique que ces matériaux peuvent atteindre 10 à 15% des matériaux utilisés dans la construction. Les composants actuels des déchets de construction tels que les plaques de plâtre sont dangereux dans le processus d'enfouissement, car ils produisent du sulfure d'hydrogène, un gaz toxique. De nombreux déchets de construction peuvent être recyclés et les conteneurs de compression sont souvent utilisés pour le transport. Quant aux gravats, ils peuvent être concassés et réutilisés dans les projets de construction. Les déchets de bois peuvent également être valorisés par recyclage **[30].**

I.2.4 Type de déchet :

I.2.4.1 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.

I.2.4.2 Déchets inertes :

Déchet qui ne subi aucune modification physique, chimique ou biologique importante, ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment,travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction.

Ce sont notamment les déchets suivants :

Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux.

I.2.4.3 Déchets assimilés :

Les déchets ménagers et assimilés recouvrent les ordures ménagères (OM) qui proviennent des ménages et tous les déchets gérés comme tels par les collectivités locales (déchets des artisans ou commerçants)

I.2.4.4 Déchets verts :

Déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages…)

I.2.4.5 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.…
- boues

I.2.4.6 Déchets industriels banals (DIB) :

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie.

Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie.

I.2.4.7 Déchets dangereux :

I.2.4.7.1 Déchets industriels spéciaux (DIS) :

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc.…

I.2.4.7.1 Déchets ménagers spéciaux (DMS):

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé **[31].**

I.2.5 Déchets en Algérie:

Selon le rapport du Salon international du recyclage des déchets industriels, afin de protéger l'environnement, la Chambre de commerce algérienne (CACI) organise la première exposition

internationale de recyclage et de recyclage des déchets industriels "Revade 2016". L'événement se tiendra au Palais des Nations (SAFEX) à Alger du 5 au 8 octobre et est co-organisé par le Ministère du Commerce, le Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement et le Ministère de l'Industrie et des Mines. Sur le thème «Les défis économiques du recyclage des déchets industriels», "Revade" réunira des experts qui devront aborder divers sujets liés à la protection de la planète. Entre autres, "la collecte, le transport et le traitement des déchets, les centres d'enfouissement technique, l'incinération ou les institutions chargées du traitement des eaux usées industrielles". Par sa thématique, l'événement vise, comme indiqué par les organisateurs, à « encourager l'investissement dans les nouvelles activités et la création de nouvelles entreprises dans ce domaine ».

Parmi les activités du salon, un programme d'animation sera organisé, en partenariat avec l'Agence Nationale des Déchets (AND) et l'agence de coopération internationale allemande pour le développement (GIZ).

D'ailleurs dans son rapport du mois d'avril 2014, la GIZ a fait savoir que « la quantité annuelle des déchets industriels en Algérie est estimée à 2 547 000 tonnes » **[32]**.

I.2.6 Déchets utilisés en génie civil :

I.2.6.1 Laitiers de haut fourneau :

C'est un résidu issu de la fabrication de la fonte au haut fourneau, où il correspond au mènerai de fer, isolée de la fonte liquide où il flotte par différence de densité. Sont utilisés comme matériaux de construction depuis assez longtemps. Les laitiers granulés sont utilisés dans l'industrie du ciment, dans la construction des couches de base, dans la fabrication des briques.

Les laitiers expansés sont utilisés pour la production des granulats légers et les laitiers refroidis à l'air, sont concassés et utilisés comme granulats pour les bétons. Les fines du laitier peuvent être utilisées pour remplacer sans inconvénient le sable.



Figure I.10: Laitier de haut fourneau. **[33]**

I.2.6.2. Laitier d'acier :

Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bi calcique métastable ;il est donc utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes. Normalement, ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé. **[34]**.



Figure I.11: Laitier d'acier **[34]**

I.2.6.3 Marbre :

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris, pouvant présenter des veines, ou marbrures (veines et colorie sont dus à des inclusions d'oxydes métalliques, le plus souvent).

Les déchets du marbre ont été recyclé avec succès dans la confection des bétons hydrauliques en substitution du sable ou du gravier et ce à des différentes proportions.

Les résistances obtenues restent raisonnables à celles données par les granulats naturels.



Figure I.12: Marbre**. [35]**

I.2.6.4 Céramique :

Un matériau céramique est solide à température ambiante et n'est ni métallique, ni organique. Les objets en céramique sont réalisés par solidification à haute température d'une pate humide plastique (verre minéraux), ou frittage (agglutination par chauffage) d'une poudre sèche préalablement comprimée, sans passer par une phase liquide (céramique poly cristalline) ; par assimilation, on désigne sous le terme « céramique »les objets ainsi fabriqués.



Figure I.13: Céramique**.[36]**

I.2.6.5 Boues rouges :

Les boues rouges proviennent de l'extraction de l'alumine de la bauxite. Elles sont de consistance assez plastique pour être formées en boules. Chauffées à des températures de 1260 à 1310 °c, elles sont transformées en granulats denses et résistants pouvant entrer dans la composition de bétons de résistances convenables.



Figure I.14:Boue rouge**. [37]**

I.2.6.6 Béton récupéré :

Il s'en suit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton. Par ailleurs, les sinistres fournissent des millions de tonnes de débris de béton. L'épuisement des sources courantes de granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs qui favorisent l'usage du béton récupéré. Les débris de chaussées en béton sont déjà utilisés pour la construction de la couche de fondation de nouvelles chaussées **[38]**.



Figure I.15:Béton récupéré **[38]**

I.2.6.7 Verre de récupération :

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année .En général, la résistance du béton contenant du verre est inférieur à celle du béton contenant du gravier. La résistance est particulièrement faible lorsqu'un ciment à teneur alcaline élevée est utilisé. On remarque la même tendance dans le cas de la résistance à la flexion .En remplaçant le ciment par des cendres volantes dans une proportion de 20 à 30%, on parvient à compenser cette perte de résistance. **[39]**.

La réutilisation du verre dans divers domaines s'est accrue. Les déchets de verre sont utilisés comme matières premières pour la production d'abrasifs au jet de sable, comme substitut d'agrégat dans le béton, les chaussées et les parkings. Quant à la poudre de verre, elle peut être utilisée comme lubrifiant, additifs de la base dans la fabrication de fonderie de métaux et dans l'industrie céramique. En agriculture, une incorporation du verre pilé, apporte des modifications chimiques, physiques et biologiques au sol.



Figure I.16:Déchet de verre. **[40]**

I.2.6.8 Sciure de bois :

Le bois est utilisé dans l'industrie, la menuiserie, les charpentes ou le chauffage. Dans tous les cas, il génère une grande quantité de déchets. Ces matériaux ne peuvent être mis en décharge directement à cause de la pollution que cela engendrerait. C'est pourquoi, l'utilisation de copeaux de bois dans la fabrication de bétons légers contribue à valoriser certains sous-produits de l'industrie du bois.

Le béton à base de sciure de bois est très peu utilisé à cause de sa faible résistance. On peut augmenter cette dernière en ajoutant du sable. Le béton à base de sciure de bois a de bonnes propriétés isolantes, une bonne souplesse et une faible conductivité thermique et peut être scié et cloué **[38]**.



Figure I.17: Sciure de bois. **[41]**

I.2.6.9 Brique concassée :

Les débris de terre cuite sont, généralement, classés parmi les déchets de démolition, que ce soit du point de vue recyclage ou réutilisation comme granulat léger. Les débris de briques contenus dans les déchets de démolition, sont désignés sous le nom collectif de « débris de terre cuite ». **[42]**.

Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent de sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton. Le béton contenant de

l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel **[38]**.



Figure I.18: Brique concassée. **[43]**

I.3 Déchets de brique :

L'objectif de ce paragraphe est de donner quelques renseignements sur les déchets de brique qu'on appelle « briquaillons », « chamotte » ou « brique concassée ». Vu leur emploi occasionnel, il y a peu des données sur ces matériaux et leur utilisation comme granulats du béton, malgré la consommation universel de leur matière première « brique » en grande masse, en conséquence, leur génération en quantités énormes.

En Algérie, selon les informations disponibles, la recherche sur ces matériaux est insuffisante. On appelle « briquaillons » : des briques morcelées provenant généralement de la démolition ou d'une mauvaise cuisson de briques (briques trop cuites) . On appelle « chamotte » : brique cuite broyée ou concassée. **[42]**.

I.3.1 Définition de brique :

La brique est un parallélépipède rectangulaire, fait d'argile crue, séchée au soleil ou cuite au four et utilisé comme matériau de construction. L'argile est souvent mélangée avec du sable.

I.3.2 Types de brique :

Il existe différents types de briques pleines avec des aspects de surface variée.

On distingue différents types de briques :

- la brique de terre crue, qui peut aussi contenir des fibres (pailles, lin, crin...)
- La brique cuite pleine, matériau traditionnel très ancien, avec une variante appelée brique pleine perforée (les perforations sont perpendiculaires au plan de pose).
- La brique de terre compressée

- ❖ La brique légère et isolante (qui flotte sur l'eau) utilisé une terre silico-magnésienne sans consistance mais qui mélangée à un vingtième environ d'argile plastique produisait des briques aussi résistantes que des briques ordinaires, mais très poreuses, conduisant mal la chaleur ou le froid et flottant sur l'eau.
- ❖ La brique réfractaire, pour la construction des fours, chaudières, foyers, cheminées, etc.
- ❖ La brique non gélive.
- ❖ la brique de chanvre, ayant de très bonnes propriétés d'isolation thermique.
- ❖ La brique cuite creuse, plus légère (et donc moins coûteuse à transporter) et plus isolante, est devenue la plus utilisée, Ses perforations sont parallèles au plan de pose de manière à ne pas diminuer sa résistance à la pression.

Selon le type, elles peuvent connaître différents usages :

- ❖ briques de parement : destinées à rester apparentes et sont purement décoratives.
- ❖ briques pleines : destinées à la construction de murs extérieurs, porteurs.
- ❖ briques plâtrières : servent à construire les cloisons intérieures et les murs de refend. **[44]**.

I.3.3 Principaux constituants de la brique et caractéristiques chimiques :

Les briques cuites sont fabriquées avec tous types d'argile :
les illitiques (couleur marron gris à rouge, après cuisson), les kaoliniques (très claires) et les bravais tiques (couleur orange à rose).
On trouve dans la pâte argileuse essentiellement des éléments métalliques, sous forme d'oxydes plus ou moins hydratés : - les éléments dits "réfractaires" dont le degré de fusion est très supérieur à celui de la température (de 800 à 1000°) des fours à briques : il s'agit de la silice (SiO_2), et de l'aluminium (AI_2O_3).
- les éléments "colorants" dont la proportion détermine la couleur basique de la brique (le degré de cuisson étant l'autre facteur déterminant de cette couleur). Ce sont :

- l'oxyde de fer.
- l'oxyde de titane.
- l'oxyde de manganèse.

Les fondants de deux types :

- les oxydes alcalino-terreux : chaux et magnésie **[45]**.
- les oxydes alcalins : oxydes de sodium et de potassium.

I.3.4 Mode de fabrication de brique :

Les briques sont obtenues par cuisson de certaines argiles à une température d'environ 1000 C°. Par combinaison chimique à partir de 700 C°, l'argile en perdant son eau, se transforme en terre cuite. L'oxyde de fer des argiles donne la coloration aux briques.

En général la fabrication des briques se compose des cinq opérations principales

- L'extraction de la terre (argile ou limon).
- Préparez la pâte.
- Formant.
- Séchage.
- Cuisson. **[45]**

I.3.5 Valorisation des déchets de la brique :

Il y a peu d'informations sur le sort des briques de rebut, qui représentent la plupart des démolitions et des gravats. D'une part, techniquement parlant, les déchets de maçonnerie sont en fait recyclés dans le cadre du matériau de type maçonnerie. En revanche, il n'existe pratiquement aucun texte juridique régissant la fabrication et l'utilisation des déchets de briques.

La valorisation matière est une méthode d'utilisation des déchets, qui vise à valoriser les déchets afin qu'ils puissent être réintroduits dans le système économique. Il couvre la régénération et le recyclage des matériaux.

I.3.5.1 Réutilisation :

A petite échelle, certaines entreprises de démolition récupèrent les briques en le nettoyant du mortier. Elles peuvent alors être réutilisées pour des travaux de restauration ou pour des nouvelles constructions auxquelles elles donnent un certain cachet.

Si la réutilisation de briques et tuiles reste marginale à l'heure actuelle, on peut s'attendre à une croissance dans le cadre de la démolition sélective des bâtiments.

I.3.5.2 Recyclage :

Le recyclage de briques provenant de chantiers de démolition est une réalité depuis plus de dix ans. Aujourd'hui, plus de 95% des déchets de démolition sont recyclés. Les briques sont transformées en granulats dans des installations de concassage; ces granulats sont alors mis en œuvre dans des travaux de fondations.

Une autre application originale du recyclage de briques est la terre battue utilisée pour le revêtement des terrains de tennis.

Les produits céramiques répondent aussi parfaitement au concept du "Cradle to Cradle".

Après utilisation, on peut, sans risques, les réutiliser ou recycler. La "partie rouge" des déchets de construction et de démolition peut entrer, comme matière première, dans la production de blocs en terre cuite.

I.3.6 L'utilisation de la brique dans le domaine de génie civil :

Aujourd'hui, la plupart des déchets inertes ont été éliminés sous forme de mélanges, en particulier dans le secteur de la construction, ce qui limite les possibilités de recyclage. En outre, les déchets de briques industrielles sont également jetés dans la décharge, qui est parfois hors de contrôle et ne peut pas être valorisée de manière significative. La pile peu pratique de copeaux de brique jetée par le détenteur est parfois accidentellement utilisée localement, et sa forme manque complètement d'orthodoxie scientifique. Dans les points de vente remédiés en fonction des conditions de vie et de la source de la briqueterie.

- Plates formes en béton.
- Réfection de planchers anciens.
- Remblaiement des fouilles et de site, etc. **[42]**
- Béton réfracteur utilisé pour revêtement des wagons de brique.
- Étanchéité : forme de pente en isolation de toiture.
- Chapes en mortier du ciment

I.3.7 Utilisations des bétons des déchets de brique :

de Les déchets de briques et de carreaux, en particulier les déchets de briques et de carreaux trouvés en grande quantité dans les tas de gravats notre ville, ainsi que les résidus et les résidus de la briqueterie, peuvent être concassés pour produire des agrégats de béton légers:

- De structure pour semelles de fondation, pour parois de caves et éléments de construction en béton armé d'un poids spécifique de 1600 à 2100 kg/m3, d'une résistance à l'écrasement de 50 à 320 kg /cm2, présentant une élasticité remarquable à la pression et à la flexion composée, de faibles coefficients de retrait et des indices de conductibilité et de dilatation relativement bas.

- Isolant poreux pour les parois, les parpaings et les carrelages, avec des poids spécifiques de 1000 à 1600 kg /m3, une résistance à l'écrasement de 20 à 50 kg /cm2, une résistance à la traction de 5 à 10 kg /cm2 , des coefficients de retrait de 0,20 à 0,30 mm m (sans durcissement à la vapeur) et une faible conductibilité de la chaleur.

- Les déchets de brique sont utilisés dans la construction d'assises routières, comme matériaux de remblaiement, pour l'aménagement paysager.

- Le béton de déchet de briques a déjà trouvé, il y a longtemps, son utilisation dans les revêtements de routes sur les ponts, suite de sa faible densité.

- Damé (béton non armé) nécessaire aux fondations massives, fondations de murs et soubassements ainsi que lors de la fabrication du béton de remplissage.

- Mono granulométrique du groupe granulométrique 1/3 mm, avec lequel on peut produire des bétons poreux de déchet de briques présentant une isolation thermique particulièrement poussée.

I.3.8 Effet de la poudre de brique sur la caractéristique de BAP :

I.3.8.1 Etat frais

a. Effet de la poudre de brique sur l'ouvrabilité

En examinant la figure I.19, les résultats montrent, d'une part, avec un taux de 10% de remplacement du ciment par la poudre de déchet de brique, la viscosité du béton est pratiquement la même (30.4 et 32.9 Pa.s), mais avec un taux de 20%, la viscosité est fortement réduite pour atteindre environ 14.2Pa.s (figure I.20).

D'autre part, le seuil de cisaillement augmente sensiblement qui passe de 468Pa pour un béton témoin pour atteindre 708Pa pour un béton avec du ciment composé de 10% de déchet de brique, mais pour un taux de 20%, le seuil de cisaillement est légèrement supérieur à celui du béton témoin sans ajout (568Pa) mais il est inférieur à celui du béton à base d'un ciment composé de 10% d'ajout de brique (figure I.21) Ces résultats rejoignent ceux de (Zhang X et

Han J, 2000)**[47]** qui ont montré que le seuil de cisaillement augmente avec la quantité d'addition ultrafine incorporée tandis que la viscosité de la pâte varie avec la nature et la quantité d'addition. Ils ont montré que lorsque le taux de substitution du ciment par des additions de fumée de silice, cendres volantes ou calcaires est inférieur à 15%, la viscosité de la pâte est remarquablement réduite. En fait, à l'état frais, la présence des additions minérales actives modifie la structure du squelette granulaire et les frictions entre les composants solides dans la phase liquide. Au cours de la prise et du durcissement, les particules des additions minérales inter- agissent dans le processus d'hydratation du ciment en modifiant la structure des produits hydratés. En plus, les pouzzolanes peuvent réagir chimiquement en milieu cimentaire pour former de nouveaux produits hydratés qui présentent un caractère liant supplémentaire.

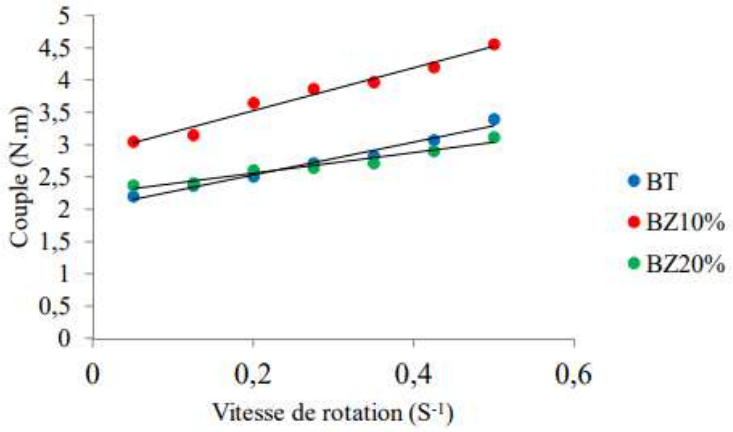


Figure I.19: Rhéogrammes des différents types de béton [**47]**

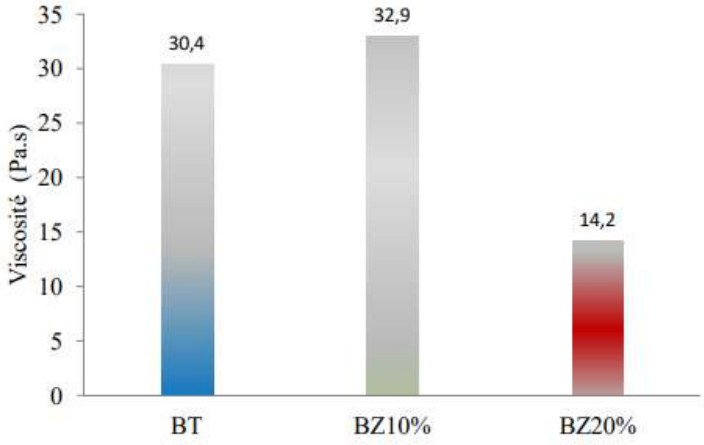


Figure I.20: Evolution de la viscosité des différents types de béton. **[47]**

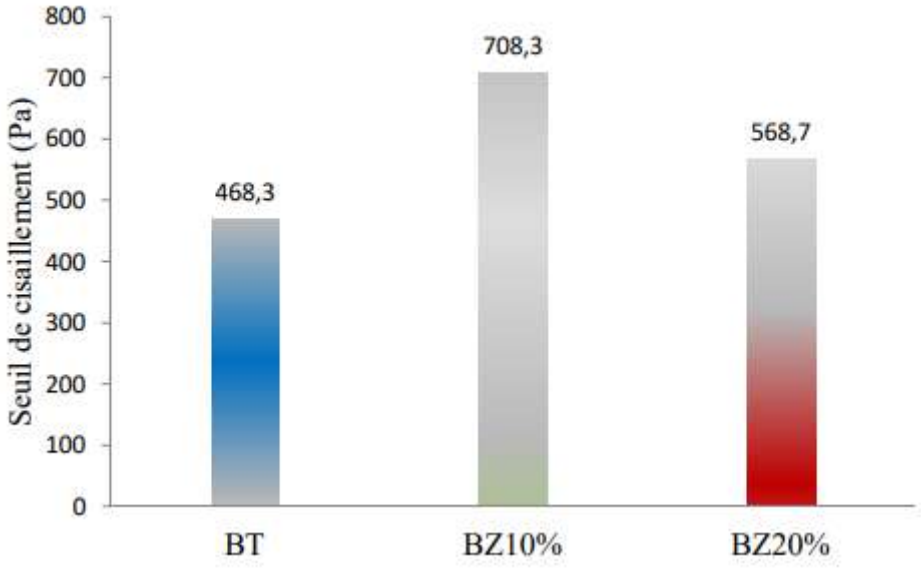


Figure I.21: Evolution du seuil de cisaillement des différents types de béton. **[47]**

L'effet de l'introduction de la poudre de brique issue des déchets de brique, est étudié par JiahuShao et all, 2019 **[48]**, qui a introduit cette poudre par remplacement partiel de ciment à des pourcentage (0 %, 10 %, 20 %, 30 % et 40 %), les résultats de ses travaux montrent que la résistance à la compression des BAP contenant la poudre de brique diminue progressivement avec l'augmentation des pourcentage de remplacement au jeune âge, la figure suivante (figure 1.22) présentent les résultats d'essai mécanique de ses travaux **[49]**.

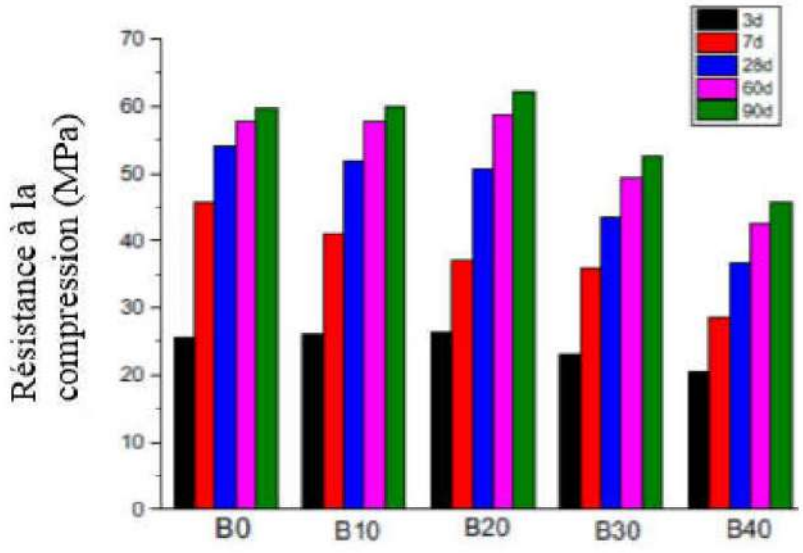


Figure I.22: Effet de la poudre de brique sur les propriétés mécaniques des BAP. **[49]**

I.3.8.2 Etat durci

a. Effet de la poudre de brique sur la résistance à la compression

Les résistances à la compression des différents types de béton sont très intéressantes et cela à toutes les échéances. Les bétons ont atteint des performances très importantes après 60jours sauf pour le béton à base de ciment composé de 20% de déchet de brique dont la résistance est de 55 MPa (figure I.23) . On remarque bien que pour un taux de 10% d'ajout de poudre de déchet de brique, la résistance à la compression est identique à celle d'un béton sans ajout malgré la réactivité à moyen terme de la poudre de brique , cela est le résultat de sa grande finesse de mouture par rapport à celle du ciment Portland et par conséquent elle avait un rôle de densifier la microstructure du béton par son effet filler.**[50]**

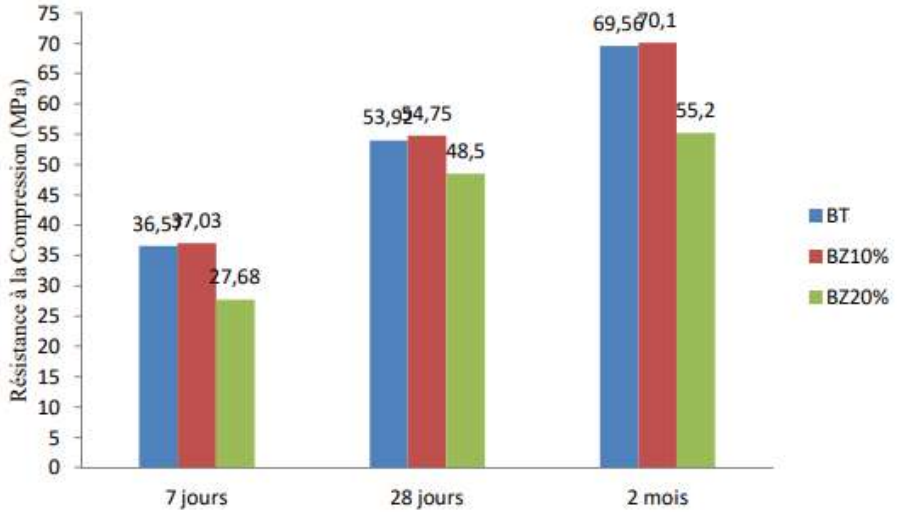


Figure I.23: Evolution de la résistance à la compression des différents types de béton **[50]**

b. Effet de la poudre de brique sur la résistance à la flexion

Pour les résistances à la flexion, les auteurs Ortéga et all (2018), notent que ces dernières restent pratiquement constantes sur la période de 400 jours, avec une légère augmentation dans le cas des BAP à poudre de brique par rapport à ceux de CEM I. **[51]**

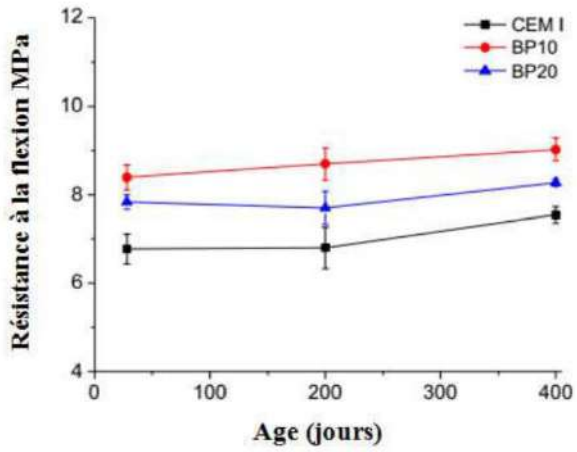


Figure I.24 : Résistance à la flexion des mortiers étudiés **[51]**

Une bonne élimination des déchets et une bonne gestion peuvent limiter les effets néfastes sur l'environnement et les programmes de santé, et fournir de nouvelles ressources renouvelables et durables qui contribuent au processus de construction du génie civil. Le recyclage des déchets de briques nous montre la possibilité d'utiliser ces derniers (dite inertie) dans le domaine du génie civil. Les déchets de briques peuvent être utilisés pour fabriquer du béton, il peut donc être souhaitable comme solution pour réduire le poids de la structure. De manière générale, les briques de rebut peuvent produire du béton avec une résistance acceptable et peuvent être utilisées pour produire du béton de haute qualité. Cependant, afin de recycler ces déchets, d'améliorer les propriétés des granulats à partir de ces déchets et de comprendre les propriétés extrêmes du béton à base de ces granulats, des recommandations seront également données.

I.4 Déchet de verre :

I.4.1 Définition de verre :

Le verre est un solide inorganique, généralement transparent ou translucide, dur, facile à casser, imperméable aux matériaux naturels. Bien qu'il soit utilisé depuis l'Antiquité, il est toujours très important dans diverses utilisations, telles que les bâtiments, les outils, les ustensiles ménagers et les équipements de communication filaires. Les types de verre diffèrent considérablement en fonction de leurs différents composants et propriétés physiques. Quant au type de verre le plus répandu à travers les âges, surtout à notre époque, c'est celui utilisé dans la fabrication des fenêtres et des récipients à boire, qui est le verre sodocalcique, composé à 75% de silice, d'oxyde de sodium et de calcium. oxyde. Avec ou sans autres additifs.

I.4.2 Les déchets de verre

Le verre constitue une composante importante des ménages et des déchets industriels en raison de son poids et de sa densité.

La composante de verre dans les déchets municipaux est généralement constituée de bouteilles cassées, verrerie, des ampoules et autres articles. Aussi de nombreuses méthodes manuelles de création d'objets en verre ont un taux de défectuosité de l'ordre de quarante pourcent **[52]**.

I.4.3 Valorisation des déchets de verre dans le domaine de matériaux de construction

Le verre est un matériau fragile, à base de silice SiO2. Le recyclage du verre possède de nombreux avantages, et celui notamment d'être utilisé à l'infini. Le verre après concassage et broyage peut être réutilisé sous plusieurs formes dans plusieurs secteurs d'activité notamment dans le secteur de génie civil.

Soit par réemploi directe (le verre usagé, après réparation est à nouveau utilisé pour le même usage ou un usage différent). Soit par recyclage (exemple, la valorisation du verre de bouteilles dans les matériaux cimentaire).

Les déchets de verre sont utilisés comme matières premières pour la production d'abrasifs au jet de sable, comme substitut d'agrégat dans le béton, les chaussées et les parkings.

Le verre remplace les gravillons qu'on peut trouver dans les parpaings, et possède des qualités d'acoustique et de légère.

Quant à la poudre de verre, elle peut être utilisée comme lubrifiant, additifs de la base dansla fabrication des matériaux cimentaires. **[53]**

I.4.4 Fabrication de verre

Le composant de base de la fabrication du verre est le sable ou, plus précisément, la silice (SiO2) qu'il contient.

Chaque type de verre (creux, plat et technique) a un mode d'élaboration différent.

Cependant, on relève 5 grandes étapes dans le cycle de fabrication du verre qu'il nous faut passer en revue pour mieux comprendre ensuite comment sont recyclés les déchets de verre.

L'élaboration des produits en verre, à partir des matières de base, passe par plusieurs étapes :

- Préparation du lit de fusion.
- Elaboration du verre.
- Mise en forme.
- Recuisons.
- Contrôles de qualité des produits finis. **[54]**

I.4.5 Types de verre

I.4.5.1 Les verres sodocalciques

C'est le plus commun des verres. Il a une bonne stabilité chimique, mais il est sensible aux chocs thermiques. Il est utilisé pour la fabrication des verres plats et creux, des ampoules électriques et en bouteillerie.**[55]**

I.4.5.2 Les verres borosilicates

Le plus connu est le Pyrex (1915) qui possède une bonne résistance aux chocs thermiques. On en fait des ustensiles de laboratoire et de cuisine (résistance à la chaleur et aux agents chimiques). Il sert aussi pour l'isolation (fibres de verre) et le stockage de déchets radioactifs. **[56]**

I.4.5.3 Les verres au plomb

On l'appelle cristal si la teneur en oxyde de plomb est supérieure à 24 %. Il sert en gobeleterie et en verrerie d'art, pour les téléviseurs et en électronique.

Le cristal est limpide, très sonore, très résistant à la dévitrification. En élevant la teneur en plomb (60%), on obtient un verre dense utilisé pour la protection des rayons X. **[57]**

Le verre contient du plomb s'il noircit lorsqu'on le chauffe au chalumeau.

I.4.5.4 Le verre de silice

Il contient au moins 96% de silice. Il est très employé grâce à sa grande pureté (transparence optique) et pour sa résistance aux températures élevées, à la corrosion et aux chocs thermiques.

On l'utilise pour la fabrication de tubes de lampe à halogène, des éléments d'optique et des miroirs de télescope. **[58]**

I.4.5.5 Les vitrocéramiques (ou vitro cristallins)

Ce sont des dérivés du verre dont la fabrication est basée sur le principe de dévitrification.

La transformation en céramique semi-cristalline s'obtient par un traitement thermique appelé "céramisation" qui permet d'obtenir un début de cristallisation. La température de cristallisation est à environ 800° et la cristallisation dure environ 2 heures.

Les vitrocéramiques peuvent posséder une grande résistance à la rupture et un coefficient de dilatation très faible, ce qui leur permet d'être très résistants aux chocs thermiques. **[59]**

I.4.6 La poudre de verre dans les bétons

Du fait de sa nature amorphe et qu'il contienne des quantités relativement appréciable de silice, le verre est en général considéré comme étant pouzzolanique s'il est broyé finement. Ainsi il pourrait être utilisé en remplacement partiel du ciment Portland dans les bétons.

Plusieurs travaux ont été conduits dans les années soixante sur l'utilisation du verre comme granulats dans les bétons. Cependant ces travaux ont montré que tous les bétons ont gonflé et fissuré**.**

En effet, pour des raisons économiques et environnementales, l'utilisation du verre recyclé dans les ciments et bétons a suscité l'intérêt d'innombrables décideurs et ceux-coint encouragé de nouvelles études. **[60]**

Le pourcentage d'utilisation du verre broyé par substitution dans la matrice cimentaire peut varier selon la disponibilité du verre et les performances voulues du béton.

La résistance en compression pour certains ouvrages peut être une référence du pourcentage utilisé, sans omettre la durabilité qui est devenue une autre obligation pour la qualité des bétons d'aujourd'hui. Au fur et à mesure que l'utilisation des autres ajouts cimentaires traditionnels occupait une place importante dans l'industrie du béton, des travaux en parallèle sur les ajouts cimentaires alternatifs apparaissent, soit en les combinant avec les ajouts cimentaires tels que, la fumée de silice, les cendres volantes dans des systèmes ternaires ou avec le ciment portland tout seul dans des systèmes binaires. **[61]**

I.4.7 Utilisation de verre dans le domaine de génie civil

- Automobile et matériel roulant
- L'électroménager
- Les équipements industriels
- Le mobilier urbain
- Les bâtiments : hôtels, grandes surfaces, salles des fêtes, bureaux. **[62]**

I.4.8 Comportement du verre dans un milieu cimentaire

Le verre incorporé dans les bétons peut manifester plusieurs types de comportement, essentiellement en fonction de sa granularité : une granularité grossière tend à provoquer un phénomène d'alcali-réaction générateur de désordres, alors qu'un verre fin développe une action bénéfique identifiable à une réaction pouzzolanique. **[63]**

I.4.9. Réaction pouzzolanique du verre

L'activité pouzzolanique du verre a été évaluée par diverses méthodes : les tests mécaniques sur éprouvettes de mortier et béton à base de ciment ou sur des mortiers à base de chaux, ou encore tests chimiques de consommation de chaux.

L'indice d'activité est défini comme étant le rapport de la résistance du mélange avec verre à la résistance du mélange témoin. Il a été difficile, voire impossible, de rassembler des travaux

tous faits dans des mêmes conditions. Toutefois les conclusions suivantes se dégagent nettement :

1. La taille des grains de verre joue un rôle prépondérant sur l'activité pouzzolanique du verre : plus les grains de verre sont fins, meilleure et son activité pouzzolanique (finesse de 800 m2/kg pour avoir un bon indice d'activité pouzzolanique a 90jours).

2. La résistance des mortiers et bétons diminue à mesure que leur teneur en verre augmente.

3. Le verre de couleur brune est le verre qui possède la plus faible activité pouzzolanique derrière le verre vert puis le verre blanc.

4. Une température élevée joue un rôle important dans l'activation du verre.

5. L'utilisation simultanée d'un verre et d'une pouzzolane en remplacement partiel du ciment pourrait conduire à des synergies intéressantes.**[64]**

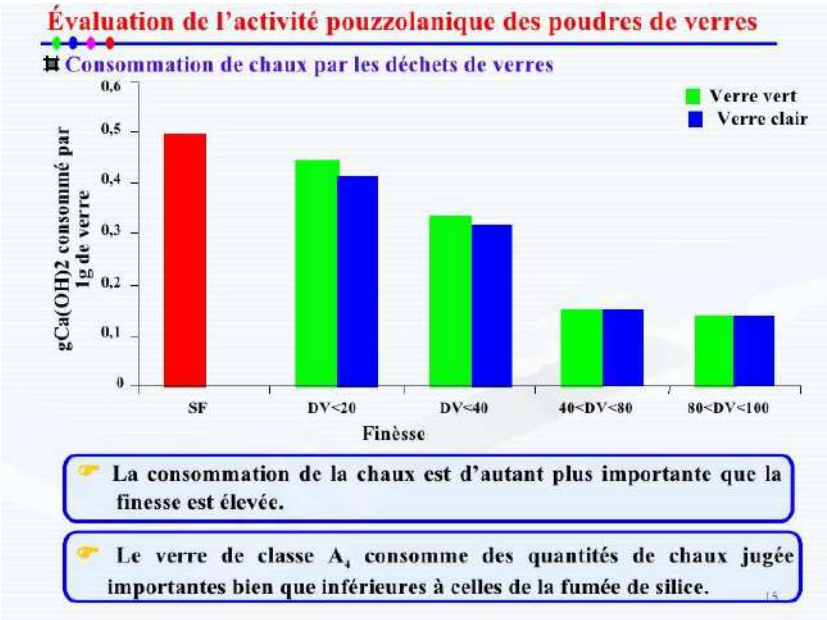


Figure I.25: Evaluation de l'activité de pouzzolanique. **[64]**

I.4.10 Comparaison du verre à d'autres pouzzolanes :

La cinétique de la réaction du verre est plus rapide que celle des cendres volantes qui ne réagissent qu'après une à plusieurs semaines, lorsque la concentration des alcalins dans la solution interstitielle est devenue suffisante : en effet, dans le cas du verre, celui apporte lui-même les alcalins nécessaire au déclenchement de la réaction. Par exemple, une substitution de 30% du ciment dans les bétons affiche une meilleure résistance en compression que ceux confectionnés avec de la cendre volante.

Ces auteurs ont montré qu'à trois jours de cure, la résistance des mortiers comportant 20% de verre en remplacement de ciment est 70% plus importante que celle de mortiers confectionnés avec de la cendre volante Cela pourrait s'expliquer notamment par les alcalins qui sont

disponibles plus rapidement et en plus grand nombre dans le cas du verre qu'ils ne le sont dans celui de la cendre volante. **[63]**

I.4.11 L'utilisation simultanée de verre et de pouzzolane :

Concernant ce point, plusieurs études en laboratoire ont été conduites. L'utilisation simultanée d'un verre et d'une pouzzolane notamment la fumée de silice, la cendre volante ou même le métakaolin en remplacement d'une fraction du ciment pourrait conduire à des synergies intéressantes. Ainsi l'utilisation du verre serait plus intéressante que son emploi individuel. **[64]**

I.4.12 Réaction alcali-silice du verre :

Le remplacement partiel du granulat naturel ou du ciment par le verre dans les bétons, améliore ses propriétés mécaniques notamment les résistances en compression. Toutefois, certains travaux conseillent l'utilisation de ce matériau en prenant certain précautions. Effectivement, les bétons à base de verre sont confrontés à un problème lié à leur durabilité. La silice du verre en combinaison avec les alcalins du ciment donne naissance à des produits gonflants qui entrainent l'endommagement des bétons. La réaction alcali-silice du verre dépend de différents paramètres, la bibliographie a montré que le processus de la réaction alcali-silice en général et des granulats de verre est un phénomène complexe influencé par plusieurs facteurs**. [64]**

I.4.13 Effet de déchets de verre sur l'ouvrabilité

L'effet de la poudre de verre (PV) sur l'ouvrabilité des bétons frais dépend de plusieurs facteurs, notamment, de sa finesse de mouture. Zidol (2009)**[65]** a étudié l'effet de la finesse de la PV sur les performances à l'état frais et à l'état durci des bétons (ordinaire, haute performance et autoplaçant). Il s'avère qu'une finesse semblable à celle du ciment soit une valeur optimale pour l'obtention d'une ouvrabilité acceptable. Pour un BAP ayant un rapport E/C = 0,4, l'incorporation de 20 % de poudre de verre diminue le seuil de cisaillement de 32 % et la viscosité plastique de 21% en comparaison avec un béton témoin (100% ciment). De plus, la demande en superplastifiant diminue à mesure qu'augmente le pourcentage de remplacement du ciment par la poudre de verre

Les demandes en agent entraineur d'air dans les mélanges contenant 20 % et 30 % des poudres de verre sont respectivement inferieures d'environ 20 et 25 ml/100 kg de ciment a celle du témoin. Ceci traduit une amélioration de l'ouvrabilité des mélanges en présence de la poudre de verre. Toutefois dans une autre étude menée par TAHA et coll., 2008 a un

affaissement similaire entre le béton témoin et un mélange avec 20 % de poudre de verre et de rapport E/L = 0,38 a été observé. **[65]**

I.4.14 Effet de déchets de verre sur la résistance à la compression

(Bouchneb et al.) L'explication est que la surface spécifique entre le PV et le ciment est différente et que l'absorption d'eau mitigée par le PV est plus faible, ce qui augmente la quantité d'eau libre dans la matrice de ciment. Comme d'autres additifs traditionnels pour le ciment, la poudre de verre modifie la dynamique du développement de la résistance à la compression du béton. Par conséquent, cela conduit au développement lent de la résistance électrique, quipeut s'expliquer par le changement d'hydratation de la matrice provoqué par le remplacement du ciment par le PV. Le PV absorbe moins d'eau que le ciment. En revanche, après l'avoir pris pendant 90 jours, nous avons observé que l'ajout de 10% ou 20% de PV peut augmenter la résistance à la compression. Ces tendances confirment les résultats de Zeghichi et al. (2012). **[66]**

Tout comme les cendres volantes, la PV n'a pas d'influence sur les résistances à jeune âge. Au-delà de 56 jours et jusqu'à 91 jours les résistances des bétons avec PV sont équivalentes, voire supérieures au béton témoin. En effet, des bétons à hautes performances ont été formulés avec un dosage en liant de 400 kg/m3 et un rapport E/L de 0,40.**[59]**

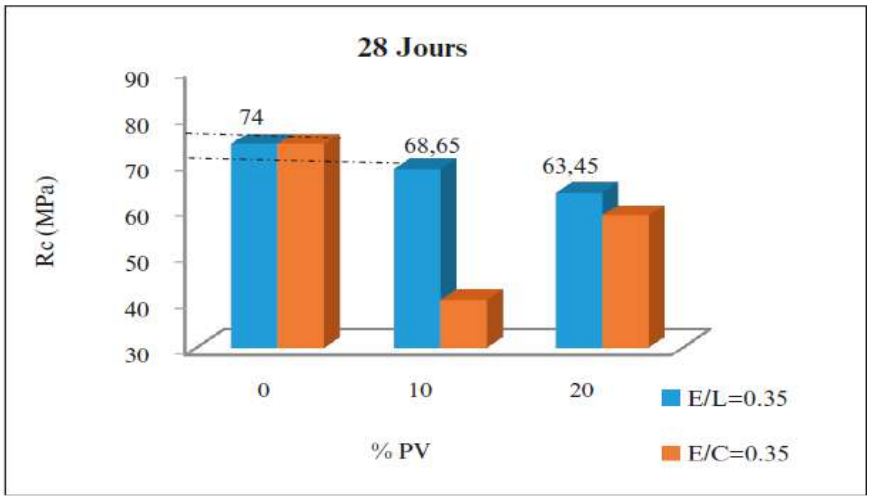


Figure I.26: Influence du dosage en PV sur la résistance à la compression. **[66]**

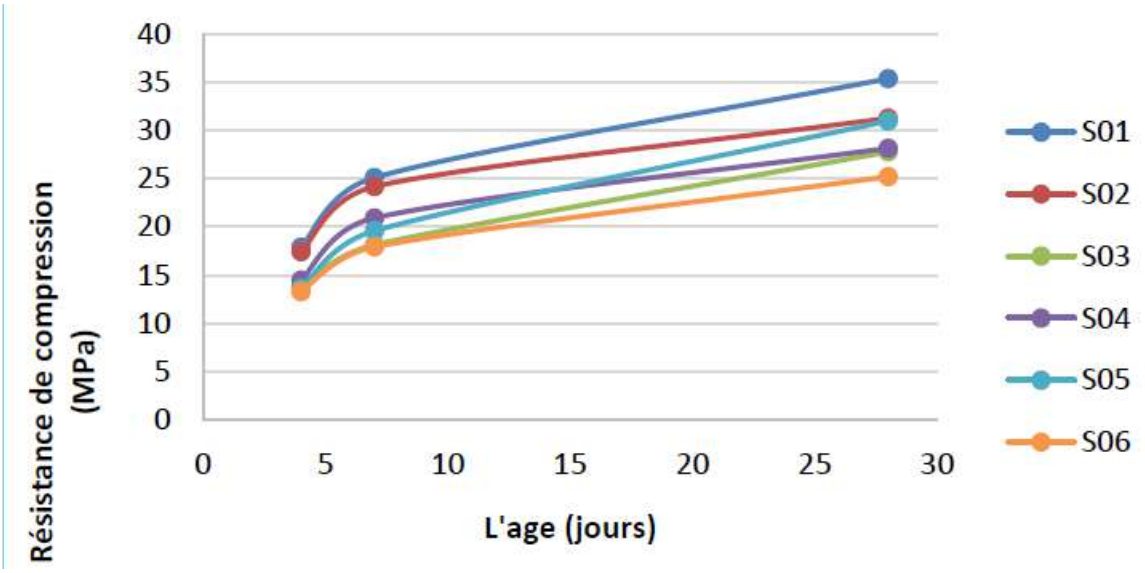


Figure I.27:La résistance à la compression en fonction de l'âge de mortier en SM. **[66]**

I.4.15 Effet de déchets de verre sur la résistance à la traction

La résistance à la traction de tous les mélanges de poudre de verre obtenus à 28 ou 91 jours dépassait la résistance à la traction du témoin. Cette observation illustre l'amélioration de l'anti-interaction du béton en présence de poudre de verre. Nous avons également remarqué que les mélanges de fritte de verre à 20% et 30% ont obtenu des résultats similaires à 28 jours, mais à 91 jours, la résistance à la traction du mélange de fritte de verre à 30% dépassait la résistance à la traction du mélange de fritte de verre à 20%. Par rapport au témoin, la poudre 6x25 (f = 374 m2/kg) et 9x25 (f = 436 m2/kg) a diminué d'environ 11 jours, respectivement. % Et 16% et 27%. Cela montre que le remplacement de plus de 20% de la résistance à la traction par 30% de poudre de verre a une meilleure amélioration. Cependant, l'étude de SHAYAN et al en 2006 sur le mélange La résistance à la traction du béton avec un rapport E/L = 0,49 est légèrement inférieure En fonction du degré de substitution de la poudre de verre. **[67]**

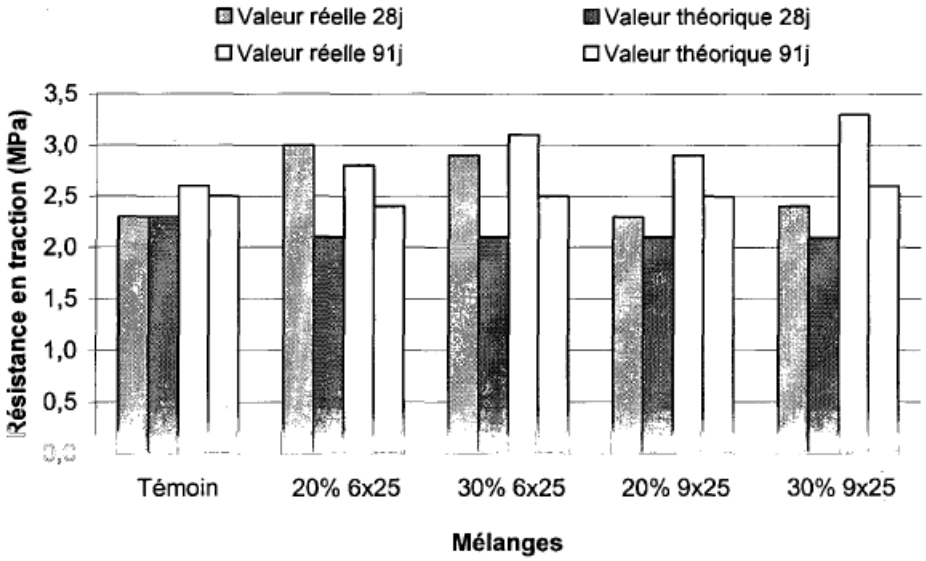


Figure I.28: Résistance en traction par fendage des bétons conventionnels. **[67]**

En final, on pourra dire que le verre est un matériau nouvellement introduit parmi les matériaux à base de ciment. Bien que ce matériau présente de nombreux avantages, notamment sur les plans économique, écologique et technique, il n'a guère fait de travaux, c'est un matériau riche en silice et en sodium. Son utilisation dans une matrice de ciment provoquera deux réactions aux effets opposés: la réaction de silice alcaline (qui est nocive pour le béton par dilatation) et la réaction pouzzolanique (qui peut être broyée et transformée en granulés ou en poudre) sont bénéfiques. Le produit remplace le ciment pour produire du béton et du ciment.

A l'issue de notre revue, force est de reconnaitre que l'incorporation de la poudre de verre dans les bétons et les mortiers permet d'améliorer les caractéristique physique et chimique.

CHAPITRE II

MATÉRIAUX ET ESSAIS



II.1. Introduction :

Cette étude expérimentale a pour objet d'étudier le BAP, avec une présentation des matériaux utilisés pour la confection des différents mélanges étudiés et la méthodologie adoptée lors de ce travail.

Notre recherche a pour but d'étudié l'éventualité d'utiliser les déchets de brique et de verre comme un remplacement d'un pourcentage du ciment dans le BAP, avec des taux de substitutions de (8% PB + 12% PV) et d'analyser les comportements de ces mélanges a l'état frais ainsi qu'à l'état durci en les comparant les éprouvettes conserver dans l'eau avec les éprouvettes conserver a l'air libre.

D'une part, nous avons proposé l'identification des matériaux utilisés dans ce travail, y compris les matériaux courants (sable, ciment, eau, mélanges super-plastifiés, etc.) et les matériaux recyclés (briques et verre), et d'autre part, nous avons mené une série de tests pour déterminer les caractéristiques des agrégats (test d'identification), peut être citée :

- Essai de la masse volumique.
-Essai d'équivalent de sable.
- Essai de la résistance à la compression.
- Essai de la résistance à la traction par flexion.
- Essai de la résistance à la traction directe.
- Essai de la résistance à la traction par fendage.

II.2-Caractérisation des matériaux utilisés

Pour la confection du béton, des matériaux locaux de la wilaya de Médéa sont caractérisés expérimentalement au laboratoire de génie civil tout en assurant les recommandations des normes en vigueur.

II.2.1. Ciment :

Le ciment utilisé est de type CEM I 42,5 R sans aucune addition (95 % clinker avec 5 % de gypse), produit par le groupe industriel des ciments de SPA Biskra (figure II.1) situé à la wilaya de Biskra (Algérie) et conforme à la norme NF EN 197-1**[68]** dont le clinker est produit et broyé conjointement avec le gypse par le groupe SPA. Ce ciment est utilisé pour la formulation des BAP en fixant une fois le rapport E/L (eau/liant) à 0,38.



Figure II.1: Le ciment utilisé

L'analyse chimique et physico-mécanique du ciment donnée par le fournisseur est présentée dans le tableau II.1 et II.2:

Tableau II.1: Composition chimique de ciment

Eléments	**Teneur(%)**
SiO2	20.83
AL2O3	4.15
Fe2O3	5.58
CaO	62.19
MgO	1.42
K2O	2.30
Na2O	0.38
TiO2	0.028
Loi	2.04

Composition mineralogique du ciment

C3S	59.07
C2S	15.47
C3A	1.51
C4AF	16.96

Tableau II.2: Caractéristiques du ciment utilise

Caractéristiques		Type de ciment	Norme
		Biskria	
Finesse (cm^2/g)		3300	NF EN 196-6 **[69]**
Masse volumique absolue (g/cm^3)		3.12	
Masse volumique apparent (g/cm^3)		1.01	NF EN 459-2 **[70]**
Consistance normal (%)		12.5	
Temps de prise	Début	2h36m	NF EN 196-3 **[71]**
	Fin	4h13m	
Class de résistance (MPA)		42.5	NF EN 196-1 **[72]**

II.2.2 Granulats

II.2.2.1 Sable

Le sable utilisé est un sable de dune qui provient de la région d'Oued-Souf.

Il est propre, les grains sont de forme généralement isométrique et arrondie (figure II.2). Il est séché pendant 24h à température de 105 °C.



Figure II.2: Sable d'oued souf utilisé

Les caractéristiques physiques de ce sable son données ci-après et sa courbe granulométrique est présentée dans la figure II.3.

Caractéristiques du sable :

- Masse volumique absolue : 2 .65 g/cm3
- Equivalent de sable : 94 %
- Module de finesse MF : 2.36
- Taux d'absorption : 0.5 %

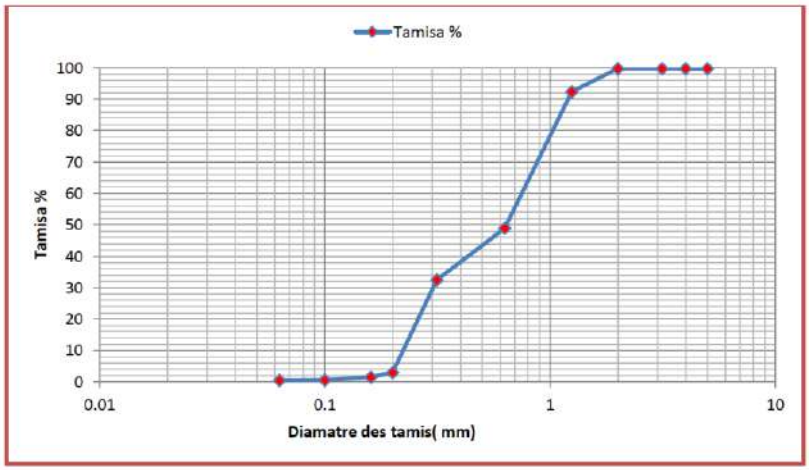


Figure II.3: Courbe granulométrique d'oued souf

II.2.2.2 Gravier

Le gravier utilisé est un gravier concassé à deux classes granulaires (3/8 et 8/15) (figure II.4***)*** provenant de la carrière de *HANACHA* de la région de Médéa dont les propriétés physiques et mécaniques sont présentées au tableau II.3.



Figure II.4: Gravier de Hanacha 3/8 et 8/15

Tableau II.3: Propriétés physiques et mécaniques des graviers utilisés.

Caractéristiques	**Fraction 3/8**	**Fraction 8/15**	**Normes**
Masse volumique absolue (g/cm3)	2.55	2.58	NF EN 1097-6**[73]**
Masse volumique apparente (g/cm3)	1.42	1.40	NF EN459-2**[71]**
Taux d'absorption d'eau (%)	2.3	2.5	NF EN 1097-6**[73]**
Résistance aux chocs (Los-Angeles)	26.18	24.10	NF EN 1097-2**[75]**

L'analyse granulométrique est présentée dans la figure II.5**.**

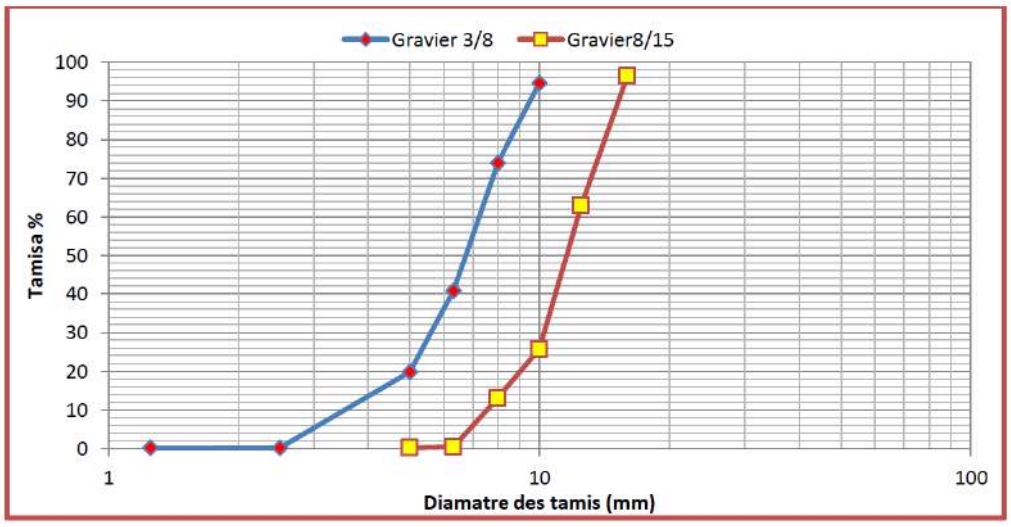


Figure II.5:Analyse granulométrie du gravier 3/8 et 8/15.

D'après les résultats du tableau II.3, il parait que les gros granulats sont de bonne qualité et peuvent être utilisés pour un béton.

II.2.3 La brique

La poudre de brique est obtenue par concassage et broyage des déchets de brique.

Les déchets de brique sont nettoyés et mis dans une étuve à 105°C pour les sécher afin d'éliminer l'humidité avant de les broyer.

Le broyage est effectué en deux étapes, grossier au moyen d'un broyeur à boulets de capacité nominale de 20 kg du laboratoire de génie civil de l'université de Blida, après terminé par l'utilisation d'un broyeur a disque au niveau du Hall de technologie de l'université de Médéa pour obtenir les finesses désirées.



Figure II.6:La poudre de brique (PBR) utilisée.

II.2.4 Le verre :

La poudre de verre est obtenue par concassage (*Figure II.7*) et broyage (*Figure II.8*) des déchets de verre qui sont nettoyés et mis dans une étuve à 105°C pour les sécher afin d'éliminer l'humidité avant de les broyer.

Le processus de broyage est divisé en deux étapes: la première consiste à utiliser un broyeur à boulets d'une capacité nominale de 20 kg dans le laboratoire de génie civil de l'Université de Blida pour le broyage grossier, puis à utiliser un broyeur à disques au niveau du hall technique pour le broyage à l'Université de Médéa.



Figure II.7: Poudre de verre



Figure II.8: Verre concassé

II.2.5. Adjuvant :

Les adjuvants permettent d'obtenir une grande fluidité et une parfaite homogénéité qui sont nécessaires à l'obtention d'un BAP.

L'adjuvant qui sera utilisé est un super-plastifiant haut réducteur d'eau à base de poly-carboxylases modifies type MEDAFLOW 145 (*figure II.9***)** de masse volumique 1065 kg/m3, de pH = 5 - 6, de teneur en chlore < 1 g/L et l'extrait sec = 30 ± 1.5 (%.).Dosage d'utilisation recommandé varie de 0.3 à 2 % du poids du liant.

Voir la fiche technique en <Annexe B> pour avoir plus de détaille sur cet adjuvant. **[76]**



Figure *II*.9:Le super-plastifiant MEDAFLOW 145 utilisé.

II.2.6. L'eau de gâchage :

L'eau utilisée pour les mélanges de BAP est une eau potable, exempte d'impuretés, maintenue à une température constante, issue du robinet de laboratoire de génie civil au centre universitaire de Médéa.

II.3 Formulation du béton adopté

Le but de la formulation est de déterminer la quantité requise de chaque matériau du lot afin d'obtenir un béton avec les propriétés requises. Le paramètre important considéré dans la formulation est le rapport eau / liant. Au cours du processus de formulation, le BAP doit être caractérisé. Cela passe notamment par la compréhension de son comportement dans le nouvel état grâce à des tests effectués depuis son développement. Evidemment, le béton a une auto consolidation, non pas sa composition, mais parce qu'il présente certaines caractéristiques à l'état frais: capacité de remplissage, capacité de passage et anti-ségrégation. **[13]** Les principaux tests réalisés sont empiriques et visent à vérifier Les différents attributs définis ci-dessus. Ils sont conçus pour caractériser le béton en termes qualitatifs de fluidité, d'hétérogénéité et de non colmatage.

Dans notre étude nous avons fixés des paramètres du rapport Eau/Liant et varié les autres paramètres à savoir la quantité de sable dans le mortier donc le rapport Sable/Mortier (S/M) et le pourcentage en superplastifiant par rapport au liant. La formulation que nous avons adoptée est basée sur la formulation proposée par le japonais OKAMURA et appelée la méthode générale, avec quelques modifications concernant la sélection de la quantité de sable dans le mortier, le rapport eau/liant ainsi que le rapport superplastifiant/liant. Ces derniers ont été évalués expérimentalement de manière à avoir des valeurs de l'étalement au cône d'Abrams et du temps d'écoulement au V-Funnel acceptables. Pour la sélection des quantités d'air et de graviers, la méthode Okamura a été maintenue. **[13]**

II.3.1-Formulation du mortier autoplaçant

Pour la formulation du mortier autoplaçant (MAP), comme mentionné précédemment, on s’est basé sur la méthode OKAMURA avec une amélioration au niveau de la teneur en sable, sur le rapport Eau/Liant (E/c) et le rapport Superplastifiant/Liant (Sp/L) pour s’adapter aux propriétés des matériaux locaux et en particulier le sable. La sélection du rapport sable/mortier et du rapport Sp/L est ajustée par l’essai d’étalement, dont le diamètre de la galette obtenue doit être compris entre 270mm ≤ d ≤330mm, et par l’essai de l’entonnoir en V (V-Funnel), dont le temps d’écoulement obtenu doit être compris entre 2 sec ≤ t ≤ 10 sec.**[13]**

Tableau II.4: Formulation de mortier autoplaçant

	Map1	**Map2**	**Map3**	**Map4**	**Map5**	**Map6**	**Map7**
Sp	0,7	0,75	0,8	0,85	0,7	0,75	0,8
S/M	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
E/C	0.38	0.38	0.38	0.38	0.4	0.4	0.4
Dmoy	240	250	260	280	260	280	325
Tmoy	10	9.2	9	7	9.5	7.5	4.2
Observtion	FERME	FERME	FERME	HOMOGEN	FERME	HOMOGEN	SEGREGATION

Tableau II.5: Formulation de mortier autoplaçant

	Map9	**Map10**	**Map11**	**Map12**	**Map13**	**Map14**	**Map15**	**Map16**
Sp	0.7	0.75	0.8	0.85	0.7	0.75	0.8	0.85
S/M	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
E/C	0.38	0.38	0.38	0.38	0.4	0.4	0.4	0.4
Dmoy	210	240	260	270	250	270	282	298
Tmoy	12	10	9.7	8.6	10	7	6.70	5.62
Observtion	FERME	FERME	FERME	PEU FERME	FERME	PEU FERME	HOMOGENE	

Remarque **:** Le dosage de Superplastifiant Sp est varié avec un pas de 0.5%.

De notre étude on a proposé quatre formulations optimales du mortier autoplaçant qui remplit les conditions d'OKAMURA.

Tableau II.6: Formulation optimale du mortier autoplaçant.

Formulation 1	**Formulation 2**	**Formulation 3**	**Formulation4**
E/C =0.38 S/M =0.45 Sp=0.85 Dmoy=280 Tmoy(s)=7	E/C =0.4 S/M =0.45 Sp=0.75 Dmoy=280 Tmoy(s)=7.5	E/C =0.4 S/M =0.5 Sp=0.8 Dmoy=282 Tmoy(s)=6.70	E/C=0.4 S/M=0.5 Sp=0.85 Dmoy=298 Tmoy(s)=5.62

Par inspection visuel des mélanges des MAP obtenus, on retient les 4 formulations du tableau II. 6 qui sont dénommés Map 4, Map6, Map 15 et Map 16 car sont des mélanges fluides et homogènes.

Alors que les autres mélanges sont soit ferme soit présent designer de ressuage.

De ce fuit on a adopte le mélange Map 16 avec un dosage en Sp=0.85 , E/C= 0.4 et un S/M=0.5 donnent un mortier homogène sans risque de ressuage on de ségrégation.

II.3.2-Formulation du béton autoplaçant

D'après les résultats de la formulation du MAP, nous avons passé à la formulation de BAP par les étapes suivantes:

- On considère les résultats de MAP.
- L'optimisation de BAP doit être satisfaisante selon les recommandations d'EFNARC.
- Si les résultats obtenus dans les MAP ne sont pas satisfaisants on essaye d'ajuster le SP vers le seuil inférieur ou supérieur pour obtenir un bon BAP.

Le tableau II.7 représente les différents composants utilisés pour sélectionner le BAP. Une fois que le BAP répond aux recommandations d'ENFARC, nous passerons à la deuxième étape de recherche, qui comprend la détermination de la composition du BAP avec l'ajout.

Remarque : Pour la deuxième étape de la recherche, la même formule BAPT doit être considérée et le seul changement de paramètre consiste à obtenir le SP de BAP avec l'ajout selon les besoins.

Tableau II.7: Compositions de différentes formulations BAP témoin étudiés dans un volume de $1m^3$ de béton

Les compositions	**F1**	**F2**
Ciment(Kg)	463.97	463.97
Sable(Kg)	874.41	874.41
Gravier3/8 (Kg)	270.63	270.63
Gravier8/15 (Kg)	539.91	539.91
Eau1(Kg)	144.564	144.452
Eau2(Kg)	61.956	61.908
Superplastifiant(Kg)	3.94	4.16
E/C	0.4	0.4
S/M	0.5	0.5
Sp(%)	0.85	0.9

Tableau II.8: Compositions de différentes formulations BAP avec l'ajout étudiées dans un volume de 1m³ de béton

Les compositions	F1(témoin)	F2(avec ajout)
Ciment(Kg)	463.97	378.59
Sable(Kg)	874.41	874.41
Gravier3/8 (Kg)	270.63	270.63
Gravier8/15 (Kg)	539.91	539.91
Ajout 1: Verre	0	45.50
Ajout 2: Brique	0	31.55
Eau1 (Kg)	144.52	142.408
Eau2 (Kg)	61.908	61.032
Superplastifiant(Kg)	4.16	4.10
E/C	0.4	0.4
S/M	0.5	0.5
Sp(%)	0.9	0.9

II.4 Technique expérimentale

Nous allons exposer la méthodologie des expériences menées sur les différents échantillons confectionnés. Ces techniques expérimentales seront menées conformément aux normes en vigueur.

II.4.1 Séquence de malaxage du béton

La séquence de mélange et la composition du béton jouent un rôle important dans l'obtention de l'hydratation correcte, ce qui se traduit par un béton efficace et durable. Le mélange est réalisé dans une bétonnière d'une capacité de 40 litres. Selon les propriétés et la composition du béton recherchées, l'auteur suit plusieurs séquences. Dans notre exemple, la séquence suivie est décrite dans la figure qui suit les étapes suivantes :

- ✓ Calculer la quantité d'eau effective que l'on va mettre dans la bétonnière. Ce calcul permet de prendre en compte l'eau contenue dans les gros granulats et le sable tout en connaissant le coefficient d'absorption de chacun **(*Annexe D*)**.
- ✓ Calculer les proportions du ciment, sable, gravier 3/8, gravier 8/15 et superplastifiant (***Annexe D***).

- ✓ Malaxer le sable, ciment et gravier (3/8 et 8/15) pendant 30 secondes pour homogénéiser le mélange.
- ✓ Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (Eau1 = 70% Eau).
- ✓ Ajouter pendant 1 minute le superplastifiant dilué dans le restant de l'eau de gâchage (Eau2=30% Eau).
- ✓ Malaxer pendant 3 minutes et introduire les fibres plastiques qui sont mouillées précédemment, progressivement en pluie au mélange.
- ✓ Arrêter le malaxeur et laisser le mélange au repos pendant 2 minutes.
- ✓ Malaxer pendant 30 secondes.

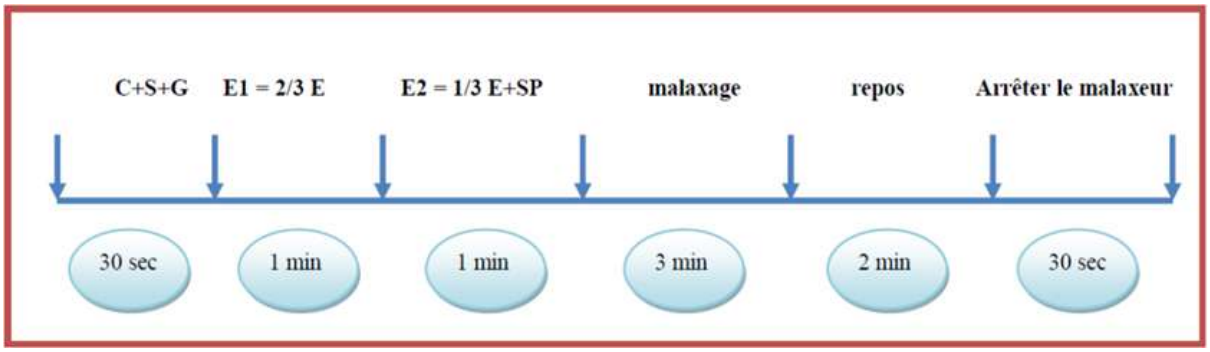


Figure II.10: Séquence de malaxage du béton autoplaçant.



Figure II.11: Séquence de malaxage du BAP et BAP avec l'ajout

II.5 Essai sur BAP

II.5.1 Etat frais

Les essais de caractérisation sur béton frais sont résumés dans le tableau II.10 suivants :

Tableau II.9:Les essais de caractérisation sur le béton à l'état frais

Essaidecaractérisation			
Etalement	V-funnel	L-Box	Stabilité au tamis

II.5.1.1 Essais d'étalement et T50

L'essai vise à déterminer la capacité du béton à se déformer sous son propre poids lorsqu'il est confronté au frottement. Il s'agit d'un essai de type pour évaluer la déformabilité du BAP selon la norme européenne (EN 12350-8).**[77]**

a. Matériel nécessaire

L'essai d'étalement nécessite les éléments suivants :

- Une plaque métallique plate, formant au moins un carré de 90 cm sur le côté, à l'échelle d'un diamètre de 50 cm (pour mesurer T50).
- La partie inférieure du Slump Flow a un empattement, de sorte que l'opérateur peut le garder sur la plate-forme avec ses pieds.
- Chronomètre.
- Mètre ou règle de 90cm.

b. Mode opératoire

- Mouillez la surface de la plaque d'impression (utilisez un chiffon pour éliminer l'excès d'eau).
- Placez le slump flow sur la planche et centrez-le, puis utilisez l'entonnoir pour installer la partie supérieure du cône.
- Prélever un échantillon de béton représentatif.
- Remplir le cône en déversant de manière continue, jusqu'à l'arase supérieure du cône.
- Retirer l'entonnoir et araser si nécessaire à l'aide d'une truelle.
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées.
- Après avoir soulevé le cône, démarrez immédiatement le chronomètre jusqu'à ce que le béton atteigne le cercle d'échelle de 50 cm sur la planche, cette mesure est T50.
- Une fois que le béton s'est étalé sur la plaque, mesurer le diamètre final sur deuxcôtés.
- Perpendiculaires, le résultat est exprimé en moyenne des deux valeurs obtenues.

- Inspectez visuellement les signes de ségrégation du béton(comme présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette et accumulation de gravier au centre d'une galette de mortier).



Figure II.12: Essais d'étalement.

II.5.1.2 Essai d'entonnoir en V (V-Funnel)

Ce test permet d'estimer le temps nécessaire pour vider le béton sous son propre poids. Le temps mesuré indique la fluidité du béton et la capacité à passer à travers de petites ouvertures (capacité de passage/blocage). Le test est déterminé selon la norme européenne (EN 12350-9).**[78]**

a. Matériel nécessaire

Le matériel utilisé pour l'exécution de cet essai est le suivant :

- Un entonnoir en V (V-Funnel) dont les dimensions sont indiquées dans la figure II.13**.**
- Un chronomètre.
- Un seau de capacité de 12 litres**.**

B. Mode opératoire

- Placer le V-Funnel dans un endroit stable et s'assurer que le clapet est bien fermé.
- Prélever dans un seau un échantillon de béton représentatif d'environ de 12 litres.
- Remplir l'entonnoir avec le béton.
- Mettre le seau au-dessous de l'orifice de l'entonnoir et ouvrir le clapet.
- Remplir l'entonnoir une deuxième fois de béton.
- Mettre le seau au-dessous de l'orifice de l'entonnoir.
- Après une attente de 10 secondes, ouvrir le clapet en laçant le chronomètre.
- Arrêter le chronomètre quand la première lumière apparait à travers l'orifice de
- L'entonnoir, cette mesure est le temps d'écoulement.
- Refaire l'essai 3 fois.

- Le résultat est exprimé en moyenne des trois valeurs du temps d'écoulement obtenues.



Figure II.13: Protocole de l'essai d'entonnoir (V-Funnel).

II.5.1.3 Essai de la boîte en L (L-Box)

Cet essai est réalisé selon la norme européenne (EN 12350-10)**[79]**, en utilisant une boite ayant une forme en L. Elle permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que sa mise en place ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables.

La partie verticale de la boite est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres). Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute. Puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boite à travers le ferraillage. La distance libre entre les barres est de 39mm.

Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H1 et H2 et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage H2/H1. Lorsque le béton s′écoule mal à travers le ferraillage et qu'il se produit un amoncellement de granulats en aval de la grille. C'est le signe d'un

problème de blocage ou de ségrégation. Il est également possible d'exprimer le résultat de l'essai par la seule valeur de H1.

Cette mesure est plus précise que le rapport H2/H1 mais son utilisation est moins répandue.



Figure II.14: Protocole de l'essai de la boîte en L-Box.

II.5.1.4 Essai de la stabilité au tamis

L'essai de ségrégation au tamis vise à qualifier la résistance du BAP à la ségrégation dynamique en mesurant l'indice de ségrégation (IS) **[80]**, qui est le rapport de la quantité de laitance sur la masse de l'échantillon **(**figure II.15). Le calcule de pourcentage en poids de laitance est déterminée selon l'équation suivante :

$$P = \frac{Masse\ de\ laitence}{Masse\ de\ l'echantillon} \times 100$$

Avec :

Plaitance = **P**fond+**L**aitance –**P**fond



Figure II.15: Protocole de l'essai de stabilité au tamis.

II.5.1.5 Remplissage des moules

Après les essais de béton à l'état frais on doit remplir les moules pour la conservation des éprouvettes pour les essais à l'état durci, pour ça on a besoin de :

- Moules 10x20 cm pour l'essai de compression.
- Moules 10x20 cm pour l'essai de traction directe.
- Moules 10x20 cm pour l'essai de traction par fondage.
- Moules 7x7x28 cm pour les essais de traction par flexion.



Figure II.16: moules et éprouvettes cylindriques (10×20)

II.5.1.6 Démoulage et conservation des éprouvettes

Le coulage est réalisé sans vibration ni compactage dans des éprouvettes cylindrique 10x20 cm et des éprouvettes prismatiques de 7x7x28 cm.

On stocke les éprouvettes dans une salle en attendant de le démoules après 24h.

D'après nos travaux, on a fait le choix de dimension (10x20) cm pour les raisons suivantes :

- Utilisation du gravier 3/8 et 8/15.
- Généraliser les dimensions que l'on peut faire une comparaison similaire.
- Le système utilisé ne doit pas dépasser 200 mm.

Après le démoulage, les éprouvettes ont été conservées soit dans un bac remplit d'eau à une température de 20 ± 2C°, ou bien a l'air libre du laboratoire d'une température ambiante de 20°C ± 2°C, jusqu'au moment des essais.

II.5.2 Etat durci

Les essais de caractérisation sur béton durci sont résumés dans le (tableau II.11) suivant :

Tableau II.10:essais de caractérisation sur le béton à l'état durci.

Essai de caractérisation			
Résistance à la Compression	Résistance à la Traction par flexion	Résistance à la Traction Direct	Traction par fendage

II.5.2.1 Résistance à la compression

C'est une méthode pour caractériser le comportement d'un matériau soumis à une charge d'écrasement. L'éprouvette est comprimée, puis la résistance à la compression est enregistrée. Un schéma représentant le principe de l'essai d'écrasement pour un échantillon du béton est illustré ci-dessous sur la figure II.17

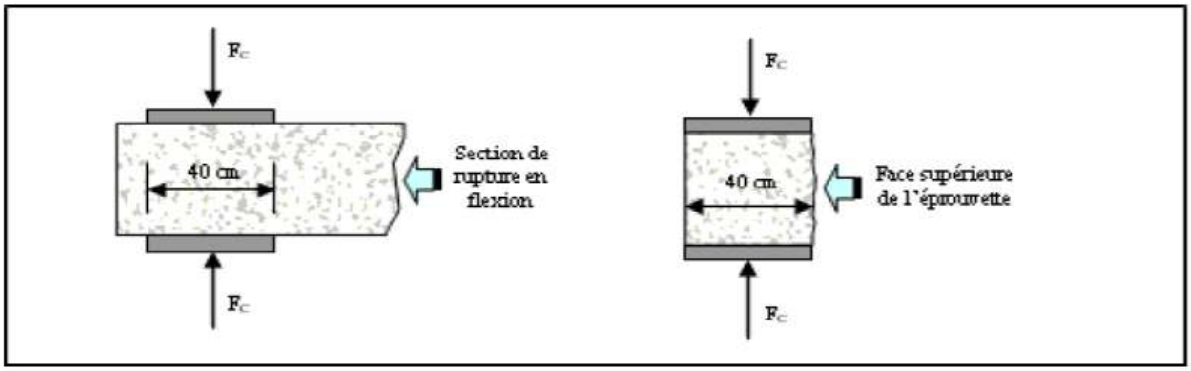


Figure II.17: Dispositif pour l'essai de la résistance à la compression du béton.



Figure II.18: Protocole de l'essai de compression.

II.5.2.2 Résistance à la traction par flexion

À l´âge requis, les éprouvettes sont brisées par flexion en deux moitiés selon la norme [EN196-1] **[81]**. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (Par trois points), une éprouvette prismatique (7x7x28) cm de côté **a** et de longueur **L**. La figure II.19 montre les étapes de l'essai.



Figure II.19: Protocole de l'essai de traction par flexion.

On trouve la résistance à la flexion qui se localise au milieu de l'éprouvette, et se calcule par la formule suivante :

$$\sigma t = 0{,}6\ \sigma tf$$

Avec :

$$\sigma tf = \frac{3Fl}{2a^3}$$

σtf : contrainte de traction par flexion

σt : la résistance en traction du béton

F : force au moment de la rupture en KN

Facteur réducteur = 0,6

l : la distance entre les deux appuis ***l***= 3a (en cm)

a : coté et hauteur de l'éprouvette prismatique

II.5.2.3 Résistance en traction direct

C'est l'essai le plus important car il reflète réellement la résistance du matériau mais il est très délicat à réaliser et n'est pas utilisé de manier courante.

L'essai est à réaliser sur une éprouvette cylindrique ou prismatique et consiste à appliquer à chacun des extrémités de l'éprouvettes un effort de traction parfaitement centré afin d'éviter l'apparition d'un moment de flexion parasite

Il nécessite une préparation des deux faces l'éprouvette par sciage ou piquage sur un ou deux centimètres afin d'éliminer la mauvaise couche du béton en contact directe avec l'environnement.

Le collage des têtes de traction se fait au moyen d'une colle dont la résistance est supérieure à celle de béton (résine époxy). **[82]**



Figure II.20: Disposition de traction directe

II.5.2.4 Essai de traction par fendage

L'essai de fendage est un essai de traction indirect consistant à comprimer radialement l'éprouvette, créant alors, par effet Poisson1, des contraintes de traction horizontales au sein du matériau. C'est le cas pour les bétons ordinaires où le rapport est généralement d'environ dix. Environ 80 % de la section de l'éprouvette est soumise à des contraintes de traction. La fissure de l'éprouvette s'initie au centre de celle-ci dans le plan d'application des efforts.

La machine hydraulique qui génère l'effort de compression est équipée de support en V permettant de centrer l'éprouvette. Des baguettes en bois léger sont installées au fond du V et sur le dessus de l'éprouvette afin d'éviter les concentrations de contraintes dues aux imperfections de l'éprouvette. À noter qu'il est nécessaire, avant la réalisation de l'essai, de

s’assurer que l’éprouvette soit parfaitement centrée. On pourra en complément vérifier après rupture que les deux parties de l’éprouvette fendue sont bien symétriques, et de mêmes dimensions. **[83]**



Figure II.21: protocole de l'essai de traction par fendage

Conclusion

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles sur le marché Algérien (le ciment, les granulats, les superplastifiant).Les essais menés au cours de cette étude ont été effectués sur des bétons autoplaçant, pour déterminer leurs caractéristiques à l'état fraisà savoir : (essais d'étalement T50 au cône, d'écoulement à l'entonnoir (V-Funnel), la stabilité au tamis, L-Box). Ensuite, des essais sont été réalisés pour suivie le comportement mécanique et physique à savoir (résistance à la compression, traction directe et la résistance a la traction par flexion, traction par fendage), pour reconnaitre l'effet de mélange de brique et de verre comme substituant du ciment sur le comportement de béton autoplaçant.

CHAPITRE III

RESULTATS ET INTERPRÉTATIONS



III.1 Introduction

Dans ce chapitre l'ensemble des résultats trouvés dans la réalisation expérimentale sont exposés, analysés et comparés avec les résultats d'autres chercheurs existant dans la littérature.

Afin de mettre en évidence les propriétés des mortiers et des bétons autoplaçant à base de poudre de brique et de verre à l'état frais et durci, l'étude est organisée en étapes.

La première étape consiste à tester le mortier pour optimiser le rapport sable/mortier (S/M) et le rapport superplastifiant/liant (SP/L).

La deuxième étape est dédiée à la mesure de l'état frais selon les performances de l'échelle BAP. Ensuite, nous continuerons à discuter des résultats des tests d'expansion, de temps d'écoulement, de L-box.

La troisième étape consiste à mettre l'accent sur l'interprétation des résultats des tests à l'état durci, tels que la résistance à la compression et la résistance à la traction.

III.2 Etude des MAP

III.2.1 Optimisation des rapports S/M et SP/L

En référence à la formule du mortier autoplaçant, une méthode générale également connue sous le nom de Japonaise est utilisée. Les rapports SP/L et S/M sont ainsi ajustés pour obtenir un mortier d'une bonne fluidité, avec une plage d'étalement de 270 à 330 mm, une bonne viscosité, un temps d'écoulement de 2 à 10 secondes, et un très fort anti -capacité de ségrégation et aucun effet de saignement (évaluation visuelle). L'optimisation du pourcentage de SP consiste à développer les meilleures caractéristiques du mortier à l'état frais pour passer à la formule BAP. 0,85 à 0,9 avec un pas de 0,5%, le rapport E/C de toutes les MAP = 0,4.

III.3 Etude des BAP

Pour passer à la formulation des BAP les résultats des MAP sont prise en considération avec un ajustement de SP vers le seuil inferieure ou supérieure pour obtenir un bonne BAP conforme aux recommandations de ce dernier. Le tableau suivant présente les différentes formulations testées :

Tableau III 1:Résultats sur BAP pour différents % de SP

Béton formulé	Etalement (mm)	V-funnel (Sec)	L-box (%)	Stabilité au tamis (%)	Ajustement SP (%)
Formulation (F1)	812,5	6,37	90	15,28	0,9
Formulation (F2)	820	6,62	90	15,50	0,9
Limite ENFRAC **[12]**	550-850	6-12	80-100	15-30	/

III.4 A l'état frais

III.4.1 L'étalement au cône d'Abrams

Les résultats montrent que les diamètres d'étalement des mélanges à base de PBR et PVR sont situés entre 820 à 620mm, ce qui démontre une bonne déformabilité et aucune perte de maniabilité des BAP avec PBR et PVR , Selon la restriction et la classification des BAP, on peut également voir sur la figure III.1 que la valeur de diffusion recommandée par l'EFNARC **[72]** est inacceptable, et sont classées hors la catégorie (SF1-SF3) pour le BAP .

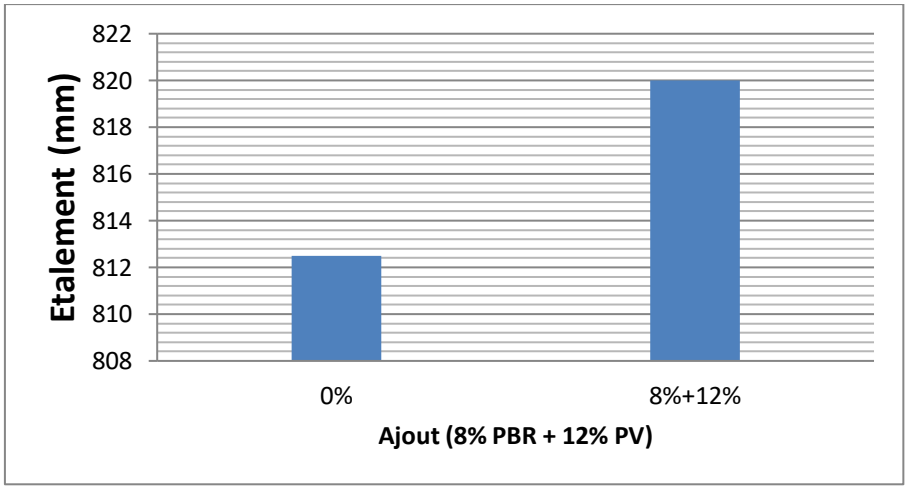


Figure III.1:Etalement des BAP avec les ajouts avec SP constant

D'après la figure on remarque que l'ajout d'un SP constant dans le BAP donne une augmentation des valeurs d'étalement situés entre 810 à 820 mm, ce qui est conforme à la recommandation EFNARC (SF3).

Tableau III. 2:Classes des BAP selon l'étalement et le domaine d'utilisation **[13]**

classe	Etalement (en mm)	Domaine d'utilisation du BAP
SF1	550-650	• Structures non ou peu ferraillées. Béton coulé à partir du haut (ex. les Dalles) • Coulage par système de pompage du BAP (ex. tunnels) • Petites sections (ex. les piles et les fondations profondes)
SF2	660-750	• La majorité des applications
SF3	760-850	Applications verticales • Structures trop ferraillées • Coulage à partir du dessous du coffrage • Structures de forme complexe

Pour notre travail, nous respectons les restrictions EFNARC **[12]** (fluidité dans le domaine ciblé) de toutes les familles BAP pour faciliter la comparaison entre elles.

III.4.2 Temps d'écoulement à travers le V-funnel

Les résultats de l'essai de l'entonnoir en V, les mélanges des BAP avec les ajouts étaient très stables parce que leur temps d'écoulement était inférieur à la valeur recommandée par EFNARC **[12]**, ce qui indique des bons indices de viscosités et résistances à la ségrégation.

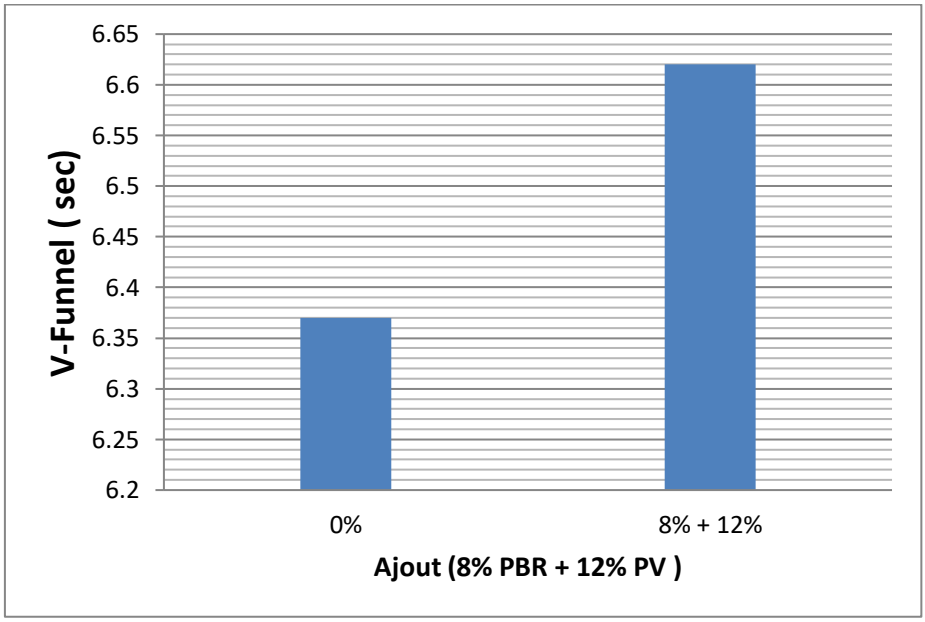


Figure III.2:Temps d'écoulement des BAP avec les ajouts avec SP constant

III.4.3 Capacité de passage à travers L-BOX

En ce qui concerne la capacité de remplissage estimée par le rapport H_2/H_1 est mesuré par le test de la boîte en L.

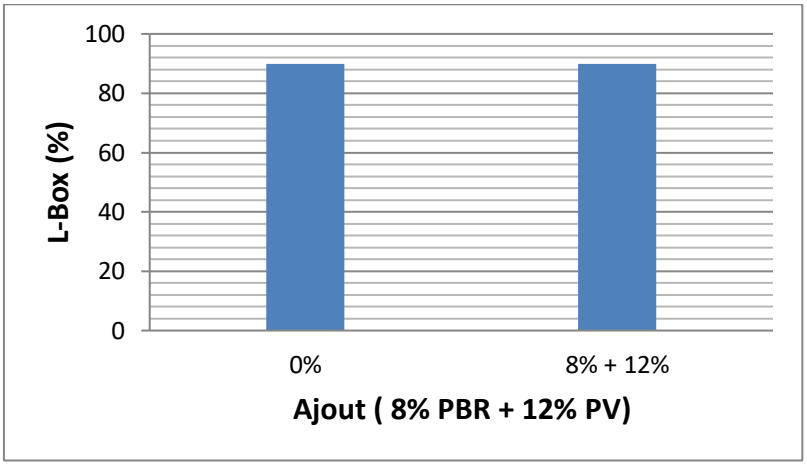


Figure III.3: L-BOX des BAP aves les ajouts avec SP constant.

D'après la figure III.3, on note que l'ajout de briques et de poudre de verre a le même effet sur la capacité de remplissage comparativement au témoin.

III.4.4 Stabilité au tamis

Les résultats de stabilité au tamis sont traduits en histogrammes sur la figure III.4, On peut remarquer à travers les résultats que l'augmentation des ajouts engendre l'augmentation de la stabilité des mélanges.

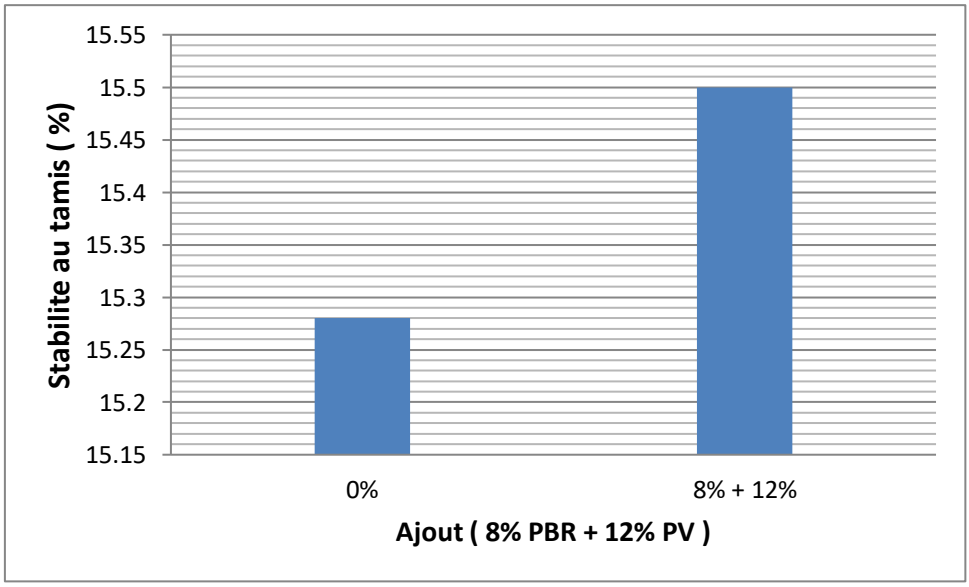


Figure III.4: Stabilité au tamis de BAP avec les ajouts

Cette augmentation de risque de ségrégation est peut être liée à la différence de dosage en SP, en outre on signale que les résultats restent comparables et au-dessous des valeurs recommandées par EFNERC **[12]**.

III.5 A l'état durci

III.5.1 Résistance à la compression

Pour cette étude expérimentale nous avons choisis de mesurer la résistance à 56 jours car c'est une résistance caractéristique pour les BAP en comparant pour notre BAP avec ajout la résistance en compression des éprouvettes conservées dans l'eau et à l'air libre.

L'essai est effectués sur des éprouvettes cylindriques (10x20 cm), et les résultats obtenus sont pris comme la moyenne des trois mesures et sont montrés sur la figure *III.5*.

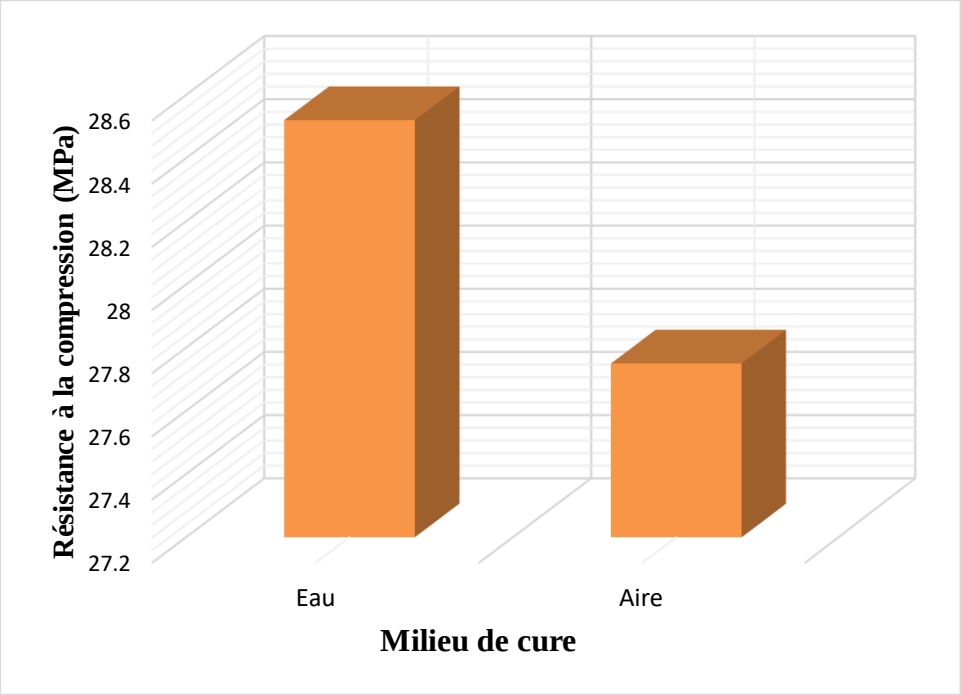


Figure III.5: Effet du milieu de cure sur la résistance à la compression à 56 jours d'un BAP formulé avec des ajouts de brique et du verre en poudre

D'après la figure *III*.5, à l'eau, ces matériaux ont une meilleure résistance que celles à l'air, résultat aussi connu pour tous les matériaux cimentaires à liant hydraulique.

Pour un BAP fabriqué avec le CEM I 42,5R , je trouve que la résistance à la compression à 56 jours est très faible 28,4 Mpa et 27,6 Mpa.

III.5.2 Traction

Les résultats de cet essai sont regroupés et présentés en forme d' histogramme sur les figures *III.*6, *III.*7 et *III.*8

III.5.2.1 conservation dans l'eau

La figure III.6 représente les valeurs de résistance à la traction pour des essais réalisé respectivement en utilisant la méthode de traction par fendage, de traction par flexion ou de traction directe sur des éprouvette du BAP avec les ajouts de poudre verre et de brique, conservées pendant 56 jours dans l'eau.

En comparant les résultats de trois tests de la résistance en traction réalisés sur ces BAP avec ajout, il est à constater que pour ce mode de conservation, l'essai de traction par flexion donne la valeur la plus élevée.

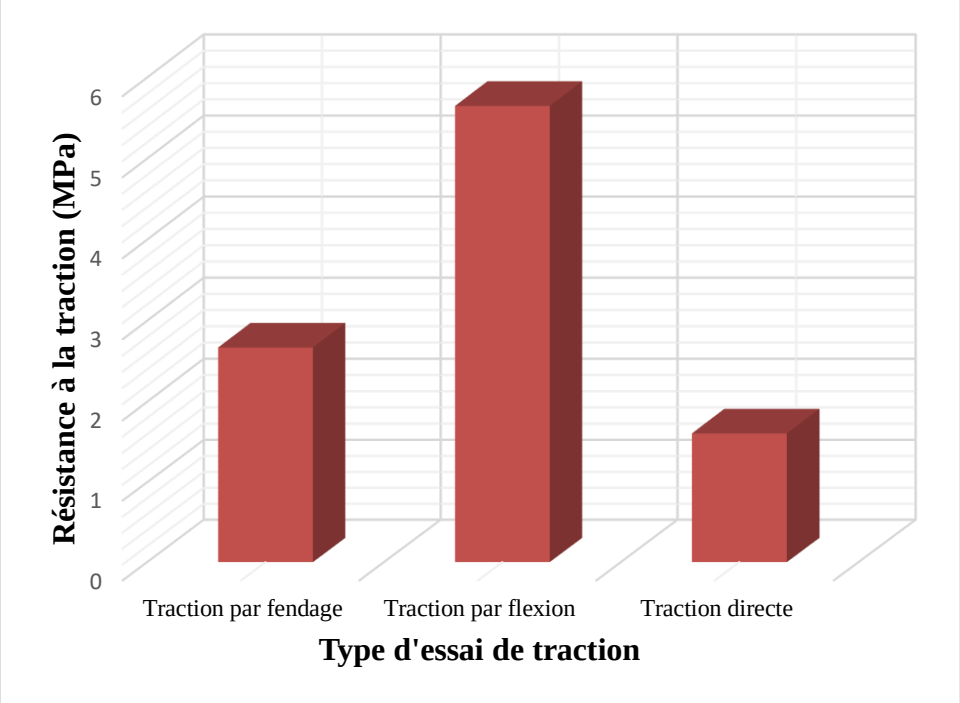


Figure III.6: Résistance à la traction du BAP conservé à l'eau, obtenue par différents essais

La méthode de mesure de la résistance par traction directe a donné la valeur de 1.61 Mpa. Comparée à celle de la résistance par flexion (5.65 Mpa) ou à celle par fendage (2.65), un facteur de 3.5 et de 1.6 relie ces derniers avec la résistance estimée par traction directe.

III.5.2.2 conservation à l'air

La figure III.7 représente les valeurs de résistance à la traction à 56 jours pour le milieu de cure à l'air.

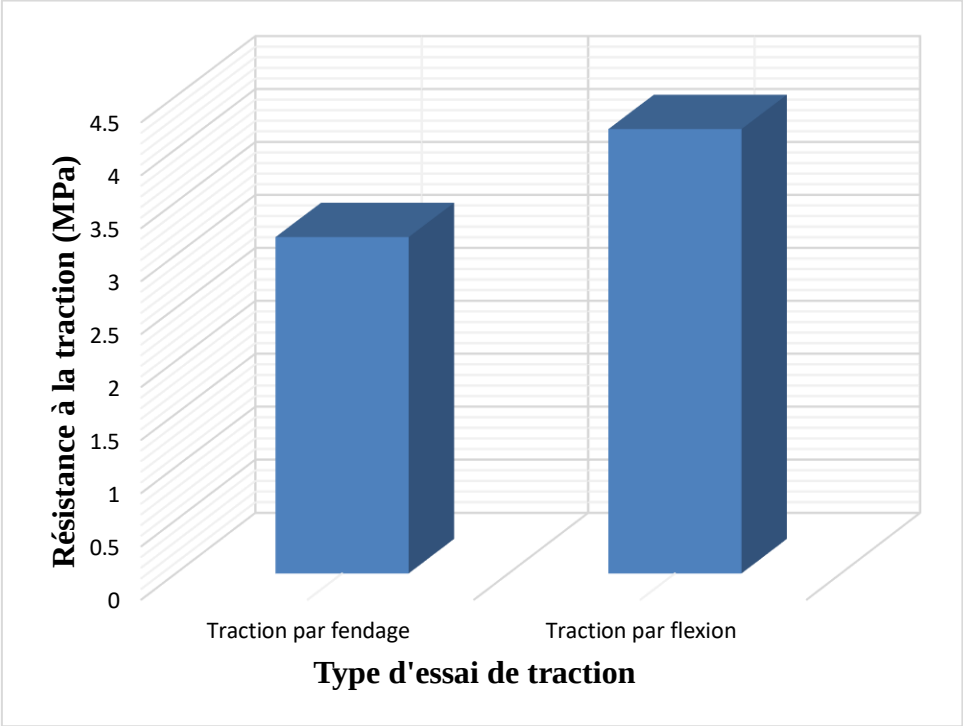


Figure III.7: Résistance à la traction du BAP conservé à l'air obtenue par différents essais

Pour un défaut de manipulation, les éprouvettes destinées à l'essai de traction directe ont été raté, reste donc à comparer les résultats entre les deux méthodes, par fendage et par flexion.

La même tendance précédente est observée pour ce mode de cure à l'air, avec des valeurs de résistance par fendage de 3.17 Mpa et 4.19 Mpa

L'influence du milieu de cure sur le développement des résistances en traction est mieux représenté sur la figure III.8.

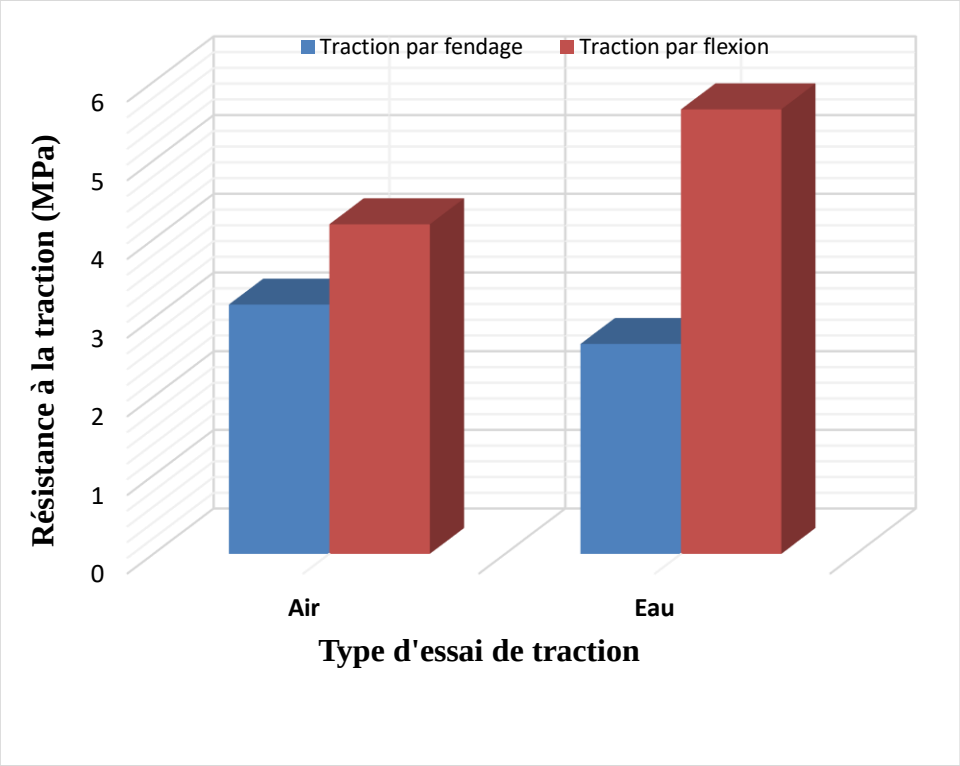


Figure III.8: Effet du milieu de cure sur la résistance à la traction obtenue par différents essais

l'essai de traction par flexion reproduit le résultat bien connue de la résistance des produits cimentaires conservés dans l'eau qui est supérieure à ceux conservés à l'air.

bien que le rapport entre les résistances de traction par fendage entre les deux mode de cure est faible (1.18), il n'est pas logique que la résistance développée à l'air soit supérieure à celle développée dans l'eau. ces éprouvettes seront à refaire

III.6 Conclusion

Les résultats ont montré qu'en termes d'état frais, par rapport au béton témoin, l'utilisation de briques et de verre de recyclage en remplacement du ciment améliore les propriétés rhéologiques du matériau composite.

Bien qu'on manque encore de données pour le mode de conservation à l'air, la tendance globale permet de classer la résistance en traction estimée suite aux essais par flexion, par fendage ou directe, respectivement comme la plus grande, l'intermédiaire et la plus faible.

D'autre part et sachant que ces essais sont tous destinés à évaluer la résistance en traction, cette dernière ne peut être déterminé avec exactitude vue la disparité des résultats obtenus par ces essais.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif principal de cette recherche est de récupérer de briques et de verre sous forme de poudre fine comme substituts au ciment, et d'analyser leurs effets sur la physique, la mécanique et la maniabilité du béton autoplaçant.

La comparaison entre 3 méthodes d'essai pour déterminer la résistance en traction de ce BAP est le centre d'intérêt de l'étude

Avec un taux de substitution du ciment par de la poudre de brique (8%) et de poudre de verre (12 %), pour la fabrication d'un BAP, les résultats obtenus dans cette étude nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- En fonction du taux de substitution, la poudre de brique et la poudre de verre ont un effet positif sur l'ouvrabilité du BAP.
- Pour la formule BAPT utilisée, il est conclu des résultats du MAP qu'avec les matériaux locaux utilisés, on choisit un rapport E/C égal à 0,4 et S/M égal à 0,5 avec le dosage en SP de 0,85% pour obtenir les caractéristiques désirées.
- A travers les tests des BAP un ajustement de 0.2% en SP pour qualifier le BAP selon les recommandations de EFNARC sans risque de ressuage ou de ségrégation.
- Dans tous les cas, la résistance de l'échantillon stocké dans l'eau est supérieure à la résistance stockée à l'air libre.
- la tendance globale permet de classer la résistance en traction estimée suite aux essais par flexion, par fendage ou directe, respectivement comme la plus grande, l'intermédiaire et la plus faible.

RÉFÉRENCES

[1] Guide d'utilisation du béton en site maritime Benoit THAUVIN&Michel MENGUY(centre d'étude techniques maritimes et fluvial).

[2] OKAMURA.H.OZAWA, compacting concrete journal of advanced concrete technology,1994.

[3] YAMMINE JOUMANA., rhéologie des bétons fluides à hautes performances relationsentre formulations, propriétés rhéologiques, physico-chimie et propriétés mécaniques, thèse de doctorat, l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, 262p, 2007.

[4] SLIMANI Abderezzak ,« Science et technologie des bétons », mémoire d'ingénieure 2007 .

[5] BENKECHKACHEGhofrane,«Etude de comportement diffère des bétons autoplaçant Influence des paramètres de composition et de chargement», thèse de Mentouri Constantine, magister novembre2007

[6] KhélifaR , «Influence des ciments à base d'ajouts minéraux sur les propriétés mécaniques des mortiers et des bétons, mémoire de Magistère en Génie Civil, Université Mentouride Constantine, le 11 Juillet 2001.

[7] Sedran T, "Les bétons autonivelants – Synthèse bibliographique", Bulletin liaison deslaboratoiresdes ponts etchausséesN°169, mars-av 1995, pp.53-60.

[8] Bethmont S, « Mécanismes de ségrégation dans les bétons autoplaçants (BAP) Etude expérimentale des interactions granulaires » Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris,Décembre2005.

[9] Hanaa Fares , «Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons Autoplaçants exposés à une Température élevée», Thèse de Doctorat de l'Université de Cergy-PontoiseDécembre2009,

[10] Comparet C, Thèse de Doctorat en Chimie - Physique, «Etude des interactions entreles phases modèles représentatives d'un ciment Portland et des superplastifians du béton»,Université de Bourgogne – UFR des Sciences et Techniques, Ecole doctorale Carnot, le 8Octobre2004

[11] FlattR.J, «Polymeric dispersants in concrete. In Polymers in particulate systems-Properties and applications» Marcel Dekker, Inc.,2002,249pages.

[12] M. EFNARC, The European Federation of Specialist Construction and ConcreteSystem" The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Productionand Use(2005).

[13] Boukendakdji. O, Etude de l'influence des paramètres de formulation sur les

propriétés d'un béton autoplaçant: Optimisation des conditions opératoires, Thèse de doctorat de L'Université Saad Dahleb de Blida, Algérie,2010.

[14] R.Dupain/ R.Lanchon/ J.C.Saint-Arroman Granulats, Sols, Ciments et BétonsEdition 2000.

[15] YAMMINE Joumana, Rapport annuel2005-Etat d'avancement de la thèse.

[16] BENKECHKACHE Ghofrane ,Etude de comportement diffère des bétons autoplaçants Influence des paramètres de composition et de chargement thèse de magister novembre 2007université Mentouri Constantine.

[17] Berkouk Kahina et Ameur Tassadit, «Etude de l'efficacité des superplastifiant sur les propriétés rhéologique de BAP».Mémoire de fin d'étude de l'Université de Boumerdes2006-2007.

[18] ACI, Processes,Self Compacting Concrete, Advanced Concrete Technology III,203.9/3, 2003

[19] F. De Larrard, Concrete mixture-proportioning –scientific approach. Modern Concrete Technology Series, n 9 :E&FN SPON, 1999.

[20] JC. Gibbs and W. Zhu, Strength of hardened self-compacting concrete. Pro-ceedings of First international RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete(PRO7), Stockholm, Suède:199{209, 1999.

[21] O. Petersson, Limestone powder as filler in self-compacting concrete - frost resistance and compressive strength. Proceeding of 2ndInternational RILEM Sympo-

[22] Pineaud, Contribution à l'étude des caractéristiques mécaniques des bétons autoplaçants et application à l'industrie de la préfabrication. In Thès de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, page271. 2007.

[23] F. De Larrard and R. Le Roy, Relation entre formulation et quelques propriétés mécaniques des bétons à hautes performances. Materialsand Structures,Vol. 25:464-475, 1992.

[24] G. Konig, K. Holschemcher, F. Dehn, and D. Weibe, Self-compacting concrete time development of material properties and bond behaviour. Proceeding of 2nd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (Pro 33), Tokio, Japan :507-516, 2001

[25] B. Persson, A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the coresponding properties of normal concrete. Cement andConcreteResearch,Vol. 31, no 2 :193-198, 2001.

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

[27] KHAYAT, K.H. Workability, testing, and performance of self-consolidating concrete, ACIMaterials Journal, 96, 346–353,(1999).

[28] Didier LOOTENS, l4 l'Université Pierre et Marie Curie, Ciments et suspensions concentrées modèles. Écoulement, en combrement et floculation. ThèsedeDoctorat.

[29] Fiche Techniques «Lesbétons: formulation, fabrication et mise en oeuvre».

[30] KHEMISSI REDOUANE, Caractérisation et choix d'une filière de traitement des déchets ménagers et assimilés de la ville d'Oran, thèse de Magister. Université d'Oran 2013-2014.

[31] RAMACHANDRAN V-S : utilisation des déchets et sous-produits comme granulatsdu béton, CBD-215-F, conseil national de recherches Canada, juin 1981

[32] L. ZEGHICHI Etude des bétons basiques a base des différents granulats 2006.p (6,7,8,13)

[33] Laiterie haut ferneau https://www.gebr-pfeiffer.com/fr/applications/ciment-et-laitier-granule-de-haut-fourneau/

[34] BOUSSAOUI: « Valorisation des sous-produits caractérisation de bétons à base des granulats issus de recyclage des matériaux de construction ».Master en génie civil option: Structures et Matériaux. Constantine :Université Mentouri 2010-2011.

[35] Marbre https://www.minrocscience.com/index.php?option=com_eshop&view=product&id=440&catid=15&l=fr-FR&lang=fr

[36] Céramique https://dissolve.com/stock-photo/Construction-rubble-broken-royalty-free-image/101-D984-45-427

[37] Boues rouge https://www.caminteresse.fr/environnement/que-sont-ces-boues-rouges-rejetees-dans-les-calanques-marseillaises-11105188/

[38] ARTICLE : Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton, juin1981.

[39] LOUVIGNY « Conséquences de l'apport de verre pilé à la surface du champ et de son in corporation dans la couche travaillée».Thèsede doctorat, université Montpellier2001.

[40] Déchet de verre https://fr.123rf.com/photo_59211521_d%C3%A9chets-de-verre-pour-le-recyclage-dans-une-installation-de-recyclage-diff%C3%A9rents-emballages-en-verre-bou.html

[41] sciure de bois https://www.caradisiac.com/A-Calgary-les-chercheurs-tentent-de-faire-du-carburant-a-partir-de-sciure-de-bois-70648.htm

[42] BARKAT : « valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages enbéton ».Magister en génie civil Filière : Aménagement Hydraulique et Génie Civil Ouargla :Université KASDIMERBAH,05/11/2006.

[43] Brique concassée http://www.sable-gravier-galet-decoratif.com/concasse-brique-pilee.html

[44] Brique (matériau) http://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_%28mat%C3%A9riau%29:

[45] ARTICLE: manuel de sensibilisation à la restauration de la maçonnerie,p92.juin2006

[46] JOSEMARCOSORTEGA2018 « Long-term effects of waste brick powder addition inthe microstructure and service properties of mortars », construction and building materialsp691–702.2018

[47] Zhang, X. et Han, J. 2000. The effect of ultra-fine admixture on the rheological property of cement paste, Cement & Concrete Research, 30(5): 827–30.

[48] JIAHUSHAO , 2019 « Study on the pozzolanic reaction of clay brick powder inblendedcement pastes »,Construction and buildingmaterial, p 209-215.

[49] Devenny A. et Khalaf F.M., "The Use of Crushed Brick as Coarse Agregatein Concrete ,Masonry International, Vol. 12, N° .3, 1999,p.81-84.

[50] BENAKLI S, « Caractérisation expérimentale des bétons autoplaçants obtenus par ajout des déchets de construction », Mémoire de magister, Université de Tizi-ouzou .

[51] JOSE MARCOS ORTEGA 2018 « Long-term effects of waste brick powder addition in the microstructure and service properties of mortars », construction and building materials p691–702.2018.

[52] Le-recyclage-ET-le-réchauffement-climatique.2009 sur le site: http://en.wikipedia.org/wiki/Glass_recycling

[53] BOUREMA MOUFIDA «Etude des caractéristiques d'un BHP à base de déchet de brique rouge à l'état frais et durci »Juin 2015 Mémoire Présenté A L'Université 20 Aout 1955 Skikda Pour obtenir le titre de Master Spécialité Génie Civil Option Matériaux de construction.

[54] G. Bumanis, D. Bajare, J. Locs, A. Korjakins, Alkali-silica reactivity of foam glass granules in structure of light weight concrete, Construction and Building Materials 47(2013) 274–281.

[55] James Barton; Claude Guillemet, Le verre, science et technologie, Éditeur , Les Ulis, EDP sciences, 2005

[56] W. Larbi., Cours Verre, Conservatoire National des Arts et Métiers, Matériaux de construction CCV014.

[57] Anne-Françoise Cannella; Jean, d'Outremeuse. Gemmes, verre coloré, fausses pierres précieuses au Moyen Âge, Édition Droz Genève, 2006.

[58] Georges Gallet, Le verre et la céramique dans la technique du vide, P127 Édition Eyrolles, 1962

[59] Christian Schittich, Construire en verre Édition Presses polytechniques et Universitaires roman des Lausanne:, P63, 2001

[60] Concrete with waste aggregates: ect of aggregates type and role of composition, Mamery Serifou 2014, 191 Page; Designer sur: https://tel.archivesouvertes. fr/file/index/docid/962148/filename/SERIFOU_MAMERY_2013.pdf

[61] Propriétés à l'état frais, à l'état durci et durabilité à des bétons incorporant du verre finement broyé, Université de SHERBROOKE, Fayçal Aladdine 2009, 124 Page http://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/1558/MR70773.pdf?sequence=1

[62] Recommandation éditées par HOLCIM « le béton autoplaçant ».Version 26-11-2004

[63] KOJIMA, TAKAGI et HARUTA. Expanding characteristics of mortar in glass powder produced from waste bottles,11th international conference on alkali aggregate reaction.2000.

[64] SCHOLZE. Leverre, nature, structure et propriétés ;institut duverre,Paris1980.

[65] Zidol, A. (2009). Optimisation de la finesse de la poudre de verre dans les systèmes cimentaires binaires. Universite de sherbooke.

[66] Zeghichi L., Mezghiche B., Benghazi Z., (2012) Contribution à l'étude des propriétés du ciment blanc et compos. Communication Science & Technologie, 10,p. 27-35.

[67] Shayan, A. et Xu, A. (2006). Performance of glass powder as a pozzolanic material in concrete: A field trial on concreteslabs. Cement and ConcreteResearch, vol. 36, n° 3, p. 457-468

[68] NF EN 197-1: décrit les ciments courants, ainsi que leur composition, leurs spécifications et leurs critères de conformité. Journal Officiel de l'Union Européenne, 2012

[69] NF EN 196-6, Methods of testing cement-Part 6, 2010.

[70] NF EN 459-2 EUROPEAN STANDARD NORME EUROPÉENNE EUROPÄISCHE NORM. September 2010

[71] NF EN 196-3, AFNOR, Méthodes d‟essais des ciments: Partie 3: détermination du temps de prise et de la stabilité. 2009

[72] NF EN 196-1, AFNOR, Méthodes d‟essais des ciments: Partie 1: détermination des résistances mécaniques. 2006

[73] NF EN 1097-6, 2001. « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques etphysiques des granulats. Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau»,AFNOR.

[74] NF EN 1097-3, 1998, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques etphysiques des granulats. Partie 3: Méthode pour la détermination de la masse volumique envracet dela porosité intergranulaire»,AFNOR.

[75] NF EN 1097-2, 2001, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie2: Méthode pour la détermination de la résistance à la fragmentation »

[76] MEDAFLOW 145 Conforme à la norme AN 934-2 : TABB 1, TAB 3.1 ET TAB 3.2 NA 774.

[77] B. EN, 12350-8, 2010 Testing fresh concrete, Part 8: Self compacting concrete, Slump-flow test, British Standards Publication(2010).

[78] B. EN, 12350-9. Testing fresh concrete, self-compacting concrete; Technical committee,BritishStandardsInstitution:London, UK(2010).

[79] B. EN, 12350-10.(2010). Testing Self Compacting Concrete: L-Box Test, British Standard Int.

[80] B. EN, 12350-11.(2010). Testing Self Compacting Concrete: Sieve Segregation Test,BritishStandardInt.

[81] CEN EN 196-1, Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments – Partie 1 :détermination des résistances mécaniques (indice declassementP15-471) »,Aout1995.

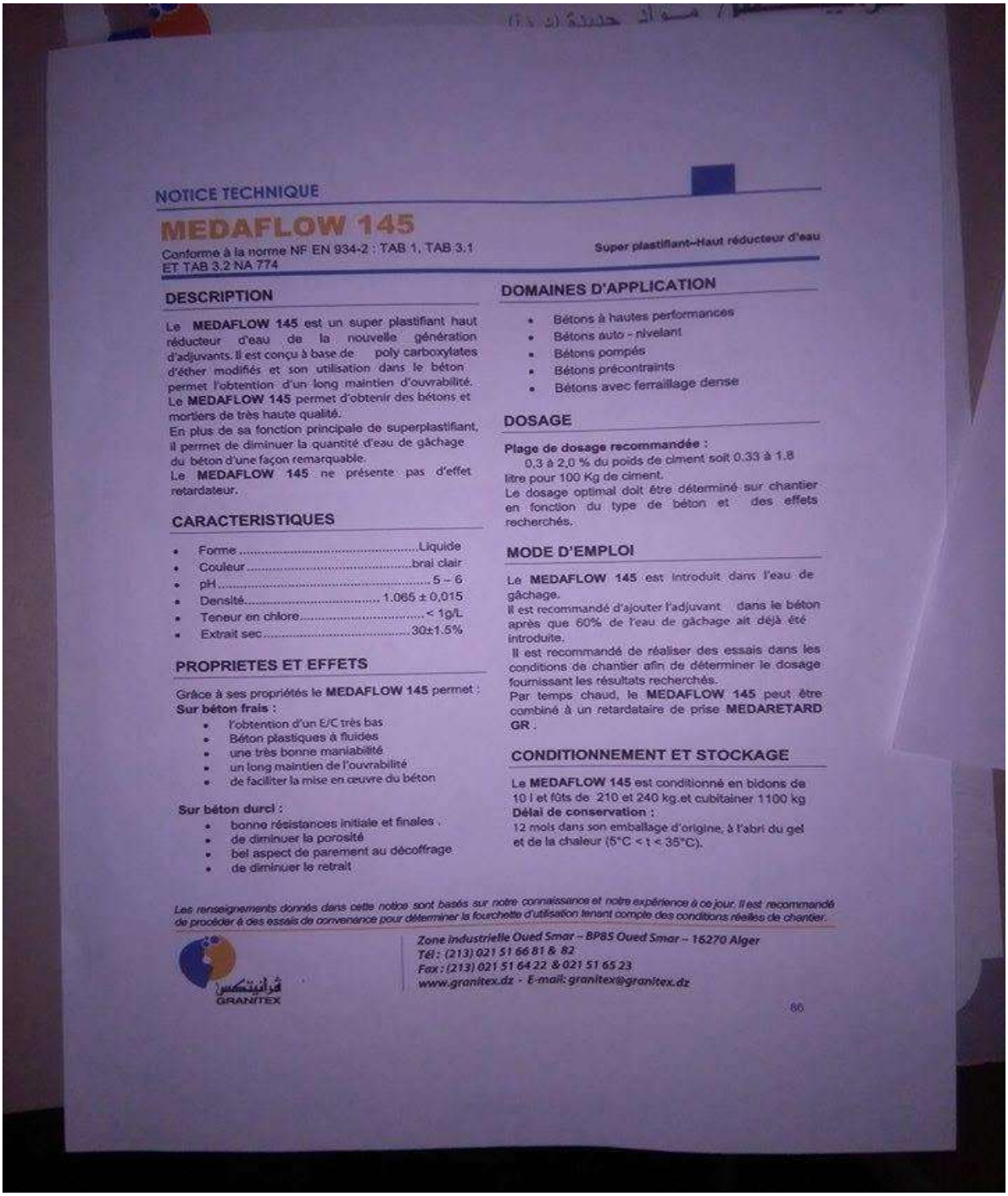
[82] F .GORISSE - Les essais mécaniques dans le béton hydraulique - école nationale des ponts et chausses - paris 1982.

[83] Siméon Denis Poisson (1781-1840), mathématicien et physicien français.

ANNEXES



Annexe A :Fiche technique du MEDAFLOW 145



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

66

Annexe B : Essai sur le sable

Masse volumique absolue

Afin de le déterminer à partir de la masse volumique absolue du sable utilisé, des étapes suffisantes doivent être suivies :

- Nous avons pesé une masse de sable
- Nous mettons une certaine quantité d'eau dans un récipient gradué et notons la valeur du lit
- Nous mettons la masse de sable mesurée dans le récipient et relisons la valeur

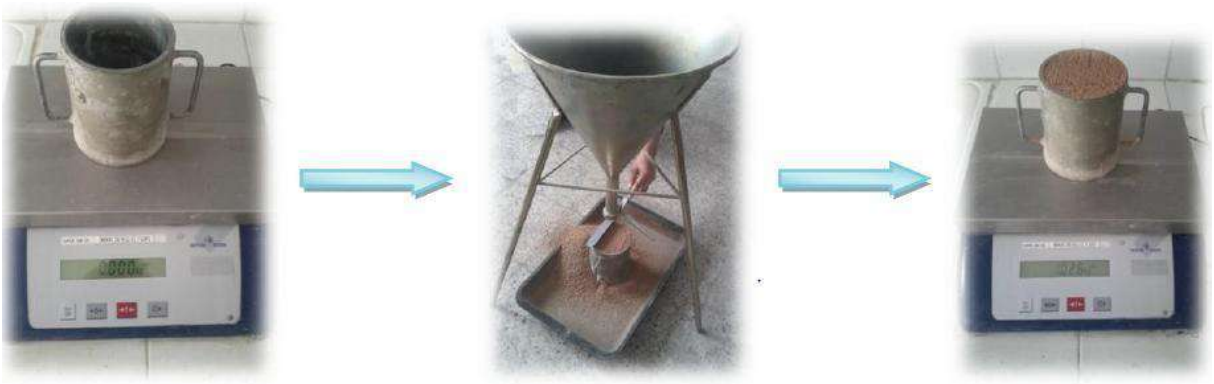


Protocole de l'essai de La masse volumique absolue pour les sables utilisé

Masse volumique apparent

Pour la déterminer de la masse volumique apparente de sable utilisé, les étapes suffisantessont à suivre :

- Mettre un échantillon de sable dans l'entonnoir
- Verser le sable dans la mesure en ouvrant l'entonnoir jusqu' a ce qu'il déborde formant un cône
- Araser à l'aide d'une règle
- Peser le contenu soit M (en kg).



Protocole de l’essai de La masse volumique apparent pour sables utilisés

Annexe C : Formulation de MAP

Feuille Excel donnant composition et résultats des essais sur mortier

Essais sur Mortier — Entrer data dans cellules en rouge

Valeurs calculées dans cellules en noir

Référence du mélange — Essai N° — CEM I 42,5 - — Date 24/06/2021

0 % de Mg

0 % de Poudre de marbre

volume de mortier (litres) 1000,00

sable/mortier vol 0,50

E/P par vol. 1,231 — poudre vol (' 22,411 — Eau volume 27,589

composition Poudre(vol %) — type

ciment portland 100

Mg 0

Poudre de Marbre 0

superplast - MEDAFLOW30 0,8 % (Sp/P)

Densité relative de la poudre **3,08**

teneur en eau du sable

	humidité (%ab)		absorption(%	correction (%)
poids humide (g)	200	0,00	0,79	-0,79
poids sec (g)	200			

Materiaux	**Volume** litres	**Densité** kg/m³	**Masse** kg	**Contenance d'eau** %	kg	**poids mélange** kg			
poudre	224,115	3080	690,273			**690,273**			
Ciment	224,115	3080	690,273			**690,273**			
Mg	0,000	2350	0,000			**0,000**			
Poudre de marbre	0,000	2700	0,000			**0,000**			
Eau	275,885	1000	275,9			282,49	**W1**	197,741	70% W
							W2	84,746	30% W
superplastifiant MEDAFLOW 30		1070	5,52	70	3,866	**5,522**			
Sable	500,000	2650	1325,000	-0,79	-10,468	**1325,000**			
Total	**1000,000**					2303,283			

E/P poids = **0,400**

100%C					
Volume	0,8	**poids mélange** g			
poudre		**552,219**			T
Ciment	0,179	**552,22**			
Mg	0,000	**0,00**			
Poudre de m	0,000	**0,00**			
Eau	0,221	225,99	**W1**	158,2	
	E théorique	220,71	**W2**	67,8	
superplastifiant MEDAFLOW 30		**4,42**			
Sable	0,4000	**1060,0**			
Total	0,8000	1842,6			

Annexe D : Formulation de BAP

Nom du mélange	T
Date de malaxage	

Inputs

Constituants	Densités relatives	Coefficients d'absoption	Teneur en eau	Poids humide	Poids sec
Sable	2,66	0,79	0,20	200,4	200
Gravier 8/15	2,66	3,2	0,07	604,5	603,9
Gravier 3/8	2,69	3,94	0,12	635,9	634,9
Ciment	3,08	1	1	1	1
Ajout 1 : bentonite	2,44	1	1	1	1
Ajout 2 : poudre de marbr	2,6	1	1	1	1
Ajout 3 : X	2,75	1	1	1	1
Ajout 4 : Y	2,6	1	1	1	1
Ajout 5 : Z	2,65	1	1	1	1
Superplastifiant	1,07	1	70	1	1

Pourcentage de l'air (%)	1
Compacité du gravier	50
S/M	0,5
SP/P	0,8

Composition de la poudre	
Ciment Portland	100
Ajout 1 : bentonite	0
Ajout 2 : poudre de marbr	0
Ajout 3 : X	0
Ajout 4 : Y	0
Ajout 5 : Z	0

E/P volume	1,231

Outputs

	V(l)	23,00		
Constituants	Poids en Kg pour 1m³	Poids en g pour un volume donné		
Sable	906,22	20843,1		
Gravier 8/15	536,04	12328,9		
Gravier 3/8	266,10	6120,2		
Ciment	469,59	10800,6		
Ajout 1 : bentonite	0,00	0,0	70% d'eau en g	3514,6
Ajout 2 : poudre de marbr	0,00	0,0	30% d'eau en g	1506,2
Ajout 3 : X	0,00	0,0		
Ajout 4 : Y	0,00	0,0		
Ajout 5 : Z	0,00	0,0		
Eau	218,30	5020,8		
Superplastifiant	3,76	86,4		