

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU

FACULTÉ DU GENIE DE LA CONSTRUCTION

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



Mémoire de Fin D'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Spécialité : Génie-Civil

Option: Structures

THEME

**Comportement rhéologique et physico-mécanique
des mortiers autoplaçants avec ajouts minéraux**

Etudié par:

M^{elle} DEHBI Nacera Melissa

M^{elle} CHAIBET Cylia

Sujet Proposé et suivi par :

Mme. CHAHOUR .K

Mr. SAFI.B

Devant le jury:

DAHMOUS.H

MERAKEB.S

CHAHOUR.K

SAFI.B

SEBKI.G

MCA U.TIZI OUZOU

MCB U.TIZI OUZOU

MCA U.TIZI OUZOU

MCA U.BOUMERDES

MAA U.BAB EZOUAR

Président

Examineur

Encadreur

Co-Encadreur

Invitée

Date de soutenance: 10/07/2019

Promotion: 2018/2019

Remerciements

Remerciements

Tout d'abord on remercie avant tous, Dieu le tout puissant, pour nous avoir accordé la santé, le courage, la patience et la volonté jusqu'à l'aboutissement de mes études, et l'accomplissement de ce modeste travail.

Nous exprimons nos sincères remerciements:

A nos PARENTS pour leur soutien dans chaque travail que nous avons effectués.

*A notre promotrice **Mme. CHAHOUR KAHINA** pour sa disponibilité permanente, ses orientations, son savoir, sa modestie, et son soutien durant toute la période de réalisation de ce travail et d'avoir mis à notre disposition tous les moyens possibles pour travailler dans les meilleures conditions.*

*A notre Co-encadreur **Mr. SAFI BRAHIM MCA** à l'université de BOUMERDES Pour son aide et son suivi, ses orientations et nombreuses interventions qui ont permis l'aboutissement de ce travail.*

A Mme. SEBKI Ghania MAA à l'université de BAB EZOUAR.

Nous remercions également aux responsables et personnels du laboratoire Génie Civil, Université Mouloud MAMMER de TIZI OUZOU, en particulier à Monsieur BOUHERRAOUA. R, pour sa précieuse aide à la réalisation de la partie expérimentale et ainsi Mme BENAHMED.Fadhila et Melle BABACI. Amina.

A l'ensemble des enseignants du département de Génie civil.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner ce travail. Et de l'enrichir par leurs propositions.

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce projet de fin d'études.

DEHBI Nacera Melissa et CHAIBET Cylia

Dédicaces

À...

La mémoire de mon très cher grand-père que son âme repose en paix.

Mes très chers et adorables parents, ma source de réussite et d'encouragement.

Ma très chère sœur : Lynda

Mes chers frères : Kamel, Ali et Hakim

Ma très chère grand-mère

Mon beau frère : Rafik

Mes tantes et mes oncles

Toutes la Famille DEHBI

Mes copines : Amel, Aldjia, Ouiza, Malha, Imen, Farida, Karima, Ferial

Ma camarade : Cylia

Mes amis : Boussad, Lyes et Baouz

En particuliers Mon meilleur ami : Ahmed

Toute la promotion M2 Structures 2018/2019

A tout les bons cœurs.

DEHBI Nacera Melissa

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes chers parents ma source de réussite et de bonheur qui m'ont apporté leurs soutiens, leurs amours et leurs encouragements. Puisse dieu tout puissant vous garder et vous procurer santé et bonheur.

A mes chers frères : Rabah et Nacer

A ma très chère sœur : Dalila

A mes grands parents

A mes tantes et mes oncles

A tout ma famille

A mes chères copines : Djidji, Fifi, Karima, Feriel et en particulier mon binôme Melissa

Mes amis : Smail, Lyes, Baouz et Azouaou

A toute ma promotion M2 structure 2018/2019

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail

Merci pour tous.

CHAIBET Cylia

Résumé

Ce travail de recherche consiste à étudier le comportement rhéologique et physico-mécanique des mortiers autoplçants avec ajouts minéraux et granulaire. Un programme expérimental a été mené sur plusieurs variantes, dans le but d'évaluer l'influence de la substitution partielle du ciment par la poudre de marbre finement broyée et la substitution totale du sable par la poudre de marbre (0/3) dans les mortiers autoplçants, à travers des essais de compression, de traction par flexion, des essais à l'ultrason, des essais d'affaissement et rhéologiques

Le but de cette étude est de voir la possibilité de réutiliser les déchets de marbre (carrière de Fil-Fila) en tant que sable et en tant qu'ajout cimentaire pour confectionner un mortier autoplçant.

Cette étude confirme l'amélioration des propriétés physico-mécaniques et rhéologiques avec substitution de poudre de marbre, ce qui est de bon augure quant à son utilisation en tant qu'ajout cimentaire et granulaire dans le mortier autoplçant.

Les résultats obtenus montrent qu'on peut substituer le ciment par la poudre de marbre jusqu'à 30% de substitution, et d'autre part on peut totalement remplacer le sable naturel par le sable de marbre, dans ce type de matériau.

Mots-clés : poudre de marbre, mortier autoplçant, recyclage, essais physico-mécaniques, rhéologie.

Abstract

This research work consists of studying the rheological and physico-mechanical behavior of self-compacting mortars with mineral additions. An experimental program was carried out on several variants, in order to evaluate the influence of the partial substitution of the cement by the finely ground marble powder and the total substitution of the sand by the marble powder (0/3) in the self-placing mortars, through compression, flexural tensile tests, ultrasonic testing, slump-flow and rheological tests.

To this end, the aim of this study is to see the possibility of reusing marble waste (Fil-Fila quarry) as sand and as a cementitious additive to produce self-compacting concrete.

This study confirms the improvement of physico-mechanical and rheological properties with substitution of marble powder, which augurs well for its use as a cement additive and sand.

The obtained results show that cement can be substituted by marble powder up to 30%. It has also been deduced that natural sand can be completely replaced by marble sand.

Keywords: marble powder, self-compacting mortar, recycling, physico-mechanical tests, rheology

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur les bétons autoplaçants

I.1.Introduction	3
I.2.Définition des bétons autoplaçants	3
I.3.Avantages des BAP	4
I.4 Domaines d'utilisation des BAP	5
I.5.Particularités de la composition des BAP	6
I.5.1. Un volume de pâte élevé	6
I.5.2. Une quantité de fines élevée	7
I.5.3. L'utilisation de superplastifiants	7
I.5.4. Un faible volume de gravillons	7
I.5.5. Utilisation éventuelle d'un rétenteur d'eau dit agent de viscosité.....	8
I.6.Composants des BAP	8
I.6.1. Les granulats	8
I.6.2. Le ciment	9
I.6.2.a. Les principaux constituants du ciment portland	10
I.6.2.b. Les différents types du ciment	10
I.6.3. L'eau	11
I.6.4. L'emploi de superplastifiant	11
I.6.5. L'agent de viscosité.....	12
I.6.6 Les additions minérales	13
a) Les fillers	13
b) Les fumées de silice.....	13
c) Cendres volantes	13
d) Le laitier des hauts fourneaux	13
I.7. Classifications des BAP	14
I.8. Méthodes de formulation des BAP	15
I.8.1. Approche japonaise	15
I.8.2 Approche suédoise (CBI)	16
I.8.3. Approche française LCPC	16

I.9. Essais de caractérisation des BAP à l'état frais	18
I.9.1. Essai d'étalement	18
I.9.2. Essai de la boîte en L	19
I.9.3. Essai de stabilité des tamis	20
I.9.3. Essai de stabilité des tamis	20
I.9.4. Essai d'entonnoir (V-Funnel)	21
Conclusion	22

Chapitre II : Les Mortiers autoplaçants

Introduction.....	23
II-1 Les mortiers	23
II-1-1 La composition des mortiers.....	23
II-1-2 L'utilisation des mortiers.....	24
II-1-3 Les types de mortiers	24
II-2 Les mortiers autoplaçants	25
II-2-1 Structure de MAP.....	26
➤ Un volume de pâte élevé	26
➤ Une quantité importante de fines	26
➤ Un fort dosage de super plastifiant	27
➤ Une utilisation éventuelle d'agent colloïdal	27
II-2-2 Méthode de formulation du MBE.....	27
II-2-3 Méthode de mortier équivalent	27
II-2-4 Technique du mortier de béton équivalent "MBE"	28
➤ But de la technique	28
➤ Principe de la technique	28
II-3 Formulation d'un mortier auto plaçant	29
II-3-1 Composition du mortier autoplaçant.....	29

Chapitre III : Recyclage des déchets dans le bâtiment

Introduction.....	31
III-1 Les ajouts cimentaires	31
III-1-1 Définition des ajouts minéraux	31
III-1-2 L'utilisation des additions en Algérie	32
III-1-3 Rôle des ajouts cimentaires	32
III-1-4 Avantages des ajouts minéraux	33
• Avantages économiques et écologiques	33
• Avantages techniques.....	33
III-1-5 Les inconvénients d'utilisation des ajouts minéraux	33
III-2 Recyclage	33
III-2-1 Les matériaux recyclés	34
III-3 Poudre de marbre	36
III-3-1 Le recyclage des déchets du marbre	36
III-3-2 Utilisation des déchets de marbre dans le bâtiment	37
III-3-3 Les avantages de la poudre de marbre.....	37
Conclusion.....	38

Chapitre IV : caractéristiques des matériaux

IV.1. Introduction	39
IV.2. Caractéristiques des matériaux	39
IV.2.1. Le ciment	39
IV.2.2. Eau de gâchage	41
IV.2.3. Adjuvant (superplastifiant)	41
IV.2.4. Fillers de calcaire.....	42
IV.2.5. Le sable	44
Les essais effectués pour caractériser le sable	44
a) Essai équivalent de sable	44
b) Masse volumique absolue	46
c) Masse volumique apparente	47
IV.2.6. Ajouts minéraux	48

Essai effectués sur la poudre de marbre (grains de classe 0/3)	49
a) Equivalent de sable	49
b) Masse volumique absolue	50
c) Masse volumique apparente	50
L'analyse granulométrique (pour le sable et la poudre de marbre (0/3))	51
Module de finesse	53

Chapitre V : Partie expérimentale

Introduction	55
V-1 Composition du mortier autoplaçant.	55
V-2 Conduite d'essais	57
V-2-1 Etat frais	57
V-2-1-1 Fluidité.....	57
V-2-1-2 Essai rhéologique	59
V-2-2 Etat durci	62
a) Essai de compression uniaxial	62
b) Essai de traction par flexion	63
c) Essai Ultrason	63
V-3 Substitution partielle du ciment	64
V-3-1 Résultats et interprétation de l'état frais	64
V-3-1-1 Essai de l'étalement.....	64
V-3-1-2 L'essai rhéologique.....	65
V-3-2 Résultats et interprétation de l'état durci	68
V-3-2-1 L'essai de compression uniaxiale	68
V-3-2-2 L'essai de traction par flexion	71
V-3-2-3 L'essai de l'ultrason	74
V-4 Substitution du sable	74
V-4-1 Résultats et interprétation de l'état frais (affaissement)	75
V-4-2 Résultats et interprétation de l'état durci	76
V-4-2-1 Essai de compression	76
V-4-2-2 Essai de traction par flexion	78
V-4-2-3 Test à l'Ultrason	80

Conclusion générale.....	82
Référence	84

Liste des figures :

Chapitre I : Généralités sur les bétons autoplaçants

Figure I-1 : Comparaison entre la mise en place d'un béton traditionnel et d'un BAP.....	4
Figure I-2 : Composition d'un BAP et d'un BO, Aspect à l'état frais d'un BAP et d'un BO.....	4
Figure I-3 : Le pont Akashi Kaikyo.....	5
Figure I-4 : La tour Landmark Tower.....	6
Figure I-5: dispersion des granulats par excès de pâte.....	6
Figure I-6 : Mode d'action des super-plastifiants - Défloculation des grains de ciment.....	7
Figure I-7: Phénomène de blocage des granulats au droit d'un obstacle.....	7
Figure I-8: les granulats utilisés dans le béton.....	8
Figure I-9: Les types de granulats selon leurs formes.....	9
Figure I-10: Défloculation des grains de ciment parle superplastifiant.....	12
Figure I-11 : Essai de Cône d'Abrams.....	18
Figure I-12 : Essai boîte en L.....	20
Figure I-13 : Essai stabilité au tamis.....	21
Figure I-14 : Essai d'entonnoir.....	22

Chapitre II : Les Mortiers autoplaçants

Figure II-1 : pâte d'un mortier ordinaire.....	23
Figure II-2 : Mortier autoplaçant.....	25

Chapitre III : Recyclage des déchets dans le bâtiment

Figure III-1 : Différents ajouts cimentaires.....	31
FigureIII-2 : Bois avant et après le recyclage.....	34
Figure III-3 : déchets de brique en terre cuite à recycler.....	34
Figure III- 4 : Gravats à recycler.....	34
Figure III- 5 : Les étapes de recyclage de bouteilles en verre.....	35
Figure III- 6 : Moquettes écologiques obtenues par recyclage du papier.....	35
Figure III- 7 : La ouate de cellulose (meilleur isolant thermique) obtenue par recyclage.....	35
Figure III- 8 : Fonderie d'acier.....	36
Figure III- 9 : Quelques variétés du marbre.....	36
Figure III- 10 : Quelques grains et poudre du marbre des deux carrières Tlemcen et Skikda.....	37

Chapitre IV : caractéristiques des matériaux

Figure IV-1 : le ciment.....	39
Figure IV-2 : l'eau du robinet.....	41
Figure IV-3 : les fillers du calcaire.....	43
Figure IV-4 : Le sable de rivière.	44
Figure IV-5 : agitateur manuelle.....	44
Figure IV-6 : essai équivalent de sable.....	45
Figure IV-7 : essai masse volumique absolue.....	47
Figure IV-8 : essai masse volumique apparente.....	48
Figure IV-9 :la poudre de marbre (0/3).....	48
FigureIV-10 : essai masse volumique apparente.....	50
FigureIV-11 : tamiseur électrique.....	52
Figure IV-12 : Colonne de tamis.....	52
Figure IV-13 : la courbe de l'analyse granulométrique du sable et de la poudre du marbre de classe (0/3).....	53

Chapitre V : Partie expérimentale

Figure V-1: Moules utilisés pour la confection des éprouvettes.....	56
Figure V-2 : Eprouvettes de mortier autoplaçant confectionnées.....	57
Figure V-3 : Eprouvettes conservées dans l'eau	57
Figure V-4: Conduite de l'essai d'affaissement.....	58
Figure V-5 : Le rhéomètre assisté par ordinateur.....	59
Figure V-6 : Echantillons préparés pour le 1 ^{er} essai rhéologique (Eau+Fillers+Ciment+SP).....	60
Figure V-7 : Poudre de marbre finement broyée.....	60
Figure V-8 : Conduite de l'essai rhéologique.....	61
Figure V-9 : La presse hydraulique assistée par ordinateur	62
Figure V-10 : Eprouvettes cubique soumise à la compression.....	62
Figure V-11 : Eprouvettes prismatique soumis à la traction par flexion.....	63
Figure V-12: Eprouvettes prismatique soumis à l'ultrason.....	63
Figure V.13 : Essais d'étalement sur le mortier autoplaçant frais.....	64
Figure V.14 : Fluidité des mortiers élaborés en fonction du taux de substitution du ciment.....	65
Figure V-15: Paramètres rhéologiques (contrainte de cisaillement et gradient de vitesse) des pâtes cimentaires à base de la poudre de marbre finement broyée.....	66
Figure V-16 : Comportement rhéologique des pâtes cimentaires à base de la poudre de marbre finement broyée.....	67
Figure V.17 : Etats de l'éprouvette après l'essai de compression.....	68
Figure V- 18 : Courbes contrainte-déformation en compression à 2 jours.....	68
Figure V-19 : Courbes contrainte-déformation en compression à 7 jours.....	69
Figure V- 20 : Courbes contrainte-déformation en compression à 28 jours.....	70
Figure V-21 : Evolution de la résistance à la compression des mortiers en fonction du taux de substitution de ciment à différents âges.....	70
Figure V-22 : Etat de l'éprouvette après l'essai de flexion.....	71
Figure V- 23: Courbes forces-déplacements en flexion à 2 jours.....	71
Figure V-24 : Courbes force-déplacement en flexion à 7 jours.....	72
Figure V-25 : Courbes force-déplacement en flexion à 28 jours.....	73

Figure V-26: Evolution de la résistance à la flexion des mortiers en fonction du taux de substitution du ciment à différents âges.	73
Figure V-27 : Evolution de la vitesse d'onde des différents mortiers.....	74
Figure V-28 : La galette obtenue après étalement: substitution du sable.....	75
Figure V-29 : Fluidité des mortiers élaborés en fonction du taux de substitution du sable.....	76
Figure V-30 : Courbe de résistance à la compression des mortiers à 7 jours.....	76
Figure V-31 : Courbe de résistance à la compression des mortiers obtenue à 28 jours.....	77
Figure V-32: Evolution de la résistance à la compression des mortiers en fonction du taux de substitution du sable.....	78
Figure V-33: Courbe de résistance à la flexion trois points obtenue à 7 jours.....	78
Figure V-34: Courbes force-déplacement à la flexion trois points obtenue à 28 jours.....	79
Figure V-35: Evolution de la force à la flexion des MAP en fonction du taux de substitution du sable.....	80
Figure V-36: Courbes de vitesse d'onde obtenues des différents mortiers à 2, 7 et 28 jours.....	80

Liste des tableaux :

Chapitre I : Généralités sur les bétons autoplaçants

Tableau I-1: Les composantes du CPA.....	10
Tableau I-2: Les différents types du ciment.....	11
Tableau I-3 : Rôles des principaux paramètres dans la caractérisation et la formulation des BAP.....	14
Tableau I-4 : Classification des BAP à l'état frais.....	15
Tableau I-5 : Propriétés requises des BAP à l'état frais pour chaque catégorie.....	15

Chapitre II : Les Mortiers autoplaçants

Tableau II-1: Intervalles pour chaque constituant selon la méthode Japonaise.....	29
Tableau II-2: Composition pour 1m ³ de BAP.....	30
Tableau II-3 : Composition pour 1m ³ de mortier autoplaçant.....	30

Chapitre III :Recyclage des déchets dans le bâtiment

Tableau III-1 : Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes	32
--	----

Chapitre IV : caractéristiques des matériaux

Tableau IV-1 : caractéristiques physiques.....	40
Tableau IV-2 : Composition chimique du ciment.....	40
Tableau IV-3 : Composition minéralogique.....	40
Tableau IV-4 : Résistance à la compression et à la flexion du ciment. Norme NF EN 196-1	40
Tableau IV-5 : composition chimiques du calcaire.....	43
Tableau IV-6 : composition minéralogique du calcaire.....	43
Tableau IV-7 : caractéristiques physiques du calcaire.....	43
Tableau IV-8: les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.....	46
Tableau IV-9 : Caractéristiques pétrographiques de la poudre de marbre.....	49

Tableau IV-10 : Composition minéralogique de la poudre marbre.....	49
Tableau IV-11 : Caractéristiques physico-mécaniques de la poudre de marbre.....	49
Tableau IV-12 : Caractéristiques chimiques de la poudre marbre.....	49
Tableau IV-13 : Analyse granulométrique par tamisage du sable (NF P 18-560).....	52
Tableau IV-14 : Analyse granulométrique par tamisage de la poudre du marbre (NF P 18-560).....	53

Chapitre V : Partie expérimentale

Tableau V-1 : Quantités du mortier autoplaçant pour 3 moules prismatiques et 3 moules cubiques.....	56
Tableau V-2 : Constituants préparés pour la rhéologie.....	59
Tableau V-3 : Résultats de l'essai d'étalement pour substitution de ciment.....	64
Tableau V-4 : L'essai de l'étalement pour substitution de sable.....	75

***INTRODUCTION
GENERALE***

INTRODUCTION GENERALE

La fabrication du ciment et du béton, comme c'est le cas pour de nombreux matériaux industriels, consomme une quantité considérable d'énergie, engendrant ainsi l'émission d'importantes quantités de gaz à effet de serre, ce qui contribue à l'épuisement progressif des ressources naturelles et entraîne la production de certains résidus que l'on doit éliminer. Afin d'assurer la croissance de ces matériaux de construction indispensables, l'approche du développement durable doit être intégrée à leur production, ce qui permettra d'atteindre un équilibre entre les contraintes de protection de l'environnement et les considérations économiques et sociale

Les déchets industriels ont trouvé leur place comme matériaux cimentaires dans la fabrication des bétons ou des mortiers de ciment, afin de diminuer le coût de fabrication de ces bétons et d'utiliser d'autres ressources afin de minimiser l'utilisation du sable de mer (cas du nord de l'Algérie) et aussi de minimiser l'utilisation du ciment, vu que sa fabrication reste coûteuse et polluante.

Les déchets minéraux sont actuellement utilisés dans les bétons soit comme ajouts minéraux (par substitution partielle du ciment), soit comme granulats fins ou granulats grossiers (par substitution des granulats traditionnels) afin d'améliorer certaines propriétés à l'état frais (telles que la fluidité) ou à l'état durci (telle que la durabilité des bétons).

Les bétons autoplaçants se différencient du béton ordinaire par l'utilisation de fortes quantités d'additions minérales, de superplastifiant et éventuellement, d'agent de viscosité. Ces bétons se distinguent également par leurs propriétés à l'état frais et leur mode de mise en œuvre.

Objectif de l'étude :

Les mortiers autoplaçants sont des mortiers spéciaux dont les qualités méritent d'être valorisées. En raison de leurs propriétés rhéologiques très spécifiques, leur compréhension nécessite des investigations plus approfondies.

Dans cette étude, on s'intéresse au comportement des mortiers autoplaçants qui rentre dans la composition des bétons autoplaçants. Nous avons alors étudié l'influence physico-mécanique et rhéologique de la substitution du ciment par la poudre de marbre finement broyée et la substitution du sable par la poudre de marbre en tant que granulats fin.

Organisation du travail :

Après une introduction générale, ce présent travail est subdivisé en cinq (05) chapitres :

Chapitre I : il est consacré aux généralités sur les bétons autoplaçants

Chapitre II : il s'articule autour de quelques rappels et définitions fondamentales sur les mortiers, les mortiers autoplaçants et ses composants (le sable, l'eau, les adjuvants, le ciment et les additions minérales).

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre III : ce chapitre porte sur la présentation des ajouts minéraux, des ajouts cimentaires et des matériaux recyclés, notamment les déchets de la construction et de l'environnement, et leur utilisation dans le bâtiment. Dans notre étude, nous avons utilisé les déchets de marbre.

Chapitre IV : Ce chapitre présente la caractérisation des matériaux utilisés, à savoir les caractéristiques physico-chimiques, et mécaniques des matériaux utilisés (ciment, fillers de calcaire, sable, superplastifiant, poudre de marbre).

Chapitre V : Dans cette partie on présentera les différentes expériences et essais qu'on a effectués au laboratoire à l'état frais et à l'état durci, en utilisant différentes variantes de mortiers autoplaçant (MAP) : 0,10%,20%,30% et 50% pour la partie substitution du ciment par la poudre de marbre finement broyée, et 0, 20%, 30%, 50%, 70% et 100% pour la partie substitution du sable par le sable de marbre. Par la suite, on présentera les résultats des différents essais et une interprétation des résultats obtenus.

Enfin, on conclue ce travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I :
GENERALITES SUR LES
BETONS AUTOPLAÇANTS

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES BETONS AUTOPLACANTS

I.1.Introduction :

Le béton autoplaçant (BAP) occupe une place dans le domaine du bâtiment et du Génie- Civil depuis son invention. En 1986, L'idée de produire des BAP est apparue pour la première fois au Japon, où Okamura a proposé l'utilisation des BAP après avoir effectué une étude fondamentale sur la fluidité du béton et avoir développé un mélange fortement liquide qui a une grande déformabilité. Depuis, le Japon fût pionnier dans le développement de cette nouvelle technique [01].

En 1988, les premiers prototypes pratiques du BAP ont été produits en utilisant des matériaux déjà disponibles sur le marché. Afin de satisfaire les conditions habituellement contradictoires (déformabilité et résistance à la ségrégation), on a fait appel à la technique des bétons coulés sous l'eau. En effet, la première génération des BAP est formulée de la même manière que les bétons destinés aux structures submergées, mais avec une viscosité plus faible et donc une maniabilité plus élevée. Ensuite, en 1996, les pays européens ont commencé à formuler ces bétons et les utiliser dans la construction des ponts, des murs et des tunnels [02].

Et en 2003, les instituts de production et de la préfabrication américaine ont pu définir les BAP comme: [03]

- Un béton fluide et non ségrégeable qui peut remplir le coffrage sans consolidation.
- Un béton fortement réalisable pour les structures complexes.
- Un béton qui tient son homogénéité dans n'importe quel type de coffrage.

L'utilisation des BAP a permis l'élimination d'énormes problèmes de mise en œuvre tels que la vibration, le blocage et la ségrégation.

Ce premier chapitre comporte des généralités sur les bétons autoplaçant, il traitera le concept et la caractérisations des BAP.

I.2.Définition des bétons autoplaçants :

Le béton autoplaçant est défini selon l'Annexe Nationale NA de la norme SN EN 206-1 comme suit: Le béton frais est appelé autoplaçant lorsqu'il se compacte suffisamment grâce à son poids propre tout en ne présentant pas de ségrégation.

Le BAP est un béton très fluide, homogène et stable sa mise en œuvre s'effectue sans vibration mécanique, il est principalement caractérisé par son comportement à l'état frais tel que la fluidité élevée (décrite par l'essai d'étalement) et la résistance suffisante à la ségrégation (la stabilité).

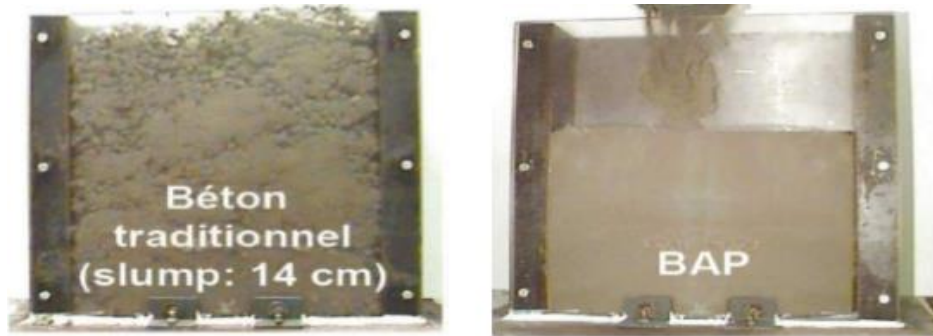


Figure I-1 : Comparaison entre la mise en place d'un béton traditionnel et d'un BAP

La formulation des BAP se différencie par rapport à celle du béton ordinaire. En effet, les BAP possèdent un même dosage en ciment et en eau que les bétons ordinaires (BO), ainsi qu'un volume de sable assez proche. C'est donc principalement l'ajout d'une addition qui sert de substitut aux gravillons. Les proportions exactes de chaque constituant dépendent de la méthode de formulation choisie.

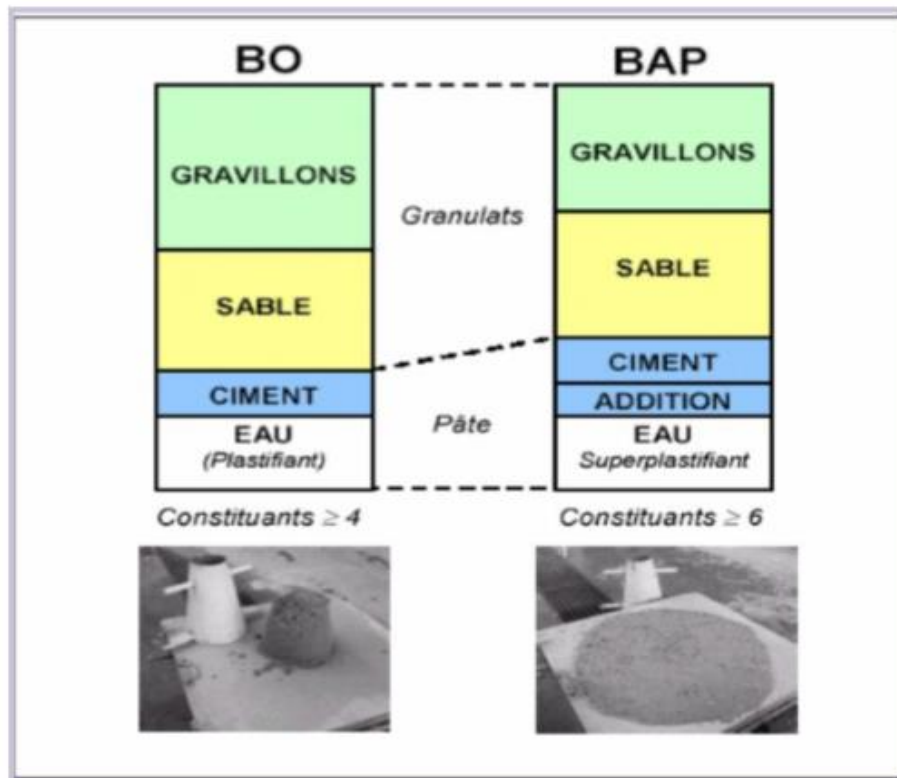


Figure I-2 : Composition et aspect d'un BAP et d'un BO.

I.3. Avantages des BAP :

Les BAP peuvent être considérés comme des matériaux de construction innovants qui offrent beaucoup d'avantages par rapport aux autres bétons, parmi ces avantages on peut citer [04]:

- ✓ Mise en œuvre sans vibration qui réduit les nuisances sonores ;

- ✓ Réduction du coût de la main d'œuvre ;
- ✓ Durée de construction plus courte ;
- ✓ Une diminution de risque de fissuration ;
- ✓ Bétonnage de zones fortement ferrillées et à géométrie complexe ;
- ✓ Une pénibilité réduite pour les maçons ;
- ✓ Coulage de murs verticaux de grande hauteur;
- ✓ Des aspects de surface d'une bonne régularité.

Malgré tous ces avantages, les BAP présentent aussi certains inconvénients :

- ✓ Augmentation du coût des matières premières (additions, adjuvants) ;
- ✓ Modifications des outils de fabrication (outils de mise en place).

I.4 Domaines d'utilisation des BAP :

Aujourd'hui, l'utilisation des BAP se développe dans le domaine de la construction, parmi ses utilisations on trouve :

- Constructions, renforcement et réparation d'ouvrages d'art ;
- Construction d'éléments préfabrication à haute résistance ;
- Moulage et mise au point de béton pour toute utilisation.

Le BAP est aussi une solution bien adaptée pour tous types de dalles, y compris les dalles de compression sur poutrelles, radiers, voiles, poteaux, poutres, plancher, dalles pleines ...etc.

A titre d'exemple, nous citons quelques réalisations avec les BAP:

- Le pont Akashi Kaikyo (figure I.1), le plus long pont suspendu au monde (3910 m de longueur) où 390 000 tonne de béton autoplaçant ont été versés dans les coffrages des fondations et des piliers très congestionnés sans vibration. [05]



Figure I-3 : Le pont Akashi Kaikyo [05].

- La tour Landmark Tower (Figure I-4), où un béton autoplaçant d'une excellente déformabilité a été mis en place avec succès dans 66 colonnes de 40 m de hauteur chacune [06].



Figure I-4 : La tour Landmark Tower (Yokohama, près de Tokyo) [06].

I.5.Particularités de la composition des BAP :

Il existe plusieurs méthodes de formulations des BAP qui diffèrent légèrement entre elles tout en gardant ses caractéristiques (stabilité, fluidité, ...). Pour cela, il est nécessaire d'ajouter un agent de viscosité, d'augmenter la quantité des ajouts minéraux, et de choisir des teneurs appropriées de sable et de granulats.

I.5.1. Un volume de pâte élevé :

En considérant le béton comme un mélange de pâte et de granulats, il existe une quantité de pâte minimum nécessaire au remplissage des interstices entre les granulats. La quantité de pâte supplémentaire provoque une certaine dispersion des granulats, limitant ainsi les frottements intergranulaires et confère au matériau sa fluidité. Le rôle de la pâte (ciment +additions +eau +air) est d'écarter les granulats, son volume dans le BAP est donc élevé (330 à 400 l/m³) [07].

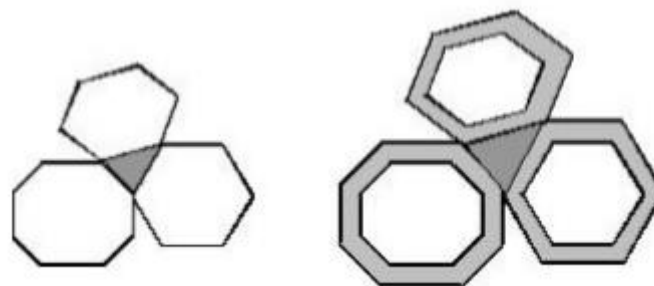


Figure I-5: dispersion des granulats par excès de pâte

I.5.2. Une quantité de fines élevée :

Les compositions de BAP comporte une quantité de fines très importante (qui peut atteindre environ 500kg/m^3) pour limiter les risques de ressuage et de ségrégation. L'introduction d'additions minérales entraîne une modification de la porosité dans la matrice cimentaire et influence les caractéristiques mécaniques du béton.

Les fines les plus utilisées sont [08]:

- les fillers siliceux ;
- les fillers calcaires (calcite, dolomite)
- les fumées de silice ;
- les cendres volantes ;
- les laitiers de haut fourneau.

I.5.3. L'utilisation de superplastifiants :

Afin de modifier la fluidité d'un BAP il est nécessaire d'utiliser un superplastifiant, ce dernier augmente l'ouvrabilité du béton mais réduit sa viscosité. De ce fait, le matériau devient moins stable du point de vue de la ségrégation et du ressuage [07]. Les superplastifiants interagissent avec les particules du ciment et des fines en s'adsorbant à leur surface pour diminuer le phénomène de floculation au contact de l'eau. Ainsi, les particules sont dispersées par combinaison d'effets électrostatiques et stériques et la proportion d'eau libre est plus importante. [09]



Figure I-6 : Mode d'action des superplastifiants - Défloculation des grains de ciment

I.5.4. Un faible volume de gravillons :

Les BAP peuvent être formulés avec des granulats roulés ou concassés. Cependant, comme nous l'avons vu précédemment, il faut limiter le volume des granulats car Lors de l'écoulement du béton dans des zones confinées, les gros granulats ont tendance à bloquer le passage et à interrompre l'écoulement du béton. Pour diminuer le risque de blocage, on opte pour des granulats de diamètre inférieur à 20 mm (le diamètre maximal doit être compris entre 10 et 20 mm). Pour les BAP le rapport massique gravier /sable(G/S) est proche de 1 qui peut être corrigé suivant le confinement de la structure étudiée [07].

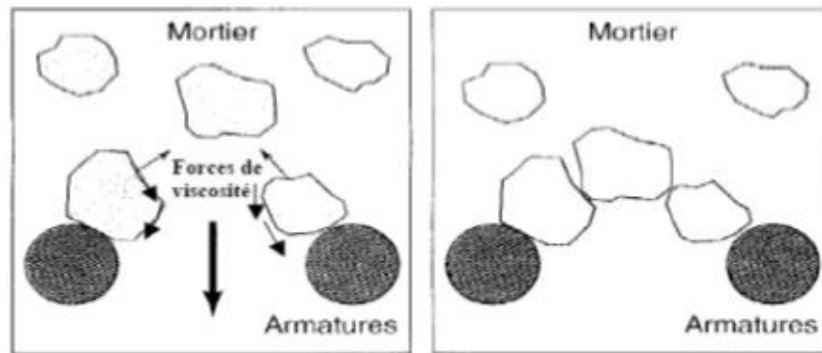


Figure I-7: Phénomène de blocage des granulats au droit d'un obstacle

I.5.5. Utilisation éventuelle d'un rétenteur d'eau dit agent de viscosité :

L'ajout d'un superplastifiant ayant pour effet d'augmenter l'ouvrabilité du béton mais également de réduire sa viscosité, afin de minimiser ce dernier point, les BAP contiennent souvent un agent de viscosité. Ce sont généralement des dérivés cellulosiques, des polysaccharides ou des suspensions colloïdales, qui augmentent la viscosité de béton. Ils ont pour but d'empêcher le ressuage et les risques de ségrégation en rendant la pâte plus épaisse. Les adjuvants semblent utiles pour des bétons ayant des rapports Eau/Liant (E/L) élevés, mais leur utilisation ne se justifie pas pour des BAP ayant le rapport eau/liant ($E/L < 0.3$) faibles [09].

I.6. Composants des BAP :

Toute formulation d'un béton est basée sur 3 constituants principaux (le ciment, les granulats et l'eau), si l'un de ces derniers n'est pas présent, le béton n'existerait pas. Par contre les bétons autoplaçants ont deux constituants supplémentaires (adjuvants et additions minérales) qu'on ajoute à la composition de base du béton.

I.6.1. Les granulats :



Gravier



Sable

Figure I-8: les granulats utilisés dans le béton

Le sable, les graviers ou cailloux constituent le squelette du béton. Selon leurs origines, on distingue des granulats roulés extraits de ballastière (ou sablière) naturelles ou dragués en rivière ou en mer, et concassés obtenus à partir des roches exploitées en carrière [10].

Les BAP sont réalisés avec des granulats roulés ou concassés, toutefois, comme pour un béton ordinaire, la forme des granulats a une influence sur le comportement rhéologique. Le coefficient de frottement est plus faible entre les granulats roulés qu'entre les granulats concassés [07]. Afin d'empêcher tout risque de blocage lors du coulage, on limite, en général, le diamètre maximal des granulats est égal à 16 mm ; le rapport G/S est de l'ordre 1.



Granulats roulés



Granulats concassés

Figure I-9: Les types de granulats selon leurs formes.

Le choix d'une granularité continue appropriée est très important, étant donné la forte incidence du volume des vides sur la quantité nécessaire de pâte de ciment, on distingue donc plusieurs catégories des granulats [10]:

- **La catégorie A:** elle correspond aux granulats destinés à la confection du béton de qualité tels que ceux destinés à la construction d'ouvrages d'art ou de bâtiments pour lesquels la résistance caractéristique est supérieure ou égale à 35 MPa ; éventuellement certaines caractéristiques des catégories B ou C étant tolérées.

- **Les granulats de catégorie B:** ils sont destinés pour de bons bétons ainsi qu'à ceux pouvant être situés dans un environnement agressif, à condition que leur coefficient d'absorption respecte les spécifications imposées aux granulats de catégorie A.

- **Les granulats de catégorie C et D:** ils conviennent pour les bétons courants à condition, dans le cas d'utilisation de granulat D, que seuls deux de leurs caractéristiques soient présentés et que les autres correspondent à celle de catégories supérieures, faute de quoi ils ne doivent pas être utilisés dans la confection courante de béton.

I.6.2. Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique qui durcit sous l'action de l'eau, utilisé dans la préparation du béton, et aujourd'hui le plus souvent employé dans la confection des dallages, des parpaings, des enduits et des mortiers. Les ciments les plus utilisés dans le domaine de génie civil sont les ciments à base de clinker Portland, produit obtenu par la cuisson d'un mélange de calcaire et d'argile à 1450° C. Les ciments sont actuellement classés sous la dénomination « CEM » suivi d'un chiffre romain allant de I à V, suivi d'une lettre majuscule en fonction de

leur teneur en clinker et d'autres composants (chaux, fumées de silice, pouzzolane, laitier de hauts fourneaux, ...). Le durcissement du ciment est principalement dû à l'hydratation du silicate tricalcique Un composant majeur du clinker [09]. C'est le constituant fondamental du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide.

I.6.2.a. Les principaux constituants du ciment portland :

Composé	Composition	Abréviation
- Le silicate tricalcique	3CaOSiO_2	C_3S
-Le silicate bicalcique	2CaOSiO_2	C_2S
-L'aluminate tricalcique	3CaOSiO_2	C_3A
-Leferroaluminate tetracalcique	$4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_2$	C_4AF

Tableau I-1: Les composantes du CPA [11].

I.6.2.b. Les différents types du ciment :

Le tableau suivant résume les différents types du ciment selon leurs teneurs en clinker et les autres constituants :

Désignations	Types de Ciments	Teneur en Clinker	Teneur En % des autres constituants
CPA-CEM1	Ciment portland	95 à 100%	
-CPJ- CEM II/A	Ciment portland composé	-80 à 94%	-de 6 à 20% de l'un quelconque des constituants, Sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10%
-CPJ-CEM II/B		-65 à 79%	-de 21 à 35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus
-CHF-CEM III/A	Ciment de haut-fourneau	-35 à 64%	-36 à 65% de laitier haut-fourneau
-CHF-CEM III/B		-20 à 34%	-66 à 80% de laitier de haut-fourneau
-CLK-CEM III/C		-5 à 19%	-81 à 95% de laitier de haut-fourneau
-CPZ-CEM IV/A	Ciment pouzzolanique	-65 à 90%	-10 à 35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces derniers étant limités à 10%.
-CPZ-CEM IV/B		-45 à 64%	-36 à 55 % comme ci –dessus
-CLC-CEM V/A	Ciment au laitier et aux cendres	-40 à 64%	-18 à 30% de laitier de haut-fourneau et 18 à30 % de cendres siliceuses ou de pouzzolanes
-CLC-CEM V/B		-20 à 39%	-31 à50% de chacun des 2 constituants comme ci-dessus

Tableau I-2: Les différents types du ciment [10].

I.6.3. L'eau :

L'eau joue un rôle dans la composition du béton, c'est d'elle que dépendent en grande partie la cohésion et la résistance de ce matériau de construction omniprésent. Associée au ciment, 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. Ce constituant peut en influencer la qualité du béton, en fonction de sa qualité et quantité, pour cela elle ne doit pas contenir de matière de suspension au-delà des tolérances réglementaires [10]: 2 g/l pour les bétons à haute résistance, 5 g/l pour les bétons à faible résistance.

I.6.4. L'emploi de superplastifiant :

Un superplastifiant ou haut réducteur d'eau est un adjuvant pour matériaux cimentaires tels que les coulis, les mortiers de ciment et les bétons. On l'utilise afin de réduire la quantité d'eau qu'ils contiennent à l'état frais et ainsi augmenter leur résistance mécanique à l'état durci. Quand on introduit un superplastifiant dans un mélange son action sera suivant 03 mécanismes [12]:

- Une partie est adsorbée,
- Une partie est consommée par les réactions avec les hydrates,
- Une partie en excès reste en solution.

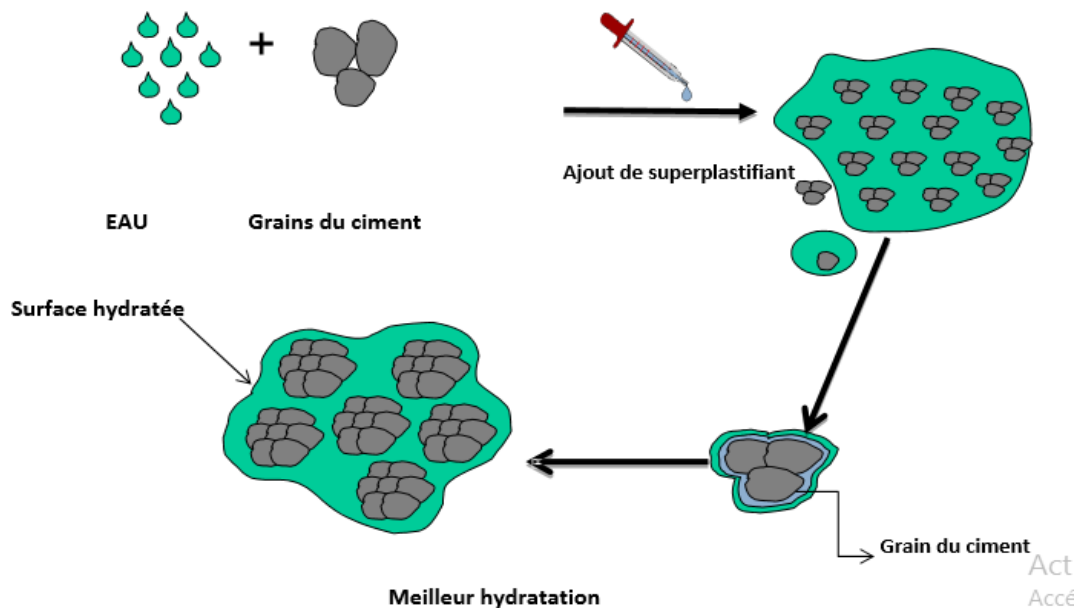


Figure I-10: Déglocculation des grains de ciment par le superplastifiant

I.6.5.L'agent de viscosité:

Les agents de viscosité ce sont généralement des dérivés celluloses des polysaccharides, des colloïdes naturels ou des suspensions de particules siliceuses qui interagissent avec l'eau et augmentent sa viscosité. Leur but est d'empêcher le ressuage et le risque de ségrégation en rendant la pâte plus visqueuse et en conservant une répartition homogène des différents constituants de béton [12].

Les agents viscosants sont des polymères qui ont été développées pour éviter le «délavement» à l'état frais des bétons coulés sous l'eau. Ils sont de différentes natures et peuvent être classés selon 3 catégories en fonction de leurs mécanismes d'action [13]:

- **Adsorption** : La longue chaîne de polymère adhère à la périphérie des molécules d'eau. Cela a pour effet d'adsorber et de fixer une partie de l'eau d'ajout. Il y a augmentation de la viscosité d'ajout et donc de la pâte de ciment.
- **Association** : Les molécules au contact de la chaîne de polymère développent des forces d'attraction. Le mouvement de l'eau est ainsi bloqué par la création d'un gel et sa viscosité est augmentée.

- **Entrelacement** : Pour un faible taux de cisaillement et particulièrement pour une forte concentration, la chaîne des polymères peut s'entrelacer et s'enchevêtrer ce qui augmente la viscosité apparente. L'enchevêtrement peut se délier lorsque la vitesse de cisaillement augmente. La chaîne de polymère s'oriente alors dans le sens de l'écoulement ce qui diminue la viscosité apparente.

I.6.6 Les additions minérales :

Les additions minérales sont des produits qui ont des dimensions inférieures à 80µm, récupérer des déchets des centrales thermiques ou pulvérisation des certaines roches par broyage. Pour l'amélioration de rhéologiques des BAP, l'addition des fines inertes ou réactives est nécessaire, ainsi que leurs présences peut remplacer une quantité de ciment dans la formulation et réduit la chaleur d'hydratation ce qui réduit le retrait endogène [14].

a) Les fillers :

Les fillers sont largement utilisés dans les bétons autoplaçant. Ils sont élaborés à partir de matériaux calcaires, de dolomites ou de calcites finement écrasés. Ce sont de bons correcteurs de courbes granulométriques utilisés aussi pour augmenter la quantité de fines. La taille dans une gamme inférieure à 0,125mm sera un très grand avantage [14]. Le filler calcaire intervient dans la rhéologie des pâtes de ciment par sa granularité et sa réactivité chimique. Il forme avec la pâte de ciment une liaison qui améliore les résistances mécaniques par comparaison à l'effet d'un filler inerte comme le quartz.

b) Les fumées de silice :

Les fumées de silice sont des poudres de silice extrêmement fines (inférieure au 1 µm). Ce sont des sous-produits de fabrication du silicium et de ses alliages. Les propriétés des fumées de silice sont assez variées. La fumée de silice conforme à la norme (EN 12-263), elles fournissent de très bonnes propriétés aussi bien au niveau de la rhéologie qu'au niveau des propriétés mécaniques et chimiques, tout en améliorant la durabilité du béton [12].

Selon la norme NF P 18-502 « fumées de silice » : on distingue deux classes A et B les fumées de silice de classe A étant les plus riches en silice et les plus fines. Compte tenu de leur très grande finesse et de leur très grande réactivité avec la portlandite libérée par l'hydratation du ciment, la proportion des fumées de silices est limitée à 10% du poids de ciment. Leur emploi est réservé aux bétons contenant un superplastifiant [15].

c) Cendres volantes :

Les cendres volantes sont des produits de grande finesse résultant de la combustion en centrale thermique, de minéraux solides. C'est un matériau inorganique fin qui a des propriétés pouzzolanique à long terme. L'ajout de cendre volante réduit le risque de fissuration due à l'élévation de température lors de l'hydratation du ciment. Plusieurs recherches ont montré que l'usage de cendre volante dans les BAP améliore les propriétés rhéologiques et donc réduit le dosage en superplastifiant utile à l'obtention d'un étalement similaire à celui d'un BAP sans ajouts [14].

d) Le laitier des hauts fourneaux :

Le laitier de hauts fourneaux est généralement broyé et ajouté en quantité variables au clinker, le laitier améliore les propriétés rhéologiques des matériaux cimentaires et aussi augmenté les performances mécaniques et la durabilité du béton. Le remplacement d'une partie du ciment par des laitiers de hauts fourneaux permet de diminuer le seuil et la viscosité des pâtes de ciment [16].

Ce présent tableau contient un récapitulatif sur les rôles des constituants influents dans la formulation des BAP, ainsi que l'influence des paramètres principaux sur les caractéristiques des BAP :

Constituants et paramètres principaux	Rôles principaux dans la formulation
Eau (E)	Fluidité et hydratation (lié à la concentration volumique en solides et au rapport E/C)
Ciment (C)	Liant (lié à la concentration volumique en solides et au rapport E/C)
Concentration volumique en solides	Encombrement, plus de frictions entre les particules
Granulats	Réduction du coût du béton, performances mécaniques variables selon le type
Additions minérales	Optimisation du squelette granulaire du béton, avantages environnementaux et économiques
Filler calcaire (F)	Amélioration de l'écoulement au-dessous du dosage critique
Superplastifiant (sp)	Déflocculation, dispersion des particules de ciment
Agents de viscosité (AV)	Résistance à la ségrégation, cohésion

Tableau I-3 :Rôles des principaux paramètres dans la caractérisation et la formulation des BAP.

I.7. Classifications des BAP :

La notion de classification des BAP est apparue tardivement et constitue pourtant un paramètre essentiel du développement de ces bétons. La classification des BAP est basé sur plusieurs critères : la valeur de l'intervalle d'écoulement, le type d'application (horizontal ou vertical) et l'épaisseur (dans le cas d'application horizontale). On distingue donc trois catégories :

- **Catégorie 1** : il s'agit des ouvrages horizontaux de faible épaisseur (planchers, dallages) pour lesquels le ferrailage est léger et le béton peut être facilement réparti sur toute la surface
- **Catégorie 2** : elle couvre les ouvrages horizontaux épais pour lesquels les risques de ségrégation statique sont importants, et les ouvrages verticaux courants (on exclut le cas des ouvrages à très forte densité de ferrailage) ;
- **Catégorie 3** : ce sont les ouvrages exigus ou très fortement ferrillés (pour lesquels l'écoulement du béton dans le coffrage est le plus difficile).

Les deux tableaux suivants montrent respectivement les critères de classifications pour les BAP et les propriétés requises à l'état frais par chaque catégorie [17,18]:

		Application Horizontale				Application verticale	
		Epaisseur ≤ 300 mm		Epaisseur > 300 mm			
Longueur max. de cheminement		≤ 5 m	5 – 10m	≤ 5 m	5 – 10m	≤ 5 m	5 – 10m
Intervalle d'écoulement	$I \geq 100$	1		2a	2b	2a	2b
	$80 \leq I < 100$	2a	2b	2a	2b	2a	2b
	$I < 80$	3a	3b	3a	3b	2a	3b

Tableau I-4 : Classification des BAP à l'état frais

	Cat. 1	Cat.2a	Cat. 2b	Cat. 3a	Cat. 3b
Valeur au tamis	20%	20%	15%	15%	10%
Valeur max. à la boîte en L	Pas prescription particulière	0.8 avec 2 barres	0.8 avec 2 barres	0.8 avec 3 barres	0.8 avec 3 barres

Tableau I-5 : Propriétés requises des BAP à l'état frais pour chaque catégorie

I.8. Méthodes de formulation des BAP :

De multiples approches se sont développées à travers le monde pour la formulation d'un BAP. Dans ce qui suit, un exposé général sur les approches principales :

I.8.1. Approche japonaise :

En général, cette approche consiste d'abord à fixer le dosage de gravier dans le béton et celui du sable dans le mortier, ensuite de procéder à l'optimisation de la pâte de ciment afin de donner au béton résultant les meilleures performances et pour satisfaire les critères d'ouvrabilité.

Le principe de cette méthode est basé sur les points suivants [19]:

- **Dosage des gravillons:** Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1 m³ de béton est limité à la moitié de sa compacité,
- **Dosage du sable:** Le volume du sable est posé forfaitairement à 40 % du volume de mortier du béton. La fluidité du béton est garantie par la réduction des frictions granulaires,
- **Dosage du liant:** La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes,
- Les rapports massiques eau sur ciment (E/C) et filler sur ciment (F/C) peuvent également être choisis sur des critères de résistance,
- **Dosage de l'eau et du super plastifiant :** Les dosages en eau et en super plastifiant sont déterminés au moyen d'essais sur mortiers, dont le volume de sable est fixé à 40

%. On réalise des mesures d'étalement avec un cône à mortier et des mesures d'écoulement à l'entonnoir.

I.8.2 Approche suédoise (CBI) :

La méthode de formulation suédoise est développée par CBI (Cement och Betong Institutet), cette approche est basée sur la méthode japonaise citée ci-dessus et elle se caractérise par la prise en compte des conditions des chantiers. En effet, cette approche est basée sur l'évaluation des risques de blocage des granulats dans les milieux ferraillés. Elle permet d'optimiser la taille maximale des granulats par rapport à l'espacement entre les armatures, et le volume des granulats dans le béton [20].

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. Le rapport E/C de la pâte et le type du ciment sont choisis en fonction de la gamme de résistance visée. Le dosage du superplastifiant est optimisé pour un écoulement autoplaçant caractérisé essentiellement par les essais d'étalement. Cette méthode propose une meilleure optimisation du squelette granulaire, pour tout type de granulat.

I.8.3. Approche française LCPC :

Cette méthode française est basée sur un modèle mathématique qui a été développé à partir d'un modèle de suspension solide, ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre les différents constituants du mélange.

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

- La proportion de liant est fixée a priori (70% de ciment , 30% d'addition par exemple),
- Le dosage, à saturation, du superplastifiant est déterminé. Selon l'expérience du LCPC, ce dosage pourrait conférer au béton une viscosité élevée, la moitié de ce dosage serait plus pertinente,
- Le besoin en eau de ce mélange (en présence du superplastifiant) est déterminé,
- Les calculs sont effectués avec le logiciel en tenant compte du confinement (effet de paroi).

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 superplastifiant est ajusté également afin d'obtenir la valeur d'étalement et le seuil de cisaillement souhaités et par conséquent les propriétés requises pour le béton autoplaçant sont atteintes [21].

Il existe d'autres méthodes de formulation du béton autoplaçant à part ces trois approches citées ci-dessus [22]:

a) Formulation par volume de pâte minimal :

Dans cette méthode le béton est considéré comme un matériau biphasique, une phase solide constitué par les granulats et une phase liquide qui est la pâte (eau, liant, adjuvants).

Les chercheurs supposent que la pâte joue deux rôles principaux dans un BAP : D'une part, elle assure la fluidité du mélange, ce qui limite les frottements entre les granulats, d'autre part elle écarte les gravillons pour éviter le phénomène de blocage. Pour assurer ces deux rôles les chercheurs jugent qu'il doit exister un volume minimum de pâte.

b) Formulation par optimisation du squelette granulaire :

Sachant que la résistance à la compression augmente avec la compacité de la pâte et que l'ouvrabilité est tributaire de l'arrangement du squelette granulaire. La formulation des bétons est basée sur l'optimisation de la porosité du système, en prenant en considération tous les grains solides, du ciment aux gravillons. Si la phase interstitielle est l'eau de gâchage, et non plus la pâte. Plus la quantité d'eau qui écarte les grains est importante, plus la suspension est fluide. A quantité d'eau constante, si on minimise la porosité de l'empilement de grains, on optimise en conséquence le volume d'eau disponible pour fluidifier le mélange. Cet exemple simple montre donc le lien entre compacité et rhéologie.

c) Méthode basée sur un plan d'expérience :

Le principe de cette méthode est l'utilisation d'un plan d'expérience pour connaître l'effet des paramètres de composition du béton. Une étude est faite avec les facteurs suivants : le volume de gravillons, la masse de fines (C+A), le rapport massique eau sur fines $E/(C+A)$, la masse de superplastifiant et la masse d'agent de viscosité. Chaque facteur est varié sur une plage comportant cinq points, ce qui élève le nombre de compositions effectuées à 25. Au final, les modèles obtenus sont fournis avec les résultats des essais, notamment l'étalement et le taux de remplissage, en fonction des différents facteurs. Même si ces modèles ne sont exploitables que pour les constituants utilisés dans l'étude, cette approche fournit surtout un support pour corriger une formule ne répondant pas, par exemple, aux critères de l'AFGC.

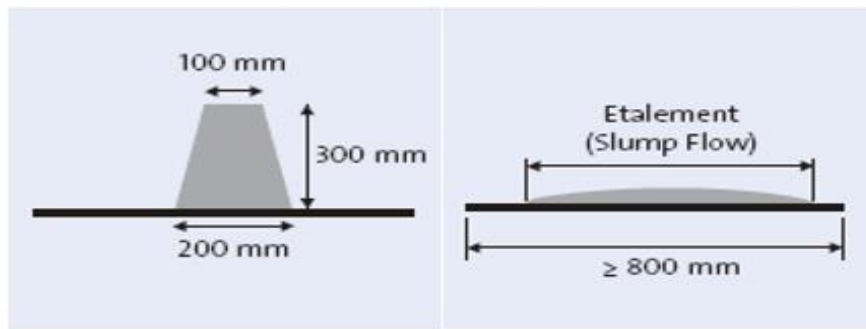
d) Approche basée sur l'utilisation du mortier du béton équivalent MBE :

L'approche du Mortier de béton Equivalent (MBE) a été initialement développé au CTG (Guerville, France) pour faciliter la sélection des adjuvants de la formulation d'un béton, en utilisant des tests sur mortier au lieu de teste sur béton. En fonction des essais préalable réalisés, les résultats obtenus peuvent être utilisés de façon qualitative ou quantitative. L'expérience accumulée au cours des dernières années dans de nombreuses applications industrielles a confirmé la validité de cette méthode. Cependant, l'ensemble de ces exemples concernait des bétons d'ouvrabilité classique.

I.9. Essais de caractérisation des BAP à l'état frais :

I.9.1. Essai d'étalement :

L'essai d'étalement au cône permet de mesurer la consistance d'un béton.

✓ **Appareillage : [23]****Figure I-11** : Essai du Cône d'Abrams.

- Table d'étalement : table mobile, comportant un plateau plan et carré d'au moins 900 mm de côté, qui est destiné à recevoir le béton. Le plateau de la table d'étalement doit être recouvert d'une plaque en acier inoxydable, d'une épaisseur minimale de 2 mm, non attaquable par la pâte de ciment. Le plateau doit être conçu de façon à éviter toute déformation de la plaque en inox. Le centre de la table doit être marqué de deux cercles concentriques centrés de (210 ± 1) mm et de (500 ± 1) mm de diamètre.

- Cône d'Abrams: moule en métal non directement attaquable par la pâte de ciment, d'une épaisseur min. de 1,5 mm. Le moule doit avoir la forme d'un tronc de cône creux aux dimensions intérieures suivantes :

Diamètre de la base : (200 ± 2) mm ;

Diamètre du sommet : (100 ± 2) mm ;

Hauteur : (300 ± 2) mm.

- Entonnoir, en matériau non absorbant et non directement attaquable par la pâte de ciment, ayant un collier permettant à l'entonnoir d'être placé correctement sur le cône d'Abrams spécifié ci-dessus. - Règle, graduée de 0 à 900 mm.

- Seau d'une capacité minimale de 10 litres et muni d'un bec verseur.

- Truelle.

- Chiffon humide.

✓ **Mode opératoire : [24]**

- Humidifier la surface de la plaque ainsi que le cône d'Abrams,

- Placer et centrer le cône d'Abrams sur le plateau,

- Prélever un échantillon de béton représentatif à l'aide d'un seau,

- Equiper la partie supérieure du cône de l'entonnoir. Remplir le cône en déversant de manière continue, à l'aide du seau, jusqu'à l'arase supérieure du cône,

- Retirer l'entonnoir, araser si nécessaire à l'aide d'une truelle et nettoyer la plaque si nécessaire avec un chiffon humide,

- Soulever le cône verticalement. L'enlèvement du moule doit se faire, par une remontée

verticale régulière sans imprimer au béton un mouvement latéral ou de torsion, en maximum 5s.

- Une fois que le béton s'est étalé sur la table, mesurer l'étalement selon deux diamètres perpendiculaires,
- Noter ces deux valeurs D1 et D2,
- Exprimer le résultat final en terme de moyenne des deux valeurs obtenues.

I.9.2. Essai de la boîte en L :

Écoulement en milieu confiné :

La cohésion du béton, sa mobilité en milieu confiné et son aptitude à traverser une zone fortement armée peut se mesurer avec l'essai de la boîte en forme de L. Cet essai permet de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des blocages de granulats en amont des armatures [25].

Le principe de l'essai est le suivant :

- La partie verticale est entièrement remplie de béton.
- On laisse reposer pendant une minute puis on lève la trappe (représentant les armatures en aciers du béton armé) et on laisse le béton s'écouler à travers le ferrailage.
- Lorsque le béton ne s'écoule plus dans la partie horizontale, on mesure le rapport des hauteurs H_1 et H_2 .

A la fin de l'écoulement du béton, les rapports H_2/H_1 doit être supérieur à 0,8 pour les bétons autoplaçant (selon le groupe de l'Association Française de Génie-Civil).

Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferrailage et qu'il se produit un amoncellement de granulats en aval de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation, il convient donc de diminuer le rapport G/S (augmenter la quantité de sable, ou diminuer celle des graviers), ou d'augmenter le volume de la pâte en maintenant le rapport E/C constant [05].

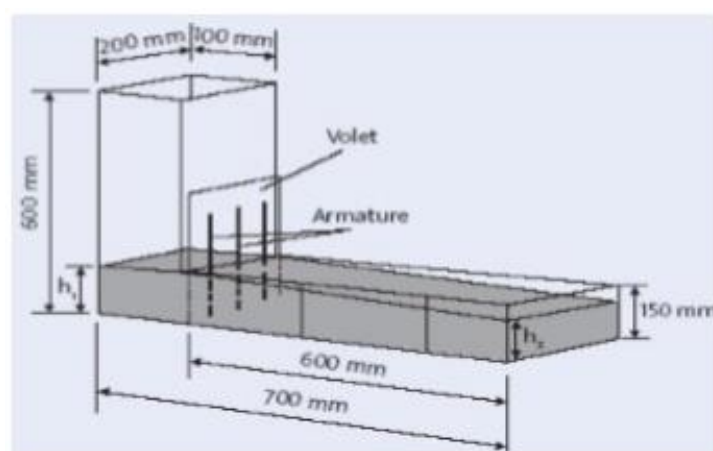


Figure I-12 : Essai de la boîte en L.

I.9.3. Essai de stabilité des tamis [24]:

L'essai de stabilité au tamis vise à qualifier les bétons vis-à-vis du risque de ségrégation.

✓ Appareillage:

- Seau de 10 l muni d'un bec verseur + couvercle.
- Tamis (toile à mailles carrées) 5 mm, diamètre de 315 mm + fond.
- Bascule : précision minimale 20 g, portée minimale 20 kg
- Minuterie ou horloge capable de mesurer à 1 s près.
- Main-écope.

Mode opératoire :

- Prélever un échantillon de béton représentatif. Le prélèvement est réalisé à l'aide d'un seau directement à la goulotte du mixer. Le seau doit être rempli à raison d'au minimum 9 litres de béton. S'il y a lieu d'utiliser une brouette, l'échantillon global doit être ré-homogénéisé à la main-écope avant de constituer l'échantillon réduit (remplissage du seau).
- Couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation.
- Attendre 15 minutes.
- Peser le fond seul.
- Peser le fond et le tamis à vide.
- Faire la tare.
- Observer et noter l'éventuelle présence d'eau claire de ressuage à la surface du seau après les 15 minutes.
- Verser sur le tamis une quantité de béton égale à $(4,8 \pm 0,2)$ kg ; verser ce béton au centre du tamis : hauteur de chute du béton de $50 \text{ cm} \pm 5 \text{ cm}$.
- Noter immédiatement la masse réelle de l'échantillon de béton versé sur le tamis. $P_{\text{échantillon}}$
- Attendre 2 minutes.
- Retirer le tamis ainsi que le fond et remettre la balance à zéro.
- Peser le fond avec la laitance : $P_{\text{fond}} + P_{\text{laitance}}$
- Déterminer $P_{\text{laitance}} = P_{\text{fond}} + P_{\text{laitance}} - P_{\text{fond}}$
- Calculer le pourcentage en masse de laitance par rapport à la masse de l'échantillon :
$$\Pi = (P_{\text{laitance}} / P_{\text{échantillon}}) \times 100$$

Le résultat est arrondi à l'entier le plus proche.

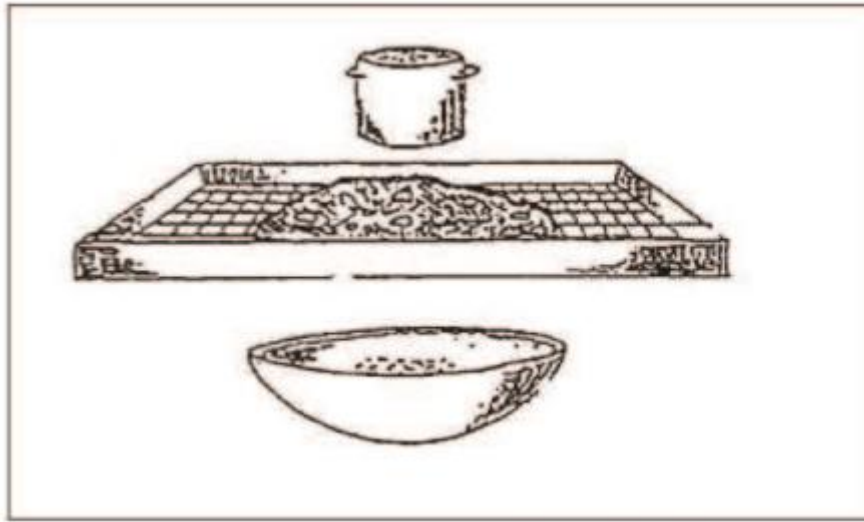


Figure I-13 : Essai de stabilité au tamis

I.9.4. Essai d'entonnoir (V-Funnel) :

La procédure d'essai avec l'entonnoir est la suivante: l'entonnoir dont les dimensions sont définies à la figure 20, est rempli de béton jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, ce qui provoque l'écoulement du béton, dont on mesure le temps nécessaire jusqu'à ce que l'entonnoir se soit entièrement vidé. Dans la littérature scientifique, ce temps d'écoulement est souvent le critère utilisé pour définir la viscosité du BAP. 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 recommandé pour le béton BAP. [26]

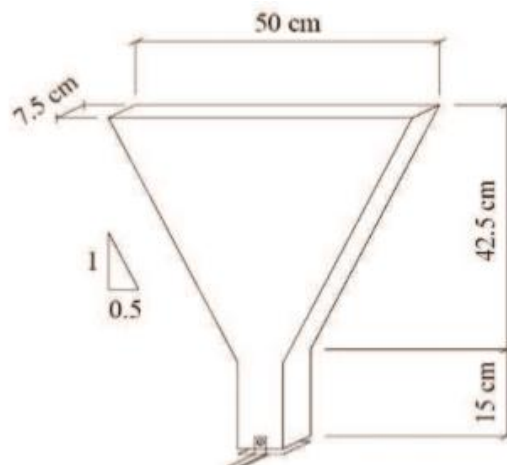


Figure I-14 : Essai d'entonnoir.

Le guide Européen sur les BAP fournit une classification des BAP selon le type d'application et le temps de passage au V- Funnel [26]. Deux classes sont alors définies :

- Classe VF1 : temps d'écoulement $\leq 8s$,
- Classe VF2 : temps d'écoulement $\geq 9s$ et $\leq 25s$

Conclusion :

Les BAP affirment leurs performances au fil des réalisations sur chantiers et en usines de préfabrication, ils s'imposent progressivement et remplaceront dans les prochaines années pour un grand nombre d'applications les bétons mis en œuvre par vibration.

Les BAP sont la réponse à l'évolution [25]:

- Des exigences techniques et esthétiques des maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre et des architectes;
- Des contraintes économiques des entreprises (amélioration de la productivité des chantiers et en usines);
- De l'amélioration des conditions de travail et de sécurité sur les chantiers et dans les usines. Ces nouveaux bétons sont générateurs d'économies globales sur les chantiers.

Avant d'accepter une formulation d'un BAP il faut s'assurer que ce béton possède les qualités espérées. Le BAP doit vérifier : la fluidité, la stabilité, l'aptitude au remplissage, la déformabilité, la résistance à la ségrégation (statique et dynamique), la résistance au ressuage.

CHAPITRE II :
LES MORTIERS
AUTOPLAÇANTS

CHAPITRE II : LES MORTIERS AUTOPLAÇANTS

Introduction

Le mortier est l'un des matériaux de construction les plus indispensables et les plus utilisés pour les travaux de tous types, ces derniers se déclinent en divers produits, qu'ils soient de ciment, de chaux ou de résine, tous ne s'utilisent pas de la même façon. On l'utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, se différenciant selon les réalisations et d'adjuvant. Dans ce chapitre, nous présenterons les caractéristiques principales et généralités des mortiers autoplaçants, tel que sa structure, sa formulation en vérifiant sa composition, également définir le béton équivalent ainsi que sa méthode de formulation.

II-1 Les mortiers

II-1-1 La composition des mortiers:

Le mortier se compose de granulats, de liants, d'eau et d'adjuvants.



Figure II-1 : pâte d'un mortier ordinaire

- Les **granulats** sont des sables issus de rivières (sable rond) ou de carrières (sable angulaire). Le sable se compose de grains durs et arrondis ayant des calibres différents. Dans le cadre de la réalisation d'un mortier, le sable choisi est un mélange de divers sables. Le mélange obtenu doit être propre et ne doit contenir ni éléments végétaux ni autres particules nocives. Certains granulats sont dits « légers » : billes d'argile ou de polystyrène.
- Les **liants** sont constitués de ciments normalisés (ciment de Portland, ciment au laitier, ciment de haut-fourneau), de ciments spéciaux (ciment blanc, ciments à maçonner, etc.), de chaux hydraulique naturelle et de chaux éteinte, de plâtre.
- L'**eau** utilisée doit être propre, sans débris ni huile. Elle a pour rôle d'assurer l'hydratation du ciment et de le rendre plus malléable.

- Les **adjuvants** sont des produits chimiques ajoutés au mortier en faible quantité, afin de modifier ses propriétés. Ces additifs ont différentes fonctions : diminuer la teneur en eau afin d'augmenter son ouvrabilité, accélérer la prise afin de diminuer le temps de prise du mortier notamment en cas de gel, faire office de retardateurs de prise en cas de températures élevées et/ou d'entraîneurs d'air afin d'augmenter la résistance de l'ouvrage face au gel, d'hydrofuges qui améliorent l'imperméabilité du mortier, de colorants pour réaliser des travaux décoratifs.

II-1-2 L'utilisation des mortiers:

Le mortier a pour rôle de solidariser les éléments entre eux, d'assurer la stabilité de l'ouvrage, de combler les interstices entre les blocs de construction. Le mortier de ciment peut être utilisé pour la réalisation de maçonnerie de [blocs de béton](#), d'enduits traditionnels intérieurs ou [extérieurs](#), de chape, de joints de maçonnerie.

II-1-3 Les types de mortiers :

Dans les Travaux Publics, on utilise différents types de mortier selon les tâches qui sont à réaliser.

➤ Les mortiers de ciments :

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage entre le ciment et le sable est, en général, un rapport volumétrique de 1:3 :
- 1/3 de ciment
- 2/3 de sable

Le dosage de l'eau correspond au rapport (en kg) Eau/Ciment (E/C) qui est environ égal à 0,35. Il faut savoir qu'un dosage optimum en ciment rend les mortiers pratiquement imperméables.

➤ Les mortiers de chaux :

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.

➤ Les mortiers bâtards :

Ce sont les mortiers dont le liant est un mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales (50/50). Des fois, on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

➤ Les mortiers gras :

Le mortier gras (dosage en ciment plus élevé : 1/3 de liant pour 2/3 de sable) possède une structure beaucoup plus dense et laisse à peine passer l'eau. Il est quasiment imperméable. Il est utilisé pour la réalisation de joints, d'enduits, etc

➤ Les mortiers maigres :

Le mortier maigre (dosage en ciment peu élevé : 1/4 de liant pour 3/4 de sable) est plus facile

à travailler.

Néanmoins il est légèrement perméable.

Il est utilisé pour maçonner les agglos, la pierre, etc. [27]

➤ **Les mortiers rapides :**

Il sont fabriqués avec du ciment prompt, ils sont rapides et résistants pour les scellements

➤ **Les mortiers industriels :**

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

Les fabricants de mortiers 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 [27].

II-2 Les mortiers autoplaçants :

➤ **Description :**

Le **mortier autoplaçant** est une alternative économique au coulis de ciment en plus d'offrir une stabilité volumétrique supérieure. Ce produit est de très grande fluidité. Il est composé de ciment, d'eau, de sable, et d'adjuvants spécialisés. Ce produit peut être pompé pour être mis en place.



Figure II-2 : Mortier autoplaçant.

➤ **Applications**

Le **mortier autoplaçant** est habituellement utilisé pour remplir des conduites, des tunnels, des réservoirs souterrains, des espaces vides ou des chambres désaffectées. Le **mortier autoplaçant** peut être injecté pendant 2 heures sur des distances allant jusqu'à 100 mètres (maximum 3 heures).

➤ **Données techniques**

Voici quelques données techniques sur ce produit : (code G3501500)

- La masse volumique est d'environ 2100 kg/m³;
- La résistance à la compression à 28 jours visé est de 35MPa;
- La résistance à la compression à 7 jours est de > 2MPa;
- Le produit est très fluide;
- Le produit est pompable stable et fluide.

➤ **Précautions particulières**

Le **mortier autoplaçant** est très fluide et s'écoulera facilement s'il y a des ouvertures ou des pentes. Considérer les pressions hydrostatiques dans les calculs des coffrages. Le sable contient jusqu'à environs 5% de granulat > 5 mm. Dans le cas où un grand volume est pompé dans une très petite ouverture, une crépine peut être employée [28].

II-2-1 Structure du MAP

La structure du MAP est basée sur la formulation d'une pâte et d'un mortier cimentaire autoplaçants qui offrira un comportement optimal vis-à-vis de la stabilité et de l'écoulement, en utilisant les matériaux de notre région avec les pourcentages adéquats de chaque constituant. Nous mettrons en œuvre un programme expérimental où nous délimiterons un domaine expérimental qui offrira un ensemble de mélanges homogènes et stables, aux propriétés d'écoulement mesurables. Cependant, pour avoir le mélange de constituants possédant les réponses optimales, nous élaborerons un plan de mélanges qui permet d'avoir un nombre important d'informations (rôle des constituants, interactivité) avec un minimum d'essais.

Le rôle de l'expérimentateur ainsi que la démarche expérimentale de l'élaboration de la pâte de ciment sont deux éléments importants, compte tenu de la sensibilité du comportement de cette dernière.

La pâte de ciment est confectionnée à partir des quatre composantes (ciment, fillers, plastifiant, eau).

➤ **Un volume de pâte élevé :**

Les frottements entre les gravillons limitent l'écoulement des bétons. C'est pourquoi, le MAP contient un volume de pâte important dont le rôle est d'écarter les gravillons les uns des autres [2].

➤ **Une quantité importante de fines :**

Pour leur assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les MAP contiennent une quantité de fines supérieures à celle des mortiers. Toutefois, pour éviter des problèmes d'élévation excessive de la température lors de l'hydratation ainsi que pour abaisser leur coût global, le liant est souvent un composé binaire [29], voire ternaire [30] composé de ciment portland mélangé avec des cendres volantes, du laitier, des fillers de calcaire, des pouzzolanes naturelles ou de la fumée de silice.

➤ **Un fort dosage de super plastifiant :**

L'introduction de dosage relativement important de super plastifiant dans les BAP permet en premier lieu de réduire la teneur en eau tout en conservant leur grande maniabilité. Toutefois, un dosage trop élevé (proche ou supérieur au dosage de saturation [31]), peut

augmenter la sensibilité du béton à des variations de teneur en eau vis-à-vis du problème de la ségrégation et du ressuage.

➤ **Une utilisation éventuelle d'agent colloïdal :**

Bien que ce ne soit pas systématique, les BAP contiennent la plupart du temps un agent colloïdal [32]. Ce produit, comme les fines, a pour rôle d'empêcher le ressuage et de limiter les risques de ségrégation des granulats en rendant la pâte plus épaisse. De façon schématique l'utilisation de ce produit semble se justifier dans le cas des bétons ayant des rapports eau/liant élevés car les fines ne sont pas toujours suffisantes pour fixer l'eau dans le béton. Il semble par contre inutile dans le cas de MAP ayant des rapports massique eau/liant faible qui donne des résistances supérieures à 50 MPa. Pour la gamme des bétons intermédiaire, leur utilité est à étudier au cas par cas. L'agent colloïdal a la réputation de rendre les BAP moins sensibles à des variations d'eau vis-à-vis aux problèmes ségrégation et ressuage [33, 34]

II-2-2 Méthode de formulation du Mortier de Béton Equivalent MBE:

Lors de présentation des principales caractéristiques des BAP nous avons mis en évidence l'influence des différents constituants et établit certains critères permettant d'obtenir les propriétés visées [35].

Les gammes de valeurs généralement employées sont issues des recommandations provisoires de l'AFGC et présentées ci-dessous:

- Une quantité de pâte élevée (de l'ordre de 40% du volume total)
- Une quantité de fines élevée (de l'ordre de 500 Kg/ m³)
- Utilisation d'un superplastifiant (à un dosage proche du dosage à saturation)
- Un faible volume de gravillons (rapport G/S de l'ordre de 1)
- Un diamètre maximal réduit
- Eventuellement utilisation d'un agent de viscosité.

II-2-3 Méthode de mortier équivalent :

La méthode de MBE débute nécessite une parfaite connaissance et qui des caractéristiques de béton qui sont liées à sa destination et qui sont en général connues quand on part d'un béton existant. Il est donc nécessaire pour établir les grandes lignes de la formule, de connaître les points suivants :

➤ **Caractéristiques du béton :**

- Composition de béton ;
- Catégorie du béton ;
- Classe de consistance....

➤ **Ses constituants :**

- Ciment ;
- Sable, gravillons ;
- Eau de gâchage ;
- Adjuvant ;
- Additions.

➤ **Sa mise en œuvre:**

- Températures du béton frais et extérieur ;

- Condition de coulage et de serrage ;
- Durée et conditions de transport.

Une fois le béton défini (cahier des charges établi), on calcule le mortier équivalent correspondant "MBE".

II-2-4 Technique du mortier de béton équivalent "MBE" :

➤ **But de la technique :**

La technique du mortier de béton équivalent n'a pas vocation à remplacer les techniques traditionnelles de la détermination granulair de composition des bétons, mais vient favorablement améliorer les conditions d'études paramétriques pour choix des types et dosages en adjuvant d'un béton.

En ce sens, elle constitue une méthode rapide et faible pour la mise au point des bétons adjuvants et permet de détecter les éventuels incidents rhéologique pouvant survenir sur chantier.

➤ **Principe de la technique :**

Pour éviter la difficulté à reproduire en laboratoire en utilisant des conditions exacte du malaxage du béton en centrale et pour limiter la lourdeur des études sur le béton, il est avéré nécessaire d'utiliser une technique d'essai rapide et capable de fournir des résultats pouvant être reliés avec ceux qui seraient obtenus sur le béton. La méthode retenue consiste à travailler sur la phase mortier du béton avec prise en compte de la surface développée des gravillons écartés. Pour cette raison, la technique a été appelée technique du mortier de béton équivalent (MBE).

Pour utiliser cette technique, il convient de connaître au préalable les éléments d'identification des constituants et les bases de composition suivants ;

- La granulométrie de chaque classe de granulats,
- Leurs masses volumiques,
- Leur taux d'absorption d'eau,
- Leurs teneurs en eau totales,
- La nature et le dosage en ciment (ou en liant équivalent),
- Les caractéristiques des adjuvants,
- La composition granulair du mélange,
- Le ou les rapports eau efficace-liant (ciment ou liant équivalent) fixés par le chantier.

Ces éléments préalables peuvent être complétés par la connaissance des contraintes particulières imposées par le chantier (durées de transport, variations de températures, conditions de coulage,.....).

Les différents essais rhéologiques qui seront appliqués sur le mortier restent du même type que ceux appliqués sur le béton correspondant. Ainsi, les essais d'affaissement et d'étalement au cône d'Abrams du béton correspondant les essais d'affaissement et d'étalement au mini cône du mortier de béton équivalent.

II-3. Formulation d'un mortier autoplaçant

II-3-1 Composition du mortier autoplaçant:

La composition du mortier autoplaçant témoin a été déterminée à partir de la composition d'un béton autoplaçant (BAP) par la méthode du mortier de béton équivalent. Tout d'abord, la composition du BAP a été calculée. Le calcul des dosages des constituants du BAP est basé sur le principe de la méthode japonaise qui définit des intervalles pour chaque constituant donnés. Ces intervalles sont donnés par le tableau suivant :

Constituant	Intervalle Préconisé
Volume de la pate	330 à 400 (l/m ³)
La masse de ciment	300 à 400 (Kg/m ³)
Le dosage de calcaire	10% de poids du ciment
Le volume de gravillons	G /S proche de 1
Le dosage en super plastifiant	Proche de son point de saturation

Tableau II-1: Intervalles pour chaque constituant selon la méthode Japonaise

Après l'application de la méthode japonaise, les dosages des constituants pour 1m³ du béton sont tel que:

- Eau=173.12 L
- Ciment=430 Kg
- Filler=43 Kg
- Sable=820.27 Kg /m³
- Gravier=914.42 Kg/m³
 1. Classe3/8=457.21 Kg/m³
 2. Classe8/15=457.21 Kg/m³
- SP=1.3% = 8.6 Kg

Constituants	Masse volumique [Kg/m ³]
Ciment	430
Fillers Calcaire	43
Sable	820.27
Graviers G (3/8)	475.21
G (8/15)	475.21
Eau	173
Super plastifiants	8.6

Tableau II-2: Composition pour 1m³ de BAP

Constituant	Masse[Kg]
Ciment	664.1
Eau	256
Sable	1372.4
Filler	66.41
Superplastifiant	8.6

Tableau II-3 : Composition pour 1m³ de MAP.

CHAPITRE III :
VALORISATION DES DECHTS
DANS LE DOMAINE DE
CONSTRUCTION

CHAPITRE III : VALORISATION DES DECHTS DANS LE DOMAINE DE CONSTRUCTION

Introduction :

Les ajouts cimentaires constituent une solution durable et performante pour les constructeurs et occupants de bâtiments de toutes sortes. L'utilisation croissante de ces matériaux respectueux de l'environnement s'explique par les nombreux avantages, comme une maniabilité accrue et une meilleure consolidation, une amélioration des résistances à la flexion et à la compression, une amélioration de la pompabilité, une meilleure résistance aux chlorures et aux sulfates, des températures inférieures pour le béton de masse, de faibles réactions silico-alcalines, et une diminution de la perméabilité.

III-1 Les ajouts cimentaires :

Ce sont des produits de dimension granulaire inférieure à 80 μm , obtenus par broyage fin, récupération des déchets des centrales thermiques ou pulvérisation de certaines roches (calcaire, silice, etc.). Les ajouts cimentaires peuvent être utilisés en addition ou en substitution partiel de ciment dans le béton ou le mortier.



Figure III-1 : Différents ajouts cimentaires

III-1-1 Définition des ajouts minéraux :

Il existe deux catégories de fines minérales :

- Les fines actives à caractère pouzzolanique ; ce sont des particules de faibles diamètres qui, ajoutées en quantités de l'ordre de 10 % du poids de ciment, améliorent notablement les performances de résistances et de durabilité du béton grâce à leurs propriétés pouzzolaniques (cendres volantes, fumée de silice, laitier.....)
- les fines inertes comme les fillers calcaires ; l'objectif dans leur utilisation est d'améliorer la compacité du béton et donc sa résistance. Elles sont également utilisées pour améliorer

la consistance des bétons notamment dans le cas des bétons notamment dans le cas des bétons autoplaçants qui nécessite une forte teneur en fines pour assurer au BAP un compromis entre une bonne fluidité apporté par les fluidifiants et une bonne viscosité que l'on essaye d'avoir par l'introduction des fillers.

III-1-2 L'utilisation des additions en Algérie :

L'industrie cimentaire est d'importance primordiale pour l'Algérie comme tous pays en voie de développement. Cependant, parmi les moyens efficaces qui existent pour augmenter la production du ciment est celui d'utiliser des ajouts qui sont très peu coûteux et disponibles en grandes quantités en Algérie, comme le laitier d'El- Hadjar, le calcaire et la pouzzolane naturelle de Beni-Saf.

Entreprise	Cimenterie	Ajouts Utilisées
ERCE	Ain Touta	Pouzzolane
	Ain El Kebira	Pouzzolane
	Hamma Bouziane	Pouzzolane
	H'djar Essaoud	Laitier
ERCE	Meflah	Tuf /Calcaire
	Raïss Hamidou	Poussière
	Sour EL Ghozlane	Calcaire / Tuf
ECDE	Chlef	Calcaire
ERCO	Beni Saf	Pouzzolane
	Zahana	
	Saida	

Tableau III-1 : Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes [36]

III-1-3 Rôle des ajouts cimentaires :

Les ajouts cimentaires finement broyés comblent les interstices granulaires inaccessibles aux grains de ciment et rendent le mélange plus fluide ce qui permet de diminuer la quantité d'eau.

De plus en plus, l'industrie du ciment et du béton va faire usage d'un nombre de produits secondaires des certains plus communément appelés ajouts minéraux.

Un des arguments souvent avancé en faveur de l'utilisation des ajouts minéraux est qu'ils permettent d'économiser le ciment et de préserver les ressources naturelles comparées au ciment Portland. Cet argument est en partie juste, mais le principal argument en faveur de l'incorporation de ces matériaux dans les mortiers et bétons est en réalité qu'ils apportent des avantages techniques considérables.

En effet, ils affectent la cinétique de la réaction d'hydratation, améliorent les caractéristiques physiques des mortiers et bétons à l'état frais et contribuent positivement aux résistances mécaniques des mortiers et bétons à l'état durci et ceci en raison de leur composition chimique, de leur réactivité, de leur granulométrie ainsi que de la forme de leurs éléments [37].

III-1-4 Avantages des ajouts minéraux :

L'utilisation des ajouts minéraux a des avantages : techniques ; économiques et écologiques.

- **Avantages économiques et écologiques :**

La plupart des additions minérales sont des sous-produits provenant de l'industrie et leur coût est souvent égal au coût du transport et de manipulation (broyage par exemple). Ainsi l'incorporation des additions minérales à la formulation de béton comme substituant du ciment (produit plus cher), contribue à réduire le coût du béton. Par ailleurs, l'utilisation généralisée des additions minérales dans le monde contribue aussi à réduire la production du ciment qui nécessite une chaleur importante, donc à réduire la quantité de combustible utilisée pour l'industrie du ciment, ainsi que l'émission du CO₂ de l'industrie cimentière dans la nature [38, 39].

- **Avantages techniques**

En général, les additions minérales influencent fortement les propriétés des bétons à l'état durci ; elles permettent d'améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité des bétons. En raison de leurs petites dimensions, les particules de la poudre se glissent entre les grains plus gros (sable par exemple), contribuant ainsi à avoir un squelette solide plus compact et réduisant l'espace libre pour l'eau. Cette optimisation de la granulométrie du squelette total, aide aussi à limiter le ressuage du béton et à augmenter la cohésion de l'ensemble. Par ailleurs, les additions minérales réduisent la chaleur dégagée du béton lors de l'hydratation, ce qui diminue la fissuration d'origine thermique [40].

III-1-5 Les inconvénients d'utilisation des ajouts minéraux :

- Retard de prise.
- Résistance à la compression à jeune âge plus faible.
- Mûrissement plus long.
- Résistance à l'écaillage controversée.
- Le broyage et le transport plus cher.

III-2 Le recyclage :

Depuis des années, une prise de conscience générale a permis le développement de concepts de gestion et de politiques orientés vers la protection de l'environnement et des ressources naturelles.

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. C'est une des activités économiques de la société de consommation.

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

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

Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine [41].

III-2-1 Les matériaux recyclés :

Les matériaux de construction recyclables suscitent un intérêt grandissant du fait de leur bas coût, de leurs qualités isolantes, de leur longévité ainsi que de leur faible impact sur l'environnement. Dans une perspective de développement durable sont considérés comme écologiques, les matériaux renouvelables dont la transformation et le transport consomment peu d'énergie.

➤ On présente quelques principaux matériaux recyclés dans la construction en illustrations :



Figure III-2 : Bois avant et après le recyclage



Figure III-3: déchets de brique en terre cuite à recycler



Figure III-4: Gravats à recycler

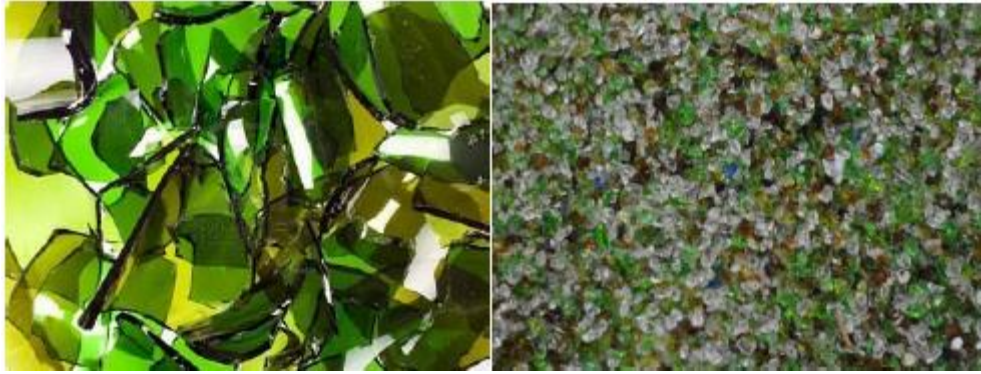


Figure III- 5: Les étapes de recyclage de bouteilles en verre



Figure III- 6: Moquettes écologiques obtenues par recyclage du papier



Figure III- 7: La ouate de cellulose (meilleur isolant thermique) obtenue par recyclage



Figure III- 8: Fonderie d'acier

III-3 Poudre de marbre :

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris, pouvant présenter des veines, ou marbrures (veines et coloris sont dus à des inclusions d'oxydes métalliques, le plus souvent). Certains types de marbres portent des noms particuliers, par exemple le cipolin ou la griotte.

Il se présente en épaisseur homogène ou diversement mélangée à d'autres matières, sa densité est élevée en moyenne de 2,7.

La classification des marbres est fondée sur les teintes ou les dessins : outre le blanc, il existe des variétés: beiges, bleues, roses, gris, jaunes, rouges, vertes, violettes ou noires. Le degré de pureté du marbre est responsable de sa couleur et de son aspect : il est blanc si la roche dont il provient était uniquement composée de calcite (100 % de CaCO_3). Mis en œuvre dans la construction et la décoration, le marbre se révèle être une matière noble et durable très recherchée [41].

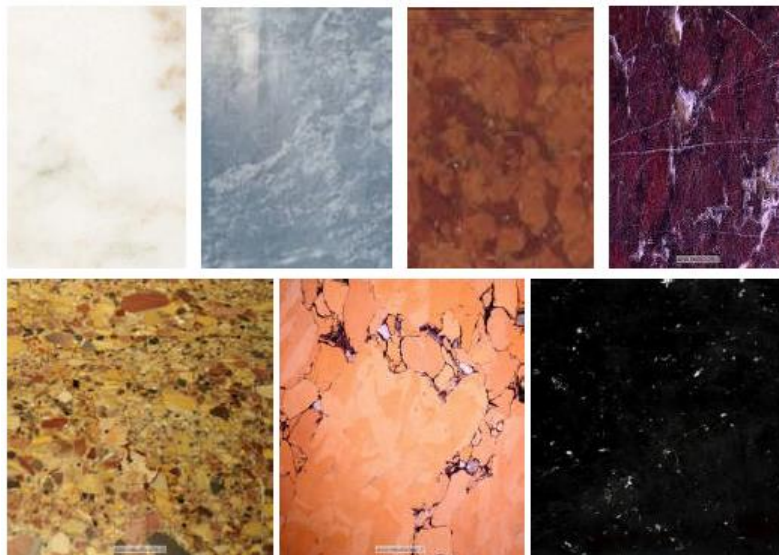


Figure III- 9: Quelques variétés du marbre

III-3-1 Le recyclage des déchets du marbre : [41]

Les déchets de carrières à blocs sont les blocs, chutes et moellons ayant différentes formes géométriques, Le produit de recyclage de déchets est un sous-produit de marbre «granulats et poudre». Les déchets de l'usine de transformation sont exploités partiellement en revêtement de sol extérieur pour les chutes de carreaux et en construction de carreaux de granito, en

peinture pour la poudre de marbre. L'exploitation des moellons de dimension variant de (80-100 cm), qui sont concassées, broyées pour obtenir des granulats dont la granulométrie varie de 0-18 mm. Poudre de marbre obtenue après broyage et pulvérisation du marbre de dimension variant de 30 à 02 microns.

Les dérivés de marbre sont deux types :

- Dérivés de marbre blanc.
- Dérivés de marbre gris (à l'arrêt)



Figure III- 10: Quelques grains et poudre du marbre des deux carrières Tlemcen et Skikda

III-3-2 Utilisation des déchets de marbre dans le bâtiment :

L'industrie en pierre de marbre produit des déchets solides et de la boue de pierre. La boue en pierre produite pendant le traitement correspond environ à 20% du produit fini de l'industrie en pierre. Par conséquent la communauté scientifique et industrielle doit commettre vers des pratiques plus viables. Il y a plusieurs réutilisations et réutilisant des solutions pour ce sous-produit industriel, à une phase expérimentale et dans des applications pratiques [42].

II-3-3 Les avantages de la poudre de marbre : [42]

- La poudre de marbre peut être employée comme remplissage dans le béton et les aires de pavage.
- la poudre de marbre peut être employée dans le béton pour augmenter la résistance.
- Nous pouvons réduire la pollution environnementale en utilisant la poudre de marbre pour fabriquer les autres produits.
- la poudre de marbre est également employée pour faire la couche de fond pour des peintures de toile, et comme remplisseur de peinture.
- Elle est utilisé comme composant pour la fabrication du ciment blanc
- Il a été prouvé que la poudre de marbre agissait comme charge, des résultats expérimentaux indiquaient que le pourcentage optimal de déchets de poudres en tant que additifs minéraux dans le BAP représentent 50% en poids de la teneur en ciment dosé à 400 kg/m³, indépendamment du type de la poudre de déchets. L'utilisation de ce pourcentage atteint la

plus haute résistance à la compression avec une fluidité satisfaisante sans ségrégation, ni saignement.

Conclusion

Les ajouts cimentaires donnent un béton ou un mortier à hautes performances plus fort et plus durable en plus de contribuer à réduire les répercussions sur le climat mondial grâce à une diminution de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre.

Dans ce présent chapitre nous avons exposé les ajouts cimentaires, le recyclage dans le domaine de Génie-Civil et la poudre de marbre qui sera l'élément de base de notre étude expérimentale.

**CHAPITRE IV :
CARACTERISTIQUES DES
MATERIAUX**

CHAPITRE IV : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX**IV.1. Introduction :**

Ce chapitre, présente les différentes caractéristiques de matériaux utilisés lors de la confection des mortiers autoplaçants, ainsi que les différents essais expérimentaux effectués sur ces mortiers.

IV.2. Caractéristiques des matériaux :**IV.2.1. Le ciment :**

Nous avons utilisé un seul type du ciment dans toutes nos essais qui est un ciment de type CEM II de classe de résistance 42,5, il provient de la cimenterie de L'AFARGE.



Figure IV-1 : le ciment utilisé.

Les caractéristiques du ciment utilisé sont présentées dans les tableaux suivants :

a) **Caractéristiques physiques du ciment :**

Caractéristiques	Résultats	Unités	Norme
Consistance normale	27.8	(%)	NF EN 196-3
Début de prise	190	(min)	NF EN 196-3
Fin de prise	265	(min)	NF EN 196-3
SSB	4410	(cm ² /g)	NF EN 196-6
Masse spécifique	2.99	(g/cm ³)	NF EN 196-5
Retrait à 28 jours	<1000	(µm/mm)	NF EN 196-7

Tableau IV-1 : caractéristiques physiques

b) **Caractéristiques chimiques du ciment:**

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Chlorures	PAF	insoluble
60.4	20.71	5.45	3.63	2.37	0.23	0.65	2.15	0.007	4.28	-

Tableau IV-2 : Composition chimique du ciment

c) **Caractéristiques minéralogiques du ciment :**

Eléments	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaO	gypse	Calcaire	pouzzolane
%	58	18	05	13	01	05	05	07

Tableau IV-3 : Composition minéralogique.

d) **Caractéristiques mécaniques du ciment :**

Essais	Age[J]		
	2 jours	7 jours	28 jours
Résistance à la compression[MPa]	35.81	40.4	48.87
Résistance à la flexion[MPa]	4.41	6.37	8.35

Tableau IV-4 : Résistance à la compression et à la flexion du ciment, Norme NF EN 196-1

IV.2.2. Eau de gâchage :

L'eau utilisée pour le gâchage des mortiers autoplaçants est une eau potable (eau de robinet) du réseau public de la ville de Tizi-Ouzou.



Figure IV-2 : l'eau du robinet.

IV.2.3. Adjuvant (superplastifiant) :

Le superplastifiant utilisé est un adjuvant de SIKA ® de type VISCOCRETE ® TEMPO 12 Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi. Conforme à la norme NF EN 934-2. Cet adjuvant est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalente de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

Domaines d'application :

- SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplaçants, SIK A VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.
- SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet de réduire significativement le rapport E/C ce qui améliore la durabilité du béton durci (diminution de la perméabilité, augmentation des résistances mécaniques, diminution du retrait).

Caractères généraux : SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- Longue rhéologie (>2h),
- Robustesse à la ségrégation,
- Qualité de parement.

Stockage

Le stockage se fait dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.

Caractéristiques :

- Données techniques densité $1,06 \pm 0,01$
- PH 4,5 à 6,5
- Teneur en Na_2O Eq. $\leq 1 \%$
- Extrait sec 28,0 à 31,0 %
- Teneur en ions Cl $- \leq 0,1 \%$

Conditions d'application : Dosage Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées. Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.

Propriétés et effets : Grace à ces propriétés le SIKA ® VISCOCRETE ® TEMPO 12 permet d'avoir les effets suivants :

Sur béton frais

- Obtention d'un E/C très bas
- Béton plastiques à fluides
- Une très bonne maniabilité
- Un long maintenu 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

Délai de conservation : Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ($5 \square \text{C} \square \text{ t} \square 35 \square \text{C}$).

IV.2.4. Fillers de calcaire :

Les fillers de calcaire sont des produits secs, très fins, issus du broyage, du sciage, de la taille ou du travail de la roche calcaire naturelle. Ils se présentent sous forme de poudres non abrasives. La dimension maximale des grains, déterminé conformément à la norme EN933-10 doit être inférieure à 2 mm. Le passant au tamis de 63 μm doit, pour sa part, être supérieur à 70%. Leur surface spécifique est généralement proche de celle du ciment. Les fillers calcaires ne réagissent pas ou peu chimiquement avec les composants du ciment ou l'eau de gâchage. Quand ils sont ajoutés aux matériaux cimentaire, ils constituent un lieu de nucléation et de

germination pour les hydrates. En France, ces fillers calcaires sont beaucoup utilisés dans la fabrication des ciments composés (CEMII/A OU B-L), mais ils peuvent aussi être directement incorporés lors de la fabrication des bétons, notamment des bétons autoplaçants.

C'est un calcaire issu du gisement d'EL-KHAROUB qui occupe la partie Sud-Ouest du massif Oum Settas au Nord-Est de Constantine.



Figure IV-3 : les fillers du calcaire.

Analyse chimique du calcaire :

Eléments	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	So3	K ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	PAF
%	3.95	0.20	0.35	51.85	0.02	0.01	1.22	0.03	0.25	42.12

Tableau IV-5 : composition chimiques du calcaire.

Analyse minéralogique du calcaire :

Eléments	Quartz (SiO ₂)	Calcaire (CaCO ₃)	Dolomite CaMg (CO ₃) ₂
%	04	90	06

Tableau IV-6 : composition minéralogique du calcaire.

Propriétés physiques du calcaire :

Caractéristiques	Résultats
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.70
Finesse suivant la méthode Blaine (g/cm ²)	5831

Tableau IV-7 : caractéristiques physiques du calcaire.

IV.2.5. Le sable :

Le sable utilisé pour la confection de nos mortiers est un sable roulé (de rivière), de classe granulaire (0/3 mm).



Figure IV-4 : Le sable de rivière.

Les essais effectués pour caractériser le sable :**a) Essai équivalent de sable :**

L'essai consiste à déterminer l'importance des fines ($<63\mu\text{m}$) flocculables contenues dans le sable. L'équivalent sable indique le degré de pollution des éléments fins dans les sols en stabilisation mécanique

- Principe de l'essai :

Pour cet essai on a besoin d'une éprouvette graduée munies d'un bouchon en caoutchouc, un agitateur manuel et un piston avec un poids bien défini.



Figure IV-5 : Agitateur manuel

D'abord, on pèse un échantillon de sable de 120 g. Entre-temps, on remplit l'éprouvette graduée avec de l'eau jusqu'au trait repère inférieur figurant sur l'éprouvette puis on verse les 120 g du sable dans cette dernière et on attend quelques minutes puis on la ferme avec le bouchon et on la fixe sur la machine d'agitation de façon horizontale en théorie 90 fois en 1min, en finit par remplir l'éprouvette de l'eau jusqu'au trait supérieure puis on laisse reposer pendant 20 min sans perturbation. A l'issue de ce délai, on mesure la hauteur totale (sable + fines) qu'on appellera h_1 et la hauteur du sable seul sans fine qu'on appellera h_2



L'équivalent de sable est alors calculé par la formule suivante :

$$Es = \frac{h_2 * 100}{h_1}$$

Dans notre cas, nous avons :

$$h_1 = 9.4 \text{ cm et } h_2 = 8.6 \text{ cm}$$

Ce qui donne: $Es = 91.5 \%$



Figure IV-6 : essai de l'équivalent de sable.

Interprétation des résultats :

Es au piston	Nature et qualité du sable
$Es < 60\%$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylène.
$60\% \leq Es < 70\%$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
$70\% \leq Es < 80\%$	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
$Es \geq 80\%$	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

Tableau IV-8: les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.

D'après les résultats obtenus ($Es = 91.5\% > 80\%$), on constate que le sable utilisé est très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

b) Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Il existe trois méthodes possibles :

- Méthode de l'éprouvette
- Méthode du pycnomètre liquide
- Méthode de la pesée hydrostatique

Dans notre cas on a utilisé la méthode de l'éprouvette

Principe de la méthode de l'éprouvette :

Cette méthode est très simple et très rapide :

- Remplir l'éprouvette d'un volume d'eau (V_1)
- Prise d'un échantillon de sable d'environ 300g. (M_s)
- Introduire cette masse d'échantillon dans l'éprouvette, éliminer toutes bulles d'air (Vibrer et secouer légèrement)
- Lire le nouveau volume (V_2)

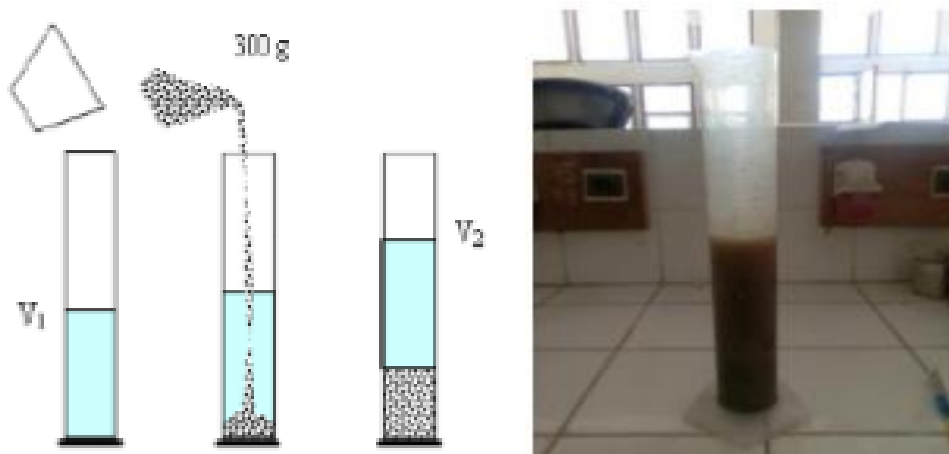


Figure IV-7 : essai masse volumique absolue.

La masse volumique absolue est donc calculé tel que :

$$\rho_s = M_s / V_s$$

Avec : M_s c'est le poids de l'échantillon

$$\text{et } V_s = V_2 - V_1$$

$$M_s = 300 \text{ g}$$

$$V_1 = 400 \text{ ml}$$

$$V_2 = 511 \text{ ml}$$

$$V_s = 511 - 400 = 111 \text{ ml}$$

On aura donc notre: $\rho_s = 2.7 \text{ g/cm}^3$.

c) Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

Mode opératoire :

En verse dans un récipient d'un volume V le sable par couches successives et sans tassement à l'aide seulement des mains, puis on arase avec une règle métallique puis on pèse le récipient rempli M_{totale} .



Figure IV-8 : essai masse volumique apparente.

Et on calcul par la suite la masse volumique apparente à l'aide de la formule suivante :

$$\rho_a = M_{\text{totale}}/V$$

$$V = (\pi * D^2 / 4) * H = 1695.6 \text{ cm}^3$$

D=12 cm (diamètre du récipient)

H=15 cm (hauteur du récipient)

$M_{\text{totale}} = 2449.5 \text{ g}$

$$\rho_a = 2449.5/1695.6 = 1.445 \text{ g/cm}^3.$$

IV.2.6. Ajouts minéraux :

L'addition minérale qu'on a utilisée dans nos essais est la poudre de marbre provenant de l'exploitation de l'Entreprise Nationale de Marbre « ENAMARBRE » de la carrière de Fil-Fila qui se trouve à 25 Km à l'est de la ville de Skikda. On a utilisé ce déchet en deux formes : en tant que poudre de marbre fine et en tant que sable de marbre à grains de classe granulaire (0/3).



Figure IV-9 : la poudre de marbre (0/3).

Dans les tableaux qui suivent, on présente les caractéristiques pétrographiques-minéralogiques ; physico-mécaniques et chimiques de la poudre de marbre utilisé:

Nature pétrographique	Couleur	Aspect	Texture	Structure
Calcaire microcristallin	Blanche	Homogène	Massive	Microcristallin

Tableau IV-9 : Caractéristiques pétrographiques de la poudre de marbre.

	Calcite	Quartz	Oxyde de fer
Composition minéralogique	100%	--	--

Tableau IV-10 : Composition minéralogique de la poudre marbre.

Masse volumique[g/cm ³]	2.736
Compacité[%]	98.03
Porosité[%]	1.96
Coefficient d'absorption d'eau[%]	0.39
Coefficient de saturation[%]	0.87
Résistance à la compression à l'état sec[kg/cm ²]	961
Résistance à la compression après refroidissement[kg/cm ²]	966
Résistance à l'usure[g/cm ²]	1.82
Résistance au choc[kg/cm ²]	40

Tableau IV-11 : Caractéristiques physico-mécaniques de la poudre de marbre.

Caco3	Mgo	Cao	Fe2O3	Al2O3	SiO2	P.C
99.05	1.03	54.86	0.04	0.08	0.15	44.26

Tableau IV-12 : Caractéristiques chimiques de la poudre marbre.

Essai effectués sur la poudre de marbre (grains de classe 0/3) :

a) Equivalent de sable :

On suit la même procédure effectuée sur le sable pour déterminer Es. Après l'essai on a obtenu les résultats suivants :

h1=10 cm et h2=8.8 cm

On aura donc notre Es = 88 %.

$E_s=88\% > 85\%$, le sable étudié est un sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

b) Masse volumique absolue :

Aussi ici on suit le même principe que le sable pour déterminer la masse volumique absolue. Après l'essai, nous avons obtenu les résultats suivants :

$$\rho_s = M_s/V_s$$

$$M_s=300g$$

$$V_1=400ml$$

$$V_2=512ml$$

$$V_s=512-400=112ml$$

On aura donc notre $\rho_s = 2.68g/cm^3$.

c) Masse volumique apparente :

On suit le même cheminement que le sable pour déterminer la masse volumique apparente. Nous avons donc obtenu les résultats suivants :

$$\rho_a = M/V$$

$$V=(\pi * D^2/4) * H=1695.6 \text{ cm}^3$$

$$D=12 \text{ cm (diamètre du récipient)}$$

$$H=15 \text{ cm (hauteur du récipient)}$$

$$M=2270.5 \text{ g}$$

$$\rho_a = 2270.5/1695.6=1.34g/cm^3.$$





Figure IV-10 : Essai de la masse volumique apparente.

Analyse granulométrique du sable et de la poudre de marbre :

L'analyse granulométrique permet de déterminer et d'observer les différents diamètres de grains qui constituent un granulat. Pour cela l'analyse consiste à séparer et classer à l'aide de tamis ces grains selon leur diamètre. Les grains ainsi isolés peuvent être pesés pour déterminer la proportion de chacun dans le granulat. La représentation graphique de l'analyse permet d'observer et d'exploiter ces informations très simplement. Les manipulations et les conditions de manipulation sont décrites par la norme **NF P 18-560**.

Objectif:

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 0,063 et 125 mm. On appelle :

- **Refus**: la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.
- **Tamisat (ou passant)** : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

Principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

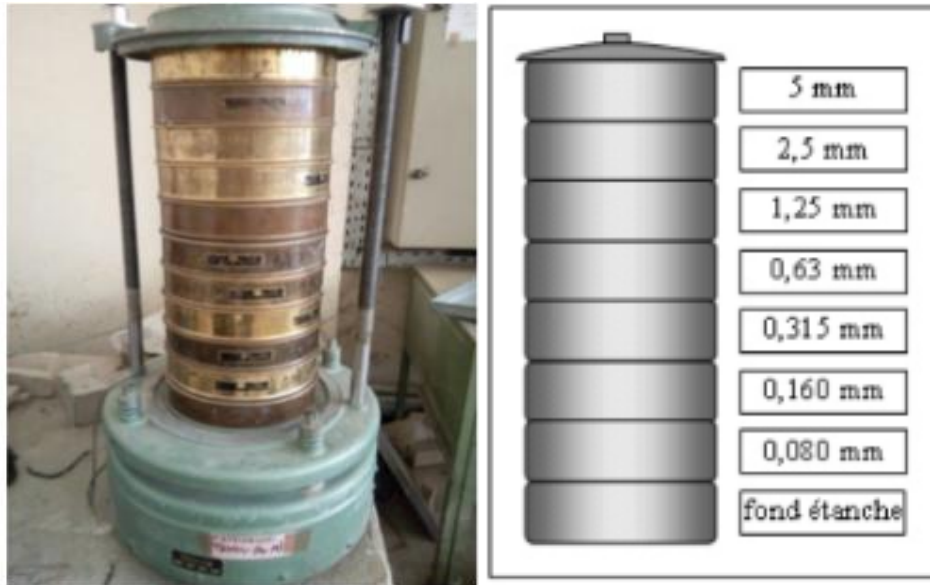


Figure IV-11 : tamiseur électrique. **Figure IV-12** : Colonne de tamis.

Les tableaux suivant présentent les résultats de l'analyse granulométrique effectuée sur nos matériaux (sable et poudre de marbre) :

ouverture des tamis (mm)	refus (gr)	refus cumulés(gr)	Refus cumulés(%)	Tamisat cumulés(%)
5	10.1	10.1	0.67	99.33
3.15	181.6	191.7	12.78	87.22
1.25	354.2	548.4	36.56	63.44
0.63	440.6	989	65.93	34.07
0.315	270.7	1259.7	83.98	16.02
0.16	144.6	1404.3	93.62	6.38
0.08	52.6	1456.9	97.13	2.87
Fond des tamis	39.1	1496	99.73	0.27

Tableau IV-13 : Analyse granulométrique par tamisage du sable (NF P 18-560).

ouverture des tamis (mm)	refus (gr)	refus cumulés(gr)	Refus cumulés(%)	Tamisat cumulés(%)
5	0	0	0	100
3.15	0	0	0	100
2.5	0	0	0	100
1.25	460.6	460.6	30.71	69.29
0.63	322.7	783.3	52.22	47.78
0.315	208.8	992.1	66.14	33.86
0.16	192.9	1185	79	21
0.08	216.9	1401.9	93.46	6.54
Fond des tamis	88.1	1490	99.33	0.67

Tableau IV-14 : Analyse granulométrique par tamisage de la poudre du marbre (NF P 18-560).

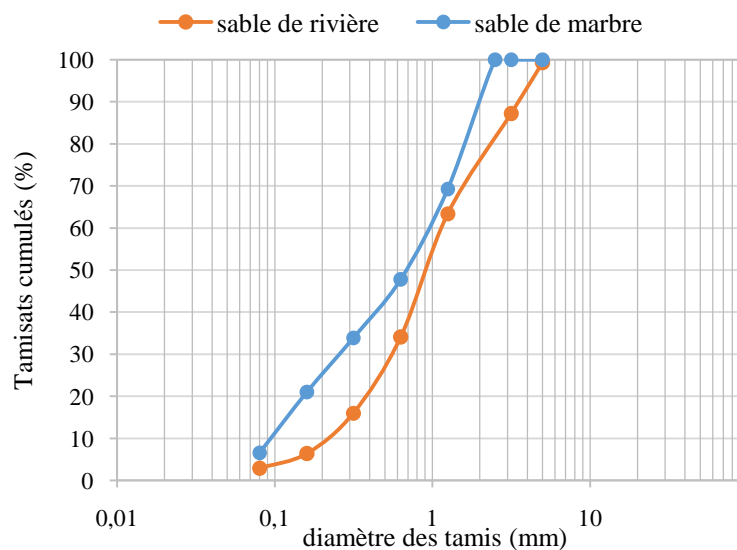


Figure IV-13 : la courbe de l'analyse granulométrique du sable et de la poudre du marbre de classe (0/3).

Module de finesse :

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion.

Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en éléments fins.

Le module de finesse est égal au 1/100ème de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 -0,315 -0,63 -1,25 -2,5 -5 mm (selon Norme Française [NFP 18-540]).

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis} \{0.16-0.315-0.63-1.25-2.50-5\}$$

Lorsque M_f est :

- $1.8 < M_f < 2.2$: le sable est à majorité de grains fins,
- $2.2 < M_f < 2.8$: on est en présence d'un sable moyen,
- $2.8 < M_f < 3.3$: le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

Dans notre cas les résultats obtenus sont :

Pour le sable : $M_f = 2.8$, donc notre sable est un peu grossier

Pour la poudre de marbre : $M_f = 2.28$: la poudre de marbre est un sable moyen.

CHAPITRE V :
PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE V : PARTIE EXPERIMENTALE

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons étudier l'effet de la substitution du sable et ciment par la poudre de marbre sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers autoplaçants. Le sable est substitué par le déchet de marbre (0/3) à des teneurs allant de 0, 30, 50, 70 jusqu'à 100% par poids de sable. Aussi, le ciment est substitué par la poudre de marbre (utilisation comme ajout cimentaire) à des teneurs variant entre (0, 10, 20, 30 et 50% par poids de ciment). L'objectif de ce travail est à la fois économique en remplacement le sable par un déchet, et technique (obtenir un mortier autoplaçant de qualité comparable à celle d'un mortier témoin) et enfin environnemental (recyclage d'un déchet). Nous allons présenter la procédure de la confection de nos mortiers depuis la pesée des matériaux jusqu'à la rupture des éprouvettes. Par la suite, on présentera les résultats de la caractérisation à différents âges, à 2 jours, à 7 jours et à 28 jours sur les différentes éprouvettes confectionnées avec différents dosages en poudre de marbre à l'état frais et à l'état durci ; nous faisons des interprétations, des comparaisons et des conclusions pour les résultats obtenus.

V-1 Composition du mortier autoplaçant. :

Afin de déterminer les caractéristiques mécaniques du mortier autoplaçants on utilisera des éprouvettes prismatiques et cubiques :

➤ **Les éprouvettes cubiques :**

Ce type d'éprouvettes a été conçu pour l'essai d'écrasement en compression simple, conformément à la NF P18-406 (NA427), afin de déterminer la résistance à la compression, la charge de rupture est la charge maximale enregistrée au cours des essais.

➤ **Les éprouvettes prismatiques:**

Selon les normes NF P18-407 (NA428), ces éprouvettes sont réalisées pour les essais de traction par flexion.

Pour déterminer les quantités nécessaires pour les éprouvettes prismatique et cubique, on a d'abord calculé le volume des moules puis on les a additionnés et on a ajouté 10% de perte de constituants.

La masse de chaque compostant pour 3 moules prismatique et 3 moules cubique avec 10% de perte est présenté dans le tableau V-1:

Constituant	Masse[g]
Ciment	835
Eau	322
Sable	1725.5
Filler	83.5
Superplastifiant	10.81

Tableau V-1 : Quantités de mortier pour 3 moules prismatiques et 3 moules cubiques.

Les moules utilisés sont illustrée ci-dessous :



a) Moule prismatique ($4 \times 4 \times 16$) cm^3 **b)** Moule cubique ($5 \times 5 \times 5$) cm^3

Figure V-1: Moules utilisés pour la confection des éprouvettes

Pour réaliser cette étude, des éprouvettes prismatiques ($4 \times 4 \times 16$) cm^3 et cubiques ($5 \times 5 \times 5$) cm^3 de mortiers autoplaçant ont été fabriquées, Figure V.3. Les éprouvettes ont été conservées dans l'eau à température ambiante, Figure V.3.



Figure V-2 : Eprouvtes de mortier autoplaçant confectionnées.



Figure V-3 : Eprouvtes conservées dans l'eau

Divers tests et mesures ont été effectués, afin d'étudier les propriétés du MAP avant coulage (à l'état frais) et après coulage (à l'état durci).

V-2 Conduite des essais :

V-2-1 Etat frais :

V-2-1-1 Fluidité : La fluidité du mortier a été réalisée par le test du mini-cône (voir fig. V-5.a). Ce test consiste à mesurer le diamètre moyen de la galette après l'étalement du mortier c'est-à-dire après soulèvement du cône (Figure V-5.c). Nous rappelons que le diamètre préconisé pour un mortier autoplaçant est de 180 à 240 mm.



a) Mini-cône pour le mortier



b) Versement du MAP



c) Mini-cône rempli jusqu'au bord



d) Soulèvement du mini-cône



e) Galette de mortier autoplaçant

Figure V-4: Conduite de l'essai d'etatement.

V-2-1-2 Essai rhéologique :

Le programme expérimental rhéologique consiste à étudier le comportement rhéologique des pâtes de ciment avec différents pourcentages en poudre de marbre finement broyée. Les essais sont déterminés par le rhéomètre AR 2000, conformément aux normes AFNOR en vigueur, avec un rapport : E/C = 0,38.



Figure V-5 : Le rhéomètre assisté par ordinateur

En premier lieu, on commence par le mortier témoin, tableau V-2

Constituants	Masse[g]
Ciment	100
Fillers	10
Eau	38
Superplastifiant	1.3

Tableau V-2 : Constituants préparés pour la rhéologie

Par la suite, on fait varier le pourcentage de substitution du ciment par la poudre de marbre (10%,20%,30%,50%), figure V-6



Figure V-6 : Echantillons préparés pour le 1^{er}essai rhéologique (Eau+Fillers+Ciment+SP)



Figure V-7 : Poudre de marbre finement broyée

Conduite de l'essai :

Nos essais de rhéologie sont effectués après mélange de tous les échantillons préparés et pesés. Ensuite, on introduit le mélange obtenu dans le rhéomètre, **Figure V-8**



a) Pâte de ciment obtenue

b) Versement de la pâte dans le rhéomètre

**Figure V-8** : Conduite de l'essai rhéologique**V-2-2 Etat durci :**

Des courbes contraintes-déformations ont été déterminées pour chaque composition du mortier étudié en compression. Pour cela, des tests de compression uniaxiale ont été effectués sur les éprouvettes cubiques. Les courbes fore-déplacement ont été tracées en flexion sur les éprouvettes prismatiques, afin de caractériser le comportement mécanique des mortiers étudiés. Les essais mécaniques de compression et de flexion ont été réalisés dans le laboratoire de Génie-Civil de l'UMMTO, sur une machine assistée par ordinateur de type

IBERTEST, d'une capacité de 200 KN, Figure V-9. Les résultats obtenus seront donnés sous forme des courbes contraintes-déformations pour les mortiers choisis.



Figure V-9 : La presse hydraulique assistée par ordinateur

a) Essai de compression uniaxial :

La résistance mécanique en compression correspond à la charge de rupture (charge maximale enregistrée) au cours de l'essai d'écrasement sous une contrainte normale axiale. La mise en charge doit se faire d'une manière continue jusqu'à rupture de l'éprouvette.



Figure V-10 : Eprouvettes cubique soumise à la compression

b) Essai de traction par flexion :

Dans cet essai, un prisme de béton non armé, (dans notre cas prisme de mortier autoplaçant), reposant sur deux appuis, est soumis à un effort de flexion ; par application d'une charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre). La charge étant placée au centre du prisme, l'essai est dit « flexion à trois points ».



Figure V-11 : Epreuves prismatique soumis à la traction par flexion

c) L'essai Ultrasons :

La méthode consiste à déterminer la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques à travers le mortier à l'aide d'un générateur et d'un récepteur, le mode de propagation des ondes étant de transmission directe (transducteurs disposés diamétralement opposés) sur les deux surfaces opposées, ensuite converties en vitesse.



Figure V-12: Epreuves prismatique soumis à l'ultrason

V-3. Substitution partielle du ciment :

L'utilisation de la poudre de marbre en tant qu'ajout cimentaire est basée sur 5 types d'éprouvettes:

M0 : mortier autoplaçant sans ajout (mortier témoin) ;

MC10 : mortier autoplaçant à 10 % de substitution du ciment par la poudre de marbre ;

MC20: mortier autoplaçant à 20 % de substitution du ciment par la poudre de marbre ;

MC30: mortier autoplaçant à 30 % de substitution du ciment par la poudre de marbre ;

MC50: mortier autoplaçant à 50 % de substitution du ciment par la poudre de marbre ;

V-3-1 Résultats et interprétation de l'état frais :

V-3-1-1 Essai de l'étalement

Tous les mélanges des mortiers étudiés ont été élaborés avec un étalement de la galette variant entre 180 à 240 mm.

Taux de substitution [%]	Etalement Diamètre [cm]	Mise en œuvre
M0	22.0	Très bonne
MC10	22.7	Très bonne
MC20	22.2	Très bonne
MC30	21.6	Bonne
MC50	20.8	Bonne

Tableau V-3: Résultats de l'essai d'étalement pour substitution de ciment



Figure V.13 : Essais d'étalement sur le mortier autoplaçant frais.

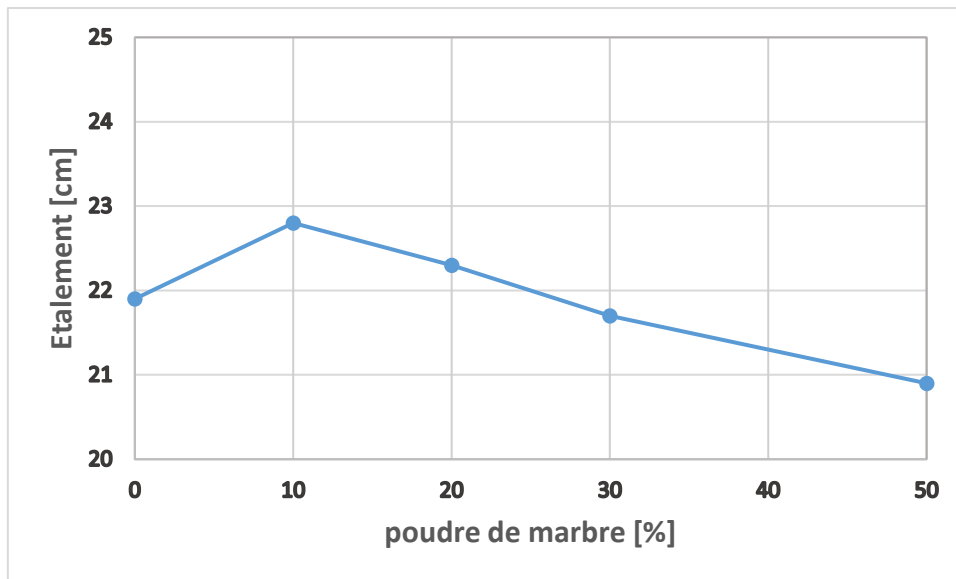
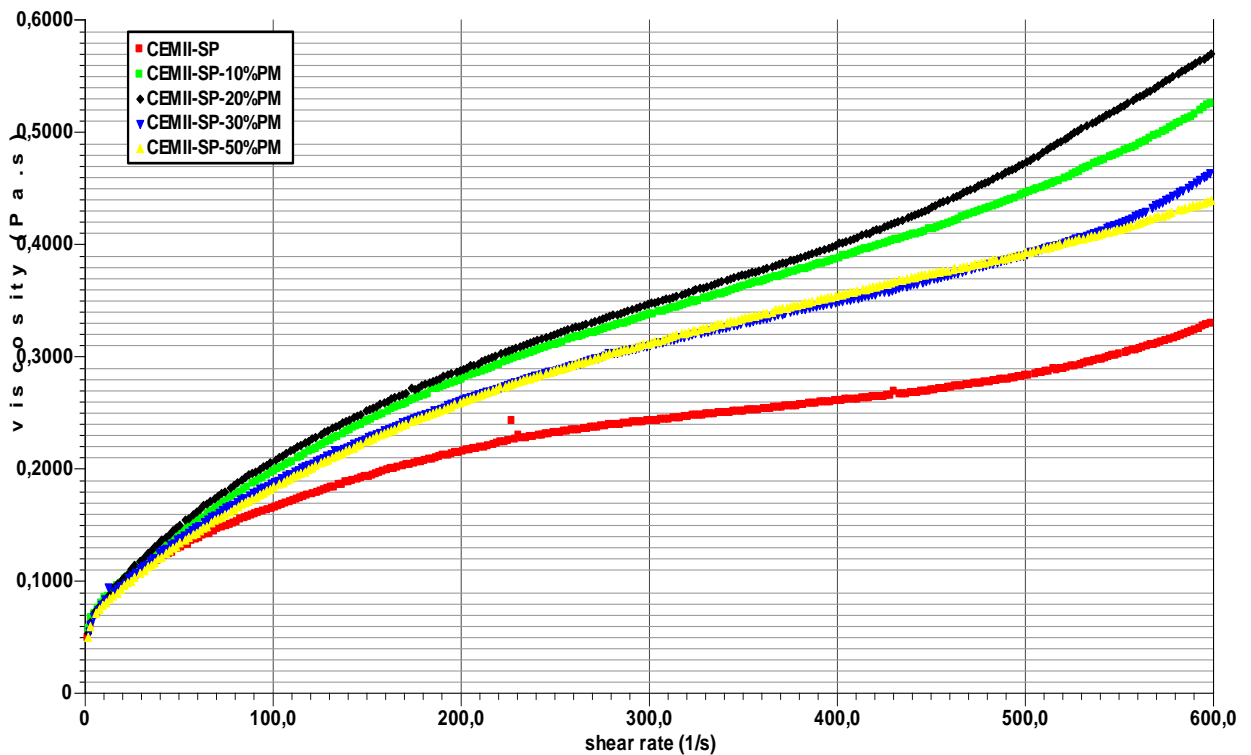


Figure V.14 : Fluidité des mortiers élaborés en fonction du taux de substitution du ciment.

D'après les résultats obtenus à l'état frais, on remarque une augmentation de la fluidité du mortier MC10, suivi du mortier MC20. De plus, la fluidité des mortiers est d'autant moins importante que le taux de substitution par la poudre de marbre est important. En effet, jusqu'à 50% de substitution, la diminution du diamètre de la galette obtenue n'est pas importante. Par ailleurs, le mortier répond aux exigences des bétons autoplaçants, du point de vue fluidité et mise en œuvre.

V-3-1-2 L'essai rhéologique :



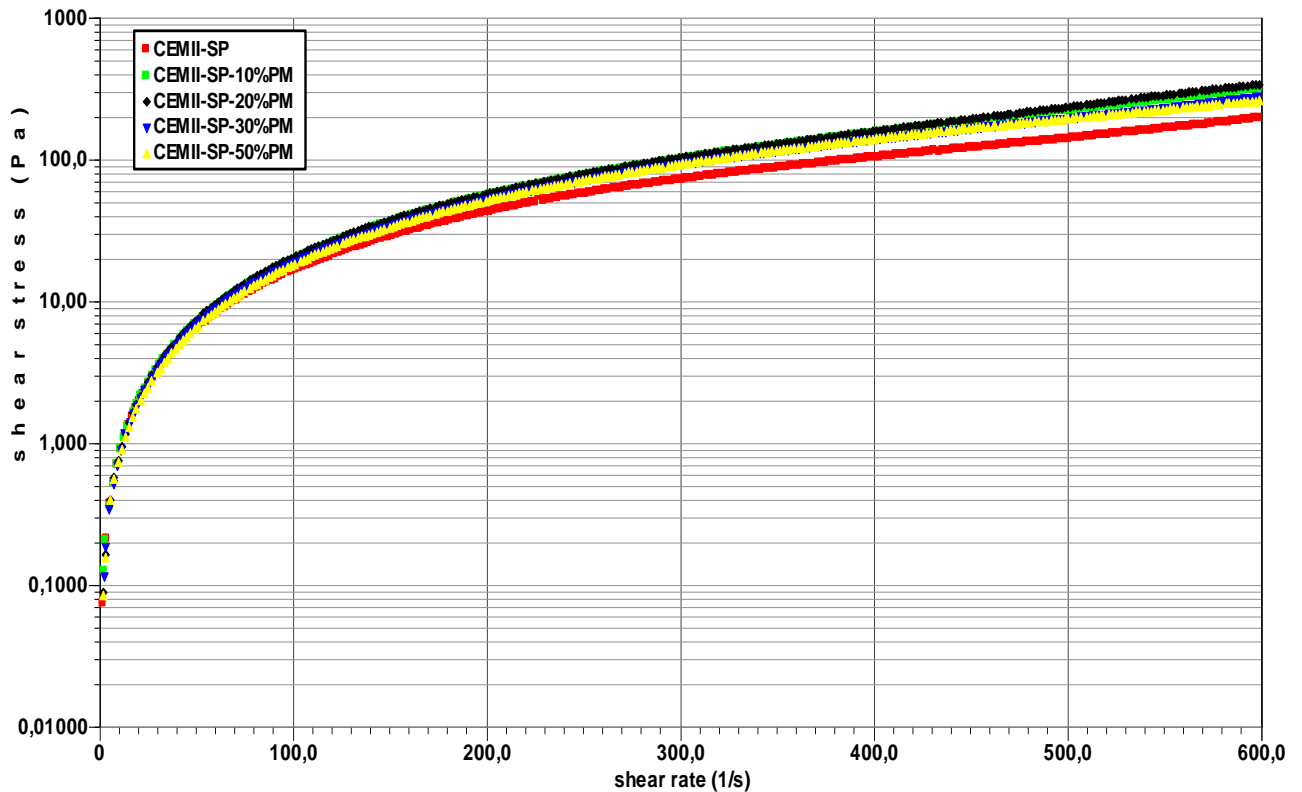


Figure V-15: Paramètres rhéologiques (contrainte de cisaillement et gradient de vitesse) des pâtes cimentaires à base de la poudre de marbre finement broyée.

Les rhéogrammes de la **figure V-15** représentent l'évolution de la contrainte de cisaillement (τ_p) et la viscosité plastique (η_p) des pâtes cimentaires à base de différents taux de substitution de la poudre de marbre en fonction du taux de cisaillement. On remarque clairement que la contrainte de cisaillement et la viscosité plastique augmentent avec l'augmentation du niveau de substitution du ciment par la poudre de marbre (PM) jusqu'à 20% de substitution. Après, on notera une diminution de ces paramètres à 30% de substitution du ciment par la PM. Cela est expliqué par la surface spécifique des grains de la PM qui augmente le besoin d'eau pour mouiller la surface. Au-delà de 30% de substitution, la PM a favorisé la fluidité en diminuant la viscosité des pâtes cimentaires. Ceci est observé sur la figure qui montre clairement que les pâtes cimentaires ayant un taux de substitution de 30% et 50 % sont plus fluides et s'écoulent facilement, comparées à celles ayant 10 et 20% de substitution.

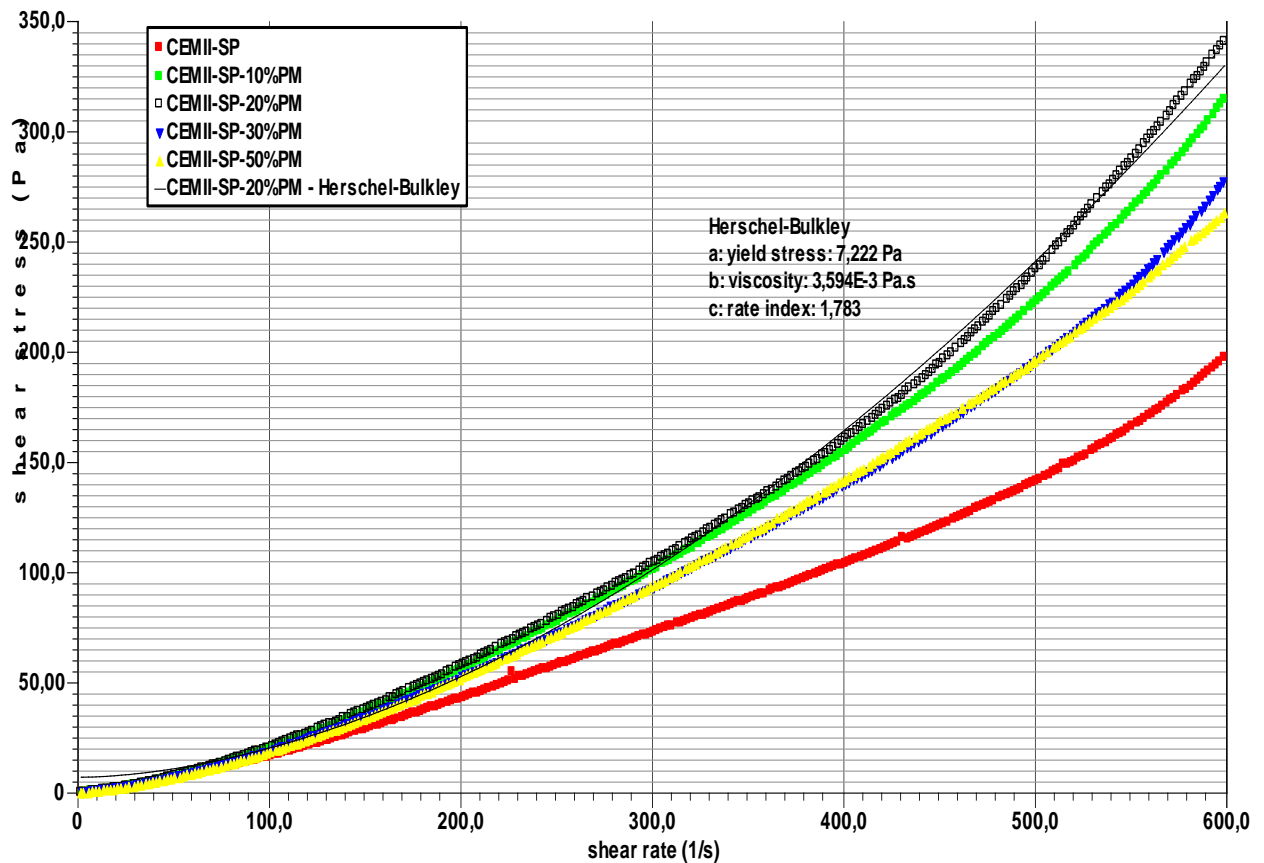


Figure V-16 : Comportement rhéologique des pâtes cimentaires à base de la poudre de marbre finement broyée.

Afin de voir clairement l'effet de la substitution du ciment par la PM finement broyée, sur le comportement rhéologique des pâtes cimentaires étudiées, le logiciel du rhéomètre TA Data Analysis « Thermal Advantage instruments » nous a permis d'identifier le comportement rhéologique de l'ensemble des pâtes cimentaires étudiées (voir **figure V-16**). En effet, par calage des modèles déjà existant dans le logiciel, on a pu identifier le comportement rhéologique de ces pâtes. D'après les résultats obtenus, toutes les pâtes ont le comportement d'un fluide Binghamien plastique identique à celui de modèle rhéologique de Herschel-Bulkley décrit par l'équation (1), ce qui est conforme aux travaux existant dans la littérature.

Les rhéogrammes des pâtes cimentaires, montrent l'évolution de la contrainte de cisaillement (shear stress) en fonction de la vitesse de cisaillement (shear rate). Il est clair, d'après ces figures que le comportement rhéologique des pâtes suit le modèle de Herschel-Bulkley décrit par l'équation suivante :

$$\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$$

τ_0 est la contrainte seuil ; K est la consistance ; n est l'indice d'écoulement.

V-3-2 Résultats et interprétation de l'état durci :

V-3-2-1 Essai de compression uniaxiale :

L'essai de compression uniaxiale a été réalisé sur 3 éprouvettes de mortiers âgés de 2 jours, de 7 jours et de 28 jours. L'état de l'éprouvette après l'essai d'écrasement est illustré en figure V-12.



Figure V.17 : Etats de l'éprouvette après l'essai de compression

Après l'essai d'écrasement sur des éprouvettes âgées de 2 jours, les courbes contraintes-déformations sont tracées et présentées sur la figure V-18:

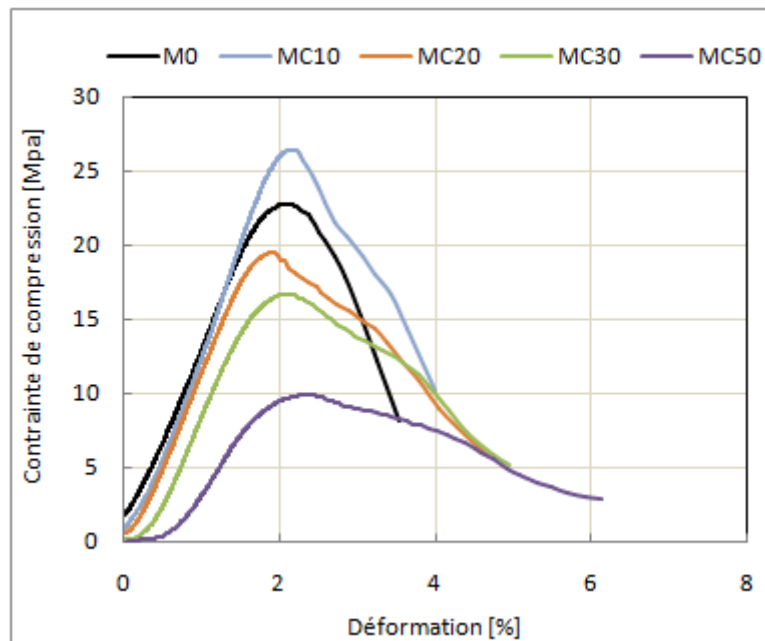


Figure V- 18 : Courbes contrainte-déformation en compression à 2 jours.

- On remarque que le pic de la courbe relative au mortier MC10 est le plus élevé, comparé à celui des autres courbes. On remarque aussi une diminution du pic à partir de 20% de substitution. Ceci traduit la diminution de la résistance caractéristique à la compression au delà de 20% de taux de substitution du ciment par la poudre de marbre.

Sur la figure V-19 sont présentées les courbes contraintes-déformations sur des éprouvettes âgées de 7 jours, pour différents dosages en poudre de marbre.

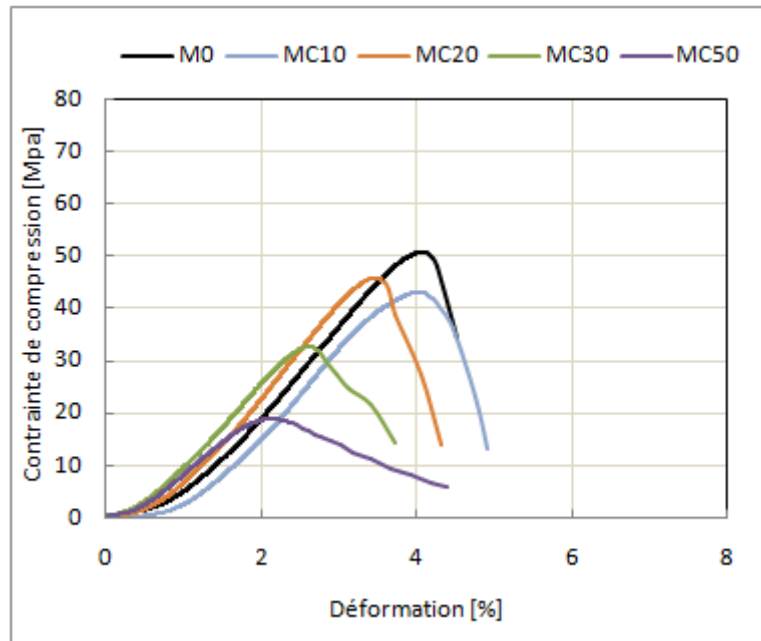


Figure V-19 : Courbes contrainte-déformation en compression à 7 jours.

- D'après les courbes obtenues, on remarque une légère diminution de la résistance du mortier MC10 par rapport à celle du mortier témoin et MC20.

-Une augmentation de la résistance est également observée pour le mortier MC10. Au delà de 20% de pourcentage en poudre de marbre, la résistance à la compression diminue.

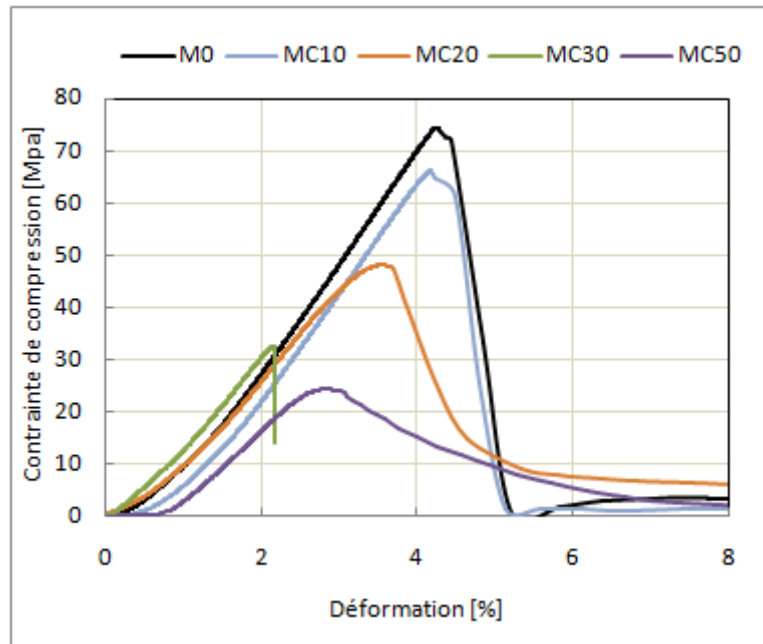


Figure V- 20 : Courbes contrainte-déformation en compression à 28 jours.

- à 28 jours, on remarque une légère diminution de la résistance du mortier MC10 par rapport à celle du mortier M0. Cependant, cette diminution reste faible, elle est de l'ordre de 11%. L'évolution des courbes suit la même tendance à partir de 20% de substitution et ce, quelque soit l'âge des mortiers.

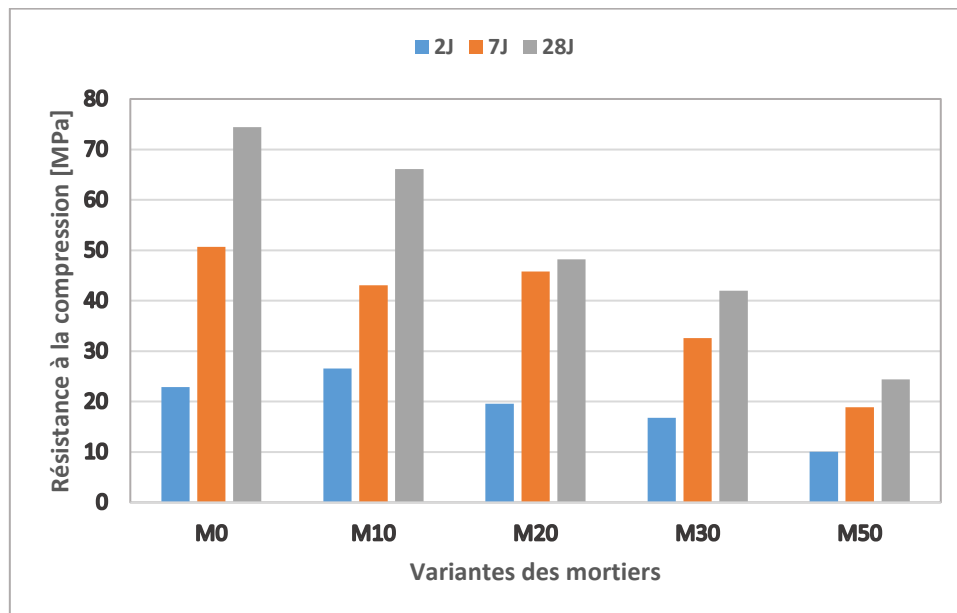


Figure V-21 : Evolution de la résistance à la compression des mortiers en fonction du taux de substitution de ciment à différents âges.

La résistance à la compression des différents mortiers étudiés sont représentés dans la figure V-21, à 2, 7 et 28 jours. On constate que la résistance à la compression augmente en fonction de l'âge du mortier. Cela est expliqué par l'hydratation des minéraux de ciment dans le temps.

Aussi, on remarque que la valeur de la résistance des mortiers est pratiquement la même pour les mortiers M0, MC10. Cependant, au-delà de 20% de poudre de marbre, une diminution de la résistance à la compression est observée. La résistance pour les mortiers MC30 et MC50 diminue par rapport à celle du mortier témoin, quelque soit l'âge des mortiers. La valeur de la résistance à la compression la plus élevée enregistrée à 28 jours est de 74.3 MPa pour le mortier témoin, suivie de celle du mortier MC10, celle-ci est de 66.13 MPa. Pour les autres variantes, nous restons dans la catégorie des mortiers autoplaçants, sauf pour le mortier MC50 où la résistance enregistrée est de 24 MPa, ce qui convient à un béton ordinaire.

V-3-2-2 Essai de traction par flexion :



Figure V-22 : Etat de l'éprouvette après l'essai de flexion.

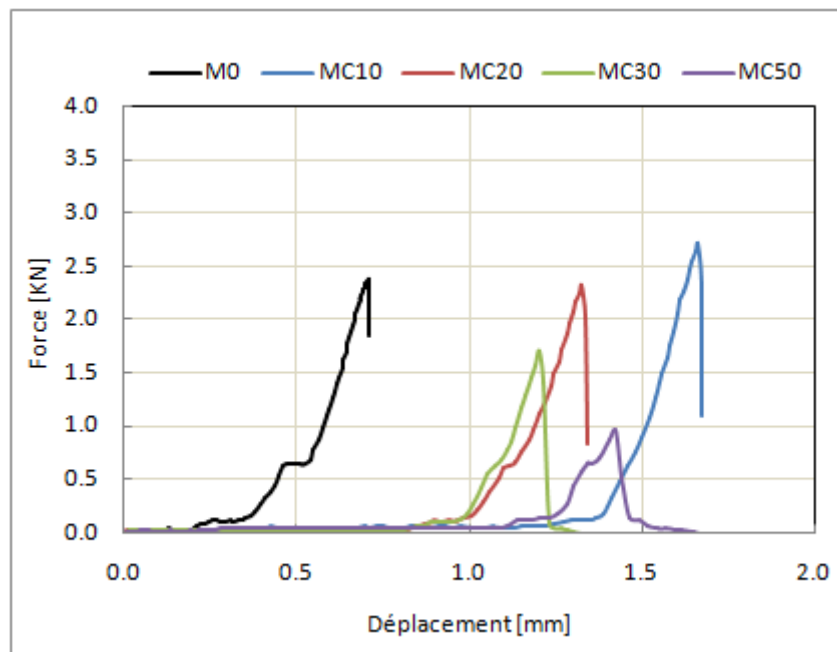


Figure V- 23: Courbes forces-déplacements en flexion à 2 jours.

Les courbes illustrées sur cette figure montrent une différence en termes de ductilité. En effet, tous les mortiers confectionnés à base de poudre de marbre présentent une bonne ductilité par

rapport au mortier témoin. Néanmoins, le mortier à 10% de substitution présente la meilleure ductilité. L'augmentation du pourcentage de l'ajout minéral réduit la ductilité.

- On remarque aussi que le mortier MC10 présente une force élevée en flexion, comparée à celle des autres mortiers. La valeur de la force à la flexion du mortier MC20 est identique à celle du mortier témoin. Au delà, la force commence à diminuer

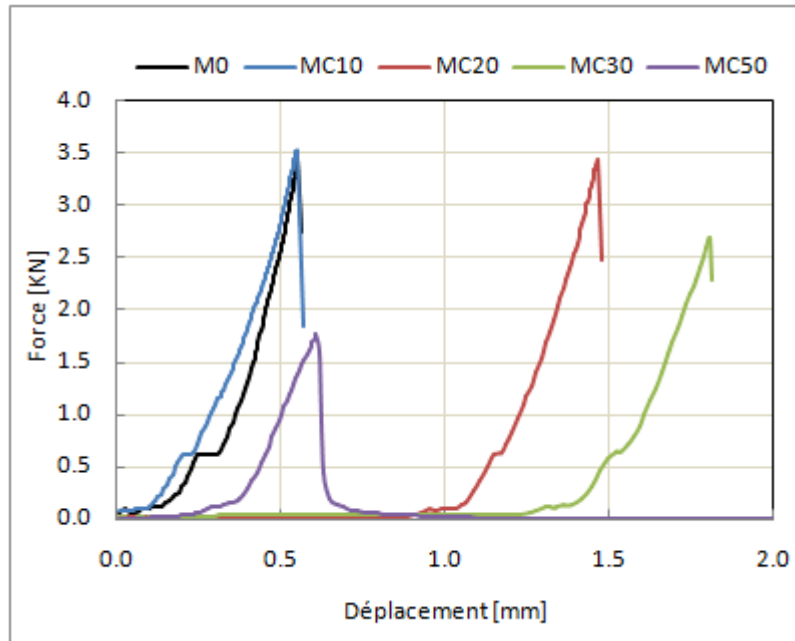


Figure V-24 : Courbes force-déplacement en flexion à 7 jours.

- Les courbes illustrées sur cette figure montrent que la ductilité des matériaux avec ajout est meilleur que celle du mortier témoin. Cependant la courbe relative au mortier MC10 suit la même tendance que celle du mortier sans ajout.

- Une légère augmentation de force maximum en flexion est également observée pour les mortiers MC10 et MC20, comparée à celle du mortier M0. Après, on remarque une diminution de celle-ci pour les mortiers MC30, ensuite pour le mortier MC50.

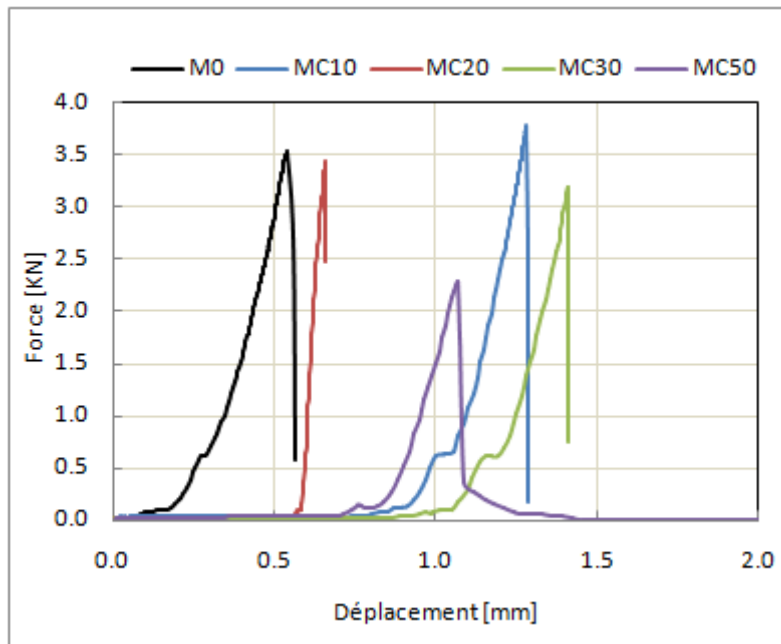


Figure V-25 : Courbes force-déplacement en flexion à 28 jours.

- Les courbes illustrées sur cette figure montrent que l'ajout de la poudre de marbre améliore la ductilité des mortiers à 28 jours. Dans ce cas là, on remarque aussi que les mortiers MC10 et MC30 sont plus ductiles, par contre le mortier MC20 perd sa ductilité par rapport à celle qu'il a conféré à 7 jours.
- La force maximum en flexion la plus élevée est enregistrée pour le mortier MC10, suivie des mortiers MC20 et MC30 qui restent proches de celle du mortier M0. Ensuite, on remarque une diminution de la force pour le mortier MC50.

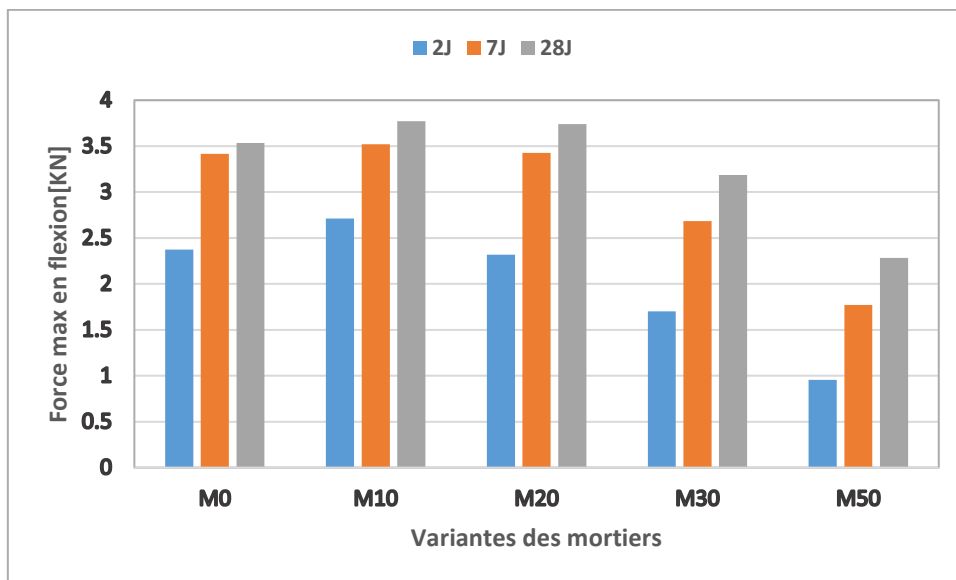


Figure V-26: Evolution de la résistance à la flexion des mortiers en fonction du taux de substitution du ciment à différents âges.

La force maximum en traction par flexion de chaque mortier réalisé est donnée dans la figure V-26 sous forme d'histogrammes, à tous les âges. On remarque que l'évolution de la force

correspondant aux mortiers M10 et M20 est identique à celle du mortier témoin, quelque soit l'âge des mortiers considérés. Une diminution de la résistance à 30% de substitution est observée comparée au mortier M0. Celle-ci est de 28% et 20% à 2 et 7 jours, successivement. Elle est de 9 % à 28 jours, ce qui est négligeable. Par contre, on remarque une diminution de 35% de la force à 50% de substitution, comparée à celle du mortier sans ajout à 28 jours. Les valeurs de la résistance à la flexion pour une substitution de 10% et 20% sont donc les plus proches de la résistance du mortier témoin. Ceci a également été observé dans les figures V-18 à V-20.

V-3-2-3 Essai de l'Ultrason :

Après avoir calculé la vitesse moyenne de l'onde traversant l'éprouvette prismatique après 3 mesures, nous avons résumé les résultats trouvés à différents âges, sur la figure V-27.

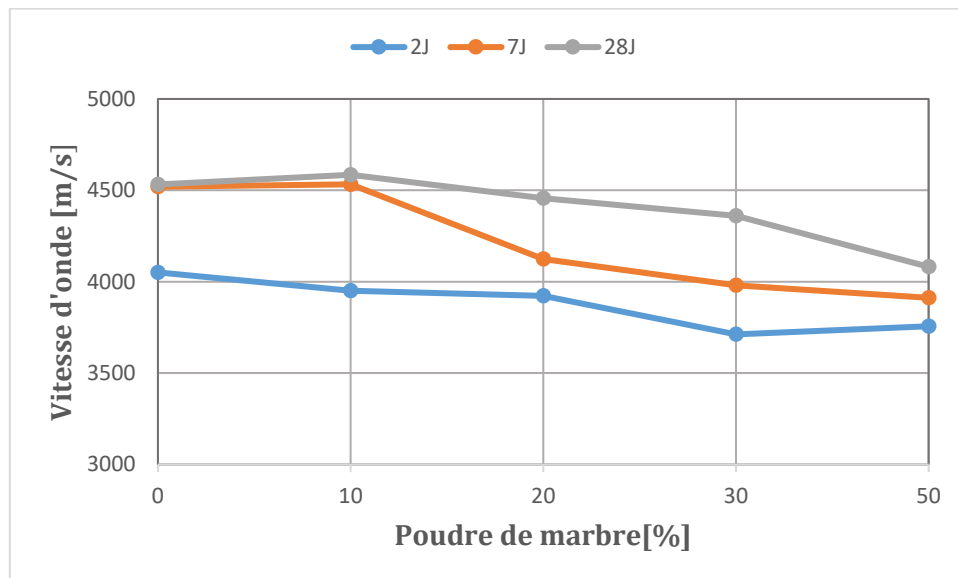


Figure V-27 : Evolution de la vitesse d'onde des différents mortiers.

- D'après les résultats obtenus, on remarque que le matériau est de plus en plus compact avec le temps. On remarque aussi que les valeurs de la vitesse de propagation d'ondes obtenus pour les différents mortiers confectionnés traduisent une très bonne compacité du matériau, à 7 et à 28 jours et une bonne compacité à 2 jours.

- Pour le mortier MC10, la vitesse de la propagation d'ondes reste du même ordre que celle du mortier témoin. Au delà, les autres mortiers marquent une légère diminution de la vitesse de propagation d'onde, à tous les âges.

V-4. Substitution du sable

Après avoir étudié le cas de la substitution du ciment par la poudre de marbre finement broyée, nous avons procédé à la caractérisation des mortiers pour le cas de la substitution du sable de rivière par la poudre de marbre de granulométrie (0/3) qui est classée comme étant un sable. Nous avons utilisé les appellations suivantes, en fonction du taux de substitution:

M0 : mortier témoin ;

MS30 : mortier autoplaçant à 30 % de substitution du sable par le sable de marbre ;

MS50 : mortier autoplaçant à 50 % de substitution du sable par le sable de marbre;
MS70 : mortier autoplaçant à 70 % de substitution du sable par le sable de marbre ;
MS100 : mortier autoplaçant à 100 % de substitution du sable par le sable de marbre.

V-4-1 Résultats et interprétation de l'état frais (étalement) :

Les résultats des essais de fluidité effectués sur les mortiers à base de sable de marbre sont présentés dans le tableau V.4:

Taux de substitution [%]	Etalement Diamètre [cm]	Mise en œuvre
MS0	21.9	Très bonne
MS30	22.7	Très bonne
MS50	22.2	Très bonne
MS70	21.6	Bonne
MS100	20.8	Bonne

Tableau V-4 : L'essai d'étalement pour la substitution du sable.



Figure V-28 : La galette obtenue après étalement: substitution du sable.

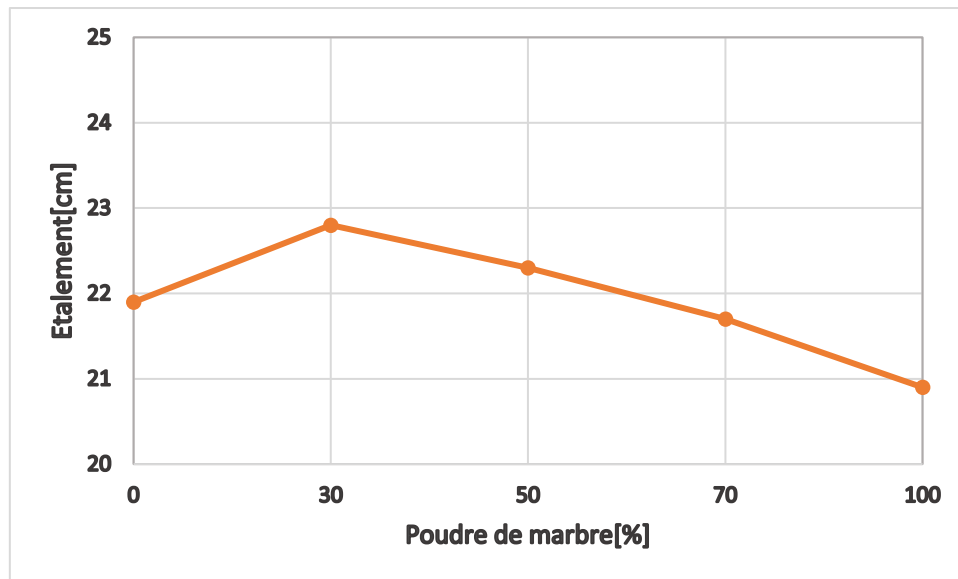


Figure V-29 : Fluidité des mortiers élaborés en fonction du taux de substitution du sable.

Les résultats des essais obtenus à l'état frais montrent que la fluidité des mortiers augmente à 30% de substitution, par comparaison à celle du mortier témoin. Dès qu'on dépasse ce seuil, on note une diminution de la fluidité des mortiers avec l'augmentation du taux de substitution du sable. En effet, jusqu'à 50% de substitution, la diminution n'est pas importante, le mortier répond aux exigences des mortiers autoplaçants du point de vue fluidité et mise en œuvre. Au-delà de 70% de substitution, les mortiers autoplaçants perdent un peu leur fluidité, mais ils restent dans la catégorie des MAP. Il est à noter qu'on peut rattraper cette perte de fluidité en augmentant le dosage en superplastifiant.

V-4-2 Résultats et interprétation de l'état durci :

V-4-2-1 Essai de compression :

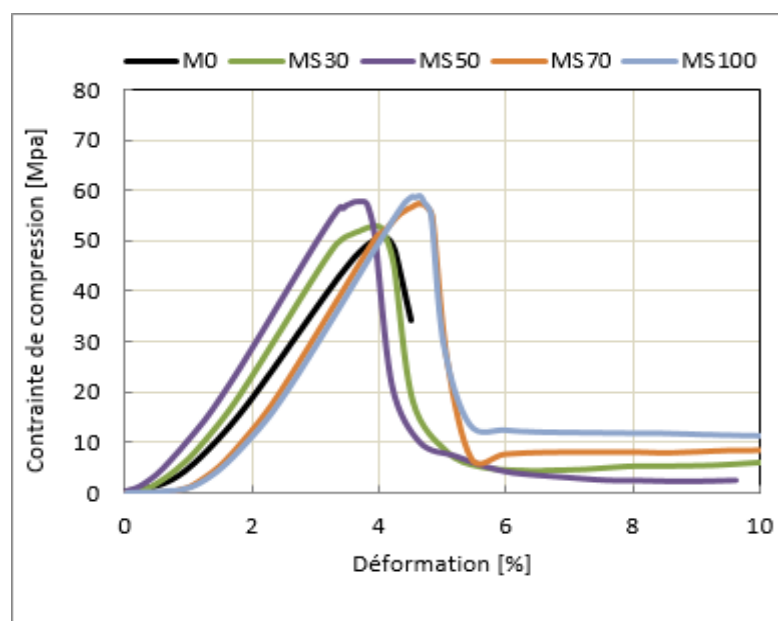


Figure V-30 : Courbe de résistance à la compression des mortiers à 7 jours.

Les courbes obtenues présentent toutes une partie droite traduisant un comportement élastique linéaire, puis ces courbes présentent un pic correspondant à la résistance maximale en compression. Les courbes s'éloignent de la droite, ce qui représente le domaine non linéaire.

D'après les résultats obtenus on remarque une nette amélioration de la résistance en compression avec l'augmentation des taux de substitution du sable par le sable de marbre, par rapport au mortier M0. On remarque aussi que le pic le plus élevé est donné dans le cas de la substitution totale du sable qui présente une résistance égale à 59 MPa.

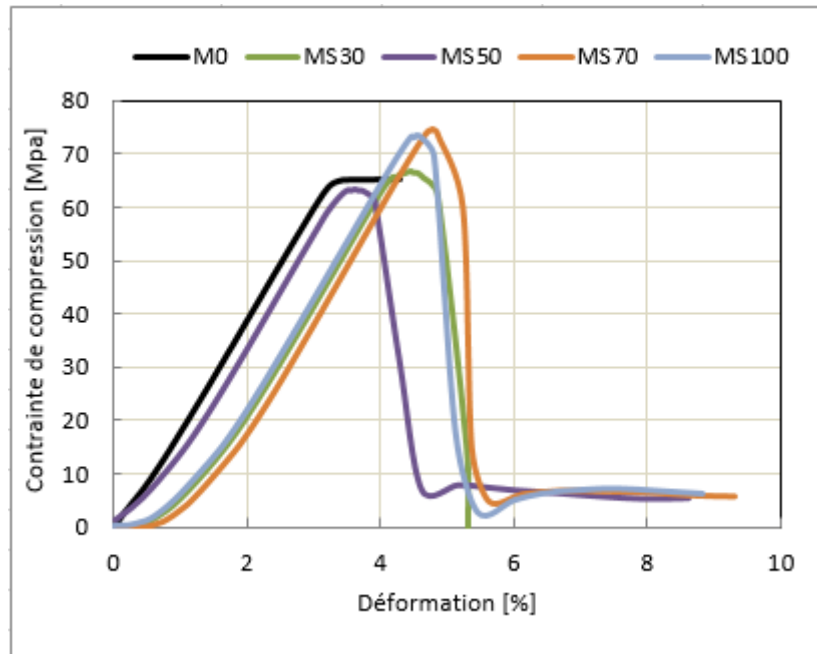


Figure V-31 : Courbe de résistance à la compression des mortiers obtenue à 28 jours.

D'après les résultats présentés sur la figure V-31, les pics des courbes correspondant aux mortiers MS70 et MS100 sont les plus élevés, par rapport aux autres courbes, ce qui présente la résistance la plus importante en compression. En effet, ces pics traduisent une valeur égale à 57 MPa et 59 MPa, pour les mortiers MS70 et MS100, successivement.

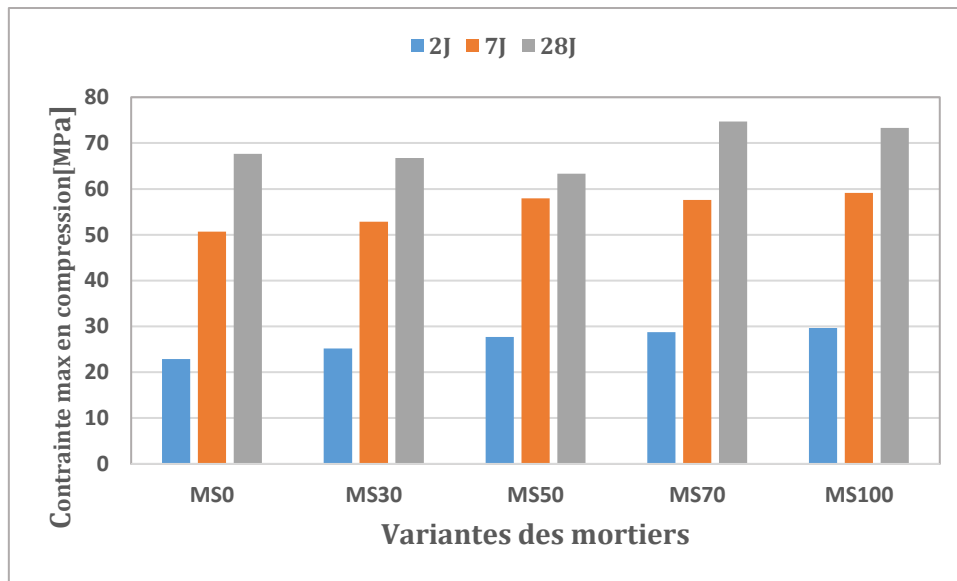


Figure V-32: Evolution de la résistance à la compression des mortiers en fonction du taux de substitution du sable.

D’après les résultats montrés par les histogrammes, la résistance caractéristique à la compression augmente en fonction du temps de durcissement des mortiers. Par ailleurs, tous les mortiers présentent la résistance la plus élevée à 28 jours.

- On remarque aussi qu’à un très jeune âge, la résistance des mortiers autoplaçants est améliorée, en fonction du taux de substitution. De plus, à 7 jours et à partir de 50% de sable de marbre, la résistance à la compression est d’environ 60 MPa. A l’âge de 28 jours, les mortiers MS70 et MS100 présentent une résistance considérable, dépassant 70 MPa.

V-4-2-2 Essai de traction par flexion :

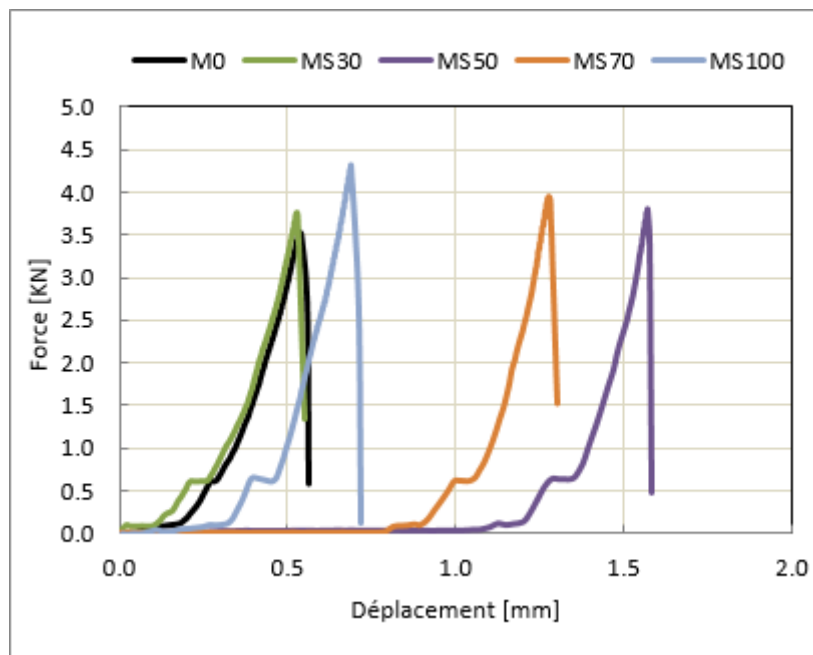


Figure V-33: Courbe de résistance à la flexion trois points obtenue à 7 jours.

D'après cette figure on remarque que la ductilité des mortiers augmente avec l'augmentation des pourcentages du sable de marbre. On constate aussi que le mortier MS50 est le matériau le plus ductile 4.31 KN.

Aussi, à 100% de substitution, la force maximum en flexion est la plus importante, par rapport aux autres mortiers, celle-ci est 4.31 KN alors qu'elle est 3.4 KN de pour le mortier témoin.

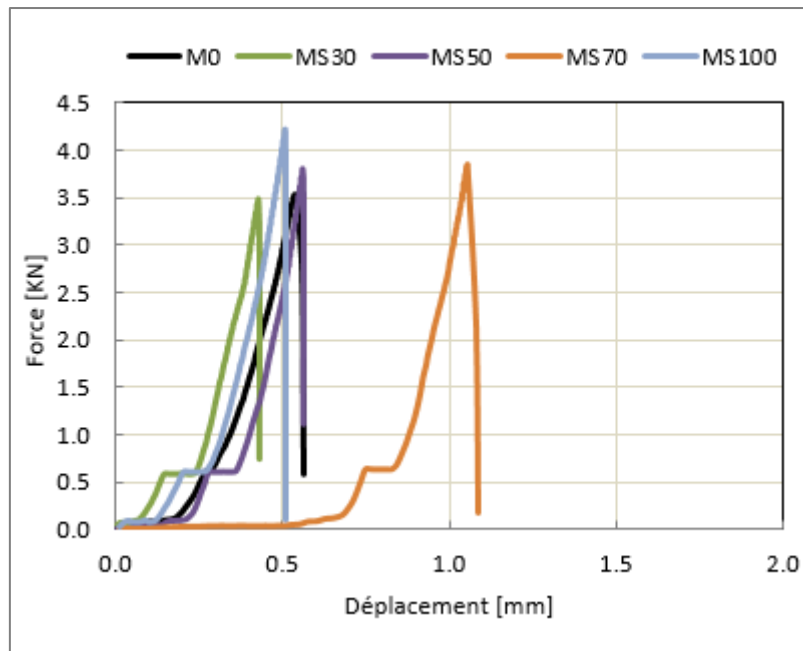


Figure V-34: Courbes force-déplacement à la flexion trois points obtenue à 28 jours.

D'après les résultats montrés dans cette figure on remarque que le mortier MS70 se démarque nettement des autres mortiers, notamment du mortier témoin, en présentant le meilleur comportement en ductilité. On remarque aussi que la force maximum est améliorée avec l'ajout du sable de marbre, comparé à celle du mortier sans ajout. Le mortier MS100 présente la plus grande force en flexion allant jusqu'à 4.22 MPa.

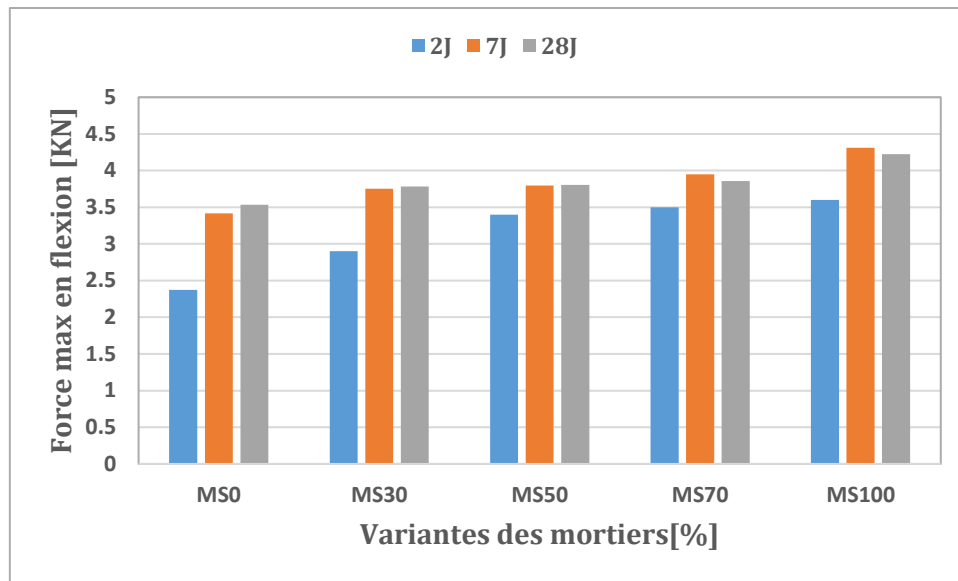


Figure V-35: Evolution de la force à la flexion des MAP en fonction du taux de substitution du sable.

D'après les résultats représentés dans la figure précédente, on remarque que toutes les forces à la traction par flexion des différents mortiers sont améliorées avec le temps et avec l'incorporation du sable recyclé, comparées à celles du mortier témoin. On constate aussi des forces importantes pour le mortier MS100 à 7 et 28 jours. Ces résultats reflètent ceux obtenus dans les figures précédentes.

V-4-2-3 Test à l'Ultrason:

La figure V-36 montre l'évolution de la vitesse de propagation d'ondes dans les MAP en fonction du taux de substitution du sable naturel.

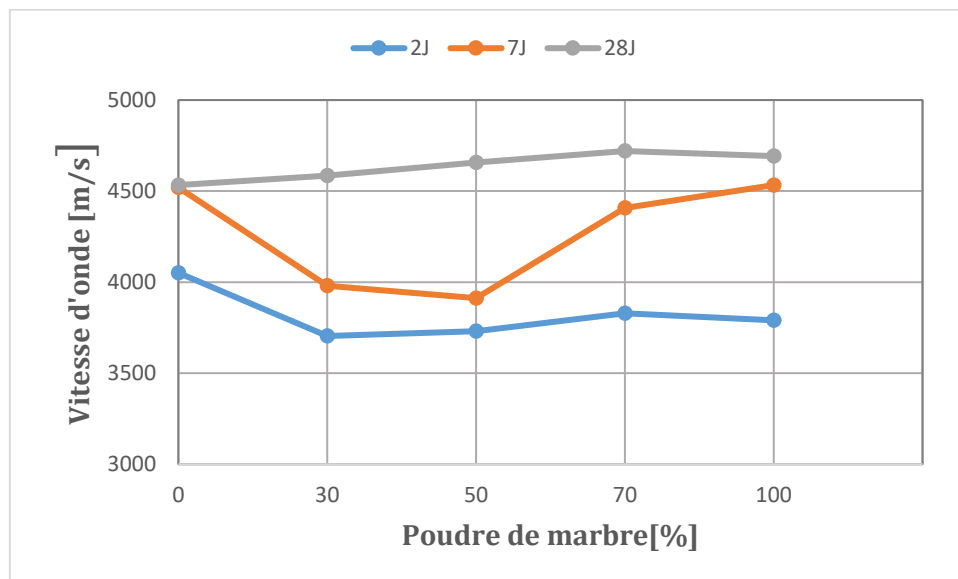


Figure V-36: Courbes de vitesse d'onde obtenues des différents mortiers à 2, 7 et 28 jours

D'après les résultats obtenus, on souligne les points suivants :

-A l'âge de 2 jours une légère baisse de la vitesse d'onde des mortiers avec ajout, comparée à celle du mortier témoin

- A 7 jours, une diminution de la vitesse est également soulignée à 30 et 50%. A partir de 70% de sable de marbre, la vitesse d'onde augmente de nouveau.

-A l'âge de 28 jours une nette augmentation des valeurs de la propagation de l'onde est observée avec l'augmentation du tau des substitutions jusqu'à 70%. Dans le cas d'une substitution totale du sable, une faible diminution légère de la vitesse est notée.

Enfin, on constate que la vitesse de propagation augmente avec le temps de durcissement des mortiers, pour n'importe quel dosage en sable. Aussi, les valeurs obtenues correspondent à un mortier de très bonne compacité, surtout à 28 jours. Ceci a également été observé dans le cas de la substitution partielle du ciment. L'ajout de la poudre confère donc au matériau une bonne compacité, en remplissant ainsi les vides qui se trouvent dans la matrice cimentaire.

***CONCLUSION
GENRALE***

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, nous avons étudié l'influence de la poudre de marbre sur le comportement du mortier autoplaçant à l'état frais et à l'état durci. Une étude expérimentale a été menée pour évaluer les propriétés physico-mécaniques et rhéologiques des MAP avec une substitution partielle du ciment par la PM finement broyée et la substitution du sable de rivière par la poudre de marbre en tant que granulats fins.

Les principaux résultats que l'on peut tirer de cette étude sont résumés comme suit:

-Jusqu'à 30% de substitution de ciment par la PM, la diminution de la fluidité des mortiers n'est pas importante et le mortier obtenu répond aux exigences des mortiers autoplaçants, du point de vue fluidité et mise en œuvre.

-Concernant l'utilisation de la PM en tant que sable, jusqu'au 50% de substitution la diminution n'est pas considérable. A 100% de substitution du sable naturel, les mortiers autoplaçants perdent légèrement leur fluidité.

-La résistance à la compression des mortiers ayant 50% de substitution du ciment a diminué par rapport au mortier témoin. La valeur de la résistance à la compression la plus élevée enregistrée est de l'ordre de 66 MPa pour le mortier avec 10% de substitution du ciment à 28 jours.

-Pour les mortiers avec substitution du sable et à l'âge de 28 jours, les mortiers ayant 70% et 100% de taux de substitution présentent une résistance considérable, dépassant 70 MPa, ce qui dépasse largement la résistance à la compression du mortier témoin.

- Le mortier ayant 100% de sable recyclé donne une meilleure résistance à la flexion à l'âge de 7 et 28 jours.

- Concernant les mortiers avec substitution du sable, à 10 et 20% de substitution on obtient une meilleure résistance à la flexion, par rapport au mortier sans ajout.

- D'après les résultats des essais à l'ultrason, la substitution du ciment et du sable favorise et améliore nettement la compacité du matériau étudié.

Les essais rhéologiques nous ont permis de suivre l'évolution de la contrainte de cisaillement (τ_p) et la viscosité plastique (η_p) des pâtes cimentaires à base différents taux de substitution de la poudre de marbre en fonction du taux de cisaillement. Nous avons clairement remarqué que la contrainte de cisaillement et la viscosité plastique augmentent avec l'augmentation du niveau de substitution du ciment par la PM jusqu'à 20% de substitution. Par la suite, nous avons noté une diminution de ces paramètres à 30% de substitution.

Sur le plan général, l'ajout de la poudre de marbre en tant que substitut total du sable et en tant que substitut partiel du ciment influe positivement sur les caractéristiques physico-mécaniques et rhéologiques.

CONCLUSION GENRALE

De plus, la poudre de marbre pourrait contribuer au développement durable de notre pays, puisque son utilisation est bénéfique pour l'environnement et l'homme, elle contribue à la réduction de déchets de marbre, comme la création des emplois, autrement dit, pour avoir de la poudre de marbre, on a besoin des carrières de recyclage pour recycler ces déchets et ceci nécessite une main d'œuvre ce qui va aider à la réduction du taux de chômage. Aussi, en l'exportant, notre pays pourra créer sa propre richesse, durable et propice pour l'accroissement de l'économie du pays, qu'est la conception de l'intérêt général, ça va créer un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures que ce soit dans le domaine du Génie-Civil ou d'autres domaines.

Ces résultats sont très encourageants tant sur le plan écologique, en préservant les ressources naturelles, que sur le plan économique en construisant à moindre coût. Pour toutes ses considérations, l'incorporation de ce déchet est donc fortement recommandée dans la confection des mortiers autoplaçants.

Perspectives:

Dans les travaux futurs, il serait utile d'étudier d'autres caractéristiques mécaniques des mortiers autoplaçants, tel que le Module d'Young, ou le comportement à long terme, dans le but de mettre en évidence la contribution des additions minérales à l'amélioration des propriétés mécaniques de ces mélanges.

D'autres déchets peuvent être incorporés dans le mortier comme ajout minéral ou granulats, pour d'améliorer certaines propriétés à l'état frais ou à l'état durci tels que le laitier granulé, les déchets de verre, les déchets de construction...etc.

Références bibliographiques :

- [01] **BENSEBT SALAH EDDINE**, Formulation et propriétés des bétons autoplaçants, thèse de Doctorat, 2008, Université Mantouri, Constantine.
- [02] **AFGC**: Groupe de travail Recommandation pour l'emploi des bétons autoplaçants, AFGC/PN B@P, Recommandations provisoires pour l'emploi des bétons autoplaçants, p 63, janvier 2008.
- [03] **MATA LUIS.A.** implementation of self-consolidating concrete (SCC) for prestressed concrete Grids, Master thesis of science in Civil engineering, Raleigh north Cardinal, 2004.
- [04] **OKAMURA H. AND OUCHI M.**, "Self-compacting concrete. Development, present and future", Proceedings of First International RILEM Symposium on Self- Compacting Concrete (PRO 7), Stockholm, Suède, pp. 3-14, 13-15 September 1999.
- [05] **OKAMURA.H, OZAWA.K**, "Self compactable high performance concrete in Japan ", ACI International Workshop on High Performance Concrete, Bangkok, Thailand, 1994.
- [06] **HAYAKAWA.M, MATSUOKA.Y, YOKOTA.K**, "Application of Superworkable Concrete in the Construction of 70-Story Building in Japan ", ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas, 1995.
- [07] **P. ROUGEAU, CH MARRY DIPPE, O. FRANCY**, Les BAP : synthèse des connaissances et compagne.
- [08] **ADAM.M. NEVILLE**; propriétés des bétons, traduit par le CRIB, édition Eyrolles.
- [09] **DUPAIN P, LANCHON R, SAINT-ARROMAN J.C**, "Granulats, sols, ciments, et bétons", CASTEILLA, Paris, 2014.
- [10] **DREUX** Gorisse « Le nouveau guide du béton ».
- [11] **LEGRAND C**, la structure des suspensions de ciment, thèse de doctorat, université Paul Sabatier de Toulouse, 1982.
- [12] **MESSAOUD FARIH**, "Influence des agents de viscosité sur les paramètres rhéologiques intrinsèques des mortiers des bétons autoplaçants", construction" Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2016.
- [13] **KHAYAT ET YAHIA**, effect of welan gum: High range reducer combination on rhedogy of cement grout 1997.ACI materials journal, vol 94N°5, September-October.
- [14] **JOUMANA Y**, rhéologie des bétons fluides à hautes performance : relations entre formulations, propriétés rhéologiques, physico-chimiques et propriétés mécaniques, thèse de doctorat, Cachan (Paris), 2007.
- [15] **J. BARON ET J. OLLIVIER**, les bétons bases et données pour leurs formulations, EYROLLES, 1999

- [16] **PARK, NOH, PARK**, rheological properties of cementitious materials containing mineral admixtures, cement and concrete research, 2005, vol 35, pp 842-849.
- [17] **OKAMURA H., OZAWA K.** "Self-compactable high performance concrete", International Workshop on High Performance Concrete, American Concrete Institute, Detroit, pp. 31-44, 1994.
- [18] **ACI**, „ Processes, Self-Compacting Concrete“ “ , Advanced Concrete Technology III, 203.9/3, (2003)
- [19] **ROSSINGTON, D. R.**, Surface chemistry of glass, In Introduction to Glass Science, Springer US., p. 513-543, 1972
- [20] **MICHEL F. ASHBY, D.R.H. JONES**, Matériaux, Dunod, coll. Sciences Sup, 1981.
- [21] **PH. TURCRY ET A. LOUKILI**, Différentes approches pour la formulation des BAP, Revue Française de Génie-Civil, volume 7, N°4, 2003.
- [22] **EFNARC**, Specifications and guidelines for self-compacting concrete, pp 32. CERIB, février 2002
- [23] **SU N., HSU K.C., CHAI H.W.**, "A simple mix-design method for self compacting concrete", Cement Concrete Researchs, 31(12), pp1799-1807, 2001.
- [24] **FICHE TECHNIQUE**, Tome 1, "Les bétons, formulation, fabrication et mise en œuvre", Edition janvier 2013
- [25] **POWERS**, properties of fresh concrete, 1988, edition Wiley, 664 pages.
- [26] **DE SCHUTTER** « Guidelines for testing fresh self compacting concrete », European Research Project, 2005
- [27] **MAISON.OOREKA**, Type.des.mortiers, www.construction.maison.ooreka.fr
- [28] **Division de groupe CRH Canada inc**-Demix Béton--Mortier-autoplacant,janvier 2016
- [29] **M. YURUGI, N. SAKATA, M. IWAI & G. SAKAI** 1993:Mix proportion for highly workable concrete. Conference Concrete 2000. Dundee. 7-9 September 1993.
- [30] **S. TANGTERMSIRIKUL, J. SAKAMOTO, T. SHINDOH, Y.H. MATSUOKA.** Evaluation of resistance to segregation of super workable concrete and role of a new type of viscosity agent. Taisei Technical Research Report. N° 24, pp 369-376. December 1991.
- [31] **F. DE LARRARD, F. BOSC, C. CATHERINE & F. DE FLORENNE** 1996 : La nouvelle méthode des coulis de l'AFREM pour la formulation des bétons à hautes performances. Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées. N° 202, pp 61-69. Mars-Avril 1996.

[32] **SEDRAN T.** « Rhéologie et rhéométrie des bétons : Application à la formulation des bétons autonivelants », Thèse de Doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, Mars 1999.

[33] **S. KUROIWA, Y. MATSUOKA, M. HAYAKAWA & T. SHINDOH.** Application of super workable concrete to construction of a 20-story building. American Concrete Institute SP140, High Performance Concrete in Severe Environments. Detroit, Michigan. pp 147-161. 1993.

[34] **T. SHINDOH, Y. MATSUOKA, S. TANGTERMSIRIKUL, J. SAKAMOTO** « Effect of variation of material quality on properties of super workable concrete». Transactions of Japan Concrete Institute. V 14, pp 71-78. 1992.

[35] **WILFRIED KURZ, JEAN-PIERRE MERCIER ET GERALD ZAMBELLI,** Traité des matériaux - Volume 1- Introduction à la science des matériaux - PPUR - 1999.

[36] **A KERBOUCHE, M. MOULI, L. LAOUFI, Y. SENHADJI, S. BENOSMANE**(Faculté des sciences, Laboratoire de Chimie des Polymères, Université d'Oran, Es-sénia, Oran)(Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques des mortiers).

[37] **NECHAF SAMIA,** "L'influence de l'ajout de la poudre de verre sur les bétons ordinaires soumis à un chargement extérieur", mémoire de Magister, Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015.

[38] **BEZZI TIZIRI, SOUIDI FATIHA, CHELOUAH Nacer,** Influence de l'ajout d'une argile locale, cuite et broyée, sur la résistance a la compression et le retrait d'un beton autoplaçant, Université Abderahmane MIRA, Béjaia, Algérie

[39] **F. SOUIDI, N. CHELOUAH, A. NOUMOWE, A. KACI,** Communication. Exploitation d'argile dans la fabrication de mortiers écologiques, matériaux 2010-18-22, Nantes (France), octobre 2010.

[40] **MAHER EL BARRAK,** thèse de doctorat contribution à l'étude de l'aptitude à l'écoulement des bétons autoplaçants à l'état frais, thèse de doctorat, Université de Toulouse, France, 2005.

[41] **SAADANI SABRINA,** "Comportement des bétons à base de granulats recyclés", mémoire de Magister, Université Mantouri de Constantine.

[42] **POOJA J.CHAVHAN ET AL INT,** « Journal of Engineering Research and Applications: 2248-9622 », Vol. 4, Issue 4 (version 1), April 2014.



متين Matine



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT



- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 	
Dosage pour béton c25/30	X 1 	+ X7 	+ X5 	+ X4 	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

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

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

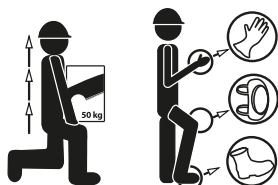
• Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

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

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



 A member of LafargeHolcim

Conditionnement: Sac et vrac

LAFARGE ALGÉRIE

Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02, Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie

Tél: + 213 (0) 21 98 54 54

Fax: + 213 (0) 23 92 42 94

www.lafargealgerie.com

dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com

Tél: 021 55 55 98

Conditionnement : sac et vrac

 LAFARGE
لافارج

Notice technique

Edition juin 2017

Numéro 1.20

Version n°106. 2017

SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab. 1, 3.1 et 3.2.

Présentation

SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

Domaines d'application

- SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplaçants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

Caractères généraux

SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- longue rhéologie (>2h),
- robustesse à la ségrégation,
- qualité de parement.

**Agréments, essais de laboratoire**

- PV CNERIB : DTEM : 108/2017.

Caractéristiques**Aspect**

Liquide brun clair

Conditionnement

- Fûts de 230 kg
- CP de 1000 L
- Vrac

Stockage

Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.

Conservation

1 an en emballage intact

Données techniques**densité**

1,06 ± 0,01

pH

6 ± 1

Teneur en Na₂O Eq.

≤ 1 %

Extrait sec

30,2 ± 1,3 %

Teneur en ions Cl⁻	≤ 0,1 %
Conditions d'application	
Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées. Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.
Mise en œuvre	SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
Précautions d'emploi	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau. Consulter la fiche de données de sécurité.
Mentions légales	Produit réservé à un usage strictement professionnel. Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazair
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger/ ALGERIE
Web : dza.sika.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84
213 (0) 21 50 16 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 08

