REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUES

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil
Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Etude des propriétés d'un mortier autoplaçant avec la poudre de verre comme substituant au ciment

Présenté par :

Melle BENMEHAL FATEN
Melle FEHDI AICHA

Proposé et Dirigé par
DR. Bentchikou Mohamed
Melle Bouleghbar Yasmine

Promotion 2020

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant,

de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace

pour dépasser toutes les difficultés.

Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements à notre promoteur

Monsieur le Docteur Bentchikou Mohamed pour avoir dirigé ce travail de recherche.

On lui exprimant ici un profond respect et une grande gratitude.

Nous voudrons également exprimer nos remerciements à Madame

Bouleghbar Yasmine la co-promotrice de notre mémoire pour nous avoir accueillis

et aidés à réaliser notre étude expérimentale.

Mes vifs remerciements iront aussi aux membres de jury qui nous ferons

l'honneur de traiter notre travail.

Enfin, je remercie mes parents, mon frère, mes soeurs tous mes Ami(e)s

que j'aime Pour leur sincère amitié et confiance.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements,

mon respect et ma gratitude.

Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail :

À nos très chers parents,

à nos chers frères et soeurs,

à nos cheres grandes familles,

à touts nos amis proches ou loins,

à tous ceux qui nous sont chers, et qu'ils trouvent leur place

dans nos coeurs.

BENMEHAL FATEN

FAHDI AICHA

ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو دراسة إمكانية استخدام نفايات الزجاج كبديل جزئي للاسمنت في ملاط التسوية الذاتية حيث أن نفايات الزجاج المطحون مطحون مختلفة النعومة مثل 4400 و 6200 سم2/غ لتقييم حجم الجسيمات على سلوك الخرسانة.

أجريت الاختبارات المعملية لتحديد قابلية التشغيل و خصائص قوة الشد و الضغط و الانكماش و امتصاص الشعيرات ومسامية الخرسانة ذاتية الغلق مع 8% و 12% و 16% و20% و 24% و استبدال جزئي للاسمنت بمسحوق الزجاج.

أظهرت النتائج أن استبدال الاسمنت بمسحوق الزجاج في الملاط الذاتي أدى إلى تحسين قابليته للتشغيل كما أن استبدال مسحوق الزجاج بنعومة 6200سم2/غ يقلل من الانكماش في الملاط الذاتي. مع مشكلة كوفيد19، اقتصرت نتائجنا على بعض هذه الخصائص.

كلمات مفتاحية : الملاط التسوية الذاتية، نفايات الزجاج، الخصائص الميكانيكية و الفيزيائية .

Résumé

L'objectif principal de cette étude est d'examiner la possibilité d'utiliser les déchets de verre en remplacement partiel du ciment dans le mortier autoplçant. Les déchets de verre sont broyés à des finesses différentes de 3300 et 4400 et 6200 cm2/g pour évaluer l'effet de la taille des particules sur le comportement de mortier.

Des tests de laboratoire ont été effectués pour déterminer ,l'ouvrabilité, les propriétés de résistance à la traction et à la compression , retrait , absorption capillaire, porosité du mortier autoplaçant avec 0%,8%,12%,16%,20% et 24% de remplacement partiel du ciment par la poudre de verre.

Les résultats montrent que la substitution du ciment par la poudre de verre dans le mortier auto plaçant améliore son ouvrabilité, ainsi que la substitution de finesse 6200 cm^2/g de la poudre de verre diminue le retrait dans le MAP . avec le probléme du covide 19,nos résultats étaient limités à certaines de ces propriétés.

Mots clés : Mortier autoplaçant, Déchets de verre , Caractéristiques mécaniques et physiques.

Abstract

The main objective of this study is to examine the possibility of using waste glass as a partial replacement of cement in the self-consolidating mortar. Glass waste is crushed to different finenesses such as3300 and 4400 and 6200 cm2/g to assess the effect of particle size on mortar behavior.
Laboratory tests were carried out to determine, workability, tensile and compressive properties, shrinkage, capillary absorption, mortar porosity with 0%, 8%, 12%, 16%, 20% and 24% as partial replacement of cement by glass powder.

The results show that the substitution of the cement by the glass powder in the self-consolidating mortar improved its workability ,as well as the substitution of 6200 cm2/g fineness the shrinkage in the self-consolidating mortar . with the covid 19 , problem our resuls were limited to some of these properties.

Key words: Self-consolidating mortar, waste glass , physical and mechanical characteristics.

Sommaire

Sommaire

Introduction générale ……1

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1.1 Première partie: Valorisation des déchets ……2
1.1.1 Introduction……2
1.1.2 Historique ……2
1.1.3 Les déchets solides……2
1.1.4 Définition de déchet……3
1.1.5 Les types de déchet……4
1.1.5.1 Déchets ultimes ……3
1.1.5.2 Déchets inertes……3
1.1.5.3 Déchets assimilés……3
1.1.5.4 Déchets verts ……3
1.1.5.5Déchets organique……3
1.1.5.7 Déchets industriels banals (DIB) ……3
1.1.5.8 Déchets dangereux ……4
1.1.5.8.1 Déchets industriels spéciaux (DIS)……4
1.1.5.8.2 Déchets ménagers spéciaux (DMS)……4
1.1.6 Destination des déchet……4
1.1.6.1 Décharges……4
1.1.6.2 Combustion ou incinération……4
1.1.6.3 Stations de transfert……4
1.1.6.4 Récupération et recyclage……4
1.1.6.5 Compostage……4
1.1.7 Les déchets en Algérie……4
1.1.8 Valorisation des déchets dans le domaine de génie civil……5
1.1.9 Exemples de déchets utilisé……6
1.1.10 Définition de verre……6
1.1.11 Les déchets de verre……6
1.1.12 Valorisation des déchets de verre dans le domaine de matériaux de construction ……7
1.1.13 Fabrication de verre……7
1.1.14 Type de verre……8
1.1.14.1 Les verres sodacalcique……8
1.1.14.2 Les verresborosilicates……8
1.1.14.3 Les verres au plomb……8
1.1.14.4 Le verre de silice……8
1.1.14.5 Les vitrocéramiques (ou vitro cristallins)……8
1.1.15 La poudre de verre dans les bétons……9
1.1.16 Utilisation de verre dans le domaine de génie civil domaine d'application de verre…9
1.1.17 Le déchet de verre (verre broyé) et l'activité pouzzolanique ……9
1.1.18 Effet des déchets de verre sur l'ouvrabilité……10
1.1.19 Effets des déchets de verre sur la résistance à la compression……10
1.1.20 Effet de déchets de verre sur la résistance à la traction……11
1.1.21 Effet de déchets de verre sur le retrait et le gonflement……12
1.1.22 Effet des déchets de verre sur la porosité……13
1.1.23 Effet de déchets de verre sur l'absorption d'eau……14

1.1.24 Effet de déchets de verre sur les diffusions des ions chlorure……15
1.1.25 Effet de déchets de verre sur la réaction alcali-silice……16
1.1.24.1 Taille des grains de verre ……16
1.1.24.2 Teneur en verre……16
1.1.24.3 Porosité et la réaction alcali-silice du verre……16
1.1.24.4 Eléments mineurs et la réaction alcali-silice……16
1.1.25conclusion……16
1.2 Deuxiéme partie : le BAP……17
1.2.1 Introduction……17
1.2.2 Définition du BAP……17
1.2.3 Particularité du BAP……17
1.2.4 Domaine d'utilisation du BAP……18
1.2.5 Les avantages……18
1.2.5.1 La mise en œuvre……18
1.2.5.2 La qualité du béton……19
1.2.5.3 Concernant la conception……19
1.2.6 Les inconvénients des BAP……19
1.2.7 Classification des BAP……19
1.2.8 Composition du BAP……20
1.2.8.1 Ciment……20
1.2.8.2 Les ajouts minéraux……21
1.2.8.3 Les fillers calcaires……21
1.2.8.4 Granulats……21
1.2.8.5 L'eau……21
1.2.8.6 Les super plastifiants……22
1.2.9 Essais de Caractérisation des BAP à l'état frais……22
1.2.10 Formulation des BAP……25
1.2.10.1 Approche japonaise……25
1.2.10.2 L'approche suédoise……25
1.2.10.3 Méthode Française……26
1.3 Troisième partie : le MAP……27
1.3.1 Introduction……27
1.3.2 Etymologie des mortiers……27
1.3.3 Définition de mortier……27
1.3.4 Constituant des mortiers……27
1.3.4.1 Le Liant……27
1.3.4.2 Le sable……27
1.3.4.3 L'eau de gâchage……28
1.3.4.4 Les additifs……28
1.3.5 Différents types des mortiers……28
1.3.6 Classification des mortiers……29
1.3.6.1 Classification selon leur domaine d'utilisation……29
1.3.6.2 Classification selon la nature du liant……29
1.3.6.3 Classe des mortiers……29
1.3.7 Mortier auto plaçant……29
1.3.7.1 Définition……29
1.3.7.2 Application……30

1.3.7.3 Données techniques……30
1.3.7.4 Propriétés du mortier à l'état frais et l'état sec……30
1.3.7.4.1 Propriétés du mortier à l'état frais……31
1.3.7.4.1.1 Ouvrabilité……31
1.3.7.4.1.2Prise……31
1.3.7.4.2 Propriétés du mortier à l'état durci……32
1.3.4.7.2.1 Résistances mécaniques……32
1.3.4.7.2.2 Retraits et gonflements……33
Conclusion……34
Chapitre 2 : Matériaux et essais

2.2 Matériaux utilisées……35
2.2.1 Le ciment ……35
2.2.2 Le sable……37
2.2.3 Le super plastifiant……37
2.2.4 L'eau de gâchage……38
2.2.5 verre……38
2.3 Formulation du mortier autoplaçant……39
2.4 Formulation du mortier autoplaçant a base de poudre de verre……40
2.5 Confection et Cure des éprouvette……41
2.5.1 Malaxage du mortier autoplaçant……41
2.5.2 Préparation des éprouvette……42
2.5.3 Conservation des éprouvette……42
2.6 Les essais ……43
2.6.1 Equipement nécessaire……43
2.6.2 Les essais effectués sur les granulats……46
2.6.2.1 Masse volumique……46
2.6.2.2 Equivalent de sable ……46
2.6.2.3 Analyse granulométriques……47
2.6.2.4 Taux d'absorption du sable……47
2.6.3 Essais sur mortier……48
2.6.3.1 A l'état frais……48
2.6.3.2 A l'état durci……49
Conclusion……53
Chapitre 3 : Résultat et interprétation
1.3 Introduction……54
3.2 A l'état frais……54
3.2.1 L'étalement ……55
3.2.2 V-funnel……55
3.3 A l'état durci……55
3.3.1 Le retrait ……55
Conclusion général……58

Liste des Figures

LIST DES FIGURES

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

Figure 1.1 :Déchets……5

Figure 1.2 :Déchets inertes……6

Figure1.3 :déchets dangereux……6

Figure 1. 4 : Influence du dosage en PV sur la résistance à la compression……10

Figure 1.5 :La résistance à la compression en fonction de l'âge de mortier en SM……11

Figure 1.6 :Résistance en traction par fendage des béton conventionnels……12

Figure 1.7 : Retrait de séchage des bétons avec E/L = 0,49 [Shayan et Xu, 2006]……12

Figure 1.8 :Retrait de séchage des bétons conventionnels……13

Figure 1.9 :La porosité de mortier avec SC……13

Figure 1.10 :Taux d'absorption d'eau du mortier en poudre de verre recyclé après 28 jours durcissement……14

Figure 1.11: Evolution de l'absorption capillaire des mortiers après 28j de cure en fonction de √t……15

Figure1.12 : Mise en place sous son poids propre……17

Figure 1.13 : Quelques exemples d'utilisation de BAP ……18

Figure. 1.14: Composition d'un béton ordinaire et d'un BAP……20

Figure 1.15 :Illustration de l'effet filler……21

Figure 1.16 : Pate de ciment d'un superplastifaint : dispersion des grains ……22

Figure 1.17. :Pate de non adjuvantée : additionnée Floculation des grains……22

Figure 1.18. :Essai d'étalement……23

Figure 1.19 :Schéma de la boîte en L (toutes les dimensions en mm)……23

Figure 1.21. :Essai d'étalement modifié……24

Figure.1.22 :Essai de stabilité au tamis……25

Figure 1.23 :Composition des mortiers……27

Figure. 1.24: Table à secousses……31

Liste des figures

Figure. 1.25: Le maniabilimètre du LCPC……31

Figure. 1.26: Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge……32

Figure. 1.27: Moule pour moulage des éprouvettes de mortier……32

Figure. 1.28: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion……33

Figure. 1.29: Appareillage pour la mesure du retrait……34

Chapitre 2 : Matériaux et essais

Figure 2.1 : Ciment portland utilisé……35

Figure 2.2 : Courbe granulométrique du sable de Oued-Souf……37

Figure 2.3: Sable de Oued-Souf utilisé……37

Figure 2.4: Le superplastifiant MEDAFLOW 145 utilisé……38

Figure 2.5 : (a) : déchets de verre ; (b) : poudre de verre……39

Figure 2.6: Séquence de malaxage du mortier autoplaçant……42

Figure 2.7 : Malaxeur a mortier……42

Figure 2.8: Conservation des éprouvettes……43

Figure 2.9 : Equipements nécessaires utilisé……45

Figure 2. 10 **:** Principe de l'essai d'équivalente de sable……47

Figure 2.11 **:** Essai d'équivalant de sable……47

Figure 2.12: Essai d'étalement au mini cône……48

Figure 2.13 : Dispositif pour l'essai de résistance à la traction……49

Figure 2.14 : Dispositif de rupture à la compression……50

Figure2.15 **:** Essai d'absorption d'eau par capillarité……52

Chapitre 3 : Résultat et interprétation

Figure 3.1 : Etalement en fonction du taux de substitution pour les deux finesses de la poudre de verre……54

Figure 3.2 : Temps d'écoulement en fonction du taux de substitution pour les deux finesses de la poudre de verre……55

Liste des figures

Figure 3.3 : Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse de 3300 cm^2 /g……55

Figure 3.4 : Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse de 4400 cm^2 /g……57

Figure 3.5 : Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse de 6200 cm^2 /g……57

Liste des Tableaux

Liste des tableaux

Tableaux

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

Tableau 1.1 porosité ouvert % pour différentes compositions……13

Tableau 1.2Intervalle d'écoulement……19

Chapitre 2 : Matériaux et essais

Tableau 2.1 : Composition chimique et minéralogique du ciment……36

Tableau 2.2 : Caractéristiques du ciment utilisé……36

Tableau 2.3 : Composition des mortiers avec finesse 1 (F1=3300 cm^2 /g)……40

Tableau 2.4 : Composition des mortiers avec finesse 2 (F2=4400 cm^2 /g)……41

Liste des Abréviations

Liste des abréviations

BAP :Béton autoplaçant
MAP : Mortier autoplaçant
D : Diamètre d"étalement au mini cône
CPA : Ciment Portland Artificiel
CPJ : Ciment Portland Composée
E/L :Rapport eau sur liant
E/C : Rapport eau sur ciment
PV :Poudre de verre
CEMI 42.5 R : Ciment portland ordinaire de classe 42.5MPa
R :Résistance
S/M :le rapport Sable/Mortier
Sp : Super plastifiant
SF : Fumé de silice
MT : Mortier témoin
M : Moment de flexion
I : Moment d'inertie
V : La distance de la fibre la plus éloignée
ΔL : Variation de L par rapport à la longueur originale
L :longueur origine
SSB : Surface Spécifique de Blaine

Introduction Generale

Introduction générale

Au cours des dernières décennies, l'utilisation des déchets de verre a considérablement augmenté dans différents domaines de la fabrication des matériaux, en vue de leur valorisation dans le secteur des matériaux de construction. En particulier, les déchets minéraux qui sont actuellement utilisés dans technologie des bétons soit comme ajouts minéraux (par substitution partielle du ciment), soit comme granulats fins ou granulats grossiers (par substitution des granulats traditionnels). A cet effet, le présent travail a pour objectif de valoriser les déchets de l'industrie verrière, en particulier les déchets de verre peuvent être recyclé pour la production de verre comme ajout minéral (poudre de verre) dans le ciment pour le mortier autoplaçant .
Cette étude à pour objectif de voir l'influence des déchets de verre sur les propriétés rhéologiques (ouvrabilité) et physico-mécaniques du mortier autoplaçant.
Le but de notre travail est d'examiner la possibilité d'utiliser les déchets de verre en remplacement partiel du ciment dans le mortier autoplçant, les déchets de verres sont broyés à des finesses différentes telles que 3300 et 4400 et 6200 cm2/g pour évaluer l'effet de la taille des particules sur le comportement de mortier.
Des tests de laboratoire ont été effectués pour déterminer ,l'ouvrabilité, les propriétés de résistance à la traction et à la compression , retrait , absorption capillaire, porosité du mortier autoplaçant avec 0%,8%,12%,16%,20% et 24% de remplacement partiel du ciment par la poudre de verre.

Organisation du mémoire

Le contenu du mémoire englobe les chapitres suivants :
Une introduction générale

Le premier chapitre : Une synthèse bibliographique basée sur les différents types de mortier en particulier sur le mortier auto plaçant et aussi le béton autoplaçant, plus la valorisation des déchets et leurs utilisations dans le domaine de la construction

Le deuxième chapitre : Est consacré à l'étude expérimentale pour donner une idée et une description sur les matériaux utilisés et les essais réalisés. On explique en détail le plan des expériences à mener, la méthodologie et les caractéristiques des matériaux utilisés.

Le troisième chapitre : devrait Contenir les résultats d'ouvrabilité, des essais mécaniques, de la durabilité (l'absorption capillaire, retrait, porosité…..ect). avec le problème du covid 19, nos résultats étaient limités à certaines de ces propriétés.

Enfin, une conclusion générale clôtura ce mémoire en synthétisant les principaux résultats obtenus par notre travail.

Chapitre 1:
Synthése Bioghraphique

Chapitre 1 : Synthèse Biographique

1.1 Première partie: Valorisation des déchets

1.1.1Introduction

Le verre, un des premiers matériaux fabriqués par les humains, est connu depuis plus de 9000ans. A cause de sa disponibilité, de ses propriétés mécanique uniques et de ses propriétés chimiques et optiques, il a beaucoup d'applications bénéfiques.
Théoriquement, c'est un matériau 100% recyclable et il peut être recyclé plusieurs fois sans aucune perte de qualité.
Le recyclage et l'utilisation du verre est notoire dans les processus manufacturiers. Les applications les plus courantes du verre recyclé sont comme matériaux décoratifs, comme granulats dans la fabrication de l'asphalte, comme granulats fins dans la fabrication du béton [1].

1.1.2 Historique

C'est après la Seconde Guerre mondiale qu'une prise de conscience des répercussions des activités humaines sur l'environnement voit le jour, parallèlement à la naissance de l'écologisme et de l'écologie. Les préoccupations environnementales conduisent les gouvernements à prendre des mesures pour limiter l'empreinte écologique des populations humaines et pour contrer des activités humaines contaminèrent.
Les premières grandes pollutions semblent avoir été induites par la révolution industrielle, permise par les machines à vapeur et le charbon. Cheminées industrielles, Fumées industrielles généralement chargées de résidus de combustion.

1.1.3 Les déchets solides

Les déchets solides sont l'accumulation de matériaux à l'état solide résultant de diverses activités humaines dans différents domaines de la même taille.ils sont gênants car il occupent surtout de l'espace, pour cela on devrait toujours travailler sur la recherche d'endroits pour se débarrasser de ces déchets.

Auparavant, les déchets solides ne causaient pas du tout un problème environnemental mais avec le temps, un plan de gestion de ces déchets devient nécessaire.

Plusieurs raisons ont fait augmenterla quantité de déchets solides:

-Augmentation de la population.

-Augmentation du ratio de consommation.

-Le développement industriel et l'augmentation ratio de production.

-Le développement agricole.

-Le développement technologique.

-Le manque de sensibilisation à l'environnement au sein de la population.

-Le non-respect des moyens appropriés pour faire face aux déchets solides.
Ces facteurs ont conduit à une augmentation substantielle de la quantité croissante de déchets solides et ainsi accumulée problème des déchets solides est devenue l'un des problèmes environnementaux difficiles face au monde moderne et civilisé [2]

1.1.4 Définition de déchet

Un déchet est défini comme " Tout résidu d'un processus de production, de transformation, ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon et qui sont de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits ou des odeurs, et d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement [3].

1.1.5 Les types de déchets

1.1.5.1 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 bouesde stations d'épuration.

1.1.5.2 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 santéhumaine.

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellementdes chantiers de bâtiment et de et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériauxde construction.

Ce sont notamment les déchets suivants :

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

1.1.5.3 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)

1.1.5.4 Déchets verts

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

1.1.5.6 Déchets organiques

Les termes suivants recouvrent la même notion : biodéchets 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

1.1.5.7 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.

1.1.5.8 Déchets dangereux

1.1.5.8.1 Déchets industriels spéciaux (DIS)

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

1.1.5.8.2 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 [4].

1.1.6 Destination des déchets

1.1.6.1-Décharges

Ce sont des zones conçues techniquement où les déchets sont disposés scientifiquement. Ils sont caractérisés par des doublures qui empêchent les infiltrations des matériaux candidats aux eaux souterraines. Il existe différentes conceptions pour les décharges [5].

1.1.6.2 -Combustion ou incinération

La combustion ou l'incinération des déchets réduisent la quantité d'espace d'enfouissement nécessaire à la combustion des déchets de manière contrôlée et génère également de l'électricité grâce à des technologies d'élimination des déchets comme la gazéification, la pyrolyse, la digestion anaérobie, la fermentation, etc.

1.1.6.3-Stations de transfert

Les stations de transfert sont des installations intermédiaires où les déchets solides municipaux collectés sont déchargés des camions de collecte, compactés pour réduire le volume des déchets, et conservés pendant une courte période avant de les recharger sur des camions ou des conteneurs plus larges ou à grande distance pour l'expédition Aux décharges ou à d'autres installations de traitement et d'élimination.

1.1.6.4-Récupération et recyclage

Les déchets sont également de bonnes sources de matières premières. La récupération et le recyclage des déchets peuvent aider à réduire l'utilisation de matériaux vierges pour la production de nouveaux produits. Le recyclage des déchets de construction et de démolition peut également conserver l'espace dans les décharges et de grandes quantités de matériaux comme les métaux, le verre, les plastiques et les cartons peuvent être récupérés [6].

1.1.6.5-Compostage

Le compostage est un moyen de ramener les nutriments dans l'environnement en permettant aux microorganismes de transformer les déchets en fumier. L'application de ce fumier à des terres agricoles peut améliorer la fertilité du sol en lui fournissant des éléments nutritifs essentiels [7].

1.1.7 Les déchets en Algérie

D'après Le Salon international de la valorisation des déchets industriels et Dans le souci de préserver l'environnement, la chambre algérienne de commerce (CACI) a organisé la première édition du Salon International de la Récupération et de la Valorisation des Déchets Industriels, « Revade 2016 ». du 05 au 08 octobre au palais des expositions (SAFEX), à Alger, l'événement était parrainé par le ministère du commerce, le ministère des ressources en eau et environnement, et celui de l'Industrie et des Mines.

Placé sous la thématique « Les enjeux économiques du recyclage des déchets industriels »,

le « Revade » a réunit des spécialistes qui ont abordé différents sujets liés à la protection de notre terre. Entre autres, « la collecte des déchets, le transport et latransformation, les centres d'enfouissement technique, de l'incinération, ou ceux en charge du traitement des eaux industrielles usées ».
Par sa thématique, l'événement visait, 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 a été 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 »[8].
Des déchets répartis en quatre catégories :

❖ Les déchets d'emballages et de plastique dont la quantité est estimée à environ 1.2 million de tonnes/an.

❖ Les pneus usagés dont la quantité est estimée à plus de 1 million d'unités/ an

❖ Les déchets des huiles et des huiles lubrifiantes, dont la quantité est estimée à 110.000 tonnes/an

1.1.8 Valorisation de déchets dans le domaine de génie civil

Dans le cadre de travaux de génie civil, on distingue trois catégories principales de déchets : les déchets inertes, les déchets banals et les déchets dangereux



Figure 1.1.Déchets banals.



Figure 1.2Déchets inertes.



Figure 1.3 déchets dangereux.

1.1.9 Exemples de déchets utilisé

Lors de travaux de démolition, les briques récupérées peuvent être nettoyées et réutilisées sur le même chantier ou ailleurs. Par ailleurs, certaines briques anciennes ont une grande valeur architecturale et sont recherchées pour les rénovations historiques.

Lors de travaux de construction, le béton pré-mélangé en excès peut être utilisé dans la fabrication de bordures de terrains de stationnement, de jardinières ou dans l'aménagement paysage [10].

1.1.10 Définition de verre

Le dictionnaire indique que le mot verre vient du mot latin vitrum qui désigne une substance minérale transparente et isotrope [11]. Le verre est un solide obtenu par figeage d'un liquide qui n'a pas été cristallisé limite le terme verre aux seuls produits obtenus par refroidissement d'un liquide. Au sens chimique et physique, le verre n'est pas un solide, mais plutôt un liquide solidifié. Les molécules sont totalement désordonnées et ne forment pas de réseau cristallin [12].

1.1.11 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 [13].

1.1.12 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 dans la fabrication des matériaux cimentaires. [14]

1.1.13 Fabrication de verre

Pour fabriquer les verres, on utilise des matières premières constituées en grande partie par des roches naturelles et en plus faibles quantités par des produits chimiques industriels. La quasi-totalité des verres fabriqués industriellement sont constitués par des mélanges d'oxydes, pouvant d'ailleurs contenir à l'état dissous des quantités limitées de composés qui ne sont pas des oxydes tel que les sels (chlorures, fluorures).

L'aptitude à la vitrification dépend de la nature et de la proportion des oxydes formateurs et des oxydes modificateurs. L'oxyde formateur étant, nous le rappelons, celui qui peut former le verre tout seul ou en combinaison avec un autre oxyde, tandis que l'oxyde modificateur, inapte pour lui - même à devenir un verre, modifie avantageusement par sa présence les conditions de vitrification et les propriétés physiques et chimiques du verre obtenu.

Les constituants de base des verres industriels de grande production sont limités à ceux qui peuvent être apportés pur les matières premières les moins chères.

-Le sable (riche en Si02), après avoir subi un traitement afin de diminuer sa teneur en Fe20,

-Le calcaire, la dolomie et dans certains cas des roches alumineuses après avoir subi un broyage.

-Le carbonate e le sulfate de sodium.

-Le charbon broyé (charbon de bois) lorsque le verre contient des quantités importantes de sulfate.

Quelques constituants secondaires, dont la proportion n'excède généralement pas 1% sont souvent introduits pour modifier la teinte ou les conditions de l'élaboration du verre (As associe à Na2CO3 ou Na2So4, Mno2, Se ...etc). Suivant leurs rôles dans le mélange vitrifiable .[15]

1.1.14 Types de verre

1.1.14.1 Les verres sodocalciques

Exemple de composition : Silice (72%) + soude (13%) + chaux (5%). 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 électriqueset en bouteillerie.

La température de ramollissement pour 70% de silice = 700°C. Son coefficient de dilatation est élevé : 86 x 10-7 (de 0 à 300°C). [16]

1.1.14.2 Les verres borosilicates

Exemple de composition : Silice (80%) + anhydride borique (13%) + soude (4%) + alumine (3%).

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.

La température de ramollissement pour 80% de silice = 820°C. Son coefficient de dilatation est très faible : 32 x 10-7 (de 0 à 300°C) .[17]

1.1.14.3 Les verres au plomb

Exemple de composition : Silice (62%) + oxyde de plomb (21%) + potasse (7%).

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 obtientun verre dense utilisé pour la protection des rayons X.

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

La température de ramollissement pour 60% de silice et 25% d'oxyde de plomb = 630°C. Son coefficient de dilatation est très élevé : 90 x 10-7 (de 0 à 300°C).[18]

1.1.14.4 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.

La température de ramollissement pour plus de 96% de silice = 1700°C. Son coefficient de dilatation est très faible : 5,6 x 10-7 (de 0 à 300°C). [19]

1.1.14.5 Les vitrocéramiques (ou vitro cristallins)

Exemple de composition : Silice (75%) + alumine (15%) + sel de titane (5%) + oxyde de lithium (3%). 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.[20]

1.1.15 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 lesbétons.

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-ci ont encouragé de nouvelles études. [21]

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.[22]

1.1.16 Utilisation de verre dans le domaine de génie civil domaine d'application de verre

- Automobile et matériel roulant
-l'électroménager
-les équipements industriels
-le mobilier urbain
-Les bâtiments : hôtels ; grandes surfaces ; salles des fêtes ; bureaux .[23]

1.1.17 Le déchet de verre (verre broyé) et l'activité pouzzolanique

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 basede 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. Le verre, compare à d'autres pouzzolanes notamment la cendre volante, développe rapidement son activité pouzzolanique ;

6. L'utilisation simultanée d'un verre et d'une pouzzolane en remplacement partiel du ciment pourrait conduire à des synergies intéressantes. [24]

1.1.18 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) 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 unevaleur 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 ensuperplastifiant diminue à mesure qu'augmente le pourcentage de remplacement du ciment par la poudre de verre [Zidol, 2009]. [25]

Les demandes en agent entraineur d'air (AEA) 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. L'affaissement mesure a 10 min dans les mélanges avec poudres deverre est d'au moins 8 % supérieur a celui du témoin. Ceci traduit une amélioration de l'ouvrabilité des mélanges en présence de la poudre de verre. La perte d'affaissement au boutde 30 min est de 10 mm soit 6 *%* pour le témoin et de 5 mm soit environ 2,5 % pour les mélanges incorporant les poudres de verre. Ces pertes d'affaissement ne sont significatives enraison de marge d'erreur admise sur cette mesure. Les masses volumiques des mélanges sontcomprises entre 2225 et 2250 kg/m3. Leur variation au bout de 30 min pour chaque mélangeest négligeable.
SHAY AN et coll., 2006 ayant étudie des mélanges de rapport E/L = 0,49 avec 20 % de poudre de verre de finesse 800 m2/kg avaient observe une réduction d'affaissement de 7,1 *%*comparativement au témoin. 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 .[26]

1.1.19 Effet de déchets de verre sur la résistance à la compression

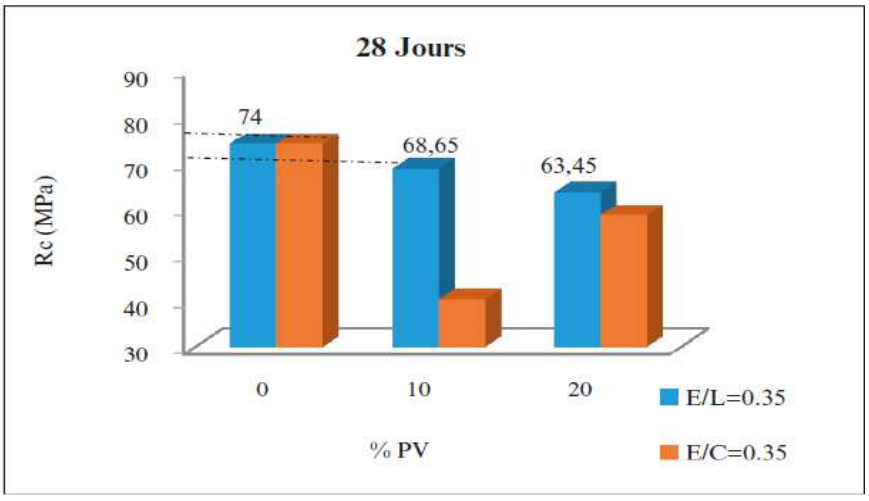


Figure 1.4 Influence du dosage en PV sur la résistance à la compression .[28]

La poudre de verre, tout comme d'autres ajouts cimentaires classiques, modifie la cinétique de développement de la résistance à la compression des bétons. Elle entraine ainsi un développement lent de la résistance, Cette observation peut s'expliquer par les modifications de l'hydratation de la matrice induites par la substitution de ciment par la PV qui absorbe moins d'eau que le ciment. En revanche, à 90 jours de prise, on observe que l'addition de 10 % ou 20 % de PV améliore la résistance à la compression .
Ces tendances confirment les résultats de Zeghichi *et al.*,2012. [28]
Tout comme les cendres volantes, la PV n'a pas d'influence sur les résistances à jeune âge. Les résistances à la compression à 28 jours sont plus faibles par rapport à un béton de ciment Portland. Au-delà de 56 jours et jusqu'à 91 jours les résistances des bétons avec PV sont équivalentes, voire supérieures au béton témoin. En outre, le développent des résistances à la compression augmente avec la teneur en PV entre 28 et 91 jours [Zidol,2009]. 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. L'incorporation de 20 % et 30 % de PV confèrent au béton un taux de développement des résistances à la compression respectivement de 12 % et 18 %, alors que pour béton témoin, ce même taux est de 9 %.
Zidol, A. (2009). Optimisation de la finesse de la poudre de verre dans les systèmes cimentaires binaires. Université de Sherbrooke. [29]

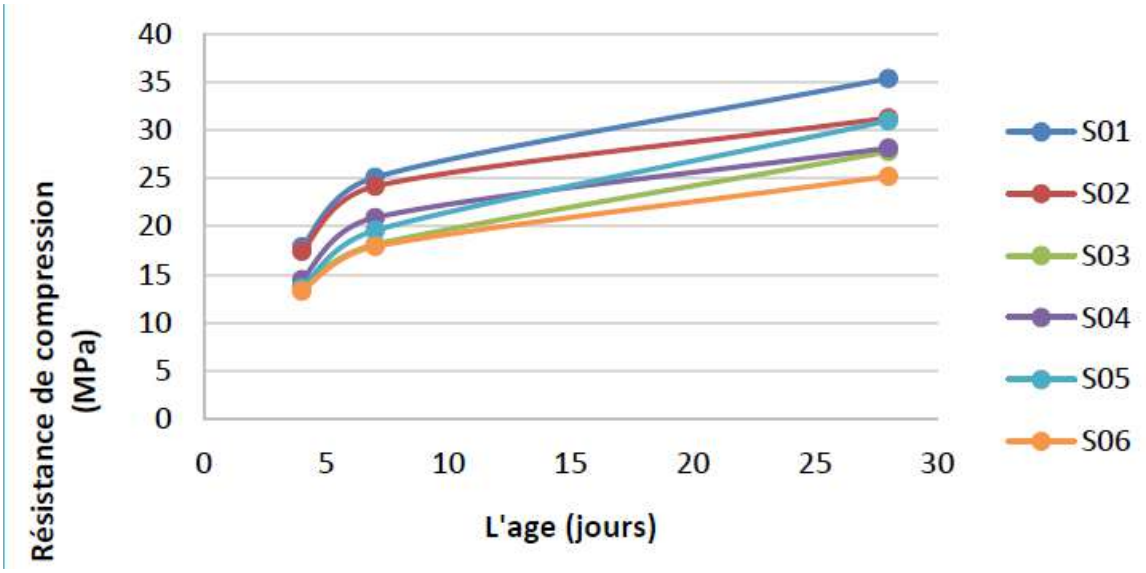


Figure 1.5.La résistance à la compression en fonction de l'âge de mortier en SM.[29]

1.1.20 Effet de déchets de verre sur la résistance à la traction

Les résistances en traction de tous les mélanges de poudres de verre, obtenues à 28 ou 91 jours, dépassent celles du témoin. Cette observation illustre une amélioration de la résistance entraction des bétons en présence des poudres de verre. On remarque aussi que les résultatsobtenus à 28 jours pour des mélanges avec 20 % et 30 % des poudres de verre sont similairesmais à 91 jours les résistances à la traction des mélanges avec 30 % des poudres dépassentcelles des mélanges avec 20 % des poudres d'environ 11 % et 16 %respectivement pour lespoudres6><25et 9x25 de finesse 800 m2/kg et 27 %

comparativement au témoin. Cecidémontre une meilleureamélioration de la résistance a la traction avec 30 % de substitution par la poudre de verre parrapport à 20 %.
Toutefois, des études conduites par SHAYAN et coll., 2006 sur des mélanges
de béton de rapport E/L = 0,49, révèlent une légère réduction des résistances en traction en fonction du taux de substitution par la poudre de verre. [30]

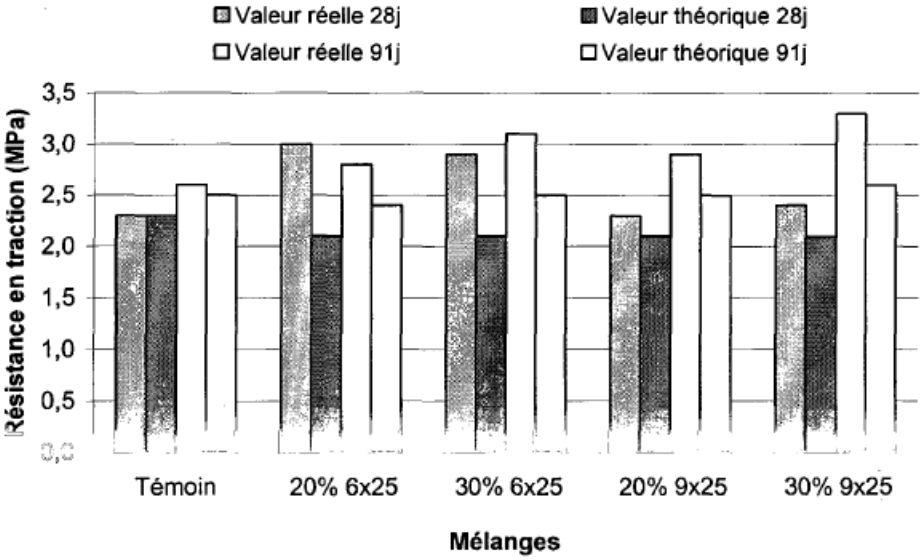


Figure 1.6Résistance en traction par fendage des béton conventionnels. [30]

1.1.21 Effet de déchets de verre sur le retrait et le gonflement

Pour ce qui du retrait de séchage, l'étude de Shayan et Xu (2006) montre que le retrait de séchage diminue avec la teneur en poudre de verre . Les mélanges de béton incorporant 10 % (mix 2), 20 % (mix 3) et 30 % (mix 4) de poudre de verre de verre ont un retrait en dessous de la limite fixée par la norme australienne de 0,075 % à l'âge de 70 jours [Shayan et Xu,2006]. [30]

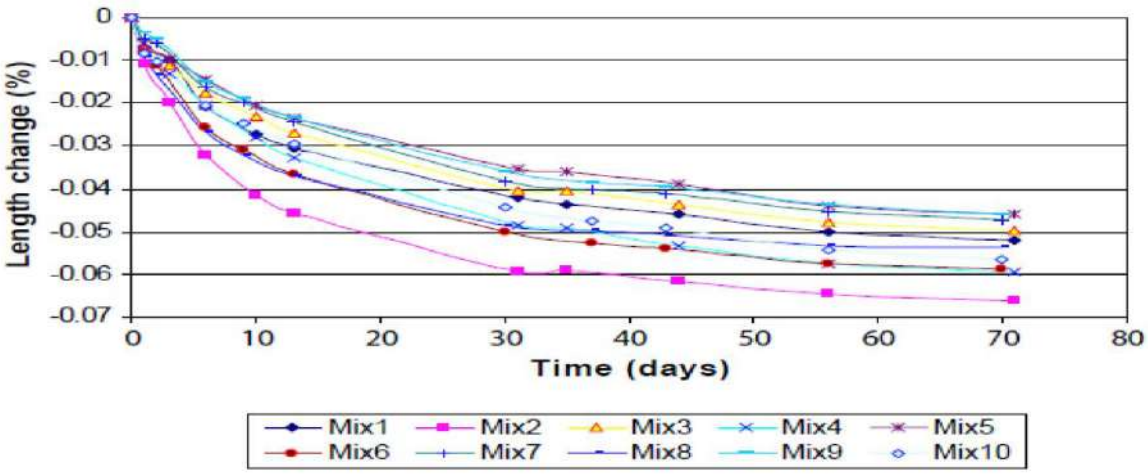


Figure 1.7 : Retrait de séchage des bétons avec E/L = 0,49.[30]

La figure 1.7, montre un léger gonflement des mélanges entre 1 et 28 jours, résultant du murissement dans l'eau dans cette période. Jusqu'a 140 jours, les valeurs de retrait de séchage des mélanges incorporant les poudres de verre sont similaires a ceux du témoin. Un retrait maximum de 0,053 % est obtenu dans le mélange témoin. Ces résultats semblent signifier que les poudres de verre broyé n'ont pas d'effet sur le retrait de séchage des bétons.
Cette tendance a été également rapportée par SHAY AN et coll., 2006sur des bétons de rapport E/L = 0,49 incorporant 20 et 30 % de poudre de verre . [30]

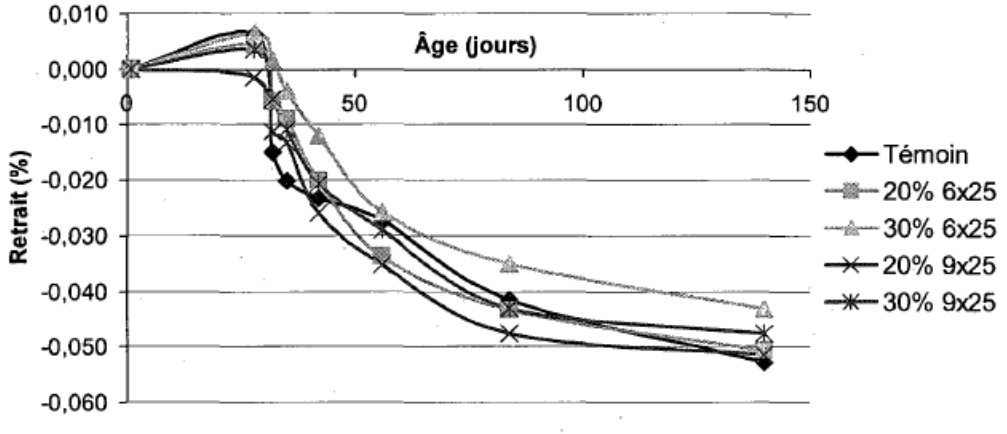


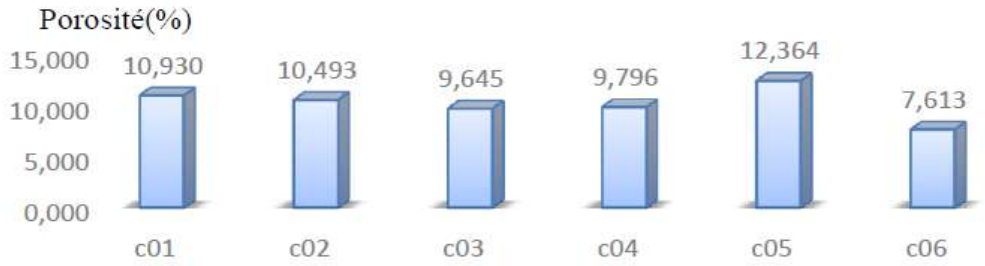
Figure 1.8 Retrait de séchage des bétons conventionnels.[30]

1.1.22 Effet de déchets de verre sur la porosité

La mesure de la porosité est fortement corrélée , les résultats des mesures sont présents dans le tableau .on constate ainsi que par rapport au mortier témoin :
-l'ajout de métakaolin diminue de manière significative la porosité ouvert du mortier et cette diminution est d'autant plus forte que l'ajout est important .ceci peut s'expliquer par les propriétés expansives de certains hydrates liés à la présence du métakaolin (aluminates de calcium).L'ajout de poudre de verre augmente la porosité ouverte ce qui semble indiquer que les diamètres des pores sont plus grands que le mortier de référence.

	Témoin	Métakaolin		Poudre verre	
		20%	40%	15%	30%
Porosité	15.2	11.3	10.2	16.9	17.5

Tableau 1.1 porosité ouvert % pour différentes compositions [31].



+

Figure 1.9 La porosité de mortier avec SC.[32]

D'après la figure 1.9, la porosité des mortiers contenant 5%, 10% ,15% et 25%de poudre de verre est faible par rapport au mortier témoin. Par contre le plus grand pourcentage de porosité est remarqué pour un pourcentage de verre de 20%. [32]

1.1.23 Effet de déchets de verre sur l'absorption d'eau

M. Shahria Alam ,Afin de prévoir la durée de vie utile du mortier comme élément de base matériaux dans un environnement agressif, le taux d'absorption d'eauest les propriétés importantes du mortier [33]. Le taux d'eau absorption d'échantillons de mortier des séries A, B, C et La série D est illustrée à la Figure 1.10. Les résultats montrent qu'à 28 jours durcissement, le taux d'absorption d'eau diminue progressivement dans les séries. Avec l'augmentation du contenu de RGP dans le mortier, le taux d'absorption d'eau est diminué par rapport à celui de l'échantillon témoin

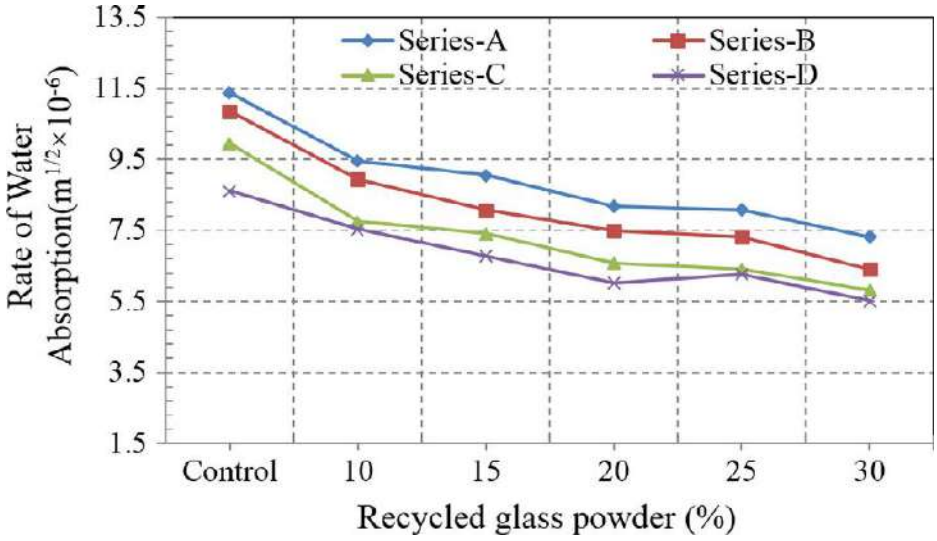


Figure 1.10. Taux d'absorption d'eau du mortier en poudre de verre recyclé après 28 jours durcissement.[34]

En outre, il y a eu une réduction significative du taux d'absorption d'eau avec l'ajout de SF (fumée de silice)et SBR (caoutchouc styréne butadiéne)en série D par rapport au mortier de contrôle. Ce phénomène pourrait être attribué en raison de la présence de particules SF qui peuvent agir comme charge dans le mortier, et ainsi rendre les pores et le spécimen de mortier imperméables ,provoquant un taux d'absorption d'eau réduit .[34]

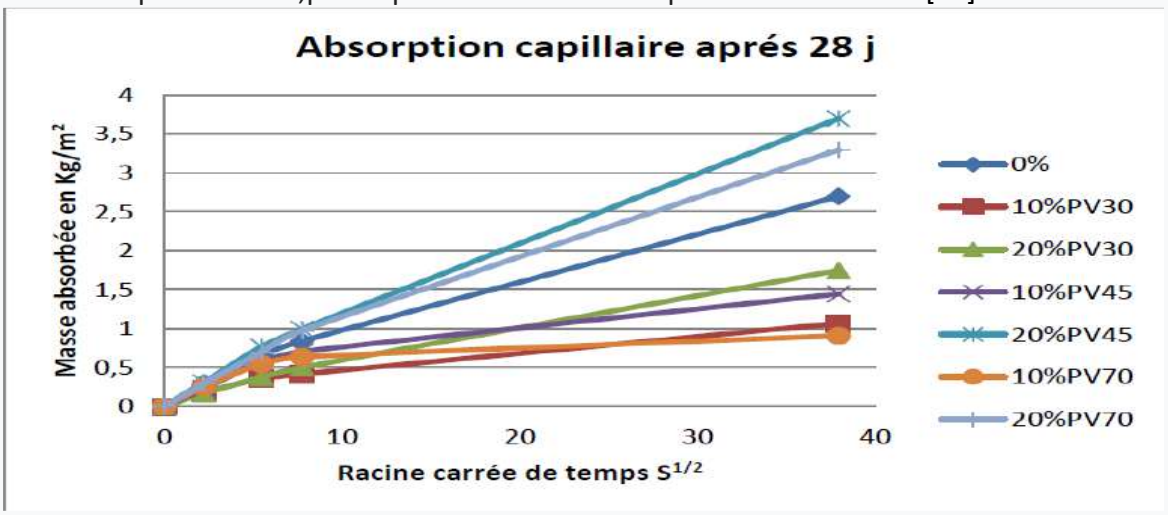


Figure 1.11: Evolution de l'absorption capillaire des mortiers après 28j de cure en fonction de √t.[35]

étudier l'effet de la finesse de la poudre de verre sur l'absorption capillaire des mortiers, on a fixé le rapport E/L (E/L=0.5).La poudre de verre est ajoutée avec un pourcentage de 10% et 20%, pour les trois surfaces spécifiques.
- PV30 : poudre de verre de surface spécifique égale à 3000 cm² /g.
- PV45 : poudre de verre de surface spécifique égale à 4500 cm² /g.
- PV70 : poudre de verre de surface spécifique égale à 7000 cm² /g.

Les résultats montrent que l'absorption capillaire augmente avec l'augmentation du la finesse de la poudre de verre, et l'optimum s'obtient pour un pourcentage de 10% de PV70. L'amélioration de la compacité peut être expliquée par l'effet physique et chimique de la poudre de verre qui augmente en fonction de la finesse de la poudre de verre.
Ce dernier ajuste la granulométrie du ciment, en augmentant ainsi la compacité de la pâte (Effet physique).
Elle présente une réaction pouzzolanique avec les produits d'hydratation du clinker pour former des CS-H denses. (Effet chimique).[35]

1.1.24 Effet de déchets de verre sur les diffusions des ions chlorure

De plus la poudre de verre réduit significativement la pénétrabilité aux ions chlore. Elle contribue par conséquent a l'amélioration de la durabilité des bétons. Les mélanges incorporant la poudre de verre ont une bonne résistance a la pénétrabilité aux ions chlore, réduisant ainsi les risques de corrosion d'armatures du béton. Ces résultats sont observes par SHAYAN et coll.[36]

1.1.25 Effet de déchets de verre sur la réaction alcali-silice

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 certaines précautions. Effectivement, les bétons à base de verre sont confrontés à un problème lie 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 bibliographie a montré que le processus de la réaction alcali-silice en général et des granulats de verre est un phénomène complexe influence par plusieurs facteurs :

1.1.24.1 Taille des grains de verre

La taille des particules des granulats de verre a une influence sur l'expansion du a la RAS. Il semblerait que l'expansion augmente avec le diamètre des granulats réactifs. Cependant, pour certains auteurs il existerait une taille de granulat pour laquelle l'expansion produite est maximale, cette taille est appelée " pessimum ".

1.1.24.2 Teneur en verre

Les travaux de l'ensemble de ces auteurs mesurent les variations des expansions des bétons en fonction de la teneur en verre. Cependant, cette tendance varie selon les auteurs, et nous pouvons les cataloguer en trois groupes. Le premier qui affirme que l'expansion des bétons augmenterait avec leur teneur en verre, le second avance l'inverse, et enfin le dernier que les gonflements des bétons ne changerait pas en fonction de leur teneur en verre. Ces oppositions s'expliquent vraisemblablement dans les conditions de déroulement des travaux.

1.1.24.3 Porosité et la réaction alcali-silice du verre

En plus d'utiliser des pouzzolanes telles que la fumée de silice la cendre volante ou metakaolin, pour réduire l'expansion provoquée par des granulats réactifs, leschercheures ont constaté que l'utilisation de granulats poreux réduit ces expansions.

1.1.24.4 Eléments mineurs et la réaction alcali-silice

La couleur du verre est obtenue en additionnant au cru certains oxydes. Ainsi, le Fe_2O_3 donne la couleur brune, le Cr_2O_3 la couleur verte, le CuO la couleur bleue, le MnO_2 la couleur rose, et l'AgO la couleur jaune. Ces différences de couleur affecteraient les expansions des bétons confectionnes avec du verre. [37]

1.1.25 conclusion

la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production et consommation et de protéger l'environnement.

Le verre est un matériau nouvellement introduit dans les matériaux à matrice cimentaire. Peu de travaux sont conduits sur ce matériau malgré les multiples avantages qu'il présente notamment économique, écologique et technique, c'est un matériau riche en silice et en sodium. Son utilisation dans une matrice cimentaire entraine deux réactions à effet contraire : la réaction alcali silice , et la réaction pouzzolanique , qui peut être broyé et utiliséscomme granulat ou sous forme de poudre avec substitution du ciment pour la fabricationdes mortiers et ciment.

1.2 Deuxième partie: le BAP

1.2.1Introduction

Les BAP ont été développés dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon.
Leur objectif était d'augmenter les cadences de travail en réduisant l'effectif du personnel sur chantier et le temps de mise en œuvre de bétons.
Ce premier chapitre fait l'objet d'une initiation au BAP, il comporte des notions fondamentales relatives aux caractéristiques des BAP.

1.2.2 Définition du BAP

Le béton autoplaçant est défini comme suit dans l'Annexe nationale NA de la norme SN EN 206-1 : Le béton frais est appelé autoplaçant lorsqu'il se compacte suffisamment grâce à son poids propre tout en ne présentant pas de ségrégation**.**
Ce sont des bétons très fluides, la caractéristique principale de ces bétons réside dans le fait qu'ils se mettent en place sans vibration. Ils sont très déformables et épousent parfaitement les formes des coffrages les plus complexes .Grâce à leurs bonne uniformité une fois mis en place, ils donnent des structures résistantes et durables.[38]
La figure (1.12) montre une comparaison entre la mise en place d'un béton traditionnel et BAP.

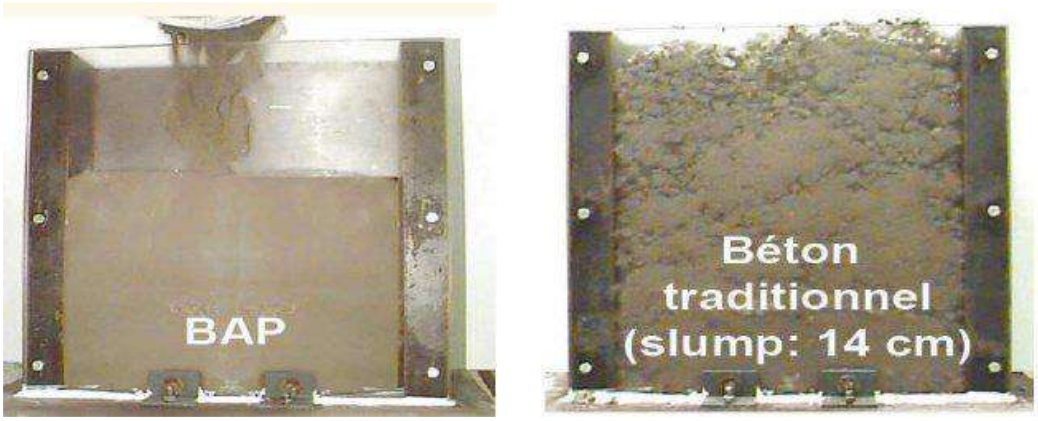


Figure1.12 : Mise en place sous son poids propre [39]

1.2.3. Particularité du BAP

Les principes de formulation de bétons autoplaçants se distinguent des bétons ordinaires par le fait qu'ils présentent un volume de pâte (ciment + fines + eau + adjuvants) plus élevé, Ils sontcaractérisés par une quantité de fines élevée et l'emploi d'adjuvants nommés : superplastifiants hauts réducteurs d'eau.
Une nouvelle vague d'adjuvants appelés : rétenteurs d'eau ou agents de viscosité entrant quelque fois dans leur formulation. Ces derniers assurent la viscosité de la pâte pour lui conférer despropriétés limitant la ségrégation.
Pour ce béton, on se fixe de travailler le plus possible avec des granulats de16mm de taille maximale, voire dans la mesure du possible moins.

A l'état frais, les BAP se distinguent des bétons ordinaires par le fait qu'ils s'écoulent sous leur poids propre avec un débit suffisant écartant les moyens de vibration. Dans les zones confinéesou très ferraillées, tout en gardant une fluidité élevée et une bonne résistance à la ségrégation.
Seulement, la fluidité n'est pas la seule propriété recherchée, car il faut bien s'assurer de l'homogénéité de l'ensemble pâte-granulats. De façon corollaire, le mélange du BAP doit être très cohésif et très stable lors de la mise en place et cela jusqu'à son durcissement. Ceci implique que le BAP doit présenter le minimum de tassement et de sédimentation des particules solides et éviter de présenter un ressuage trop fort, car cela génère une hétérogénéité des propriétés mécaniques, telle qu'une chute d'adhérence des armatures en partie supérieure des levées par rapport à celles situées en zone inférieure lors du coulage.[40]

1.2.4. Domaine d'utilisation 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 ;
– formes et géométries complexes : voiles, courbes, ... ;
– voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts, … ;
– voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures ;
– exigences architecturales et qualité de parement particulière.[41]

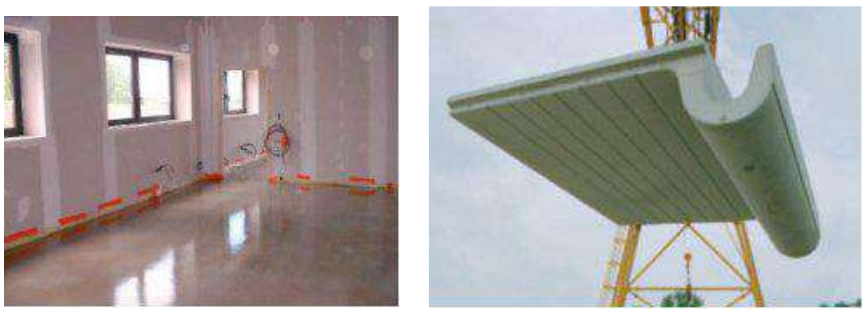


Figure 1.13 : Quelques exemples d'utilisation de BAP [42]

1.2.5 Les avantagesdes BAP

1.2.5.1 La mise en oeuvre

-Diminution du temps de coulée.
-Suppression de la vibration et donc diminution notoire des nuisances sonores et de l'usure des moules métalliques et des coffrages.
-Meilleures conditions de travail, ce qui permet d'attirer une main d'œuvre qui n'appréciait pas toujours les conditions de travail « bruyantes ».
-Possibilité de couler des bétons dans des endroits inaccessibles.

-Possibilité de couler des voiles de grande hauteur en une seule opération.

1.2.5.2 La qualité du béton

-Parfait remplissage des éléments fortement ferraillés.
-Obtention d'une bonne qualité de parement (surface de béton lisse et donc moins de pores en surface).

Et d'une manière générale, obtention d'une meilleure qualité du béton, in situ, pratiquement indépendante du savoir-faire des ouvriers durant la réalisation ; cela va dansle sens d'une durabilité accrue des ouvrages.

1.2.5.3 Concernant la conception

-Permet d'envisager de nouveaux types d'éléments en béton.
-Possibilité d'intégrer des réservations dans le coffrage.

1.2.6 Inconvénients des BAP

Le désavantage principal de ce béton est qu'il entraîne un accroissement du coût des matières premières, de la fabrication et du contrôle. Sur chantier, il nécessite également des coffrages plus lourds afin de reprendre les pressions exercées. En effet, les données de la littérature concernant les pressions exercées par les BAP sont parfois contradictoires mais il est recommandé de retenir de manière conservatrice une pression en pied de coffrage correspondant à la poussée hydrostatique du béton frais. Cependant, de manière globale, des économies résultant de larapidité de mise en place, de la diminution de main d'oeuvre, de l'usure moindre des coffrages et de l'amélioration sensible de la qualité finale ont toujours été constatées. [43]

1.2.7. Classification des BAP

Les BAP sont classés en trois catégories (numérotées de 1 à 3) suivant leur domaine d'utilisation.
Le classement s'effectue suivant la valeur de l'intervalle d'écoulement, le type d'application (horizontal ou vertical) et l'épaisseur (dans le cas d'application horizontale) et selon le tableauci-après :

		Application horizontale				Application verticale	
		Epaisseur ≤ 300 mm		Epaisseur > 300 mm			
	Longueur maximale de cheminement	Inférieur à 5m	Entre 5m et 10m	Inférieur à 5m	Entre 5m et 10m	Inférieur à 5m	Entre 5m et 10m
Intervalle d'écoulement	I ≥ 100	①		②a	②b	②a	②b
	80 ≤ I < 100	②a	②b	②a	②b	②a	②b
	I < 80	③a	③b	③a	③b	③a	③b

Tableau 1.2. Intervalle d'écoulement.

***La catégorie 1 :** correspond aux BAP utilisés dans le cas de coulages horizontaux de faible épaisseur (inférieure ou égale à 300 mm) et ayant un intervalle d'écoulement supérieur 100 mm (anciennement appelés BAN – bétons auto-nivelant).
***La catégorie 2 :** couvre principalement les BAP utilisés pour des applications horizontales de forte épaisseur (supérieure à 300 mm) ou pour des coulages courants en vertical. L'intervalle d'écoulement I est supérieur ou égal à 80mm.
***La catégorie 3** : est réservée aux BAP pour lesquels l'intervalle d'écoulement I est inférieur à 80 mm (parties d'ouvrage exiguës ou fortement ferraillées).
***Pour les catégories 2 et 3** : on distingue de plus deux sous-classes (2a, 2b et 3a, 3b) en fonction de la longueur maximale de cheminement horizontal du BAP dans le coffrage (5 m pour 2a et 3a, 10 m pour 2b et 3b). [44]

1.2.8. Composition du BAP

La mise au point d'une formule de BAP est beaucoup plus complexe, parce que, d'abord, les constituants sont au nombre minimal de six, contre quatre dans le cas des bétons ordinaires (Figure. 1.14).

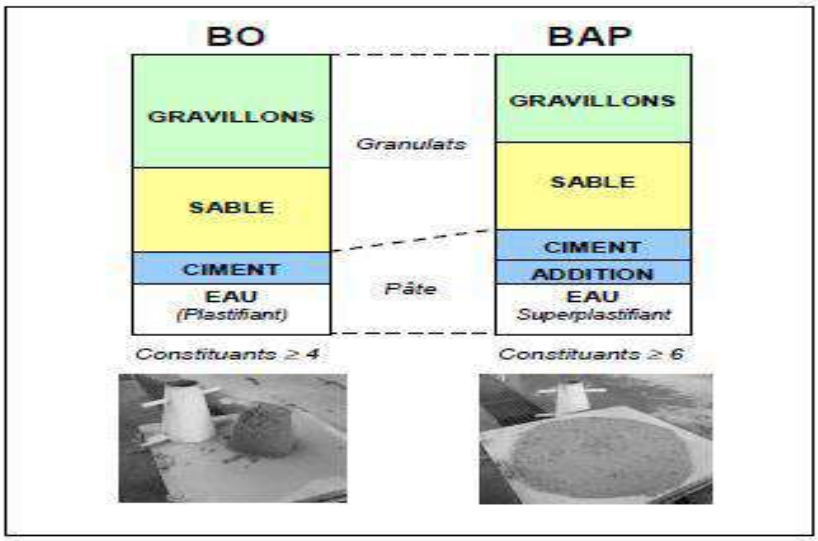


Figure. 1.14: Composition d'un béton ordinaire et d'un BAP. [45]

1.2.8.1 Ciment

Plusieurs travaux ont été menés sur les bétons autoplaçants dans le sens du choix du type de ciment à utiliser. Ces travaux montrent que la résistance et la durabilité du béton dépendent principalement du dosage de ciment. Pour les BAP, le dosage du ciment doit ainsi répondre aux exigences prescrites par les normes (par exemple, EN 206-1). Par ailleurs, avec l'augmentation du dosage de ciment dans le béton, plus de chaleur se produit au cours de l'hydratation du ciment, ainsi que plus de déformations différées (retrait et fluage) à long terme. Il est à noter que les effets engendrés par l'ajout excessif du ciment sont propices à l'apparition des fissures pour les éléments en béton. Etant donnés que les BAP contiennent plus de fines que les bétons ordinaires, une partie du ciment est souvent remplacée par les additions minérales en vue de limiter les effets défavorables mentionnés ci-dessus tout en assurant la résistance et la durabilité suffisantes des BAP. [46]

1.2.8.2 Les ajouts minéraux

Les additions minérales sont connues par leur influence sur les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci [47]. Les additions minérales améliorent considérablement la fluidité dans certains cas d'addition, elles améliorent aussi la granulométrie du squelette dans le béton en remplissant les vides entre les grains grâce à leurs petites tailles. Toutefois, l'influence des additions minérales sur l'écoulement des BAP à l'état frais dépend principalement du dosage, du type et de la finesse des additions minérales.[48]

1.2.8.3 Les fillers calcaires

Les fillers calcaires sont des produits secs finement divisés obtenus par broyage industriel des roches calcaires, dont les caractéristiques sont définies par la norme NF P18 – 305. Parmi ces caractéristiques, deux sont particulièrement significatives :

* Une teneur minimale en carbonates totaux (calcaire + dolomite) ainsi qu'une teneur minimale en carbonate de calcium $CaCO_3$

* Une valeur minimale de l'indice d'activité. [49]

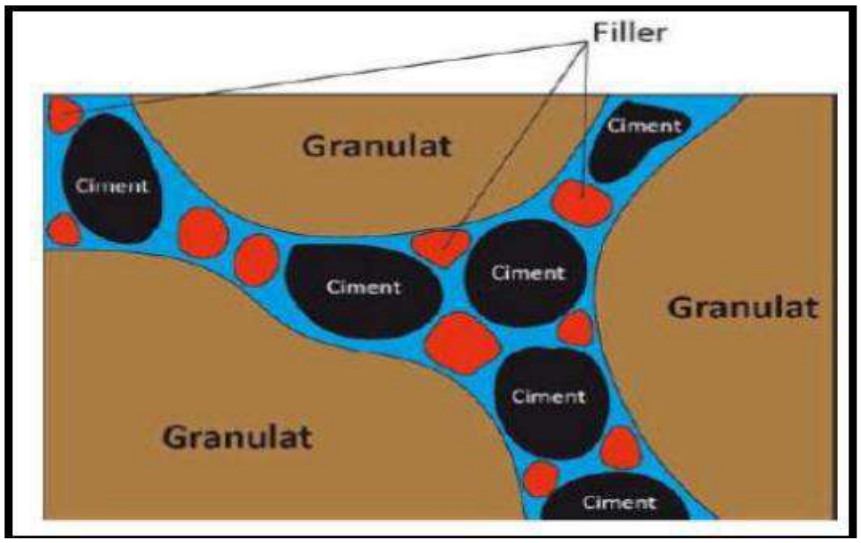


Figure 1.15 **.** Illustration de l'effet filler.[49]

1.2.8.4Granulats

Les granulats tels que le gravillon et le sable, constituent le squelette du béton. Pour être utilisés dans la composition du BAP, les granulats doivent être chimiquement stables lors du contact avec les autres constituants. La nature, la forme et la granularité des granulats influencent fortement les propriétés des BAP à l'état frais et durci [50]. Il est possible d'utiliser les granulats roulés ou concassés pour la formulation des BAP. Toutefois, afin d'éliminer le risque de blocage, il faut limiter la taille maximale du gravillon et diminuer la quantité des granulats. [51]

1.2.8.5 L'eau

L'eau remplit deux fonctions : d'une part, elle sert à l'hydratation du ciment et d'autre part, elle permet la fluidification de la pâte. Une partie d'eau est consommée par L'hydratation du ciment, soit entrant dans la composition chimique de l'hydrate, soit étant piégée à l'intérieur

des pores de l'hydrate. Cette eau étant physio -chimique fixée par les hydrates, ne contribue pas à la fluidification de la pâte. Par contre, une autre partie de l'eau ne participe pas à l'hydratation du ciment. [52]

1.2.8.6 Les superplastifiants

Les super plastifiants sont apparus à la fin des années 1970 au Japon et en Allemagne. Ce sont généralement des sels sulfoniques de formaldéhydes, naphtalènes ou mélamines, qui ont la propriété de pouvoir améliorer notablement la fluidité d'une gâchée, et donc de diminuer la quantité d'eau nécessaire à sa mise en oeuvre.
Leur arrivée sur le marché a permis le développement des bétons à "hautes performances". Ces superplastifiants assurent une défloculation de la suspension de ciment en solution aqueuse, ce qui améliore caractéristiques rhéologiques du mélange. [53]

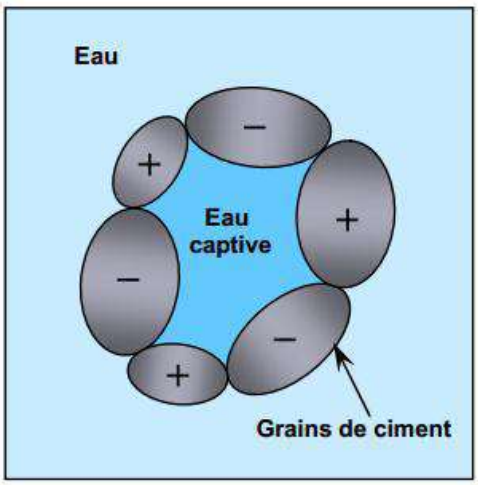


Figure 1.17. Pate de non adjuvantée : additionnée
Floculation des grains.[52]

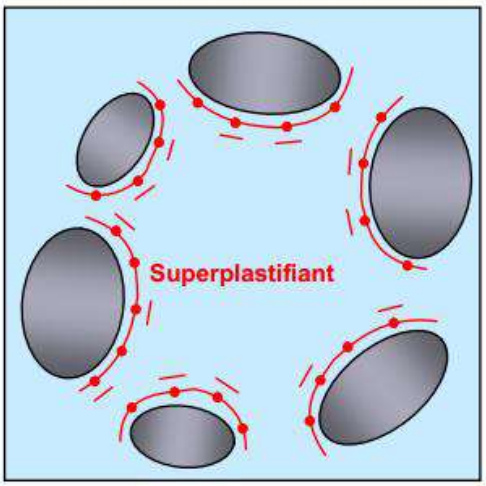


Figure 1.16 . Pate de ciment d'un superplastifaint : dispersion des grains .[52]

1.2.9 Essais de Caractérisation des BAP à l'état frais

Plusieurs essais de caractérisation ont été préconisés en l'an 2000 par l'Association Française de Génie Civil (AFGC) [54]. D'abord provisoires, ces recommandations sont devenues, sur site, les essais de référence pour valider une formule de BAP.

1.2.9.1 Essai d'Etalement (Slump Flow)

Pour la détermination de l'étalement (Slump Flow), on utilise le même cône que celui normalement utilisé pour l'essai d'affaissement. Ce cône est placé sur une plaque d'étalement, à surface propre et humidifiée et de dimension suffisante (800 par 800 mm), puis il est rempli de béton BAP. Le cône est ensuite soulevé et le BAP en sort en formant une galette qui s'élargit sous sa propre énergie, sans qu'il soit nécessaire de soulever et de laisser retomber la plaque, comme dans l'essai classique d'étalement. La valeur de l'étalement correspond au diamètre moyen de la galette de béton ainsi obtenue, qui devrait être comprise entre 600 et 800mm. L'important est de procéder toujours de la même manière.

Lorsque la petite ouverture se trouve en bas (figure 1.17), le remplissage du cône avec le BAP est facilité et son soulèvement est empêché.

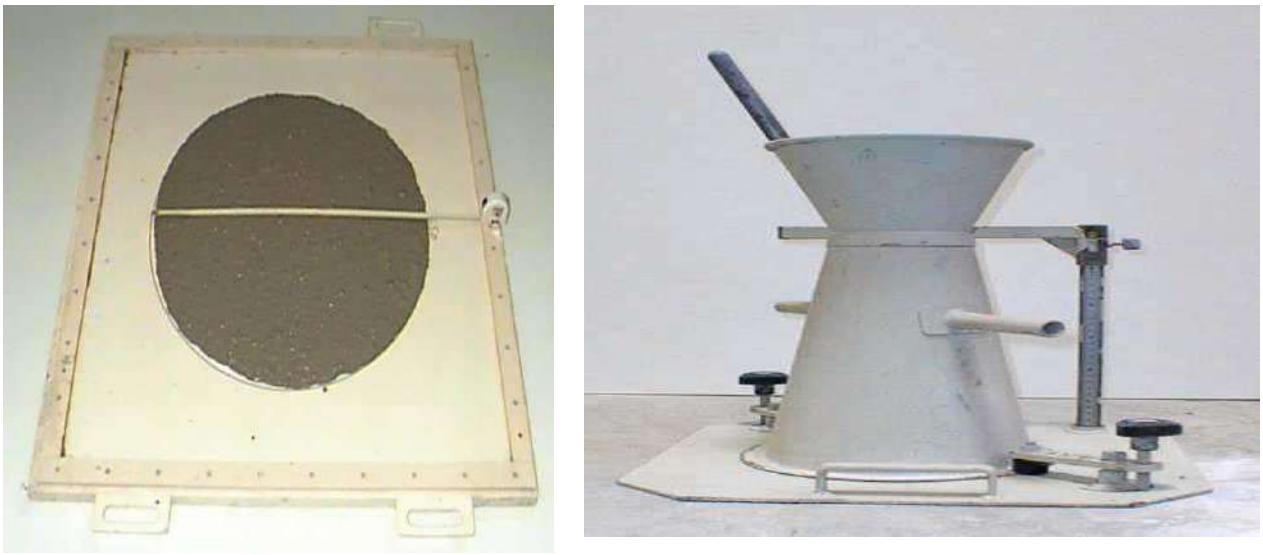


Figure 1.18. Essai d'étalement [55]

1.2.9.2.Essai de la boîte en L (L-Box)

La procédure d'essai de la boîte en L est la suivante: la partie verticale de la boîte est remplie de béton. Ensuite, le volet est soulevé, ce qui provoque l'écoulement du béton qui doit passer à travers un grillage, formé de 3 barres d'armature ø 14 mm distantes de 39 mm, avant de pouvoir atteindre la partie horizontale de la boîte. On mesure le temps nécessaire dès l'ouverture du volet jusqu'à la fin de l'écoulement du béton dans la partie horizontale. Ce temps d'écoulement devrait être compris entre 3 et 7 secondes. On peut aussi mesurer la hauteur atteinte aux deux extrémités de la partie horizontale par le béton (h1 et h2), afin de qualifier sa capacité d'autonivellement. Le rapport H2/H1 devrait être supérieur à 0,80. L'essai permet en outre de vérifier la capacité du béton à s'écouler au travers d'un réseau d'armatures d'écartement défini. (Figure 1.19)

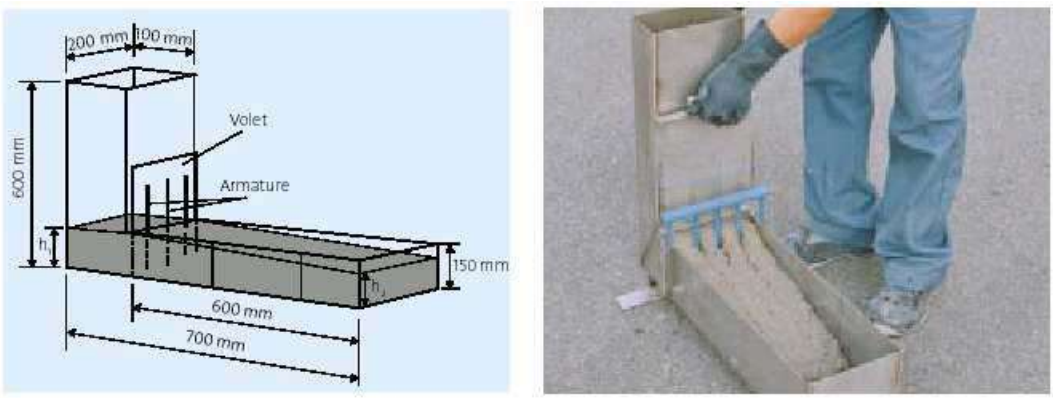


Figure 1.19 .Schéma de la boîte en L (toutes les dimensions en mm) .[55]

1.2.9.3. Essai d'entonnoir (V-Funnel) et d'étalement modifie (J-Ring)

La procédure d'essai avec l'entonnoir est la suivante : l'entonnoir dont les dimensions sont définies à la figure 1.20, est rempli de béton jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situe à sa base est ensuite ouvert, ce qui provoque l'écoulement du béton, dont on mesure le temps nécessaire jusqu'a ce que l'entonnoir se soit entièrement vide. Plus le béton s'écoule rapidement hors de l'entonnoir, plus sa viscosité est faible. Un temps d'écoulement compris entre 8 et 14 secondes est recommande pour le béton BAP.

L'essai d'étalement modifie (J-Ring) fut développe au Japon et consiste à faire écouler le béton à travers des barres d'armature afin de pouvoir évaluer sa tendance au phénomène de blocage. A cet effet, le béton s'écoule à partir du cône dispose au centre d'un anneau métallique. Sur cet anneau de 300 mm de diamètre, sont soudées des barres d'armature 16 à 18 mm, espacées régulièrement d'environ deux fois et demi leur diamètre. Le béton BAP satisfait pleinement aux performances recherchées de fluidité avec faible tendance à la ségrégation et l'enrobage complet des armatures, lorsqu.il s'écoule de manière uniforme à travers cet anneau et lorsque la répartition des granulats parait homogène, aussi bien à l'intérieur qu'a l'extérieur de l'anneau. (Figure 1.21)

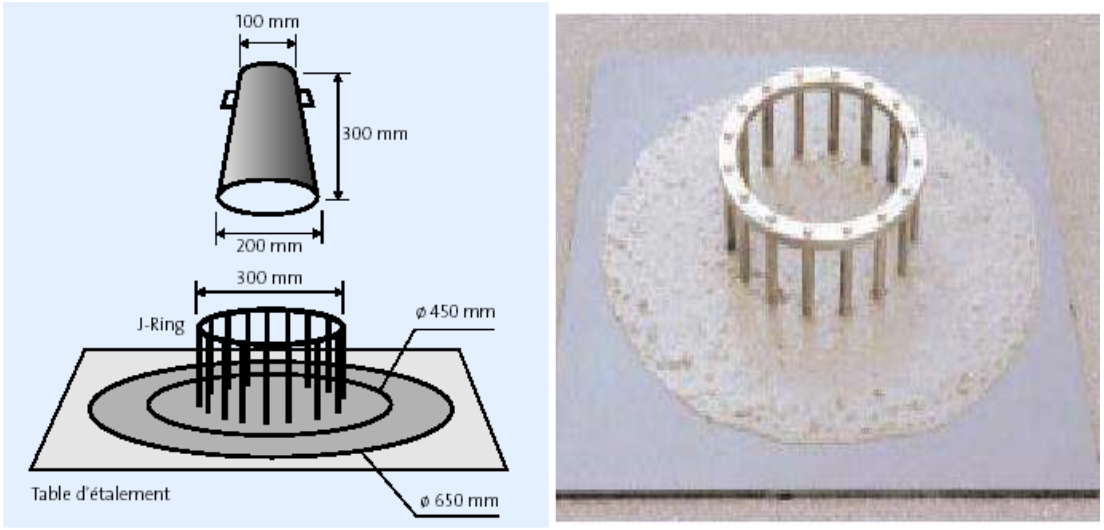


Figure 1.21. Essai d'étalement modifié.[56]

1.2.9.4.Essai de stabilité au tamis

A la fin du malaxage, dix litres de béton sont versés dans un seau. Après une attente de quinze minutes, une masse 4,8 kg de béton est versée du seau sur un tamis de maille 5 mm Deux minutes plus tard, on pèse la quantité de pâte (laitance) ayant traversé le tamis. Un pourcentage élevé de laitance par rapport à la masse initiale est un indicateur d'une faible résistance à la ségrégation. L'AFGC a proposé, en plus, un essai de mesure du ressuage quisemble avoir été abandonné aujourd'hui, car peu pertinent (le ressuage est faible chez les BAP) et très contraignant (utilisation d'un liquide nocif). [56]

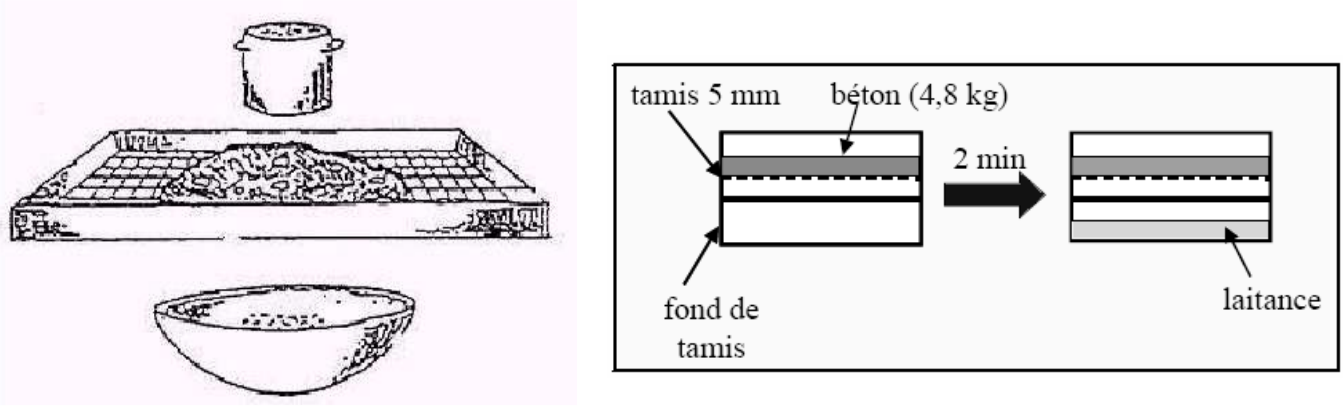


Figure.1.22.Essai de stabilité au tamis.[56]

1.2.10 Formulation des BAP

Depuis l'invention du BAP, aucune méthodologie pratique de formulation n'a été établie. Les différentes propriétés recherchées rendent la formulation du BAP relativement compliquée. De multiples approches se sont développées à travers le monde pour la formulation d'un BAP. Nous rapportons un exposé général sur les approches principales .[57]

1.2.10.1 Approche japonaise

La formulation des BAP par l'approche japonaise développée à l'université de Kochi se fait en privilégiant le volume de la pâte au détriment des granulats.

- Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé si le volume des gravillons (dans 1m3) 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. La compacité des gravillons est en générale égale à 0,57.
- le volume du sable est posé à 40% du volume du mortier, lorsque les frictions granulaires sont réduites la fluidité du béton est assurée.
- les dosages en liant et en superplastifiant ne sont pas précisés par cette méthodes ils sont choisis sur des critères de résistance.
- les dosages d'eau et du superplastifiant sont déterminés en effectuant des essais sur un mortier dosé à 40%en sable. [58]

1.2.10.2 L'approche suédoise

Cette méthode est basée sur la méthode japonaise citée ci-dessus, le principe est d'intégrer l'approche de l'évaluation du risque de blocage dans le processus de formulation. Pour chaque rapport G/S on estime le volume de pâte critique pour le blocage, on retiendra ensuite le rapport G/S qui vérifie les propriétés rhéologiques recherchées. Les dosages des fines, de l'eau et du super plastifiant sont ajustés pour avoir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement, et une résistance souhaitée.

Cette approche permet une meilleure optimisation du squelette granulaire. Cependant, on ne peut pas appliquer le critère de blocage à n'importe quel type de granulats .[59]

1.2.10.3 Méthode Française

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 super plastifiant 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 super plastifiant) est déterminé

*les calculs sont effectués avec le logiciel en tenant compte du confinement (Effet 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 autoplaçant est donc proposée basée sur les prévisions du modèle. La teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance ciblée. Le dosage en superplastifiants 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 autoplaçant sont atteintes. [60]

1.3 Troisième partie : le MAP

1.3.1 Introduction

Les constructions et les ouvrages en général sont constitues par des éléments (poteaux, poutres,…) en béton. On doit assurer la liaison entre ces éléments et les protéger par un revêtement. Ces opérations sont effectuées par des mortiers, qui se distinguent des bétons pour éléments, par l'absence de gravier.
Les propriétés des mortiers et des bétons, qui en fonction des propriétés physiques et mécaniques à l'état frais et à l'état durci, tailles et formes des granulats, ainsi que la fabrication, proportions, modes préparatoires du mélange, moyens de mise en œuvre, et conditions de conservation. [61]

1.3.2 Etymologie des mortiers

Le latin moratorium, désigne d'abord l'auge du maçon, puis son contenu. Cette distinction nous est restée puisque le terme mortier désigne le récipient et son contenu. Le Mortellier désigne le fabricant d'auges de pierre qu'on appelle mortiers et ensuite celui qui brise certaines pierres dures pour en faire du ciment. [62]

1.3.3 Définition de mortier

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre euxassurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général lemortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportionsdonnées, différant selon les réalisations et d'adjuvant.

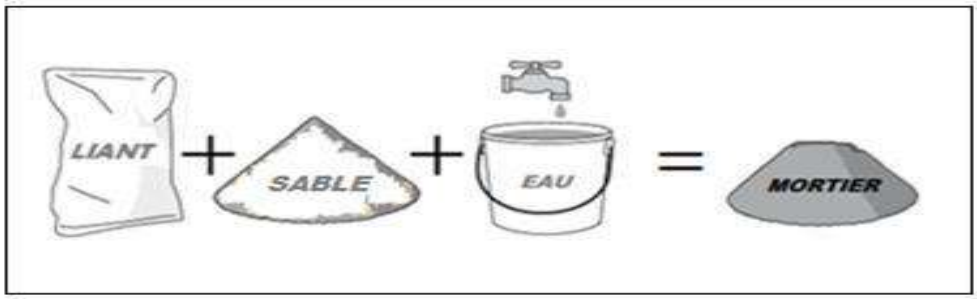


Figure 1.23 Composition des mortiers .

1.3.4 Constituant des mortiers

1.3.4.1 Le Liant

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, cette dernière est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson. [63]

_ Les ciments Généralement, on peut utiliser normalisés (gris ou blanc).
_ Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt,...).
_ Les liants à maçonner.
_ Les chaux hydrauliques naturelles.
_ Les chaux éteintes**.**

1.3.4.2 Le sable

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grainsou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. L'introduction des

sables permet dediminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques.

1.3.4.3 L'eau de gâchage

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre être pas contenird'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis).

1.3.4.4 Les additifs

1.3.4.4.1 Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons etmortiers. Ilsmodifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés enfaibleproportion (environde 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporterdifférentstypes d'adjuvants, lessuperplastifiants (haut réducteurs d'eau), les entraîneurs d'air, lesmodificateurs de prise (retardateursaccélérateurs) et les hydrofuges.

1.3.4.4.2 Les ajouts

Les cendres volantes, le laitier de haut fourneau granulé broyé, la fumée de silice et les pouzzolanes naturelles, telles que le schiste calciné, l'argile calcinée ou le méta kaolin sont des matériaux qui, combinés au ciment portland, contribuent aux propriétés du béton et mortiers durci par action hydraulique ou pouzzolanique oules deux à la fois.

_ Les cendres volantes
_ Le laitier de haut fourneau
_ Les pouzzolanes
_ La fumée de silice
_ Les fillers
_ Le gypse

1.3.5 Différents types des mortiers

Les mortiers se partagent en différents types.[64]

1. 3.5.1Les mortiers de ciment

Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. plus un dosageen ciment suffisant les rend pratiquement imperméables Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à400 kg de ciment pour 1m_3 de sable.

1.3.5.2Les mortiers de chaux

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux Ils durcissent plus lentement que les mortiers de cimentsurtout lorsque la chaux est calcique.

1.3.5.3Les mortiers bâtards

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants.

Généralement on utilise la chaux et le ciment par parties égales ; mais on mettra une quantité plus oumoins grande l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée

1.3.5.4 Les mortiers réfractaires

Il est fabriqué avec du ciment fondu qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour laconstruction des cheminées et barbecues.

1.3.5.5 Les mortiers rapides

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements

1.3.5.6 Les mortiers industriels

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnésen sacs contrôlés en usine et parfaitement réguliers Pour utiliser ce type

demortier. Les fabricants demortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

_ Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
_ Mortiers d'imperméabilisation.
_ Mortier d'isolation thermique.
_ Mortier de jointoiement.
_ Mortier de ragréage.
_ Mortier de scellement, mortier pour chapes.
_ Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment.
_ Mortier de réparation.

1.3.6 Classification des mortiers

La classification des mortiers est comme suit: **[65]**

1.3.6.1 Classification selon leur domaine d'utilisation

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, et ce dernier qu'est très vaste et leursdomaines permet de citer les catégories suivantes:

_ Mortier de pose.
_ Mortier de joints.
_ Mortier pour les crépis.
_ Mortier pour le sol.
_ Mortier pour les stucs.
_ Pierres artificielles.
_ Support pour les peintures murales
_ Mortier d'injection.
_ Mortier pour les mosaïques.
_ Mortier de réparation pour pierres.

1.3.6.2 Classification selon la nature du liant

On peut classer les mortiers selon la nature du liant en:

_ Mortier de ciment portland.
_ Mortier de chaux.
_ Mortiers bâtards.
_ Mortier à base de ciment de maçonnerie

1.3.6.3 Classe des mortiers

_ **Classe 1**: Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis à l'état frais.

_ **Classe 2**: Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis pendant la prise etle durcissement.

_ **Classe 3**: Adjuvant modifiant la teneur en air ou en autre gaz.
_ **Classe 4**: Adjuvant modifiant la résistance des mortiers, bétons et coulis.
_ **Classe 5:** Adjuvant améliorant la durabilité des mortiers, bétons et coulis.
_ **Classe 6:** Adjuvant modifiant des propriétés spéciales. [66]

1.3.7. Mortier auto plaçant

1.3.7.1 Définition

Les mortiers autoplaçants sont considérés comme des solutions innovantes et de pointe des produits pour la réhabilitation et la réparation de bâtiments en béton armé.

Les mortiers autoplaçants apportent des avantages à l'application de l'espace étroit. C'est une alternative économique au coulis de ciment en plus d'offrir une stabilité volumétrique supérieure.

Ce dernier est de très grande fluidité, il est composé de ciment ; d'eau ; de sable et d'adjuvant spécialisés, il peut être pompé pour la mise en place.

1.3.7.2 Application

Il est utilisé pour :
- Assurer la liaison des éléments de maçonnerie entre eux (par paings, trottoirs,…).
- Assurer la protection contre la pluie et l'humidité (enduit).
- Protéger contre l'infiltration d'eau par un écran (mur) étanche (par des mortiers Spéciaux).
- Niveler les surfaces de béton par la réalisation des chapes (couche) destinées àrecevoir un revêtement (carrelage, dallage…).

1.3.7.3 Données techniques

Voici quelques données sur ce produit :
- La résistance à la compression à 28 jours visé est de 35 MPa ou plus.
- La résistance à la compression à 7 jours est > 2 MPa .
- Il est très fluide (à titre indicatif son étalement est environ 700 mm) .
- Le MAP est pompable ; stable et fluide. [67]

1.3.7.4 Propriétés du mortier à l'état frais et à l'état sec

Les propriétés principales des mortiers sont:
-Ouvrabilité.
-Prise.
-Résistances mécaniques.
-Retraits et gonflements,… etc. [68]

1.3.7.4.1 Propriétés du mortier à l'état frais

1.3.7.4.1.1 Ouvrabilité

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. Les plus connus sont:

a) ***La table à secousses***

Le mortier, après avoir été mis en place et démoulé d'un moule tronconique, reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule:

$$E\% = 100\,\frac{D_r - D_i}{D_i}$$

Avec **Dr** = diamètre final et **Di** = diamètre initial.

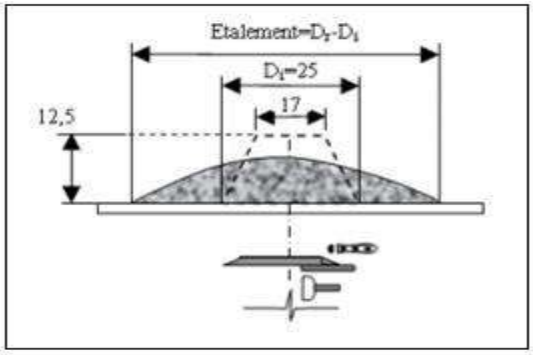


Figure. 1.24: Table à secousses.

b) Le maniabilimètre du LCPC

Il est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibrateur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule.

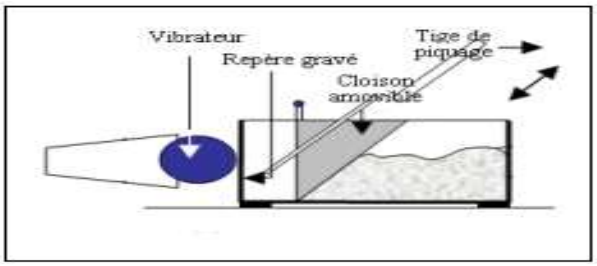


Figure. 1.25: Le maniabilimètre du LCPC

c) Le cône

Dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'unecertaine quantité de mortier au travers d'un ajustage calibré situé à la partieinférieure d'un cône. Le cône peut aussi être muni d'un vibrateur.

1.3.7.4.1.2 Prise

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment deconsistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (àl'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prisedun mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700grammes sur le plateau supérieur.

Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes .Le début deprise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du fond (taille des plus gros grains desable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveausupérieur. [69]

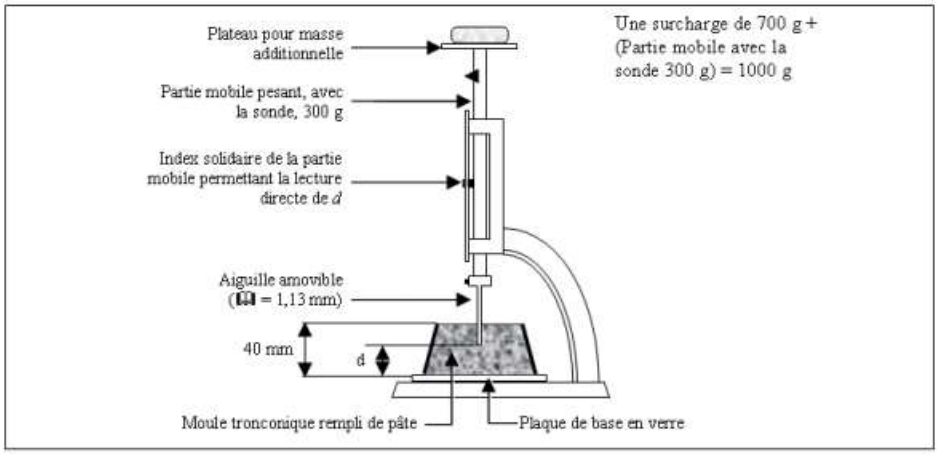


Figure. 1.26: Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge

1.3.4.7.2 Propriétés de mortier à l'état durci

1.3.4.7.2.1 Résistances mécaniques

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4 x 4 x 16 cm conservés dans l'eau à 20 °C.

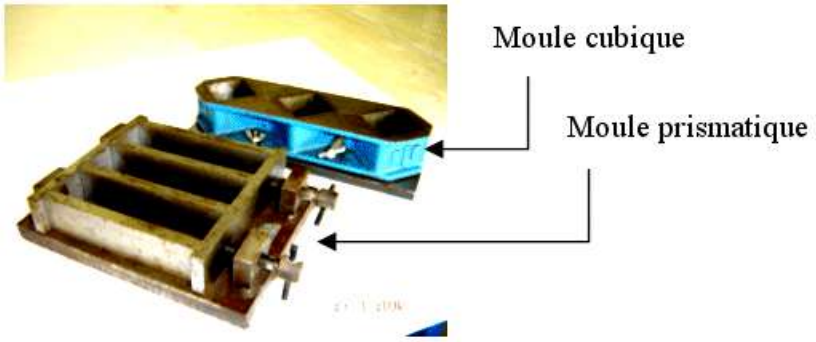


Figure. 1.27: Moule pour moulage des éprouvettes de mortier.

Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

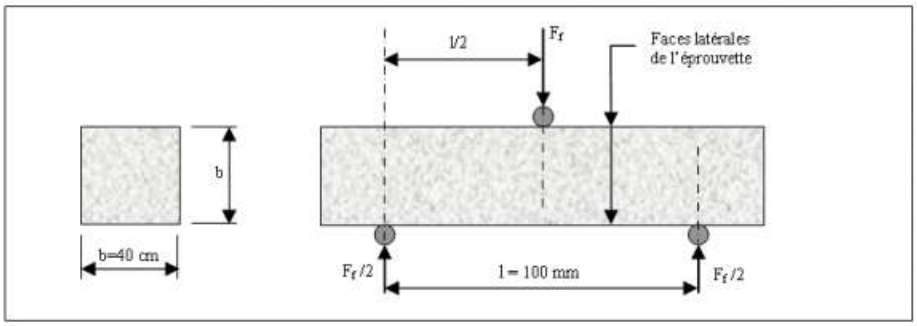


Figure. 1.28: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion

Les résistances des mortiers (comme dans le cas des bétons) dépendent de très nombreux facteurs:
-nature et dosage en ciment.
-rapport E/C.
-granulométrie et nature du sable.
-énergie de malaxage et mise en œuvre.
-protection les tous premiers jours.

1.3.4.7.2.2 Retraits et gonflements

La mesure du gonflement dans l'eau et du retrait dans l'air est effectuée généralement sur des éprouvettes (4*4*16 cm) confectionnées avec un mortier « normal » caractérisant ainsi le liant. [70]
Les retraits se mesurent sur des prismes 4 x 4 x 16 cm en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20 °C et à 50% d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours (Norme NF P 15- 361) . [71]
Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment).

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4 x 4 x 16 cm conservées dans l'eau à 20 °C.

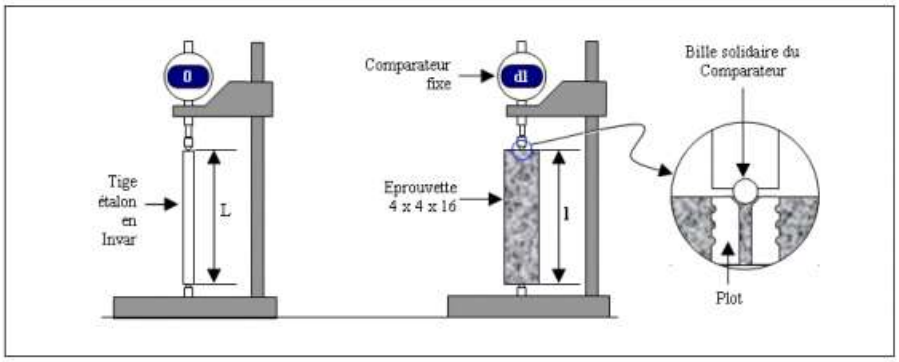


Figure. 1.29: Appareillage pour la mesure du retrait.[72]

1.3.8.Conclusion

Le béton auto plaçant est un béton qui se compact de lui-même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage (vibration, damage).
Les propriétés caractéristiques de ce béton à l'état frai sont :
_ Fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation
_ Capacité de passage dans les milieux confinés
_ Excellente aptitude au remplissage des moindres recoins du coffrage par un béton homogènemême en présence de ferraillage dense.
A l'état durci, le béton doit garantir une durée de vie prolongée de la structure et des performancesmécaniques donc une résistance élevée.

Chapitre 2:
Matériaux et Essais

2.1 Introduction

Ce chapitre décrit en détail tous les essais expérimentaux faits en laboratoire et les matériaux utilisés au cours de la présente recherche. Des essais expérimentaux sont effectués afin d'étudier les propriétés physiques, mécaniques et de durabilité du mortier.

2.2 Matériaux utilisées

2.2.1 Le 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 Biskria (figure 2.1) situé à la wilaya de Biskra (Algérie) et conforme à la norme NF EN 197-1[73] dont le clinker est produit et broyé conjointement avec le gypse par le groupe SPA. Ce ciment est utilisé pour la formulation des mortiers en fixant une fois le rapport E/L (eau/liant) à 0,38.

L'analyse chimique et physico-mécanique du ciment donnée par le fournisseur est présentée dans le tableau 2.1 et 2.2 :



Figure 2.1 : Ciment portland utilisé

Compositions chimique

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

Compositions minéralogique

C3S	59.07
C2S	15.47
C3A	1.51
C4AF	16.96

Tableau 2.1 : Composition chimique et minéralogique du ciment

Caractéristiques		Type de ciment	Norme
		Biskria	
Finesse (cm²/g)		3300	NF EN 196-6 [64]
Masse volumique absolue (g/cm³)		3.12	
Masse volumique apparent (g/cm³)		1.01	NF EN 459-2 [65]
Consistance normal (%)		12.5	
Temps de prise	Début	2h36m	NF EN 196-3 [66]
	Fin	4h13m	
Class de résistance (MPA)		42.5	NF EN 196-1 [67]

Tableau 2.2 : Caractéristiques du ciment utilisé

2.2.2 Le sable

Le sable utilisé est un sable de dune qui provient de la région de Oued-Souf. Il est propre, les grains sont de forme généralement isométrique et arrondie (figure 2.3). Il est séché pendant 24h à température de 105 °C. Les caractéristiques physiques de ce sable son données ci-après et sa courbe granulométrique est présentée dans la figure 2.2.

Caractéristiques du sable :

- Masse volumique absolue :
- Equivalent de sable :
- Module de finesse MF :
- Taux d'absorption :

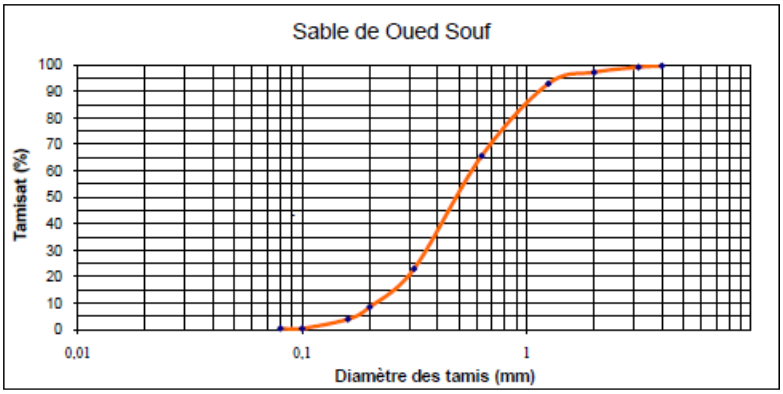


Figure 2.2 : Courbe granulométrique du sable de Oued-Souf



Figure 2.3: Sable de Oued-Souf utilisé.

2.2.3 Le super plastifiant

Afin d'assurer une ouvrabilité satisfaisante avec réduction d'eau de gâchage, on a employé un adjuvant Super plastifiant – Haut réducteur d'eau fabriqué par la société Granitexe-NP et commercialisé sous le nom « MEDAFLOW 145» [74] (figure2.4), formulé à base de polymères de synthèse combinés et ne présente pas d'effet retardataire. Sa plage normale d'utilisation est fixée par la fiche technique de 0,3 à 2 % du poids de ciment et ses caractéristiques sont :

Forme :…… Liquide;

Couleur :…….. Brai clair;

Extrait sec :…….. 30 ±1.5%;

Densité : …….. 1,065 ± 0.015;

PH :…… 5 – 6;

Teneur en chlorure :…….. < 1g/l.



Figure 2.4: Le superplastifiant MEDAFLOW 145 utilisé.

2.2.4 L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée dans cette étude est l'eau du robinet de notre laboratoire. Sa température était comprise entre 10 et 22°C.

2.2.5 verre

a. La finesse de mouture (SSB)

Cette valeur correspond à a totalité de la surface des grains d'une poudre désignée par la surface spécifique de la poudre .il y a deux maniérés de la mesurer , par la méthode Blaine ou par la méthode BET.Elle peut aussi être déterminée à partir de l'analyse granulométrique au laser.

-la méthode Blaine est une technique propre au monde des cimentiers et est très empirique .Elle n'est pas à proprement parler une technique de mesure de la finesse des produits, mais elle permet , en usine , de contrôler la qualité de broyage de maniéré simple et rapide . Le principe de la mesure repousseur la vitesse de passage d'un volume d'aire donné à travers une pastille compacte de poudre.

Le temps de passage permet de calculer , via une formule d'un étalonnage , la surface Spécifique Blaine (SSB) . La masse de poudre à utiliser pour constituer la pastille est déterminée selon la masse volumique de la poudre.

-la méthode B.E.T est basé sur la détermination de quantité d'adsorption du gaz.

(Azote) nécessaire pour couvrir la surface externe du solide et celle des ces pores internes accessibles . Dans le cas présent , elle est basée sur l'adsorption d'une couche mono-moléculaire d'azote gazeux.

Dans notre cas nous avons utilisé la méthode Blaine dont la formule est donnée par :

$$SSB=\frac{k\sqrt{e\sqrt{T}}}{\rho(1-e)\sqrt{\mu}}\ (cm^2/g)$$

Avec : K :Constante de l'appareil

P :Masse volumique absolue en g/cm3

μ : Viscosité de l'aire à la température de l'essai en poise

T : Temps de passage de l'air dans la couche de la poudre



(a) (b)

Figure 2.5 : (a) : déchets de verre ; (b) : poudre de verre

2.3 Formulation du mortier auto plaçant

Notre travail est focalisé sur l'étude de l'influence du dosage en super plastifiant et le rapport E/C sur la formulation d'un mortier autoplaçant (MAP). Afin de déterminer les quantités des matériaux: sable, ciment, eau et adjuvant. La méthode Japonaise (méthode générale) proposée par OKAMURA nous a servi de base, avec quelques modifications apportées au niveau de la détermination de la teneur en sable dans le mortier (S/M), le rapport eau/ciment (E/C) ainsi que le rapport super plastifiant/ciment (SP/C) et ceci dans le but de s'adapter avec les exigences des matériaux locaux et d'obtenir de bonnes caractéristiques du mortier à l'état frais. BOUKENDAKDJI [75], dans ses travaux de recherche a ajusté le rapport S/M (S/M=0.5) et SP/C de manière à avoir un diamètre d'étalement de la

galette du mortier compris entre 270 et 330 mm et un temps d'écoulement à l'entonnoir en V compris entre 2 et 10 s.
Dans notre étude, nous sommes basés sur les travaux de BOUKENDAKDJI [76]. Le rapport S/M a été fixé à 0,5. En ce qui concerne l'optimisation du dosage en super plastifiant avec deux rapport E/C différents, nous avons étudié la variation du diamètre d'étalement de la galette et le temps d'écoulement du mortier au V- funnel en fonction de la variation de la teneur en super plastifiant de 1 à 1.6 % avec un rapport E/C de 0.38 à l'état frais. Nous suivrons ensuite l'évolution des résistances mécaniques à l'état durci des différents mortiers autoplaçant fabriqués.

2.4 Formulation du mortier auto plaçant a base de poudre de verre

Notre travail a pour finalité l'étude de l'influence de type d'addition sur les caractéristiques d'un mortier autoplacants. A cet égard, on a opte pour la substitution partielle du ciment du MAP de référence par l'une des trois finesses de la poudre de verre préparée.Dans ce travail expérimental, dix-huit (18) mélangés ont été prépares en remplaçant une partie de ciment avec l.une (0) finesses employées a savoir: verre de finesse 1 (f1=3300cm²/g) et finesse 2 (f2=4400cm²/g) et finesse 3 (f3=6200cm²/g) avec des taux de substitution de ciment de 8,12,16,20 et 24%. Les différents mélanges préparés avec la nomenclature sont donnés ci-après:

-MAPT : mortier autoplacant témoin avec 0% de verre ;

-MAP8% : mortier autoplacant avec 8% de verre ;(f1 et f2 et f3)

-MAP12% : mortier autoplacant avec 12% de verre ; (f1 et f2 et f3)

-MAP16% : mortier autoplacant avec 16% de verre ; (f1 et f2 et f3)

-MAP20% : mortier autoplacant avec 20% de verre ; (f1 et f2 et f3)

-MAP24%: mortier autoplaçant avec 24% de verre ; (f1 et f2 et f2)

N	V	Ciment (%)	PV (%)	Ciment (g)	PV (g)	Sable (g)	E/C	S/M	E1 (g)	E2 (g)	SP (%)	SP (g)	Q (cm)	T (s)
1	1	100	0	694,26	0	1315	0,4	0,5	198,3	85	0,85	5,9	29,5	4,48
2	1	92	8	633,92	55,12	1315	0,4	0,5	197,2	84,5	0,8	5,51	29,9	4,45
3	1	88	12	603,9	82,35	1315	0,4	0,5	196,6	84,2	0,8	5,49	30	4,43
4	1	84	16	574,61	109,45	1315	0,4	0,5	195,8	83,9	0,8	5,47	30,6	4,41
5	1	80	20	545,21	136,31	1315	0,4	0,5	195,1	83,6	0,8	5,45	31	3,9
6	1	76	24	516,26	163,03	1315	0,4	0,5	194,3	83,3	0,8	5,43	31,5	3,7

Tableau 2.3 : Composition des mortiers avec finesse 1 (F1=3300 cm^2 /g)

N	V	Ciment (%)	PV (%)	Ciment (g)	PV (g)	Sable (g)	E/C	S/M	E1 (g)	E2 (g)	SP (%)	SP (g)	Q (cm)	T (s)
1	1	100	0	694,26	0	1315	0,4	0,5	198,3	85	0,85	5,9	29,5	4,48
2	1	92	8	633,92	55,12	1315	0,4	0,5	197,2	84,5	0,8	5,51	29,7	4,46
3	1	88	12	603,9	82,35	1315	0,4	0,5	196,6	84,2	0,8	5,49	29,8	4,44
4	1	84	16	574,61	109,45	1315	0,4	0,5	195,8	83,9	0,8	5,47	30,5	4,42
5	1	80	20	545,21	136,31	1315	0,4	0,5	195,1	83,6	0,8	5,45	30,8	4
6	1	76	24	516,26	163,03	1315	0,4	0,5	194,3	83,3	0,8	5,43	31	3,9

Tableau 2.4 : Composition des mortiers avec finesse 2 (F2=4400 cm^2/g)

N	V	Ciment (%)	PV (%)	Ciment (g)	PV (g)	Sable (g)	E/C	S/M	E1 (g)	E2 (g)	SP (%)	SP (g)	Q(cm)	T (s)
1	1	100	0	694,26	0	1315	0,4	0,5	198,3	85	0,85	5,9	29,5	4,48
2	1	92	8	633,92	55,12	1315	0,4	0,5	197,2	84,5	0,8	5,51	29,6	4,47
3	1	88	12	603,9	82,35	1315	0,4	0,5	196,6	84,2	0,8	5,49	29,8	4,45
4	1	84	16	574,61	109,45	1315	0,4	0,5	195,8	83,9	0,8	5,47	30,2	4,43
5	1	80	20	545,21	136,31	1315	0,4	0,5	195,1	83,6	0,8	5,45	30,4	4,41
6	1	76	24	516,26	163,03	1315	0,4	0,5	194,3	83,3	0,8	5,43	30,8	4

Tableau 2.5 : Composition des mortiers avec finesse 3 (F3=6200 cm^2/g)

2.5 Confection et Cure des éprouvettes

2.5.1 Malaxage du mortier auto plaçant

Pour le mélange, nous avons utilisé un malaxeur à mortier de 5 litres de capacité (figure 2.7). En ce qui concerne la durée de malaxage, le MAP a une durée de malaxage plus longue que le mortier ordinaire, ce qui a pour effet d'assurer une meilleure dispersion des particules de la poudre par le super plastifiant. Certains auteurs ont proposé des durées de malaxage variantes entre 3 et 4 min. Pedersen et al. [77] ont rapporté qu'une durée de malaxage de 5 min est préférée.

Apres avoir calculé la quantité de chaque élément entrant dans la composition du MAP (voir exemple de calcul dans l'annexe B), on procède à un malaxage suivant la séquence présentée à la figure 2.6 et résumée comme suit :

-Malaxer à sec le ciment, sable et addition afin d'homogénéiser le mélange pendant 30 secondes;

- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (w1 = 70% Eau);

- Ajouter pendant 1 minute le reste de l'eau de gâchage (w2 = 70% Eau) mélangé avec le super plastifiant;

- Malaxer le mélange pendant 3 minutes.

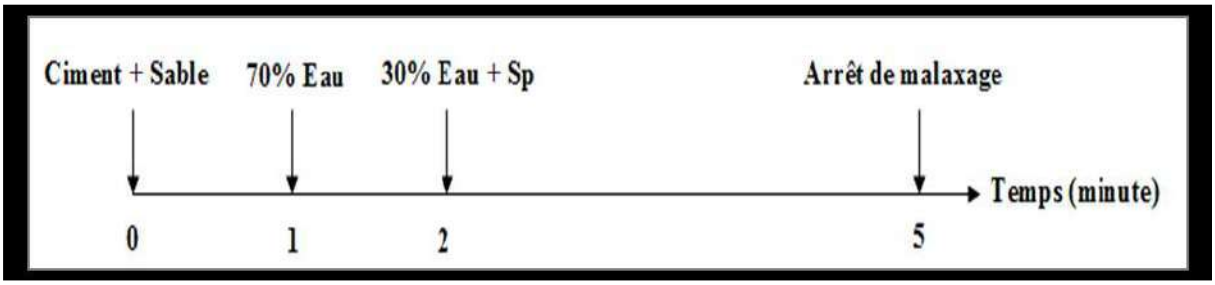


Figure 2.6: Séquence de malaxage du mortier autoplaçant



Figure 2.7 : Malaxeur a mortier

2.5.2 Préparation des éprouvettes

Le coulage des éprouvettes est réalisé sans vibration ni compactage dans des moules métalliques de forme prismatique 4x4x16cm destinés aux différents essais programmés à l'état durci.

2.5.3 Conservation des éprouvettes

Après la confection, les éprouvettes ont été conservées soit dans un bac remplit d'eau à une température de 20 ± 2C°, ou bien a l'air du laboratoire d'une température ambiante de 20 °C ± 2°C, jusqu'au moment des essais (figure 2.9).



Figure 2.8: Conservation des éprouvettes

2.6 Les essais

2.6.1 Equipement nécessaire

L'ensemble est décrit de manière détaillée par la norme EN 196-1 [78] et est illustré dans les figures qui suivent.

-Une salle tempérée à 20 °C ± 2 °C et à une humidité relative supérieure ou égale à 50 % ;

- Un bac d'eau pour la conservation des éprouvettes maintenue à une température de 20 ± 2°C et à une humidité relative supérieure à 100% ;

-Un concasseur ;

- Un broyeur ;

- Un malaxeur à mortier normalisé avec une cuve de 5 L et pale de malaxage en inox ;

- Des moules normalisés permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée (4cm x 4cm x 16cm);

- Une table à chocs pour le serrage des éprouvettes, permettant d'appliquer 60 chocs aux moules en les faisant chuter d'une hauteur de 15mm ± 0,3mm à la fréquence d'une chute par seconde pendant 60s;

- Balances pour la mesure des petites et grandes quantités;

- Tamiseuse électrique;

- Les tamis de différentes mailles en inox;

- Cône de sable, pour la mesure de la masse volumique apparente du sable;

-Eprouvettes et béchers en verre et en plastique graduées;

-Spatules flexibles en acier inox;

- Pinceaux.



Etuve



Moule



Tamiseuse



Balance



Broyeur a disque



Los Angeles



Vicat



Bac à eau

Figure 2.9 : Equipements nécessaires utilisés

2.6.2 Les essais effectués sur les granulats

2.6.2.1 Masses volumiques

Les masses volumiques apparentes et absolues des différents sables utilisés ont été déterminées selon la norme EN 1097-5[79].

2.6.2.1.1La masse volumique absolue

Cet essai est régi par la norme NF P18-301, elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains.

$$\rho_{abs} = \frac{m_2}{(m_1+m_2)-m_3}$$

2.6.2.1.2 La masse volumique apparente

Cet essai est réalisé selon la norme NF P18-554, elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

$$\varrho app = M/1 \quad (\mathrm{kg/m^3})$$

Avec 1 : volume du récipient (m^3)

2.6.2.2 Equivalent de sable

Il est défini par la norme NF P 18-598[80] ; cet essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui floculent.
L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier.

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :
* Hauteur h1 : sable propre +éléments fins,

* Hauteur h'2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention, est : **ES=h1/h2*100**

Selon que la hauteur h2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine Esv (équivalent de sable visuel) ou Esp (équivalent de sable au piston).

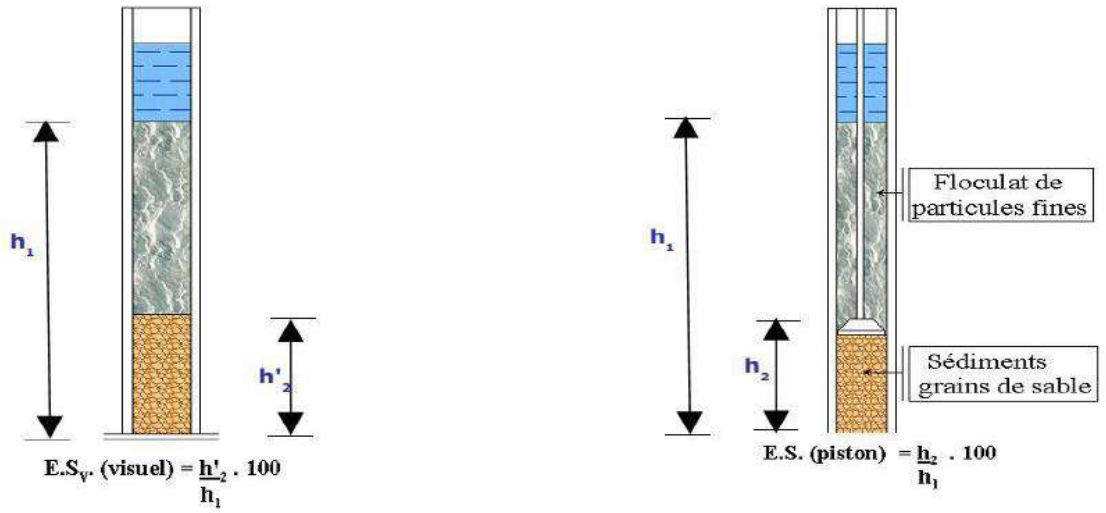


Figure 2. 10 **:** Principe de l'essai d'équivalente de sable.



Figure 2.11 **:** Essai d'équivalant de sable

2.6.2.3 Analyse granulométriques

L'analyse granulométrique a été réalisée conformément à la norme NA 2607 [81], où le sable passant à travers une série de maille décroissante, dont on pèse le refus de chaque tamis.
On utilise une quantité de 1000 g de sable.
On trace les courbes granulométriques pour chaque sable, puis on tire les coefficients suivants :

-Le coefficient d'uniformité Cu ;

- Le coefficient de courbure Cc ;

- Le module de finesse Mf.

2.6.2.4 Taux d'absorption du sable

Le coefficient d'absorption d'eau d'un granulat est le rapport de l'augmentation de sa masse provoquée au bout de 24 heures par une imbibition partielle par rapport à sa masse sèche.

Les deux normes algériennes NA 255 et NA 451 indiquent respectivement les modes opératoires pour la détermination de ce coefficient pour le sable. Ce coefficient mesure le volume des pores accessibles à l'eau, ce qui signifie que plus sa valeur est élevée, moins la durabilité du béton est assurée dans un milieu agressif. En général, la différence entre les granulats est illustrée par le fait que les granulats naturels utilisés pour la confection du béton sont peu poreux et n'absorbent pratiquement pas d'eau lorsqu'ils sont gâchés avec le ciment et l'eau. En revanche, les granulats artificiels légers, poreux ont une absorption d'eau importante. Ainsi, ces granulats vont absorber une certaine quantité d'eau pendant le malaxage, ce qui va être traduit par une perte d'affaissement. Ceci peut occasionner des difficultés de mise en place si l'on n'en pas tenu compte.

2.6.3 Essai sur mortier

2.6.3.1 A l'état frais

2.6.3.1.1.Essai d'étalement au Mini-Cône

L'appareil se compose d'un moule tronconique creuse de 60 mm de hauteur 70mm et du bas 100 mm.

Le cône est placé au centre d'une plaque et rempli de mortier, le cône est soulevé et le mortier s'écoule sur la table. Le diamètre est mesuré suivant les deux détractions perpendiculaires

D moy=d1+d2/2



Figure 2.12: Essai d'étalement au mini cône

2.6.3.1.2 Essai à l'entonnoir en V (V– Funnel)

L'objectif de cet essai est de mesure le temps d'écoulement entre l'instant d'ouverture de l'orifice de l'entonnoir et l'instant de l'apparition de la première lumière en regardant verticalement vers le bas de l'entonnoir.

2.6.3.2 A l'état durci

2.6.3.2.1 Essai de traction par flexion

Selon la norme EN 196-1 [82] c'est 1'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Figure2.13), une éprouvette prismatique de côté b et de longueur 1. Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4× 16cm), à 7, 14, 28,56 jours.

$$\sigma t = (M/I)\, v$$

M: Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge

$M = FfL/4$

I : Moment d'inertie de la section transversale :

$I = b4/12$

V: La distance de la fibre la plus éloignée :

$v = b/2$

La résistance à la traction par flexion est calculée donc par la formule suivante:

$\sigma t = (1.5FfL)/ b^3$

$ft28 = 0.9\ Ft.L / b^3$

La rupture de chaque éprouvette en traction est effectuée conformément sur la (Figure 2.13).

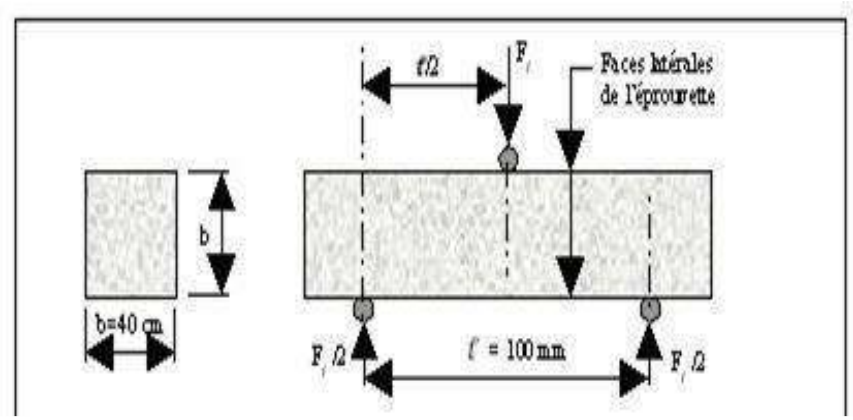


Figure 2.13 : Dispositif pour l'essai de résistance à la traction

2.6.3.2.2 Essai de compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme EN 196-1 [83] par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions (4x4x16) cm, à 3, 7, 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 KN conforme à la norme NF P 18-412 . Pendant l'essai, la vitesse de chargement est constante, la résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur trois éprouvettes à chaque âge d'essai.

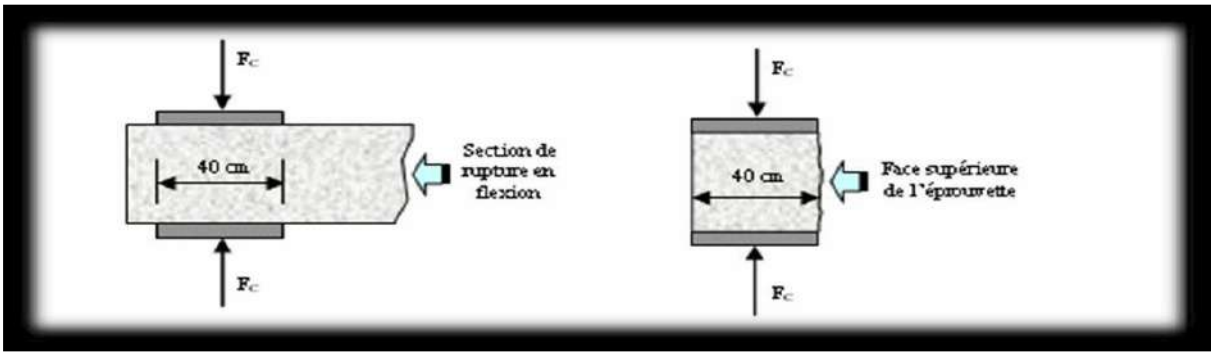


Figure 2.14 : Dispositif de rupture à la compression

2.6.3.2.3Essai de retrait et gonflement

En l'absence de toute charge, le mortier se déforme instantanément. Ces déformations sont dues essentiellement à une perte d'eau de gâchage par évaporation, qui se traduit par un rétrécissement des éléments en mortier. Le retrait dépend non seulement des conditions de conservation (humidité, température) mais dépend aussi des constituants du mortier.

Les mesures du retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16) conformément à la forme NF P 18-404 [84], ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24h, placées dans un réfractomètre munis d'un comparateur qui permet la mesure du retrait à tout moment à court terme et moyenne terme (du 1j jusqu'à 5 semaines). La conservation des éprouvettes est faite à l'air du laboratoire comme citée avant.



Figure 2.15 : Comparateur numérique

i. Mesure des variations de longueur

La mesure a lieu, l'axe longitudinal de l'éprouvette étant vertical. Si, d'une mesure à l'autre, la variation de longueur d'une des 3 éprouvettes dépasse de plus de 0.03 mm celle de l'éprouvette ayant la variation la plus voisine, il ya lieu d'en rechercher la cause (poussière, mauvais contact de scellement des plots,.. etc.). Et si elle ne peut être éliminée, l'éprouvette doit être rebutée.

Avant chaque série de mesures, l'appareil est étalonné avec une tige de métal de 160 mm de longueur et dont les extrémités reproduisent la forme des plots de l'éprouvette (la tige est réalisée en métal invar et protégée contre les variations de température qu'elle est appelée à subir au cours des manipulations) même métal que l'appareil.

ii. Mesure des variations de masse

La variation de masse est déduite après avoir, pesé à 0.1 g chaque éprouvette à chacun des temps utilisés pour mesurer de retrait.

iii. Expression des résultats

Pour chaque éprouvette on calcule les rapports suivants :

- ΔL : variation de longueur par rapport à la longueur d'origine ;

- L : la longueur de base, prise égale à 160mm ;

- ΔM : variation de masse par rapport à la masse au moment du démoulage

-M : masse de l'éprouvette au moment du démoulage

Le compte rendu donne les valeurs de ces rapports pour les différents âges et pour les

différentes éprouvettes mesurées. Les moyennes arithmétiques de ces 3 valeurs à un âge déterminé caractérisent la valeur du retrait et celle du gonflement à cet âge de l'échantillon (éventuellement, de la variation de masse).

iv. Conduite de l'essai

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

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

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

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

$$\varepsilon(t)= (\Delta l(t))/L= (dl(t)-dl(t0))/L$$

Δl(t) est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule.

Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air. Δl(t) est généralement négatif et l'on parle alors de retrait de l'éprouvette, lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau ou le froid, Δl(t) peut être positif : il y a alors gonflement.

2.6.3.2.4Essai d'absorption d'eau par capillarité (sportivité)

Cet essai consiste à mesurer le taux d'absorption de l'eau par succion capillaire des éprouvettes de bétons moulées ou carottées, non saturées, mises en contact avec l'eau sans

pression hydraulique. Avant les mesures de la sportivité, les éprouvettes sont pré-conditionnées selon les recommandations de la procédure AFREM
L'essai est réalisé sur des éprouvettes cubiques de (4 x 4x 16 cm) obtenues par sciage des éprouvettes prismatiques normalisées de (4 x 4 x 16 cm). Le protocole de cet essai consiste à sécher des éprouvettes prismatiques à l'étuve vétillée à 105°C pendant 72 heures jusqu'à la masse constante. Les surfaces latérales des éprouvettes sont ensuite imperméabilisées à l'aide d'une résine étanche, et ce pour assurer la remonté unidirectionnelle d'eau par capillarité, et aussi pour éviter l'évaporation latérale de l'eau absorbée durant l'essai. Après le durcissement de la résine, l'essai de l'absorption capillaire est commencé, il consiste à suivre l'évolution de masse des éprouvettes partiellement immergées (environ 5 mm) dans un récipient contenant de l'eau potable, soit M0 la masse de l'échantillon a l'état sec, Les éprouvettes sont retirées et pesés régulièrement à l'aide d'une balance de précision de 0.01g, suivant les échéances de mesure suivantes : 15min, 30min ,1h,2h,4h,6h,8h et 24h selon les recommandations de la norme EN 13057[85] . Figure(2.15)



Figure2.16**:** Essai d'absorption d'eau par capillarité

Le coefficient de sportivité (*S*), a été obtenu en utilisant l'expression suivante :
Q = la quantité d'eau adsorbée en (cm3).
A = la surface du spécimen en contact avec l'eau (cm2).
t = le temps (s).
S = le coefficient de sportivité du spécimen (cm/s1/2).

2.6.3.1.5 Essais de porosité accessible à l'eau (porosité totale)

L'essai de porosité accessible à l'eau a été réalisé selon la norme AFC-AFREM Les éprouvettes sont sous forme des discs de 100mm de diamètre et de 50mm d'épaisseur obtenus par opérations de sciage des éprouvettes cylindriques normalisées de (100mm diamètre et de 200mm de hauteur). La porosité ε est définie comme le rapport du volume total des pores ouverts dans un solide poreux à son volume apparent, elle est exprimée en pourcentage du volume apparent en utilisant l'équation suivante :

$\varepsilon = Mair - Mdray / Mair - Mwater * 100$

L'essai consiste à déterminer par pesées les trois masses suivantes (Msec , Mair et Meau). L'essai a été réalisé sur des échantillons qui ont été préalablement séchés dans une étuve ventilée à 105 ° C jusqu'à atteindre une masse constante (Msec). Ensuite, ils ont été introduits dans un dessiccateur à vide pendant 3 heures, saturés avec de l'eau du robinet pendant 1 heure et finalement maintenus trempés pendant 18 ± 2 h. Selon les recommandations de l'AFC-AFREM, la masse (Meau) est la masse des spécimens immergés dans l'eau est suspendu avec un fil, alors que (Mair) est la masse du spécimen dans l'air immédiatement retirée de l'eau et toujours maintenue moulé.

2.6.3.1.7 Essai d'absorption par immersion

L'absorption par immersion consiste à mettre les éprouvettes dans l'étuve et de les peser jusqu'à poids constant, ensuite les immerger totalement dans l'eau à 20°C pendant une durée de 24h c'est-à-dire jusqu'à saturation du matériau.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériaux utilisés dans le cadre de cette étude. Le détail des différentes formulations a été présenté dans cette partie.

Les essais physiques, les analyses chimiques et les analyses minéralogiques effectués donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des mortiers autobloquants ; Pour reconnaitre l'effet de la PV sur le mortier auto plaçant que ce soit à l'état frais ou durci.

Chapitre 3:
Résultat et Intrepretation

3.1 Introduction

Les résultats de tous les essais sont regroupées dans le présent chapitre et sont divisés en deux parties

3.2 A l'état frais

3.2.1 : L'étalement

Le Mini-cone test permet d'évaluer l'effet des poudres du verre sur la maniabilité des mortiers. La figure 3.1 présente les résultats du mini-slump des 3 finesses ou il est montré clairement que l'étalement augmente avec le taux de substitution du ciment par la poudre de verre . Cette augmentation de l'ouvrabilité en présence de la poudre de verre pourrait etre expliqué par l'absorption quasiment nulle de la poudre de verre.

Lamélioration de l'ouvrabilité des mélanges augmente relativement avec l'augmentation du taux de remplacement de la poudre . les résultats de notre étude confirment des observations antérieurs faites par(schwarz 2007 ,zidol 2009).

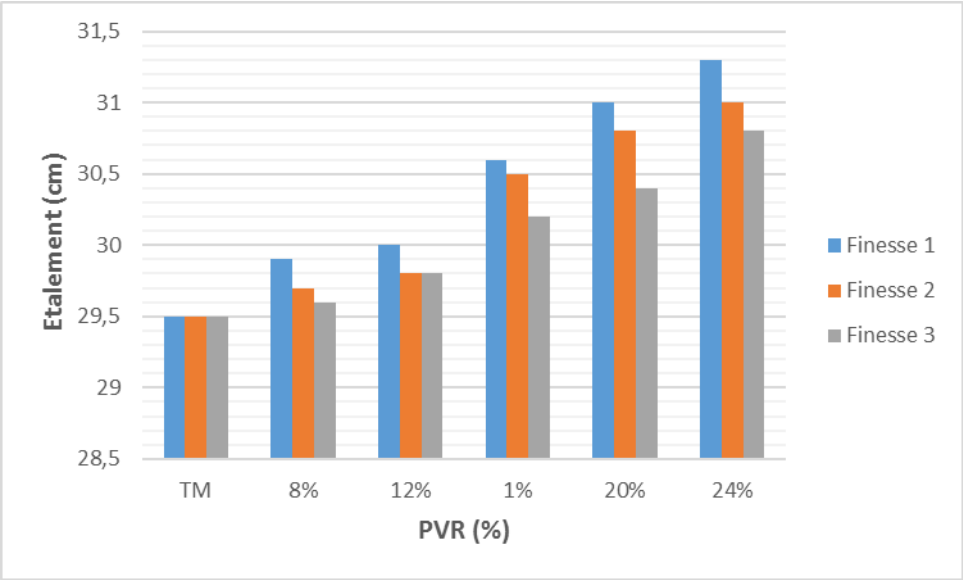


Figure 3.1 : Etalement en fonction du taux de substitution pour les deux finesses de la poudre de verre.

3.2.2 V-funnel

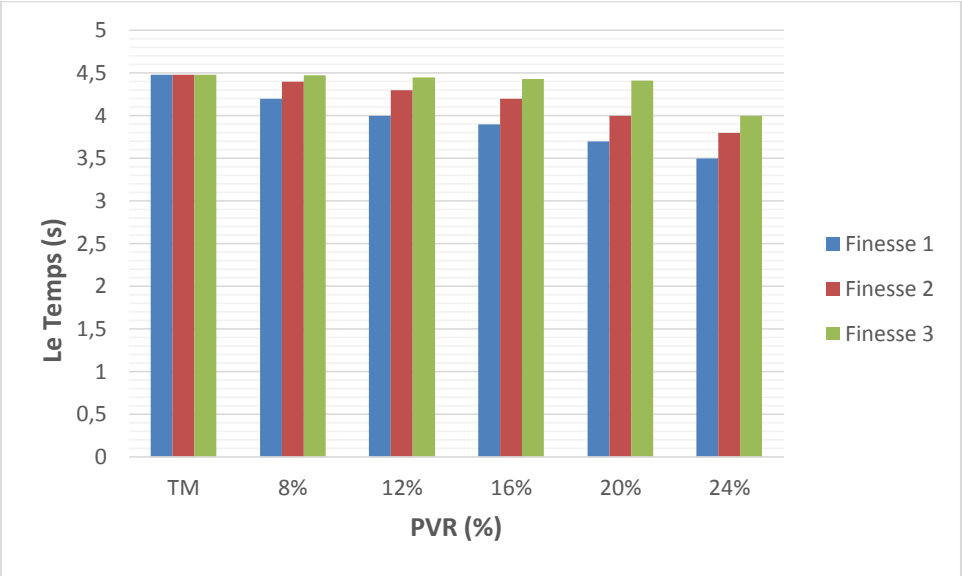


Figure 3.2 : Temps d'écoulement en fonction du taux de substitution pour les deux finesses de la poudre de verre.

Les résultats de l'essai de V-funnel exprimés sur la figure 3 .2 montrent que les mélanges avec poudre de verre présentent un temps d'écoulement inférieur à celui du témoin. Ce résultat consolide la tendance observée précédemment qui caractérise la capacité de la poudre deverre dans l'amélioration de tous les paramètres liés à l'ouvrabilité des mélanges de mortier.

3.3 A l'état durci

3.3.1 : Le retrait

Le retrait total des éprouvettes de mortier contenant 0%,8%,12%,16%,20% et 24% de fines de déchets du verre est donné dans les figures 3.3 ,3.4 et 3.5 :

a. Finesse 1 (F1=3300 cm^2 /g)

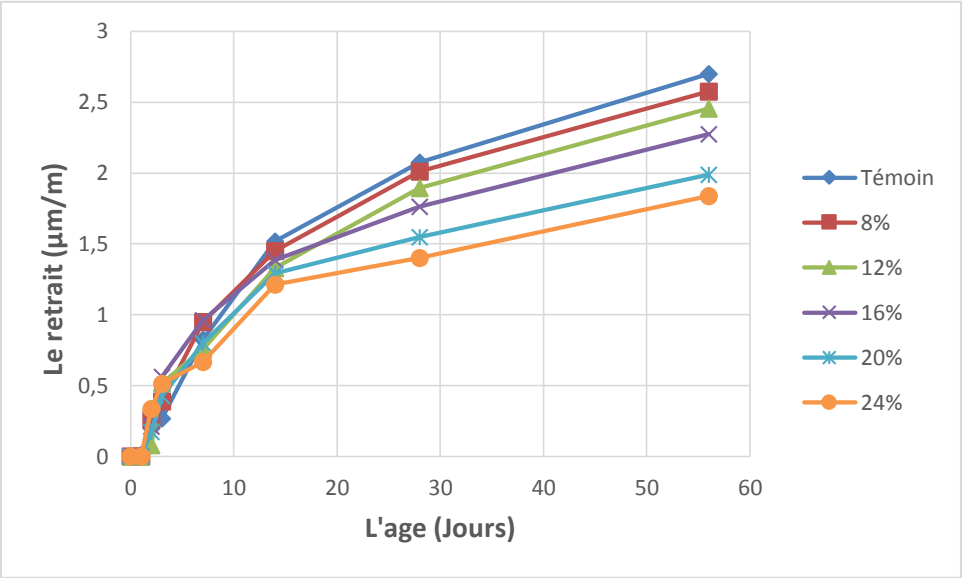


Figure 3.3 : Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse de 3300 cm^2 /g.

Le retrait augmente dans le temps et diminue avec l'introduction progressive des déchets du verre.

On remarque qu'à un âge précoce les mélanges avec la poudre du verre présente plus de retrait par rapport le mélange témoin, cela peut être liée à son absorption quasi nulle à court terme.

Entre 7 et 14 jours, on peut dire que toutes les mélanges présentent des résultats similaires ou légèrement inférieur à ceux du témoin.

Entre 28 jours et 56 jours, toutes les compositions présente des résultats inférieurs à celui du témoin, donc la poudre du verre a un effet bénéfique sur la variation dimensionnelle du matériau.

b.Finesse 2 (F2=4400 cm²/g)

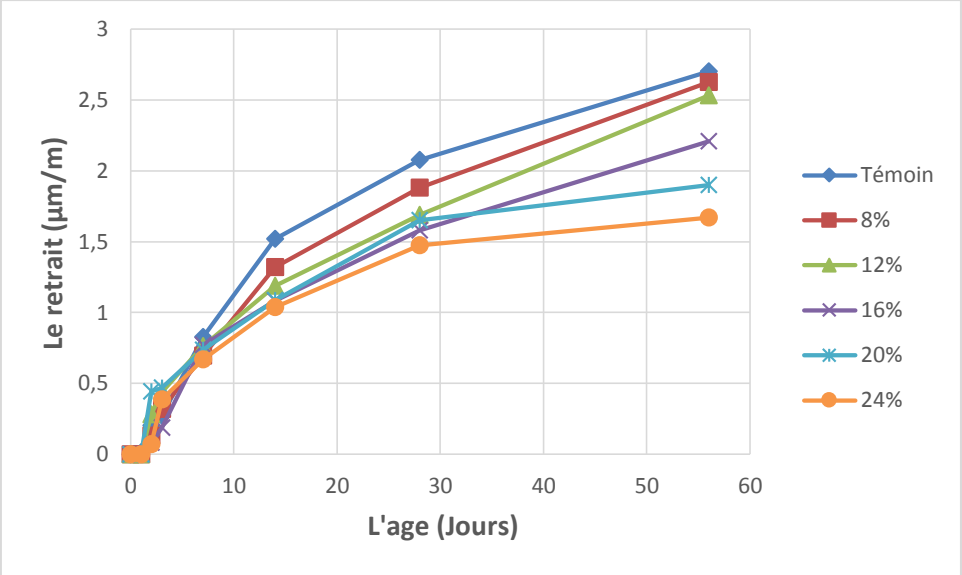


Figure 3.4 : Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse de 4400 cm^2 /g.

On observe toujours la diminution de retrait avec l'ajout de la poudre de verre à long terme, et encore moins par rapport à la première finesse.

c-Finesse 3 (F3=6200 cm²/g)

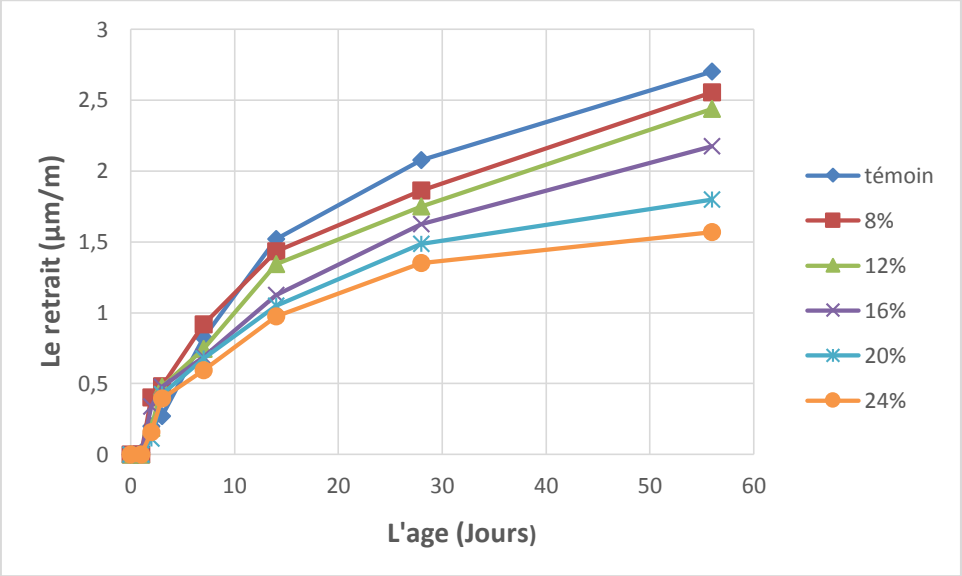


Figure 3.5 : Variation du retrait de toutes les compositions de mortier en fonction de l'âge pour la finesse de 6200 cm^2 /g.

En comparant les trois finesses, il est constaté que les matériaux fabriqués avec la finesse 3 (F3=6200 cm^2 /g)donne moins de retrait à ceux fabriqués avec les deux autres finesses (F1=3300 cm^2 /g ,F2=4400 cm^2 /g) des déchets du verre.

Conclusion Generalé

Conclusion générale :

L'objectif principal de cette étude été la valorisation de déchets de verre sous forme de poudre fine comme substitution au ciment et d'analyser son effet sur les propriétés physiques, mécaniques et la durabilité du mortier autoplaçant.

Les pourcentages de substitution du ciment par les fines de déchets de verre sont : 0%, 8%, 12%, 16%,20% et 24%. Les résultats obtenus lors de cette étude, nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

-La poudre de verre (PV) amélioré l'ouvrabilité du MAP en fonction de l'augmentation du taux de substituions et de la finesse.

-La finesse 3 (F3=6200 cm^2 /g) donne moins de retrait à ceux fabriqués avec les deux autres finesses (F1=3300 cm^2 /g ,F2=4400 cm^2 /g) des déchets du verre.

Reference

Référence :

[1] Verre, Ecole polytechnique FEDERALE DE LAUSSANE, Dr E. Boehm-Courjault, 37 Page;

[2]. Ghani S.,l'impact des déchets sur l'environnement port soudan 5102 doctoral dissertation

[3] 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.

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

[5] E.P.A. 2017a.Advancing Sustainable Materials Management: Facts and Figures, Environmental Protection Agency,UniteStates.https://www.epa.gov/smm/advancingsustainable-materials-management-facts-and-figures

[6] E.P.A. 2017e.Hazardous Waste, Environnemental Protection Agency, 2017 United States. https://www.epa.gov/hw

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

[8] Karim Ouamane, DG L'AND au service de la gestion des déchets industriels Alger, 25 mai 2017

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

[10] Barkat, A. (2006). Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah de Ouargla).

[11] -Azzedine Ayadi , technologie du verre édition OPU (2004)

[12] -Glas Trösch Holding AG Le verre et ses applications, Conseil, Bützberg 04.2013

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

[14] 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

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

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

Référence :

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

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

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

[20]- Christian Schittich, Construire en verre Édition Presses polytechniques et universitaires romandes Lausanne:, P63, 2001

[21] Concrete with waste aggregates: e_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

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

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

[24] Mécanismes d'action des fines et des granulats de verre sur la réaction alcali-silice et la réaction pouzzolanique, DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, Rachida IDIR 2009, 304 Page ; Designer sur : http://eprint.insatoulouse.fr/303/1/IDIR.pdf

[25]. Zidol, A. (2009). *Optimisation de la finesse de la poudre de verre dans les systèmes cimentaires binaires*. Université de Sherbrooke

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

[27].. Bahia Arab1,*, Rachid Mehaddene, Yacine Bouchnab, Substitution du ciment CPA par la poudre de verre dans les mortiers à hautes performances Laboratoire Géomatériaux, Environnement et Aménagement, Université Mouloud Mammeri, 15000 Tizi Ouzou, Algérie arabbahia@yahoo.fr

[28] 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.

[29] Zidol, A. (2009). *Optimisation de la finesse de la poudre de verre dans les systèmes cimentaires binaires*. Université de Sherbrooke

Référence :

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

[31].Influence d'éco-produits réducteurs de retrait sur les caractéristiques des mortiers Sébastien cornac claire oms-multon-gille escadeillas- pascale caro De toulouse , oms@insa-toulouse.fr

[32] Boulifa Marwa et Debabi Adel , Utilusation de poudre de verre dans le mortier ,2016/2017 ouargla

[33] Nicos S.Martys, Chiara F.Ferraris,Capillary transport in mortars and concrete,Cem.Concr.Res27(1997)747-760

[34] C. Tasdemir, Combined effects of mineral admixtures and curing conditions on the sorptivity coefficient of concrete, Cem. Concr. Res. 33 (2003) 1637–1642, http://dx.doi.org /10.1016 /s0008-8846(03)00112-1

[35] Nara Youcef , GUENCHOUBA DJAMEL Eddine, Etude de l'effet de la finesse de la poudre de verre sur les caractéristiques physique et mécanique des mortiers 2016.2017 , Université Ziane Achour de Djelfa

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

[37] Mécanismes d'action des fines et des granulats de verre sur la réaction alcali-silice et la réaction pouzzolanique, DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, Rachida IDIR 2009, 304 Page ; Designer sur : http://eprint.insatoulouse.fr/303/1/IDIR.pdf

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

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

[40] SIAHMED Hamza, OUALIT Mehenna « formulation et caractérisation rhéologique d'un BAP : action de différents superplastifiants sur les propriétés rhéologique ».PFE Université de Boumerdes .juin 2007

[41]-Association Française de Génie Civil, "Bétons auto-plaçants - Recommandations provisoires", documents scientifiques et techniques, AFGC, Juill et 2000.

[42] Powers, properties of fresh concrete, 1988, edition Wiley, 664 pages.

Référence :

[43]. Ir C. Ployaert, bulletin est publié par : FEBELCEM - Fédération de l'Industrie Cimentière Belge rue Volta 8 1050 Bruxelles, Dépôt légal : D/2005/0280/06 www.febelcem.beinfo@febelcem.be

[44].F.CUSSIGH et groupe de rédaction, Recommandation pour l'emploi des bétons autoplaçants, AFGC/PNB@P Janvier 2008. Présent document a été élaboré à partir du document AFGC «Bétons Autoplaçants- Recommandations provisoires » (juillet 2000)

[45] Khelifa M.R. ; «Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçants».Thèse de doctorat en génie civil, Spécialité : génie civile Université de Constantine (Algérie). Université de d'Orléans (France) ; 20 Juin 2009

[46] SIAHMED Hamza, OUALIT Mehenna « formulation et caractérisation rhéologique d'un BAP : action de différents superplastifiants sur les propriétés rhéologique ».PFE Université de Boumerdes .juin 2007.

[47]- « R.Dupain/ R.Lanchon/ J.C.Saint-Arroman » Granulats, Sols, Ciments et Bétons Edition 2000.

[48] NEHDI M., MINDESS S., AÏTCIN P.-C., "Rheology of high-performance concrete: Effect of ultrafine " Cement and Concrete Research, 28(5), pp 687-697, (1998).

[49] BENSEBTI Salah Eddine, « Formulation et propriétés des bétons autoplaçants à base de matériaux locaux », Université Mentouri Constantine, Thèse de Doctorat, 2008

[50] Sandrine Bethmont « mécanisme de ségrégation dans les bétons autoplaçants » Thèse doctorat. Laboratoire central des ponts et chaussées.58Bd Lefbvre 75015 Paris. Soutenue le 15 décembre 2005.

[51] SIAHMED Hamza, OUALIT Mehenna « formulation et caractérisation rhéologique d'un BAP : action de différents superplastifiants sur les propriétés rhéologique ».PFE Université de Boumerdes .juin 2007.

[52] BENSEBTI Salah Eddine, « Formulation et propriétés des bétons autoplaçants à base de matériaux locaux », Université Mentouri Constantine, Thèse de Doctorat, 2008

[53] YAHIA A., TANIMURA M., SHIMOYAMA Y.,Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio, Cement and concrete Research, 35(3), pp 532-539, 2005

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

[55] SHEN Jie., "comportement mecanique des materiaux et des structures precontraintes en betons autoplaçants (BAP) ".,Thèse de doctorat de l"Université de Reims champagne-ardenne-France, (2009)

Référence :

[56] AFGC, "Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants" Association française de génie civil, (2008)

[57] PH.TURCRY et A.LOUKILI, Différentes approches pour la formulation des BAP, revue française de génie civil volume 7 n°4, 2003.

[58] Rossington, D. R., Surface chemistry of glass, In Introduction to Glass Science, Springer US., p. 513-543, 1972

[59] SU N., HSU K.C., CHAI H.W., "A simple mix-design method for self compacting concrete", Cem Concr Res, 31(12), pp1799-1807, (2001).

[60]-Hanaa Fares.Thèse de doctorat en Génie Civil «Propriétés mécaniques et physicochimiques de bétons autoplaçants exposés à une température élevée»

[61] - http : // www.betons – lemagazine.fr/ Page =abc.

[62]. KHELAIFA Hamad et TAGBA Maléki ,Etude expérimentale sur les mortiers à base de granulats de caoutchouc, de déchets de brique et d adjuvant résineux, mémoire de masterà l"Université de Guelma, 2015

[63] : WILLIAM .D callister .JR «Science et génie des matériaux » Modolu Editeur, 2001

[64] :GC1712 « Durabilité ET réparation du béton » département génie civil, université de Sherbrooke _ canada, avril 2009

[65] : SYLVER .P «Science des matériaux »université pierre de Marie curie 2005,2006

[66] : PDF réalisé par ZILE Marie Durosier Richard Bonneville

[67] https://www.demixbeton.ca/wp-content/uploads/2017/10/Mortier-autoplacant.pdf

[68] Arezki Tagni Hamou ,Microstructure et physico-chimie des ciments et des bétons, chapitre 8

[69] http://s4.e-monsite.com/2011/05/16/1851080les-essais-sur-mortierpdf.pdf

[70] Brahma A. ; « Le béton » ; édition OPU ; 1996.

[71] NF P 15 - 361 29 oct. 2011 – Le retrait (Norme NF P 15- 361): Il est mesurésur prismes de 4 x 4 x 16 cm, conservés à 20 °C et à 50,5 % d'humidité relative

[72] Cours en ligne : « matériaux de construction chapitre 5 : les mortiers » ; disponible sur site web : http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_cinq_quatre.html.

Référence :

[73] 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

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

[75] Boukendakdji, O, Etude de l'influence des paramètres de formulation sur les propriétés d'un béton auto plaçant : Optimisation des conditions opératoires, Thèse de doctorat de L'Université Saad Dahleb de Blida, Algérie, 2010

[76] PEDERSEN B., SMEPLASS S. The relationship between the rheological properties of SCC and the corresponding matrix phase, Proceedings of the Third International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Island, pp106-16. 2003

[77] EN 196-1, méthodes d'essais de ciment, AFNOR, France 1994

[78] EN 1097-5, Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 5: Determination of the water content by drying in a ventilated oven; German version, 2008

[79] NF P 18-598, Granulats – Equivalent de sable.

[80] NA 2607, Granulats - Analyse granulométrique par tamisage, 1990

[81] NF EN 196-1, Méthodes d'essais des ciments – Partie 1, Analyse chimique des ciments.

[82] NF EN 196-1, Méthodes d'essais des ciments – Partie, Analyse chimique des ciments.

[83] NF P 18-404, Bétons- Essais d'étude, de convenance et de contrôle - Confection et conservation des éprouvettes, Décembre 1981

[84] NBN EN 13057, Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essai - Détermination de l'absorption capillaire, 2002

[85] Ezziane, K., Kadri, E.H., Hallal, A., Duval, R. Effect of mineral additives on the setting of blended cement by the maturity method» Materials and Structures, Vol. 43, 2010, pp. 394 - 401.

[86] N. Schwarz, M. DuBois, and N. Neithalath, "Electrical conductivity based characterization of plain and coarse glass powder modified cement pastes," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 29, no. 9, pp. 656–666, 2007, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2007.05.005.

[87] A. Zidol, *Optimisation de la finesse de la poudre de verre dans les systèmes cimentaires binaires*. 2009.

Annexe

ANNEXE A

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 — Date 27/06/2019

0 % de Poudre de brique

volume de mortier (litres) **1000,00**

sable/mortier vol **0,50**

E/P par vol. **1,185** poudre vol **22,883** Eau volume **27,117**

composition Poudre(vol %)	type
ciment portland	**100**
Poudre de brique	**0**

superplast - MEDAFLOW145 **1,6** % (Sp/P)

Densité relative de la poudre **3,12**

teneur en eau du sable

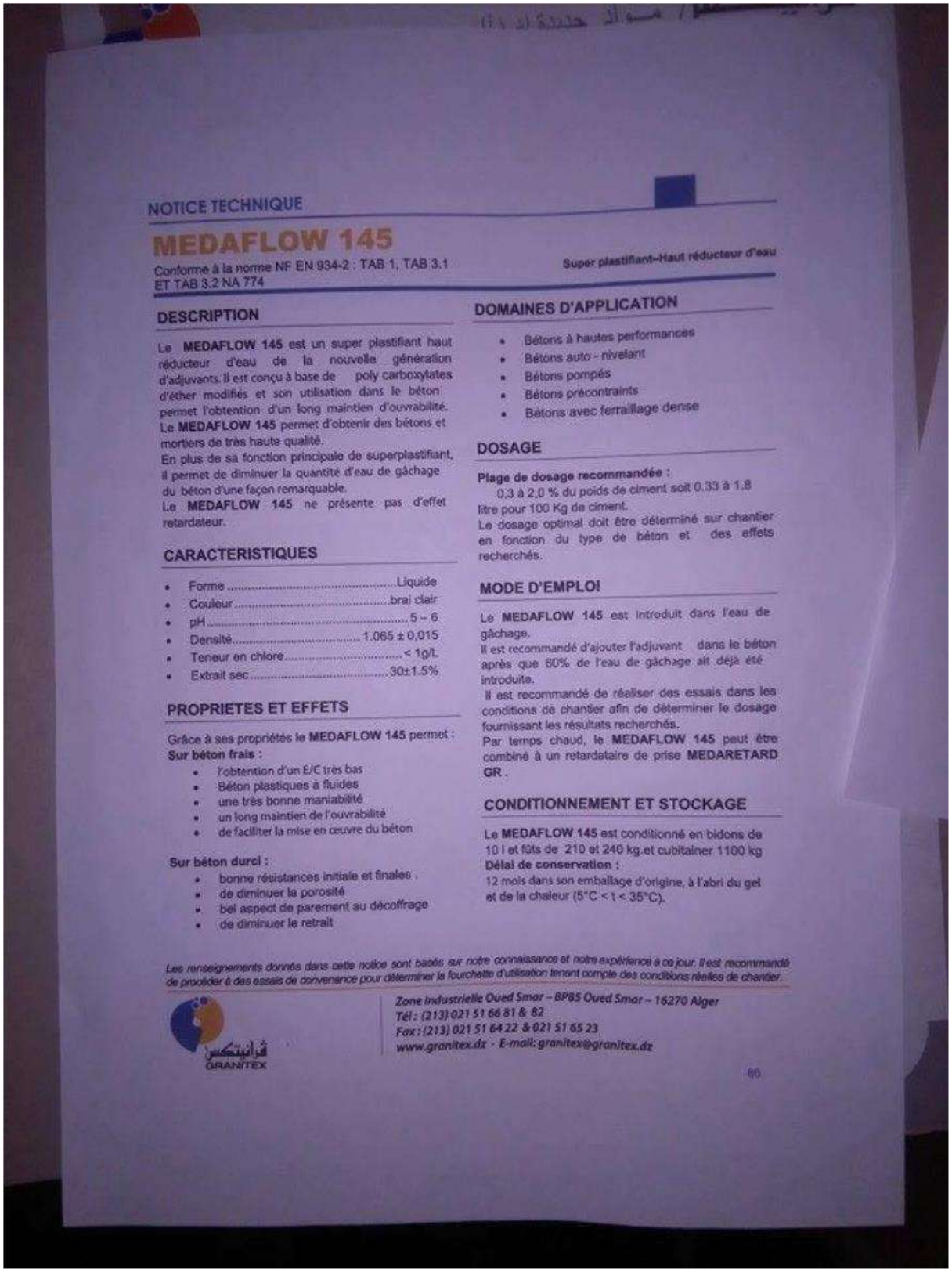
	humidité (%ab)		absorption	correction (%)
poids humide (g)	**200**	0,00	**0,70**	-0,70
poids sec (g)	**200**			

Materiaux	**Volume** litres	**Densité** kg/m³	**Masse** kg	**Contenance d'eau** %	kg	**poids mélange** kg		
poudre	228,833	3120	713,959			**713,959**		
Ciment	228,833	**3120**	713,959			**713,959**		
Poudre de brique	0,000	**2600**	0,000			**0,000**		
	#DIV/0!	**0**	#DIV/0!			**0,000**		
Eau	271,167	1000	271,2			**272,3#** **W1**	**199,663**	70% W
						W2	**81,713**	30% W
superplastifiant MEDAFLOW 30		**1070**	11,42	**70**	7,996	**11,423**		
Sable	500,000	**2630**	1315,000	-0,70	-9,205	**1315,000**		
Total	**#DIV/0!**					2312,758		

E/P poids = **0,380**

100%C				
Volume	**1**	**poids mélange** g		
poudre		**713,959**		T
Ciment	0,229	**713,96**		
Mg	0,000	**0,00**		
Poudre de	#DIV/0!	**0,00**		
Eau	0,271	**272,3#**	**W1**	**199,7**
	E théorique	271,17	**W2**	**81,7**
superplastifiant MEDAFLOW 30		**11,42**		
Sable	0,5000	**1315,0**		
Total	#DIV/0!	2312,8		

ANNEXE B



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