



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

N°d'enregistrement
/...../...../.....

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département Hydraulique et Génie Civile

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine: ST

Filière: Génie Civile

Spécialité: Structures

Thème :

Propriétés rhéologiques et mécaniques de mortier auto plaçant à base de déchet de carrière (sable 0/3) comme alternative durable au sable naturel produit avec des déchets des céramiques comme charge.

Déposé le : 08/06/2022

Par :

GAROUI Asma & FIHAKHIR Maroua

Évalué Par le jury composé de :

LAROUI Abdelbasset

MAA

Univ Ghardaïa

Président

DEHANE Sara

MAG G.C.

Univ Ghardaïa

Évaluatrice

SALHI Aimad

MAA

Univ Ghardaïa

Encadreur

Année universitaire : 2021/2022



LISTE DES FIGURES

Figure (I.01) : Effet de la teneur en poudre de céramique sur RC et l'adhérence	14
Figure (I.02) : Illustration de l'effet filler	15
Figure (I.03) : Notion d'excès de pâte : la pâte remplit la porosité et écarte les granulats	17
Figure (I.04) : Caractérisation du mortier auto plaçant,.....	19
Figure (I.05) : Influence de la finesse de filler sur le comportement d'un béton	22
Figure (I.06) : les moules 4x4x16 et 5x5x5.....	24
Figure (I.07) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion	25
Figure (I.08) : Dispositif de rupture en compression.....	26
Figure (II.01) : Evolution de la production de sable concassé période 2005-2009.....	28
Figure (II.02) : Variation de rapport E/C en fonction de pourcentage de fines	30
Figure (II.03) : Effet des fines calcaires sur l'affaissement du béton	30
Figure (II.04) : Relation entre Rc et la teneur en fine de calcaire.	31
Figure (II.05) : Effet des fines sur l'évolution du RC et RT d'un BAP et d'un BO	32
Figure (II.06) : Evolution de la RF à 28 jours des trois types de Mortiers.....	33
Figure (II.07) : Influence de la finesse du filler sur RT des différents BAP.....	33
Figure (II.08) : Résistance à la compression des BAP et BO.	34
Figure (III.01) : Le ciment AWTED.....	35
Figure (III.02) : Analyse granulométrique par tamisage.....	37
Figure (III.03) : Courbes granulaires des quatre types des sables utilisés... ..	38
Figure (III.04) : La masse volumique apparente.....	39
Figure (III.05) : La masse volumique absolue	40
Figure (III.06) : lavage de sable	41
Figure (III.07) : Laisser reposer	42
Figure (III.08) : La machine agitatrice.....	42
Figure (III.09) : Remplir l'éprouvette	43
Figure (III.10) : Le super plastifiant	44
Figure (III.11) : Malaxeur a mortier	45
Figure (III.12) : Schème des essais effectué	46
Figure (III.13) : Essais de mini cône.....	46
Figure (III.14) : Essais de l'entonnoir en V	47

Figure (III.15) : les moules de mortier.....	47
Figure (III.16) : les éprouvettes de mortier.....	48
Figure (III.17) : Essai de traction.....	49
Figure (III.18) : Essai de compression.....	49
Figure (III.19) : Essai d'absorption d'eau.....	50
Figure (IV.01) : Histogramme d'étalement au mini cône des quatre mortiers élaborés	51
Figure (IV.02) : Résultats d'essais d'entonnoir (V-Funnel).....	52
Figure (IV.03): Résultats d'essais de la RC des différents mélanges.....	53
Figure (IV.04) : Résultats d'essais de la RT par flexion des différents mélanges... ..	54
Figure (IV.05) : Corrélation entre R. Compression et R. traction par flexion.....	55
Figure (IV.06) : Résultats d'essais d'absorption capillaire	56

Liste Des Tableaux

Tableau (I.01) : Classification de ciment.....	04
Tableau (I.02) : Classe de résistance des ciments	06
Tableau (I.03) : Composition chimique de CPJ.....	07
Tableau (I.04) : La composition chimique du clinker.....	08
Tableau (I.05) : Lateneur des principaux composants dans la farine crue.....	09
Tableau (III.01) : Les caractéristiques chimiques de ciment AWTED.....	36
Tableau (III.02) : Les caractéristiques physico-mécaniques de ciment AWTED.....	36
Tableau (III.03) : les types de Sable	38
Tableau (III.04) : Les résultats de la masse volumique apparente.....	40
Tableau (III.05) : Les résultats de la masse volumique absolue.....	41
Tableau (III.06) : Les résultats d'équivalent de sable.....	43
Tableau (III.07) : Caractéristiques physiques et chimiques du superplastifiant.....	44
Tableau (III.08) : Formulation des mortiers.....	45

SOMMAIRE

Liste des figures.....	i
Liste des tableaux	iii
Résumé	iv
Introduction générale.....	01

Chapitre I: Revue de littérature sur le béton et le mortier auto-plaçant

I.1.Le béton auto-plaçant.....	02
I.1.1 Définition du béton auto plaçant	02
I.1.2 Constituants des BAP.....	02
I.1.2.1 Les granulats	02
I.1.2.2 Le ciment.....	03
I.1.2.2.1 Les ciments en general (type et normalisation).....	03
I.1.2.2.1.1 Ciment Portland.....	04
I.1.2.2.1.2 Ciment de haut fourneau (CHF).....	05
I.1.2.2.1.3 Ciment de clinker (CLK).....	05
I.1.2.2.1.4 Ciment pouzzolaniques	05
I.1.2.2.1.5 Ciment Portland composé (CPJ)	06
I.1.2.2.2 Le clinker.....	07
I.1.2.2.2.1 Définition	07
I.1.2.2.2.2 La composition chimique du clinker.....	08
I.1.2.2.2.3 La composition minéralogique du clinker	08
I.1.2.2.3 Principe de fabrication des ciments.....	08
I.1.2.2.3.1 Processus de caisson.....	09
I.1.2.3 Les ajouts minéraux.....	11
I.1.2.3.1 Les ajouts minéraux actifs.....	11
a. La pouzzolane.....	11
b. Le laitier de haut fourneau.....	12
c. La fumée de silice	12
d. Poudre de céramique (PC)	12
I.1.2.3.2 Les ajouts minéraux inertes	14
a. Les fillers calcaires	14
I.1.2.4 L'eau.....	15
I.1.2.5 Les superplastifiants.....	15
I.1.3 Avantages du développement du béton autoplaçant	16
I.1.4 Divers approches de formulation des BAP	16
a. L'approche basée sur l'optimisation des mortiers	16
b. L'approche basée sur l'optimisation du volume de pate	17
c. L'approche basée sur l'optimisation du squelette granulaire	17
d. Méthode basée sur un plan d'expérience.....	18

e. L'approche basée sur l'utilisation du mortier de béton équivalent.....	18
I.1.5 Les méthodes de formulations des BAP	18
I.1.5.1 L'approche japonaise	19
I.1.5.2 L'approche de JSCE.....	20
I.1.5.3 L'approche du laboratoire centrale des ponts et chaussier LCPC.....	21
I.1.5.4 Autres méthodes	21
I.1.6 Particularité de la composition des BAP.....	21
I.1.6.1 Un volume de pâte élevé.....	21
I.1.6.2 Une quantité de fines ($\varnothing < 80 \mu\text{m}$) importante.....	21
I.1.7 Relation entre mortier et béton autoplaçant	22
I.2 Le Mortier Auto plaçant.....	23
I.2.1 Propriété de MAP à l'état frais.....	23
I.2.1.1 Etalement au Minicone de pate.....	23
I.2.1.2 Essai de formabilité de l'Entonnoir V (V-funnel).....	24
I.2.2 Propriété de MAP à l'état durcie.....	24
I.2.2.1 Résistance mécanique	24

Chapitre II : Influence du S/C (0/3) sur les propriétés du MAP

II.1 Caractéristiques des sables de concassage.....	27
II.2 Utilisation du sable concassage en Algérie.....	27
II.3 Travaux de recherche sur le sable de concassage.....	35
II.3.1 Propriétés du BAP et MAP à base du sable concassé	29
II.4 Effet de sable de concassage sur les propriétés des MAP	29
II.4.1 L'état frais.....	29
a- L'ouvrabilité.....	29
II.4.2 L'état durci.....	31
a. Résistance à la compression.....	31
b. Résistance à la flexion	32

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés et Méthodes Expérimentales

III.1. Introduction.....	35
III.2 Les Matériaux utilisés.....	35
III.2.1 Ciment	35
III.2.1.1 Les caractéristiques techniques.....	35
III.2.1.2 Applications / Usages.....	36
III.2.2 sable.....	37
III.2.2.1 Analyse granulométrique par tamisage.....	37
III.2.2.2 Le module de finesse.....	38
III.2.2.3 La masse volumique.....	39
La masse volumique apparente [NA.255-5/1990].....	39

Mode opératoire.....	37
Masse volumique absolue [NA.255/1990].....	40
Mode opératoire.....	40
III.2.2.4 Equivalent de sable.....	41
Mode opératoire.....	41
III.2.3 L'eau de gâchage.....	43
III.2.4 Superplastifiant.....	44
III.3 Formulation des mortiers.....	44
III.3.1 Composition des mortiers.....	45
III.3.1.1 Protocole de mélange des mortiers autoplaçants (MAP).....	45
III.3.2 Conduite d'essai à l'état frais.....	46
III.3.2.1 Essai au mini cône.....	46
III.3.2.2 Essais de l'entonnoir en V (V-funnel).....	47
III.3.2.3 Confection des éprouvettes.....	47
III.3.2.4 Conservation des éprouvettes (selon la norme NF P18 438).....	48
III.3.3 Conduite d'essai A l'état durci.....	48
III.3.3.1 Essai de traction par flexion.....	48
III.3.3.2 Essai de compression.....	49
III.3.3.3 Essai d'absorption d'eau par capillarité.....	50

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1 Introduction.....	51
IV.2 Essais à l'état frais.....	51
IV.2.1 Essai de mini cône (NF EN 196-1).....	51
IV.2.2 Essai d'entonnoir (V-Funnel).....	52
IV.3 Essai à l'état durci.....	52
IV.3.1 La résistance à la compression.....	52
IV.3.2 La résistance à la traction par flexion.....	53
IV.3.2.1 Corrélation entre RC et RT.....	55
IV.3.3 Absorption capillaire.....	55
Conclusion.....	57
Références.....	58
Les Annexes.....	59

الملخص

تعتبر الخرسانة كواحدة من أكثر مواد البناء شيوعاً نظراً لتكلفتها المنخفضة وتقنياتها البسيطة. من ناحية الكمية، تحتل الرمال حوالي ثلث حجم الخرسانة. لذلك، كلما زادت كمية الخرسانة المستخدمة، زاد الطلب على الرمل، وهذا ما يدفعنا للبحث عن بدائل لرمل الوديان، ومن بين أكثر البدائل المتاحة الرمل المكسر، وهو منتج ثانوي لعملية تصنيع الحصى الخشن، كمادة رملية صناعية.

الغرض من هذا العمل هو المساهمة في استغلال وتنميين الرمل المكسر (3/0) لاستخدامها كبديل لرمل الوديان. في هذا السياق، سيتم دراسة الخصائص الانسيابية (ح. السائلة) والميكانيكية (ح. الصلبة) للملاط (MAP) الموضوع ذاتياً باستخدام 04 أنواعاً من الرمل: رمل الوديان (SA) (الشاهدة)، الرمل المكسر (3/0)SC، رمل الكثبان ومزيج من الرمل المكسر/الكثبان MSCD الرمل (40/60) وذلك خلال الفترات 2 و 7 و 28 و 60 يوماً.

أشارت النتائج إلى أن جميع خلطات (MAP) المحتوية على SC بما في ذلك (SA) (الشاهدة) لها خصائص في الحالة السائلة مقبولة بناءً على معايير إفنارك (EFNARC). بينما أظهرت الخلطات المحتوية على (SC) خواص ميكانيكية أعلى من الشاهدة.

الكلمات المفتاحية: الرمل المكسر، رمل الوديان، رمل الكثبان، ملاط ذاتي الوضع، مقاومة الانضغاط، قوة الشد.

Résumé

Le béton est adopté comme l'un des matériaux de construction les plus populaires en raison de son faible coût et de sa technologie simple. Quantitativement, le sable occupe de l'ordre du tiers du volume du béton ; par conséquent, plus la quantité de béton utilisée est grande, plus la demande de sable sera élevée. Cela conduit à la recherche des alternatives au sable alluvionnaire, et parmi les alternatives les plus disponibles est le sable concassé, un sous-produit du processus de fabrication des granulats grossiers, comme matériau de sable artificiel.

Le but de ce travail est de contribuer à l'exploitation et à la valorisation de concassé pour l'utilisé comme alternative au sable alluvionnaire. Dans ce cadre, les propriétés rhéologiques et mécaniques du Mortier auto-plaçant MAP seront étudiées à l'aide de 04 types des sables : sable alluvionnaire SA (témoin), sable concassé SC (0/3), sable de dunes et un mélange sable concassé / sable de dunes MSCD (60/40) et cela pendant les périodes 2, 7, 28 et 60 jours.

Les résultats ont indiqué que tous les mélanges MAP contenant du SC y compris le SA (témoin) avaient des propriétés rhéologiques acceptables compte tenu des critères EFNARC. Tandis que les mélanges contenant du SC ont montré des propriétés mécaniques plus élevées que le témoin (SA).

Mots clés: Sable concassé, sable de vallée, sable de dunes, mortier auto-plaçant, résistance à la compression, résistance à la traction.

Abstract

Concrete is adopted as one of the most popular building materials due to its low cost and simple technology. Quantitatively, the sand occupies about a third of the volume of the concrete; therefore, the greater the amount of concrete used, the greater the demand for sand. This leads to the search for **alternatives to alluvial** sand, and among the most available alternatives are dune sand and crushed sand, a by-product of the coarse aggregate manufacturing process, as an artificial sand material.

The purpose of this research work is to contribute to the exploitation and enhancement of two types of sand, namely dune sand and crushed sand for use as an alternative to alluvial sand. In this context, the rheological and mechanical properties of the MAP self-compacting mortar will be studied using 04 types of sand: alluvial sand SA (control), crushed sand SC (0/3), dune sand and a sand mixture crushed / dune sand MSCD (60/40) and this during the periods 3, 7, 28 and 60 days.

The results indicated that all SC-containing MAP blends including SA (control) had acceptable rheological properties based on EFNARC criteria. While the blends containing SC showed higher mechanical properties than the control (SA).

The results indicated that all SC-containing MAP blends including SA (control) had acceptable rheological properties based on EFNARC criteria. While the blends containing SC showed higher mechanical properties than the control (SA).

Key words: Crushed sand, valley sand, dune sand, self-compacting mortar, compressive strength, tensile strength.

Introduction

Introduction

Le développement dans la construction des bâtiments et des ouvrages de génie civil a provoqué durant les dernières décennies un accroissement considérable dans la consommation de granulats. La demande de sable en Algérie est estimée à 25,1 millions de tonnes, dont 16 millions de tonnes pour la construction et 9,1 millions de tonnes pour les travaux publics (ouvrages d'art). La demande sans cesse croissante sur les granulats a provoqué un épuisement rapide des sablières et des ballastières [1].

Il faut noter que la surexploitation de ces sables peut conduire à des répercussions directes sur les activités humaines et les ressources naturelles à savoir l'érosion des berges d'oued et l'avancée de mer.

Outre cette situation préoccupante, il existe environ 1010 carrières en Algérie avec des capacités de production allant de 10 à 400 tonnes par heure et une production annuelle totale de 68 millions de tonnes. Ces carrières produisent 15 millions de tonnes de sable concassé comme sous-produit [2]. Ce sable n'est que partiellement utilisé dans la construction de routes et est rarement utilisé dans le béton, ce qui pose un problème de stockage au niveau de la carrière.

La wilaya de Ghardaïa, comme la plupart des wilayas de la nation, souffre du même problème, bien qu'il dispose de plusieurs stations de concassage, comme la station de Metlili, route Zelfana, Berriane...

Le but principal de ce travail est la valorisation du sable de concassage de la station de Metlili dans la confection du mortier en utilisant les fines des déchets de céramiques comme ajout par l'étude de leur effets sur les propriétés rhéologiques et mécaniques du mortier auto-plaçant (MAP).

Notre mémoire est décomposée en quatre chapitres dont le premier présente une revue de littérature sur le béton et mortier auto-plaçant. Le deuxième est dédié à l'étude de l'influence du sable concassé (0/3) sur les propriétés du mortier auto-plaçant, tandis que le troisième chapitre les matériaux utilisés et le protocole expérimental sont présentés. Le quatrième chapitre regroupe les résultats des essais de caractérisation du MAP à l'état frais et durcie.

Enfin, On termine cette mémoire par une conclusion qui regroupe les principaux résultats obtenus et qui sera suivie par des recommandations pour des futures recherches.

Chapitre I:
Revue de littérature sur le
béton et le mortier
Auto-plaçant

Chapitre I: Revue de littérature sur le béton et le mortier auto-plaçant

I.1. Le béton auto-plaçant :

I.1.1 Définition du béton auto-plaçant :

Les bétons auto-plaçant (B.A.P.) ont été développés au Japon à la fin des années 80. Leur origine semble provenir de la nécessité d'utiliser des matériaux de plus en plus «performants» pour palier une réduction de la qualité des constructions due à une mauvaise mise en place du matériau [3]. La mise en œuvre d'un béton traditionnel nécessite une phase de vibration afin de remplir correctement les coffrages. Cette étape conditionne la qualité de la structure finale, mais c'est également un travail pénible qui demande un savoir-faire particulier.

La solution proposée a été d'utiliser un matériau très fluide, capable de se compacter sous son propre poids, sans vibration extérieure. Ces matériaux initialement appelés Bétons Hautes performances, sont aujourd'hui connus sous le nom de bétons autoplaçants, bétons autocompactants, ou bétons autonivellants, selon les applications [3]. Ils connaissent à l'heure actuelle un essor considérable en Europe et aux Etats-Unis et prendront dans les années à venir une place de plus en plus importante. Les domaines d'application des B.A.P. sont nombreux, mais leur utilisation implique une évolution ou une adaptation des moyens et des techniques traditionnellement employées.

I.1.2 Constituants des BAP :

I.1.2.1 Les granulats :

Les granulats sont définis comme l'ensemble des grains inerte (sable, gravier, gravillon). Les granulats peuvent être :

«Natural» lorsqu'ils sont issus de roche meuble ou massive.

«Artificiels» lorsqu'ils proviennent de la transformation thermique et mécanique des roches ou de minerais.

«Recyclés» s'ils proviennent de la démolition d'ouvrage ou lorsqu'ils sont réutilisés.

Nous distinguons les granulats roulés extraits de ballastières naturelles ou de rivières, et les granulats concassés, obtenus à partir des roches concassées exploitées en carrières.

Les granulats sont classés en fonction de leurs grosseurs déterminées par criblage sur

tamis à mailles dont la dimension intérieure est exprimée en millimètres.

La norme française XP P 18-540 donne une définition des principales divisions granulométrique des granulats :

- Sable 0/D ou $1 < D \leq 6,3$
- Graves 0/D ou $d > 6,3$
- Gravillon d/D ou $d \leq 12,5$ cm

Pour la formulation des BAP on peut utiliser des granulats roulés ou concassés.

En général, le diamètre maximal D_{max} des gravillons dans un BAP est inférieur à 20 mm. Les risques de blocage, pour un confinement donné, augmentent lorsque D_{max} augmente, ce qui conduit à diminuer le volume de gravillon, et aussi pour réduire les frictions entre les granulats. D'un autre côté, la présence de gravillons permet d'augmenter la compacité du squelette granulaire du béton et, donc, de limiter la quantité de liant nécessaire pour obtenir l'ouvrabilité et la résistance souhaitées. En général, ces considérations conduisent à adopter un rapport gravillon/sable (G/S) de l'ordre de 1 dans les BAP. [4]

I.1.2.2 Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière minérale finement moulue qui, mélangée avec l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit à la suite du processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium. Dans les ciments, les aluminates peuvent également intervenir dans le processus de durcissement. La somme des proportions de l'oxyde de calcium (CaO) et du dioxyde de silicium (SiO₂) réactifs doit être d'au moins 50 % en masse. [4]

I.1.2.2.1 Les ciments en général (Types et normalisation) :

Les ciments constitués de clinker et des constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux par les normes NF P15-301 et ENV 197-1. Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne (la notation française est indiquée entre parenthèse):

CEM I: Ciment portland (CPA - dans la notation française),

CEM II: Ciment portland composé (CPJ),

CEM III: Ciment de haut fourneau (CHF),

CEM IV: Ciment pouzzolanique (CPZ),

CEM V: Ciment au laitier et aux cendres (CLC).

La proportion (en masse) des différents constituants est indiquée dans le tableau (I.1) Les constituants marqués d'une étoile (*) sont considérés comme constituants secondaires pour le type de ciment concerné; leur total ne doit pas dépasser 5%. (Les fillers sont considérés comme des constituants secondaires). ...[4]

Tableau (I.01): classification de ciment ...[5]

	Cim. Portland	Ciment Portland composé		Ciment de haut fourneau			Ciment pozzolanique	
	CPA-CEM I	CPJ-CEM II/A	CPJ-CEM II/B	CHF-CEM III/A	CHF-CEM III/B	CLK-CEM III/C	CPZ-CEM IV/A	CPZ-CEM IV/B
Clinker (K)	/95%	/80% ≤94%	/65% ≤79%	/35% ≤64%	/20% ≤34%	/5% ≤19%	/65% ≤90%	/45% ≤64%
Laitier (S)	*	6%≤	21%≤	/36% ≤65%	/66% ≤80%	/81% ≤95%	*	*
Pouzzolanes (Z)	*	total	total	*	*	*	10% ≤ total ≤35% (fumée ≤10%)	36% ≤ total ≤55% (fumée ≤10%)
Cendre siliceuses (V)	*	≤20%	≤35%	*	*	*		
Fumée de silice (D)	*	(fumée	(fumée	*	*	*		
Cendres calciques (W)	*	de	de	*	*	*		
Schistes (I)	*	silice	silice	*	*	*	*	*
Calcaires (L)	*			≤10%)	≤10%)	*	*	*
Fillers (F)	*	*	*	*	*	*	*	*

A titre d'information, nous avons fait dans la suite de ce titre le parallèle entre les éléments des anciennes normes, commercialisés. Jusqu'au fin décembre 1994 et les ciments des nouvelles normes qui leur succèdent. [3]

I.1.2.2.1.1 Ciment Portland :

a) jusqu'à fin 1994, sous le terme général de « Ciments Portlands » étaient englobés les deux catégories de ciments suivants :

Le ciment Portland artificiel (CPA) Le ciment Portland composé (CPJ) Le ciment Portland artificiel (CPA) contenait au moins 97% de clinker, le reste étant du filler. Le ciment Portland composé (CPJ) contenait au moins 65% de clinker, le reste l'un ou plusieurs des autres constituants énumérés précédemment.

b) Dans la nouvelle normalisation, on retrouve ces deux catégories, mais avec des

appellations un peu différentes et surtout dans le cas des ciments Portlands composés, plusieurs sous-catégories.

Les ciments Portland comprennent en conséquence :

- Le ciment Portland Type I.
- Le ciment Portland composé Type II.

Le ciment Portland Type I dont la dénomination est « CPA-CEM I » contient au moins 95% de clinker, le reste pouvant être, dans la limite de 5%, l'un des constituants de base énumérés précédemment ou un filer.

Le ciment Portland composé Type II avec les dénominations « CPJ-CEM II/A » et « CPJ-EMII/B » contient de clinker (K) et un autre constituant

Les ciments « CPJ-CEM II/A » contiennent de 80 à 94% de clinker et de 6 à 20% de l'un des constituants énumérés ci-dessus ; à l'exception des fumées de silice dont le pourcentage est limité à 10%.

Les ciments « CPJ-CEM II/B » contiennent de 65 à 79% de clinker et de 21 à 35% de l'un des autres constituants. [4]

I.1.2.2.1.2 Ciment de Haut fourneau (CHF) :

Jusqu'à fin 1994, les ciments de haut-fourneau « CHF » contenaient de 25 à 60% de clinker et de 40 à 70% de laitier avec éventuellement un filler dans la limite de 3% de l'ensemble des constituants.

Les nouveaux ciments de haut-fourneau constituant les ciments de Haut-Fourneau Type III, au nombre de trois catégories, couvrent une plage plus étendue englobant notamment les ciments de laitiers au clinker CLK .

I.1.2.2.1.3 Ciments de clinker (CLK) :

Ce ciment qui contenait au moins 80% de laitier et au plus 20% de clinker n'existe plus dans la nouvelle norme, mais est classé dans les ciments de haut-fourneau sous la dénomination « CLK-CEM III/C ».

I.1.2.2.1.4 Ciments pouzzolaniques :

La nouvelle normalisation comporte, dans les ciments Type IV, deux catégories de ciments pouzzolaniques dont la dénomination générale est « CPZ-CEM IV », qui diffèrent en fonction de leurs pourcentages respectifs de clinker et de l'autre constituant à propriété pouzzolanique, qui peut être soit des pouzzolanes (Z), soit des cendres volantes siliceuses (C),

soit dans la limite de 10% des fumées de silice(D). On distingue :

Les ciments « CPZ-CEM IV /A » contenant de 65 à 90% de clinker (K) et de 10 à 35% de l'un des constituants précédents avec éventuellement de 0 à 5% d'un constituant secondaire autre que celui entrant dans la composition, tel un filler.

Tableau (I.2) : Classe de résistances des ciments.

Désig. de la classe Mpa	Sous- classe éventuelle	Résistances à la compression		
		à 2 jours	à 28 jours	
		Limite inférieure nominale Mpa	Limite inférieure nominale Mpa	Limite supérieure nominale Mpa
35	-	-	25.0	45.0
45	-	-	35.0	55.0
45	R(R apide)	15.0		
55	-	-	45.0	65.0
55	R(R apide)	22.5	45.0	65.0
HP (hautes Performances)	-	-	55.0	-
	R(R apide)	27	55.0	-

a) Remarque importante :

Il est très important de noter que les classes de ciments commercialisés jusqu'à la fin de 1994 étaient indiquées en fonction de leur résistance moyenne à la compression à 28 jours, chaque dénomination de classe comportant une limite inférieure de 10 MPa en moins et une limite supérieure de 10Mpa en plus (ex : classe 45, limite inférieure nominale 35 MPa, limite supérieure nominale 55 MPa, valeur minimale garantie 35 MPa. [6])

I.1.2.2.1.5 Ciment Portland composé (CPJ) :

Les ciments Portland composé (CPJ) contenaient au moins 65% de clinker et 5% d'ajout régulateur de prise (gypse).et un autre constituant (maximum 30%) qui peut être :

- du laitier de haut fourneau (s)
- des Pouzzolanes naturelles (Z)

- des cendres volantes siliceuses (V)
- des cendres volantes calciques (W)
- des schistes calcinés (T)
- des fumés de silice (D) [7]

D'un coût moindre que le ciment Portland, il convient bien pour tous les travaux courants de maçonnerie et de béton armé ou précontraint et pour les travaux massifs exigeant une élévation de température modérée mais craint les eaux agressives...[3]

La résistance chimique des ciments est d'autant meilleure que leur indice est plus élevé :

- ❖ Quand $I < 0.5$, le ciment est dit basique (Portland).
- ❖ Quand $I > 0.5$, le ciment est dit neutre (riche en laitier).
- ❖ Quand $I \neq 1$, le ciment est dit acide. [8]

a) Composition chimique de CPJ:

Tableau (I.3) : Composition chimique de CPJ

Oxyde	SiO %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	SO ₃ %	R.ins %	P.F %	CaO.I %
Taux	30÷40	3.8÷4.6	3÷4.4	40÷50	0.87÷1.6	1.6÷2.5	10÷22	3.5÷5	0.4÷0.7
CPJ à base De Litier	18÷25	3.8÷4.6	3.1÷4.4	55÷65	0.87÷2.2	1.6÷2.5	1÷5	6÷10	0.3÷0.7

Après cet aperçu sur les différentes propriétés du CPJ, il s'avère indispensable d'exposer dans ce qui suit les différents constituants de ce ciment composé le plus répandu et utilisé. [8]

I.1.2.2.2 Le clinker :

I.1.2.2.2.1 Définition :

C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (clinkérisation) du mélange calcaire + argile, dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO), de la silice (SiO₂) et de l'alumine (Al₂O₃). Le mélange est en général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, marne ...). C'est le clinker qui par broyage en presque d'un peu de sulfate de chaux (gypse) jouant le rôle d'un régulateur de prise, donne des « Portland » et

confère aux ciments de ce groupe leurs propriétés caractéristiques.[9]

I.1.2.2.2 La composition chimique du clinker :

Tableau(I.4) : La composition chimique du clinker

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	R.ins	SO ₃
Teneur Limite(%)	60-69	18-24	4-8	1-8	<5	<2	<3
Valeur moyenne(%)	65	21	6	3	2	1	1

I.1.2.2.3 la composition minéralogique du clinker :

Les quatre principaux constituants du clinker sont :

- le silicate tricalcique : SiO₂, 3 CaO (ou C₃S), (50 à 65%)
 $\% C_3S = 4.071 \%CaO - 7.6 \%SiO_2 - 6.718 \%Al_2O_3 - 1.43 \%Fe_2O_3$.
- le silicate bi-calcique : SiO₂, 2 CaO (ou C₂S), (15 à 20%)
 $\% C_2S = 4.071 \%CaO + 8.602 \%SiO_2 + 5.068 \%Al_2O_3 + 1.078 \%Fe_2O_3$.
- l'aluminate tricalcique : Al₂O₃, 3CaO (ou C₃A) ; (5 à 15%).
 $\% C_3A = 2.65 \%Al_2O_3 - 1.69 \%Fe_2O_3$.
- l'alumino-ferrite tétra-calcique : 4 CaO, Fe₂O₃, Al₂O₃, (ou C₄AF) de (5 à 10%)
 $\% C_4AF = 3.04 \%Fe_2O_3$.

On distingue selon la composition minéralogique du clinker :

- Le ciment fortement alitique : C₃S plus de 60%.
- Le ciment alitique : C₃S = 50 à 60%.
- Le ciment fortement bélitique : C₃S = 35%.
- Le ciment aluminatique : C₃S = 12%
- Le ciment aluminoferrique : C₄AF = 18% et C₃A = 2%.

I.1.2.2.3 Principe de fabrication des ciments :

Le ciment Portland composé résulte de broyage d'une roche artificielle, le clinker avec le gypse et un ajout (calcaire, pouzzolane...).

Le clinker est obtenu par cuisson à 1450°C d'un mélange convenablement dosé en calcaire (environ 80%) et une argile (environ 20%), mais d'autres matériaux peuvent être utilisés marne.

La composition des principaux composants doit être située de préférence dans les limites qui sont désignés dans le tableau suivant :

Matières	Calcaire	Marne	M.F.D
Compositions			
SiO ₂ %	< 5	5-30	5-8
CaO %	47-55	30-50	4-10
MgO %	< 2.5	0.5-2.5	1-2.5
Al ₂ O ₃ %	< 1.5	1.5-7	1-2
Fe ₂ O ₃ %	< 1.5	1.5-3	6.5-10

**Table
au
(I.5) :
La
teneu
r des
princ**

ipaux composants dans la farine crue.

I.1.2.2.3.1 Processus de cuisson :

En fonction de l'état des matériaux et selon certaines considérations économiques, le procédé de fabrication appropriée est choisi parmi les méthodes courantes de fabrication, à savoir: voie humide, voie semi-humide, voie sèche, voie semi- sèche

La fabrication se réduit aux trois opérations suivantes :

- Préparation des matériaux.
- Cuisson.
- Broyage

On consiste que depuis l'alimentation du four en cru jusqu'à la sortie du clinker par le refroidisseur. La matière passe par les étapes suivantes :

a- Le four rotatif :

Le four rotatif est un tube incliné 3 à 5° par rapport à l'horizon qui tourne autour de son axe. Le tube appelé aussi vérole réalisée en construction chaudronnerie repose sur certain nombre

d'appuis par l'intermédiaire le bondage et de galette, il est revêtu à l'intérieur de matériaux réfractaire (4 m de diamètre et 70m de long).

Le degré d'inclinaison et là sa lente rotation permettant à la matière de cheminé vers l'aval

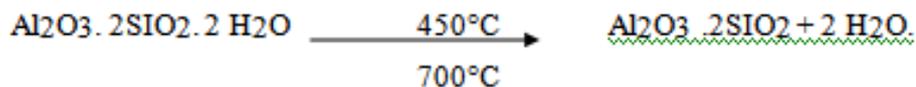
tout etapes en se transformant en clinker. (Il peut produire 2500 t de clinker par jour).

-Zone de chauffage :

L'échauffement aura lieu dans l'échangeur de chaleur par les gaz provenant du four, cette opération se déroule des cyclones.

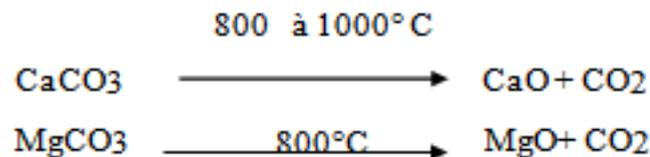
-Zone de déshydrations :

La déshydrations se déroule généralement dans le 2^{ème} et le 3^{ème} cyclone, dégagent de l'eau de cristallisation à une température d'environ 500°C, ce que s'explique la réaction suivante :



-Zone de écarbonatation:

La décomposition se presque se fait à partir du 4^{ème} cyclone du pré-chauffeur jusqu'elle arrive dans le jour. Dans cette zone la matière reçoit la température environ 800°C. La décarbonatation est de 25 à 30% de la composition, ainsi les carbonates de Calcium et de magnésium. Les réactions de décarbonatation :



-Zone de calcination.

-Zone de clinkérisation. [14]

a. Le refroidisseur :

Le clinker sortant du four tombe en chute libre sur une grille légèrement inclinée parallèle à l'axe du four est constitué d'un mouvement du va-et-vient permettant une progression lente du clinker vers la sortie du refroidissement.

b. Filtre à graviers :

Ils sont destinés pour le dépoussiérage des gaz sortant du refroidisseur dont la température varie de 400 à 500°C, et une teneur en poussière inférieure à 50g/m³, chaque filtre est constitué de plusieurs cellules identiques place de part et d'autre et assemblées au canal des gaz. Le

clinker obtenu tombe du refroidisseur, il reçoit après un concasseur à marteau pour concasser des particules grosses et transportées par des élévateurs à godets.

c. Le broyage et l'expédition :

Le clinker obtenu par l'un des procédés mentionnés est stocké dans des halls. Il est ensuite repris pour alimenter des broyeurs à boulets de 20 à 90 mm. Ils sont compartimentés en deux ou trois chambres. Ils fonctionnent :

- En circuit ouvert (passage direct de la matière).
- En circuit fermé (le ciment est envoyé dans des séparateurs, les gros grains sont renvoyés dans une des chambres du broyeur).

Un broyeur moyen produit de 20 à 30t de ciment à l'heure, les gros broyeurs actuels peuvent produire 200 t/h et plus.

Le rendement des broyeurs à boulets est très faible et de l'ordre de quelques pour cent. On a ajoutant lors du broyage deux types d'agent de mouture à très faible dose (500 g/t) afin d'éviter la réagglomération des particules les plus fines.

Le ciment est stocké dans des silos de 1000 à 5000 t, Il est délivré en sac papier (généralement trois plis) de 50 Kg où en vrac. [14]

Les ciments sont fabriqués à partir :

I.1.2.3 Les ajouts minéraux :

Ils sont généralement catégorisés comme ajouts cimentaire ou minéraux ces matériaux se ressemblent ; la plupart sont des sous-produits d'autres procédés et leur emploi judicieux est souhaitable non seulement du point de vue de la conservation de l'environnement et de l'énergie mais aussi pour les bénéfices techniques qu'ils apportent au béton. Les ajouts cimentaires ajoutés aux bétons font partie du système cimentaire complet.

Ils peuvent être utilisés en supplément ou comme remplacement partiel du ciment portland ou du ciment composé dans le béton, selon les propriétés des matériaux et l'effet souhaité sur le béton. [5]

Il existe deux types des ajouts minéraux :

I.1.2.3.1 Les ajouts minéraux actifs :

Les ajouts minéraux actifs consistent à fixer la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ du ciment qui sont dégagés lors de l'hydratation de difficilement solubles (stable) qui contribuent à la résistance du ciment.

a- La pouzzolane : La norme américaine ASTM C125-07 donne la définition suivante d'une pouzzolane naturelle : « Les pouzzolanes sont des matériaux siliceux ou silico-alumineux, qui ne possèdent pas eux-mêmes pas de propriétés liantes mais qui, sous forme finement divisée

et en présence d'humidité, réagissent chimiquement avec l'hydroxyde de calcium à température ordinaire pour former des composés possédant des propriétés liantes. » [6]

On distingue deux types :

- La pouzzolane naturelle

Est un produit d'origine volcaniques composé de silice d'alumine et d'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolaniques. Peut être d'origine volcaniques ou d'origine sédimentaire.

- La pouzzolane artificielle

C'est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et de d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer les propriétés pouzzolanique.

b- Le laitier de haut fourneau : C'est un matériau hydraulique latent, c'est-à-dire qui présente des propriétés hydrauliques lorsqu'il a subi une activation convenable. Le laitier ne possède par lui-même aucune vertu liante, mais sous la forme broyée et en présence d'eau, il réagit Chimiquement avec la chaux et l'eau pour former des composés possédant des valeurs liantes. Il est obtenu par le refroidissement rapide de la scorie fondue provenant de la fusion de minerai de fer dans un haut fourneau. La trempe provoque la vitrification du matériau. Il est constitué, en masse, d'au moins deux tiers de CaO, MgO et SiO₂, le reste contenant Al₂O₃ et de faibles quantités d'autres oxydes. [6]

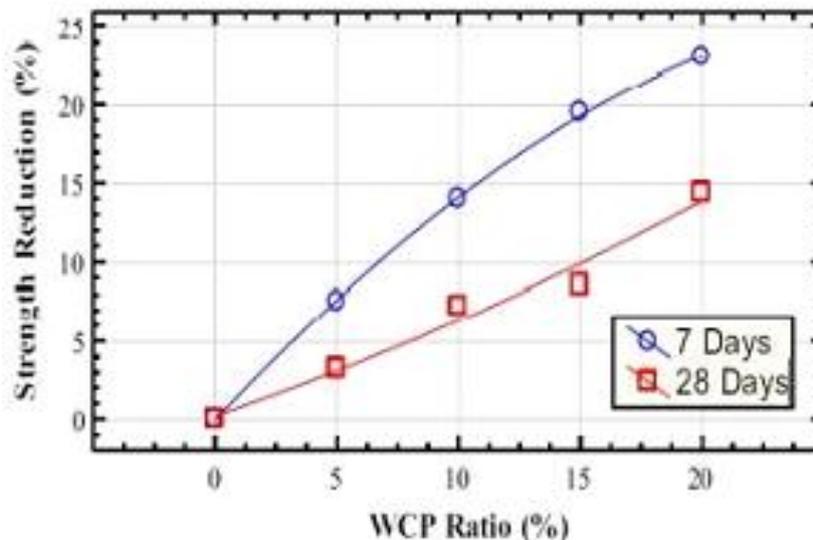
c- La fumée de silice : La fumée de silice est un sous-produit de l'industrie des alliages de silicium et notamment ferrosilicium récupérée dans les fumées émises par les fours électriques de fabrication de ces produits. Elle se présente sous forme de particules sphériques plus ou moins Grisâtres et extrêmement fines dont le diamètre moyen est de l'ordre de 0.1 µm. Sa composition chimique doit contenir au moins 85 % de dioxyde de silicium SiO₂. La fumée de silice possède des propriétés pouzzolaniques s'avérant plus élevées que celles des pouzzolanes naturelles en raison de sa forte teneur en silice amorphe. [6]

d- Poudre de céramique (PC) : La céramique est un matériau constitué d'argile et des aluminosilicates provenant des feldspaths. Le mélange de ces matériaux et son traitement à haute température permet de fabriquer des pièces solides, réfractaires et durables souvent utilisée dans les maisons et les bâtiments comme éléments d'ornements et appareils sanitaires. Senthamarai et Manoharan [07] ont rapporté que la production journalière de céramique génère environ 30% de déchets dont leur non utilisation pose un gros problème environnemental lié à leur dépôt. Plusieurs travaux de recherches ont été menés afin d'étudier la possibilité d'utilisation de déchets de céramique comme granulats pour remplacer les granulats naturels ou

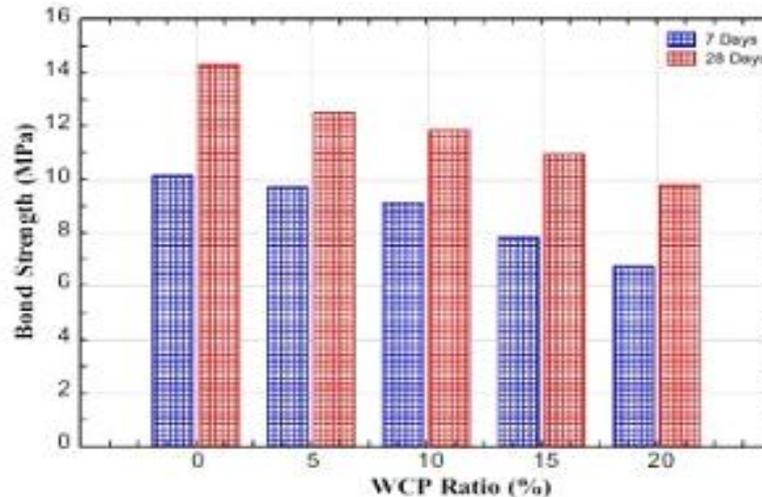
comme filler pour substituer partiellement le ciment [07-09].

L'utilisation de la PC dans les mortiers et les bétons avec une teneur croissante conduit à des résistances à la compression acceptables avec un pourcentage optimal de 50%. Eldieb and Kanaan [10] ont montré que l'addition de la PC avec un pourcentage de 10% confère au béton une bonne résistance à la compression, tandis qu'un pourcentage rangeant entre 10% et 20% permet d'améliorer le maintien d'ouvrabilité. De point de vue de durabilité, un pourcentage de 40% conduit d'une part à diminuer la pénétration des ions de chlorures et la perméabilité, et d'autre part à augmenter la résistivité électrique d'où une meilleure protection contre le risque de corrosion. L'incorporation de la PC comme matériau filler dans la composition de BAP permet d'améliorer ses propriétés à l'état frais. Cependant, les propriétés à l'état durci telles que la résistance et l'adhérence BAP-acier se trouvent négativement affectées surtout avec l'augmentation de la quantité de PC (Figure 2.45) [09]. Des bétons de haute performance ont été fabriqués avec succès en utilisant la PC (finesse de 5550 cm²/g) avec un taux variant entre 20% et 40% [11]. Lasseguette et al. [12] ont mené une étude expérimentale sur deux types de poudre de céramique blanche et rouge. Ils ont

trouvé que la PC de couleur blanche est plus réactive, ce qui est attribué à la différence observée aux niveaux des compositions chimiques et minéralogiques.



(a)



(b)

Figure (I.01) : Effet de la teneur en poudre de céramique sur (a) la résistance à la compression, (b) la force d'adhérence[09].

I.1.2.3.2 Les ajouts minéraux inertes :

Ce sont des matériaux quasiment inertes, naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés et qui par leur composition granulométrique, améliorent les propriétés physiques du ciment Portland: ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau. Parmi ces additifs on distingue les fillers calcaires et les Schistes calcinés.

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

- Une teneur minimale en carbonates totaux (calcaire + dolomite) ainsi qu'une teneur minimale en carbonate de calcium CaCO_3
- Une valeur minimale de l'indice d'activité. [13]

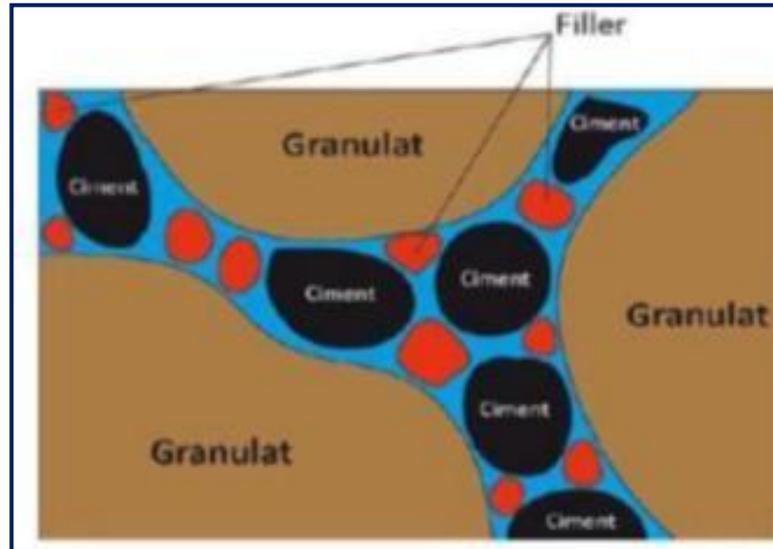


Figure (I.02) : Illustration de l'effet filler.

1.1.2.4 L'eau :

L'eau remplit deux fonctions : d'une part, elle sert à l'hydratation du ciment et d'autre part, elle permet la fluidification de la pâte. Une partie d'eau est consommée par l'hydratation du ciment, soit entrant dans la composition chimique de l'hydrate, soit étant piégée à l'intérieur des pores de l'hydrate. Cette eau étant physio -chimique fixée par les hydrates, ne contribue pas à la fluidification de la pâte. Par contre, une autre partie de l'eau ne participe pas à l'hydratation du ciment. [13]

1.1.2.5 Les super plastifiants :

Les super plastifiants sont des polymères solubles dans l'eau, lesquels possèdent denombreuses applications dans l'industrie de la construction. Ces matériaux sont également appelés réducteurs d'eau de haut rang. Ils font partie des adjuvants pour béton, lesquels sont définis, selon la norme EN 934-2, comme des matériaux qui sont ajoutés au béton pendant le processus de malaxage, dans des quantités inférieures à 5% de la masse de ciment, afin de modifier ses propriétés à l'état frais et à l'état durci.

L'apparition des bétons auto plaçant est fortement liée au progrès réalisés dans le domaine des adjuvants est plus particulièrement celui des super plastifiants, pendant le gâchage une grande quantité d'eau est emprisonné entre les particules. Afin d'obtenir une fluidité suffisante, les super plastifiants sont souvent utilisés. Ils permettent d'éviter l'agglomération des particules de ciment et de libérer l'eau emprisonnée dans ces agglomérations.[4]

I.1.3 Avantages du développement du béton autoplaçant :

Depuis son apparition, l'utilisation du BAP n'a cessé de généraliser, et ce grâce à ses avantages multiples tant au niveau technologique, économique, environnemental qu'humain.

En effet, les BAP permettent :

- Une mise en place aisée et rapide même en milieu fortement ferrillé ;
- Réalisation des structures de formes complexes ;
- Obtention d'un béton d'excellente qualité (forte compacité et parfait enrobage d'acier).
- Grande capacité de moulage (parements d'excellente qualité) ;
- Réduction du coût de main d'oeuvre et de vibration ;
- Raccourcissement des délais de réalisation des ouvrages ;
- L'utilisation de ce type du béton représente une grande opportunité pour l'exploitation des déchets industriels en raison du volume des fines élevé qui le compose ;
- Amélioration des conditions de travail sur chantier (moins de nuisances sonores et plus de sécurité) ;
- Réduction de la pénibilité du travail des ouvriers.

I.1.4 Diverses approches de formulation des BAP :

a-L'approche basée sur l'optimisation des mortiers :

Okamura le concepteur des BAP, propose de les formuler en composant en premier lieu le mortier du béton. Dans le mortier, la proportion de sable est posée arbitrairement. Il reste ensuite à trouver expérimentalement les dosages en eau et en superplastifiant, pour un liant donné (rapport massique ciment sur addition fixé), et suivant certains critères de rhéologie. La formule finale est obtenue en ajoutant au mortier un volume de gravillons limité, de manière sécuritaire, à la moitié de leur compacité. [14]

b-L'approche basée sur l'optimisation du volume de pâte :

Le béton est considéré ici comme un mélange biphasique, avec une phase solide, les granulats, et une phase liquide, la pâte. Dans le cas d'un BAP, la pâte joue un rôle prédominant. Oh et al introduisent la notion d'excès de pâte schématisée sur la figure I.4. La formulation consiste à déterminer la quantité de pâte en excès optimale pour fluidifier le BAP et limiter les problèmes de blocage. [15]

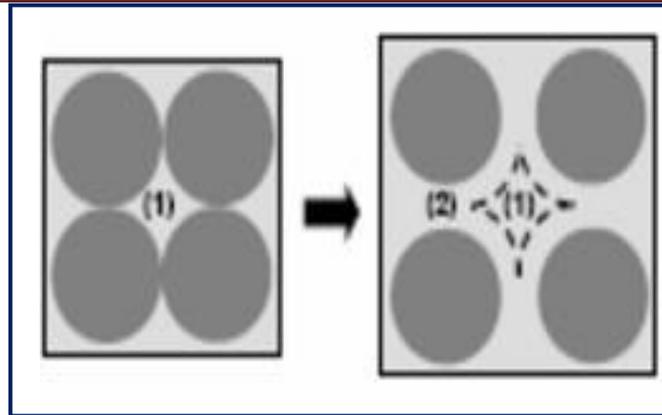


Figure (I.03) : Notion d'excès de pâte : la pâte remplit la porosité (1) et écarte les granulats(2).

Oh et al ont obtenu par l'expérience des équations reliant l'épaisseur de la pâte autour des granulats et les constantes du modèle de Bingham (seuil de cisaillement et viscosité) du béton, exprimées par rapport à celles de la pâte. Lors de la formulation, il faut d'abord optimiser et caractériser la rhéologie de la pâte, puis déterminer à l'aide de ces équations la proportion minimale de pâte nécessaire pour fluidifier le béton. Les auteurs ne proposent pas de méthode pour doser la pâte par rapport au blocage. [15]

c-L'approche basée sur l'optimisation du squelette granulaire :

La formulation des bétons peut passer par une optimisation de la porosité du système formé par les grains solides, du ciment aux gravillons. Il est connu par exemple que la résistance à la compression augmente avec la compacité de la pâte. L'ouvrabilité est elle-aussi tributaire de l'arrangement du squelette granulaire.

Reprenons la figure 1.4, en considérant maintenant que la phase interstitielle est l'eau de gâchage, et non plus la pâte. Plus la quantité d'eau qui écarte les grains (2) est importante, plus la suspension n'est fluide. A quantité d'eau constante, si on minimise la porosité (1) de l'empilement de grains, on maximise en conséquence le volume d'eau disponible pour fluidifier le mélange. Cet exemple simple nous montre donc le lien entre compacité et rhéologie. [13]

Le modèle est implanté dans un logiciel (Bétonlab Pro2), qui permet de plus de simuler les autres propriétés du béton (résistance, déformations différées, etc...). Ses auteurs proposent un cahier des charges spécifique pour les BAP, avec des indices pour estimer la capacité de remplissage et la stabilité du béton. [15]

d-Méthode basée sur un plan d'expérience :

Le nombre de constituants d'un BAP est tel que l'utilisation d'un plan d'expérience est intéressante pour connaître l'effet des paramètres de composition. Khayat et al ont réalisé une telle étude 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 a été varié sur une plage comportant cinq points, ce qui élève le nombre de compositions testées à 25. Au final, les auteurs fournissent les modèles obtenus, notamment l'étalement et le taux de remplissage, en fonction des différents facteurs. Ces modèles ne sont exploitables que pour les constituants utilisés dans l'étude. Plus qu'une méthode de formulation, cette approche fournit surtout un support pour corriger une formule ne répondant pas, par exemple, aux critères de l'AFGC. [15]

e-L'approche basée sur l'utilisation du mortier de béton équivalent : L'approche du Mortier de Béton Equivalent (MBE) a été initialement développée au TG (Guerville, France) pour faciliter la sélection des adjuvants lors de la formulation d'un béton, en utilisant des tests sur mortier au lieu de tests sur béton. En fonction des essais préalables 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. [15]

I.1.5 Les méthodes de formulations des BAP :

Les méthodes de formulation des bétons auto-plaçant proposées dans la littérature sont issues d'une ou de plusieurs des approches vues dans paragraphe (I.4.1) et sont toutes basées sur les constats suivants :

- lors de l'écoulement en milieu confiné, ce sont les gros gravillons qui sont les plus sensibles aux phénomènes de blocage. Le formulateur devra donc chercher à en diminuer le volume tout en gardant à l'esprit qu'un minimum de gravillons est nécessaire pour minimiser la demande en pâte, à étalement constant.

- Afin d'obtenir une ouvrabilité suffisante, la pâte doit être suffisamment fluide. Cette fluidité peut être obtenue en jouant sur le rapport eau sur liant ou sur le dosage en super plastifiant. Une augmentation de la teneur en eau conduit à une chute de la résistance mécanique qui peut être incompatible avec le cahier des charges mais diminue également la

viscosité de la pâte. Ceci augmente les risques de ségrégation des gravillons et donc le blocage. Au contraire une variation du dosage en super plastifiant a peu d'influence sur la viscosité mais un surdosage peut entraîner des problèmes de ressuage. [14]

I.1.5.1 L'approche japonaise :

La méthode de formulation des bétons autoplaçants est la suivante :

La teneur volumique en gravillons du béton est fixée à 50% du volume de solide. Selon les auteurs, ce pourcentage permet de prévenir le risque de blocage si le mortier est correctement formulé [16].

Pour assurer une bonne ouvrabilité, le volume de sable est fixé à 40% du volume total du mortier. L'estimation de la pâte s'effectue sur un mortier dont la teneur volumique en sable est égale à 40%. Ces mortiers sont caractérisés par deux essais :

- Un essai d'étalement au cône
- Un essai d'écoulement à l'entonnoir.

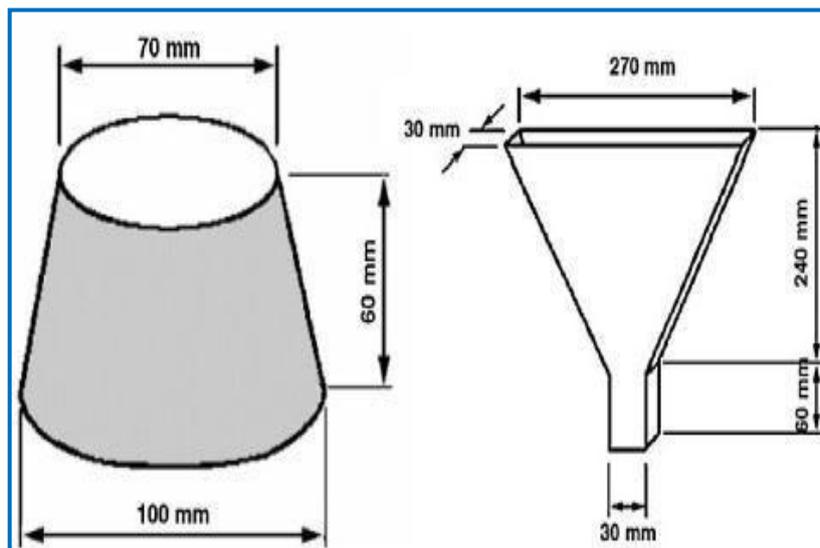


Figure (I.04) : Caractérisation du MAP, (a) essai d'étalement au mini-cône, (b) essai d'écoulement au mini-entonnoir.

I.1.5.2 L'approche de JSCE :

Cette méthode a été proposée par la japonaise society of civil engineers en 1998, après plusieurs recherches et applications pratiques. Pour cette méthode la quantité d'eau, le rapport eau/poudre, et la teneur en poudre, varient en fonction de l'emploi ou non d'un agent de viscosité. Les quantités de différents constituants sont déterminées comme suit :

- Quantité de gros granulats

Cette quantité varie selon l'auto-compactibilité recherchée. Elle est située entre 0,30 à 0,32 m³/m³ et le diamètre maximum est limité à 20 mm voir 25 mm

- Quantité d'eau

Lors de l'utilisation d'un agent de viscosité, la quantité d'eau se situe sous les 180 kg/ m³ dans les conditions d'exposition normales. Cas particulier, lorsque la durabilité du béton n'est pas une contrainte majeure, on peut aller jusqu'à 190 kg/ m³.

En l'absence d'agent de viscosité, la quantité d'eau est réduite à 155 jusqu'à 175 kg/ m³.

- Rapport eau/poudre

Ce rapport est basé sur les performances du béton à l'état durci. Lorsque la fluidité n'est pas atteinte on peut augmenter la quantité du liant. Le rapport massique eau / poudre doit être entre 28 et 37%, et le rapport volumique entre 85 et 115 %.

- Quantité de poudre et de liant

La quantité de poudre se déduit du rapport eau /poudre. Dans le cas d'un agent de viscosité de type polysaccharide, la quantité de poudre est de 0,13 m³/m³ .dans les autres cas la valeur prise doit être entre 0,16 et 0,19 m³/m³

- Quantité d'air

Cette valeur dépend du diamètre maximum des gros granulats, de la résistance souhaitée et des conditions d'exposition du béton. La valeur type s'élève à 4,5% d'air.

- Quantité de fins agrégats

Cette quantité est déduite des quantités précédentes.

- Dosage en adjuvants

Le dosage en adjuvant est évalué expérimentalement. Pour le super plastifiant, son dosage dépend du rapport eau/poudre ainsi que de la nature des poudres. Il est généralement de 1 à 2 kg d'extrait sec par m³, pour une solution aqueuse de 35% c'est l'équivalent de 3 à 6 litres.

En ce qui concerne l'agent de viscosité, son dosage varie selon la nature de l'agent, aussi selon le type de béton (avec ou sans ajouts de fines) : De 0,15 à 0,30% de la quantité d'eau pour les agents cellulosique 3 à 5% pour les acryliques, 2 à 3% pour les glycols, 0,05 % pour les

polysaccharides solubles. [16]

I.1.5.3 L'approche du laboratoire centrale des ponts et chaussier LCPC :

Cette approche consiste à développer un modèle mathématique à partir d'un modèle de suspension solide. Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre différents constituants du mélange.

Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire et de prendre en compte l'effet de confinement des armatures sur la compacité du béton et donc sur son ouvrabilité. La compacité du mélange est déterminée avec une précision inférieure à 1% à partir

Des caractéristiques des constituants suivantes :

- Les distributions granulaires.
- Les proportions du mélange.
- La compacité propre.
- La densité apparente. [16]

I.1.5.4 Autres méthodes :

- Méthode de Nan Su et al. (dénommée méthode chinoise),
- Méthode de Brouwers et Radix (dénommée méthode hollandaise),
- Méthode de Khayat et al. (dénommée méthode canadienne),
- Méthode du mètre cube (dénommée méthode MMC)

I.1.6 Particularité de la composition des BAP :

Malgré les différentes méthodes de formulation existantes, certaines caractéristiques demeurent intrinsèques aux B.A.P. mais peuvent légèrement différer d'une approche à l'autre.

I.1.6.1 Un volume de pâte élevé :

Les frottements entre granulats sont source de limitations vis-à-vis de l'étalement et de la capacité au remplissage des bétons. Le rôle de la pâte (ciment + additions + eau efficace + air) étant précisément d'écarter les granulats, son volume dans les B.A.P. est donc élevé (330 à 400 l/m³).

I.1.6.2 Une quantité de fines ($\emptyset < 80 \mu\text{m}$) importante :

Les compositions de B.A.P. comportent une grande quantité de fines (environ 500 kg/m³) pour limiter les risques de ressuage et de ségrégation. Toutefois, le liant est fréquemment un mélange de deux, voire trois constituants, pour éviter des chaleurs d'hydratation trop grandes (et

un coût de formule trop élevé).

Ce sont les exigences de résistance à la compression, les critères de durabilité (DTU 21, normes XP P 18-305 ou EN 206, etc.) et les paramètres d'ouvrabilité (fluidité) qui déterminent le choix de ces additions (cendre volante, laitier de haut fourneau, filler calcaire, etc., le filler calcaire étant l'une des additions fréquemment rencontrées dans les formulations de B.A.P.) et leur proportion respective. L'introduction d'additions minérales entraîne une modification de la porosité de la matrice cimentaire et influence les caractéristiques mécaniques et autoplaçantes du béton (Figure 3) [17].

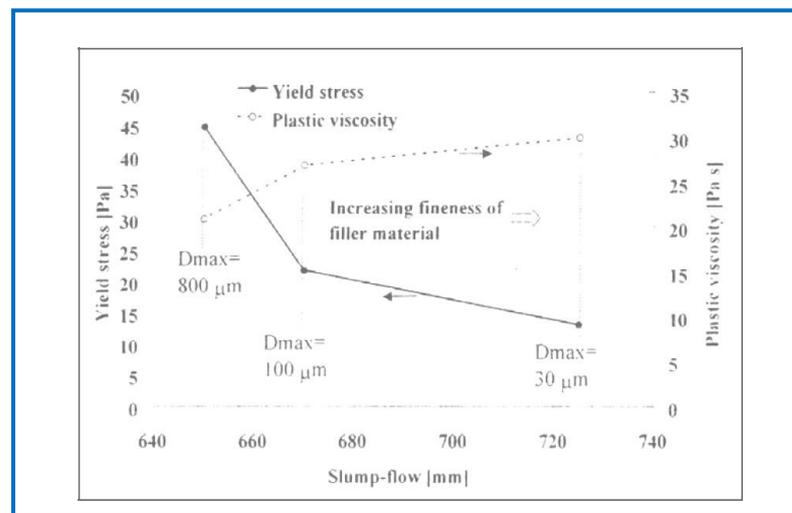


Figure (I.05) : Influence de la finesse d'un filler sur le comp. rhéologique d'un béton[17]

I.7 Relation entre mortier et béton auto plaçant :

La relation entre le béton auto plaçant et le mortier auto plaçant (MAP) son composant principal est très étroite. En effet, le mortier occupe à peu près 70% du béton auto plaçant, et il est considéré grâce à sa fluidité élevée la partie dans laquelle nage les particules de gravier. Du moment que le MAP occupe un volume majeur dans le BAP (Tableau 1.4), les propriétés du MAP notamment à l'état frais sont dominantes. De ce fait, les résultats d'essais sur leMAP seront concluants et peuvent donner une grande idée sur les propriétés et les performances du BAP surtout à l'état frais. Selon Domone et Jin [16] les mortiers sont testés pour les raisons suivantes :

- Les BAP comportent un faible volume de gravillons par rapport aux bétons ordinaires(31% à 35%), donc les propriétés du mortier sont dominantes ;
- L'évaluation des propriétés du mortier constitue une étape intégrale dans la formulation des BAP ;

- Tester un mortier est plus commode et plus économique qu'un béton. Grâce à ses propriétés à l'état frais et en particulier sa grande capacité d'écoulement en espace étroit, le MAP est notamment destiné à la réhabilitation et la réparation des structures en béton armé [19].

I.2 Le Mortier Auto plaçant :

I.2.1 Propriété de MAP à l'état frais :

La déformabilité du mortier est définie comme étant la capacité de mortier de subir un changement de forme sous son propre poids. La déformabilité élevée est exigée de sorte que le mortier.

Afin d'obtenir une déformabilité adéquate, il est important de réduire au minimum le frottement inter sable du mélange. La réduction de la quantité du gros sable et l'augmentation du volume de pâte sont exigées pour obtenir la déformabilité désirée des MAP. Une autre manière de réduire le frottement inter sable est obtenu avec l'incorporation d'additions minérales telles que les fillers. La déformabilité du béton est directement liée à la déformabilité de la pâte.

Pour augmenter la déformabilité de la pâte et réduire le frottement inter sable, des Superplastifiants haut- réducteur d'eau (SPRE) sont incorporés dans les mélanges MPA.

Ces SPRE permettent de maintenir un rapport eau- matières cimentaires relativement bas tandis que la fluidité reste élevée. La déformabilité de la pâte est augmentée aussi en réduisant la viscosité. Un mortier fortement fluide peut être obtenu sans réduction significative de sa cohésion en améliorant sa résistance à la ségrégation.

En général, le critère de fluidité- stabilité est assez difficile à résoudre, mais, au moyen d'agents colloïdaux, de teneurs élevées en ajouts minéraux ou de teneurs appropriés en sable, la stabilité et la déformabilité peuvent être assurées.

I.2.1.1. Étalement au Mini cône de pâte :

Dans la méthode japonaise et hollandaise la demande en eau passe par des essais d'étalement au mini cône sur pâte en faisant varier le rapport Eau/poudre . La poudre étant le ciment ou l'addition minérale (filler...) mesurer l'étalement relatif «équation Rp» (équation détermine les paramètres correspondant aux droites obtenus pour chaque liant (ciment et filler calcaire).

I.2.1.2. Essais de déformabilité de l'Entonnoir en V (V-funnel) :

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

viscosité des MAP.

Un entonnoir de dimensions définies est rempli de mortier jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, on mesure le temps (T_v) que met le mortier à sortir de l'entonnoir jusqu'à ce que cet entonnoir soit entièrement vide. Ce temps d'écoulement, qui doit être compris entre 8 et 14 secondes, caractérise la viscosité du mortier. Si le mortier s'écoule plus rapidement, c'est que sa viscosité est trop faible. Bien que l'essai soit conçu pour mesurer la fluidité, le résultat est affecté par d'autres propriétés du MAP que celle de l'écoulement. La forme de cône inversée fera bloquer l'écoulement du mortier si, par exemple il y a trop gros granulat. Par contre un temps élevé d'écoulement peut être associé à une faible déformabilité due à une viscosité élevée de la pâte et ou un frottement inter granulaire élevé.

L'EFNARC définit deux classes de viscosité selon le temps d'écoulement mesuré à l'entonnoir (V-funnel) : $T_v \leq 6$ secondes, pour une bonne capacité de remplissage même avec des renforts denses et $9 \leq T_v \leq 25$ pour les autres cas.

I.2.2 Propriété de MAP à l'état durcie :

I.2.2.1 Résistance mécanique:

La résistance mécanique prend l'importance majeure par rapport aux autres propriétés de mortier durci, les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4x4x16cm conservés dans l'eau à 20 °C.

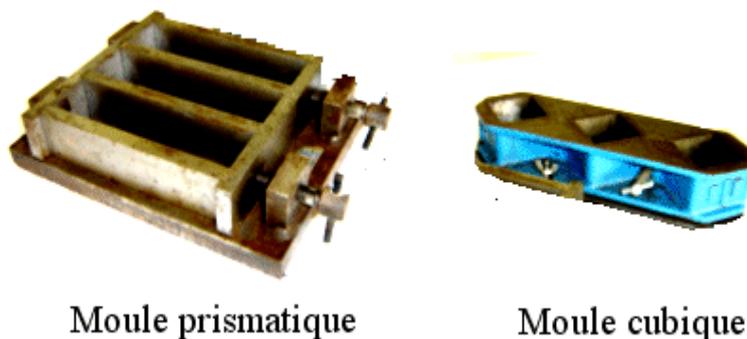


Figure (I.06) : les moules 4x4x16 et 5x5x5

Les éprouvettes subissent des contraintes de traction par flexion puis en compression. Les résistances des mortiers (comme dans le cas des bétons) dépendent de très nombreux

facteurs, parmi les quelles:

- Nature et dosage en ciment.
- Rapport E/C.
- Granulométrie et nature du sable.
- Energie de malaxage et mise en œuvre.

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif décrit sur la figure(I.07)

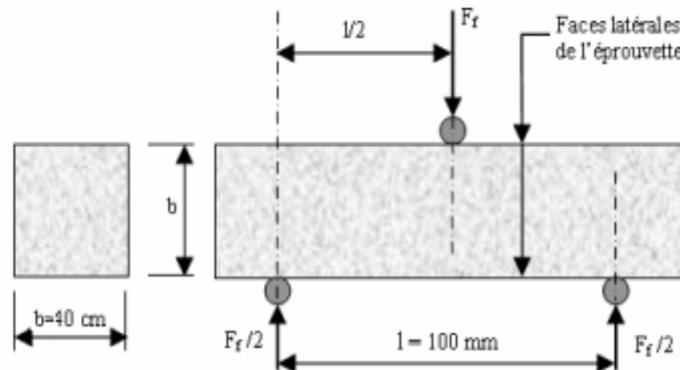


Figure (I.07) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

Si F_f est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$R_f = \frac{1,5 F_f l}{b^3}$$

Cette contrainte est appelée la résistance à la flexion. Compte tenu des dimensions et l , Si F_f est exprimée en newtons (N), cette résistance sera exprimée en méga pascals (MPa) vaut:

$$R_f \text{ (MPa)} = 0,234 F_f \text{ (N)}.$$

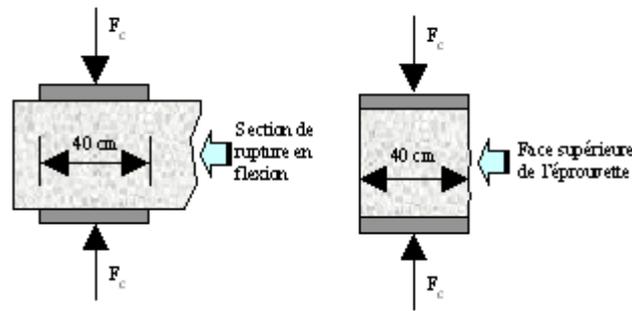


Figure (I.08) : Dispositif de rupture en compression.

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression comme indiqué sur la figure 39. Si F_C est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$$R_C = \frac{F_C}{b^2}$$

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si F_C est exprimée en newton, cette résistance sera exprimée en mégapascals :

$$R_C (MPa) = \frac{F_C (N)}{1600}$$

Les résultats obtenus pour chacun des 6 demi-prismes sont arrondis à 0,1MP après et on fait la moyenne. Si l'un des 6 résultats diffère de $\pm 10\%$ de cette moyenne, il est écarté et la moyenne est alors calculée à partir des 5 résultats restants. Si à nouveau un des 5 résultats s'écarte de $\pm 10\%$ de cette nouvelle moyenne, la série des 6 mesures est écartée. Au quel cas il convient de chercher les raisons de

Cette dispersion : malaxage, mis en place, conversation, Lorsque le résultat est satisfaisant, la moyenne ainsi obtenue est la résistance du ciment à l'âge considéré.

Chapitre II :
Influence du sable concassé
(0/3) sur les propriétés du
mortier auto-plaçant

Chapitre II : Influence du sable concassé (0/3) sur les propriétés du mortier auto-plaçant

II.1 Caractéristiques des sables de concassage

Le sable concassé, connu aussi sous l'appellation de sable de carrière, est obtenu à partir de la récupération de la fraction granulométrique [0-3mm] résultant du concassage des calcaires, granodiorite, andésite, granite, dolomie et basalte.

En raison du processus de broyage, le sable de concassage diffère de sables naturels dans la granulométrie, la forme et la texture des particules; et a généralement entre 10 % et 20% de fines (les particules passant au tamis de 75 μm)

Dans le sable de concassage les fines sont généralement très probablement les plus petites fractions granulométriques de granulat concassé, tandis que dans les sables naturels, les fines peuvent être argiles ou autres particules nocives.

Les sables de concassage sont des granulats concassés anguleux. Il est souvent admis que leur utilisation dans le béton permet d'obtenir des résistances mécaniques plus élevées. Cependant, l'usage montre qu'ils demandent une quantité d'eau (efficace) plus élevée qu'avec des granulats roulés, à cause notamment de la baisse de compacité associée à leur forme, leur angularité et à leur rugosité.

II.2 Utilisation du Sable de concassage en Algérie :

En Algérie, la demande croissante en granulats a provoqué un épuisement rapide des sablières, suivi d'une exploitation anarchique des sables de mer. Par ailleurs, 20 % de sables fabriqués en carrières ne sont pas utilisés pour la construction à cause de leur teneur en fines supérieure à 12 % (limite normative actuelle), et les fillers résultants du processus de concassage sont considérés comme des résidus inexploitable.

L'Algérie a élaboré en 2005 [Loi n° 05-12, 2005] une instruction ministérielle organisant la généralisation progressive de l'usage des sables de concassage dans le bâtiment, en précisant les

spécifications techniques auxquelles doivent répondre ces matériaux. Une cartographie nationale a été mise en place en vue de répertorier les carrières susceptibles de fournir des sables de concassage, et des titres miniers ont été attribués pour la production exclusive de ce type de sable.

Depuis l'année 2005, la production de sable concassé est en croissance continue, permettant ainsi de répondre à la demande croissante du marché du bâtiment et des travaux publics. De 2.72 Millions de M³ de sable concassé produits en 2005, la production a presque quintuplé, en passant à 13.36 Millions de M³ en 2009, soit une hausse de +391.2%. (Figure 1.7)

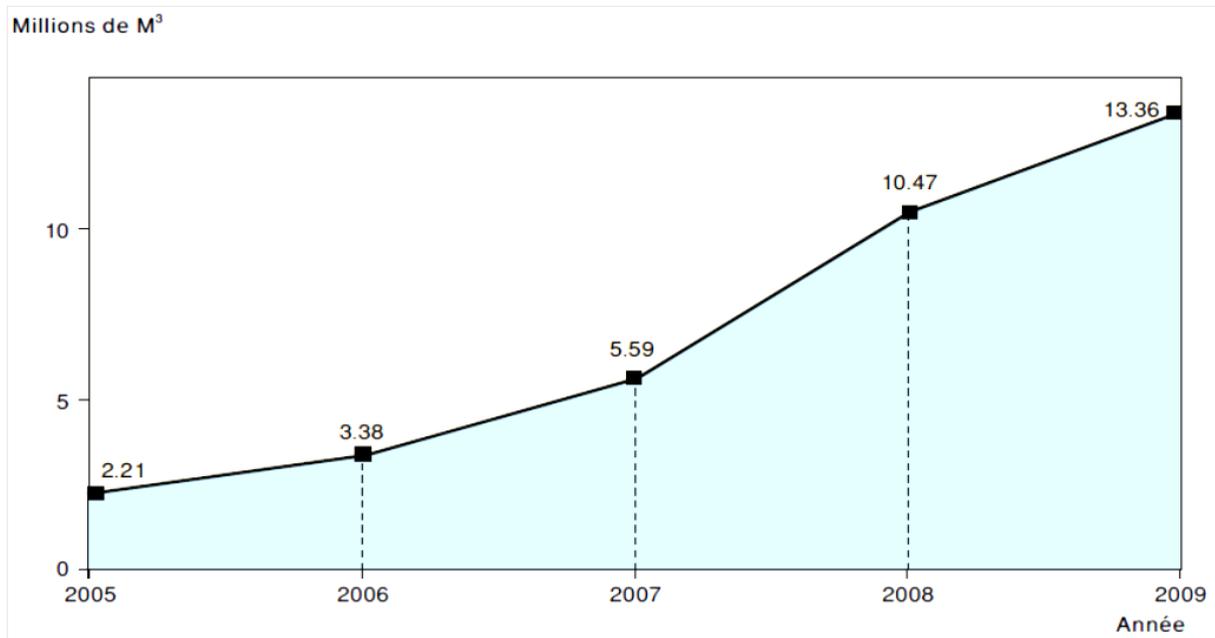


Figure (II.01): Evolution de la production de sable concassé période 2005 – 2009 [2]

Au cours de l'année 2008, 637 exploitations minières de production de sable concassé étaient en activité dans 41 wilayas, parmi lesquelles 603 unités de production des agrégats et de sable concassé simultanément dans 41 wilayas et 34 exploitations minières ayant produit uniquement du sable concassé, dans 4 wilayas.

Le secteur privé dispose de 504 exploitations minières en activité représentant 79.3% du total des exploitations produisant de sable concassé, contre 128 unités appartenant au secteur public correspondant à un taux de 20.7%.

Le secteur privé totalise une production de 8 846 174 M³ de sable concassé représentant 66.2% de la production totale, contre 4 514 067 M³ réalisés par le secteur public soit 33.8%.

II.3 Travaux de recherche sur le sable de concassage

Propriétés du BAP et MAP à base du sable concassé :

Plusieurs chercheurs ont récemment rapporté l'utilisation de sable concassé dans la fabrication du béton et mortier auto-plaçant , y compris une combinaison de sable concassé et de sable de rivière, pour améliorer la résistance du béton les contenant

II.4 Effet de sable de concassage sur les propriétés des mortiers auto-plaçant :

II.4.1 l'état frais :

a) L'ouvrabilité :

L'ouvrabilité est une caractéristique fondamentale du béton et mortier frais. Elle est évaluée traditionnellement à l'aide de l'essai du cône d'Abrams pour le béton et à l'aide de l'essai de déformabilité de l'entonnoir en V (V-Funnel) pour le mortier. L'augmentation de la demande en eau des mélanges à base de sable de concassage est l'un des problèmes qui se posent pour l'obtention d'une ouvrabilité suffisante. La diminution de l'ouvrabilité peut être due à la présence élevée des fines, à la forme et à la texture du sable de concassage.

Plusieurs chercheurs ont étudié l'effet de fines calcaires substituées au sable de concassage sur l'ouvrabilité des bétons et mortiers, Hebbouche [18] a étudié l'influence des fines issues du sable de concassage sur les propriétés physico-mécaniques et la durabilité du béton. Ils ont utilisé deux types de fines de natures différentes (calcaire et siliceuse) avec des taux de fines de 0, 10, 15 et 20% comme substitution au sable concassé. Trois mélanges de bétons ont été confectionnés avec un rapport E/C de 0.61, 0.62, 0.64 et 0.66 pour des taux des fines calcaire respectivement de 0, 10, 15 et 20%. Ils ont constaté que la demande en eau augmente avec l'augmentation des pourcentages des fines dans le béton .En effet, cette augmentation de la demande en eau est due principalement à l'augmentation de la porosité des bétons avec l'accroissement des fines calcaires, et ainsi à la surface spécifique des grains du sable de

concassage utilisé qui présente des faces fraîchement rompues induisant toujours une porosité systématique donnant lieu à une grande absorption de l'eau

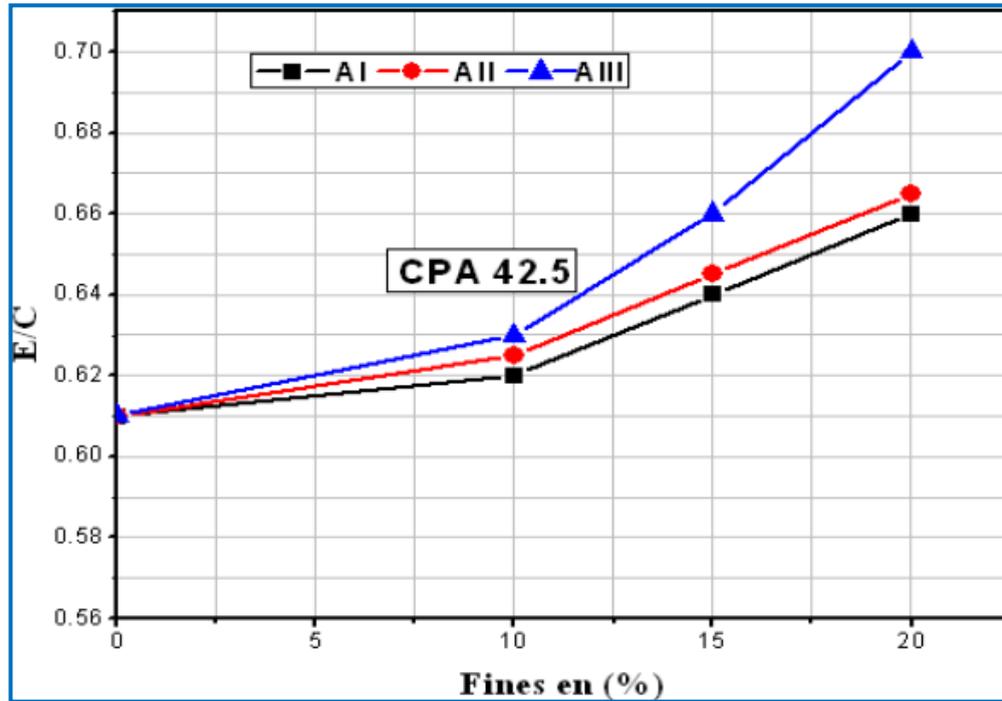


Figure (II.02): Variation de rapport E/C en fonction de pourcentage de fines [20].

Skender (2009) a étudié l'effet des fines calcaires substituées au sable de concassage sur l'ouvrabilité du béton (Figure 2.2), le pourcentage des fines calcaires utilisé est de 0, 5, 15 et 25%. Les résultats montrent que l'ouvrabilité du béton diminue avec l'augmentation du taux de fines calcaires indépendamment du type de ciment utilisé.

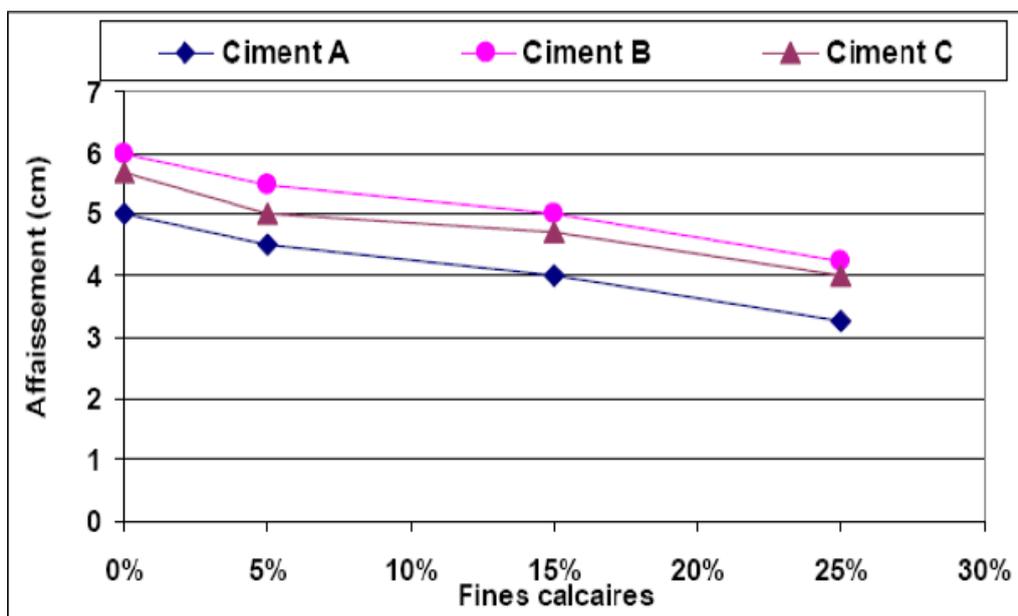


Figure (II.03): Effet des fines calcaires sur l'affaissement du béton (Skender, 2009)

II.4.2 .à l'état durci :

a) Résistance à la compression :

Benyamina [21] a étudié l'évolution de la résistance à la compression des mélanges de BAP avec et sans teneur en fines calcaires aux différents âges Il a obtient que les mélanges avec fines calcaires présentent une résistance à la compression à 28 jours, inférieure à celle du béton témoins. En effet, il a observé une augmentation de la résistance à la compression pour les mélanges de BAP avec fines calcaires aux âges de 3 et 7 jours par apport au béton témoin. Cette augmentation peut être due, d'une part, à l'augmentation de l'hydratation des grains de ciment due aux sites de nucléation créés par les fillers calcaires, et d'autre part, à l'effet defillers.

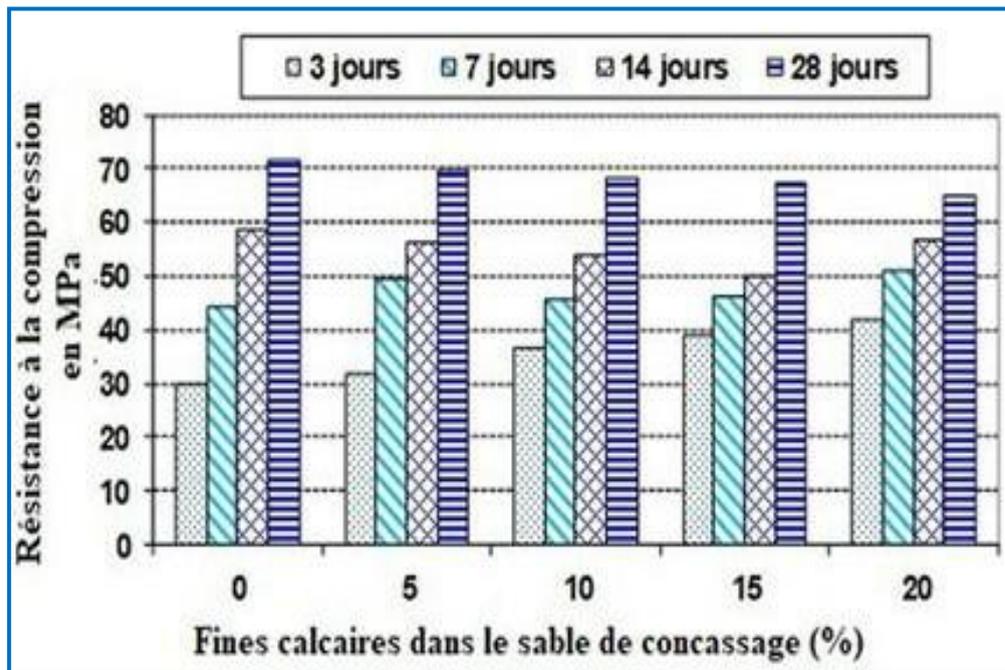


Figure (II.04) : Relation entre Rc et la teneur en fine de calcaire. [19]

Des recherches ont été menées par Gibbs et al.[23] sur l'effet des fines calcaires sur l'évolution de la résistance à la compression des BAP et des bétons ordinaires, les résultats trouvés montrent que l'évolution de la résistance mécanique est similaire à celles des bétons ordinaires comme illustre la figure(II.05).

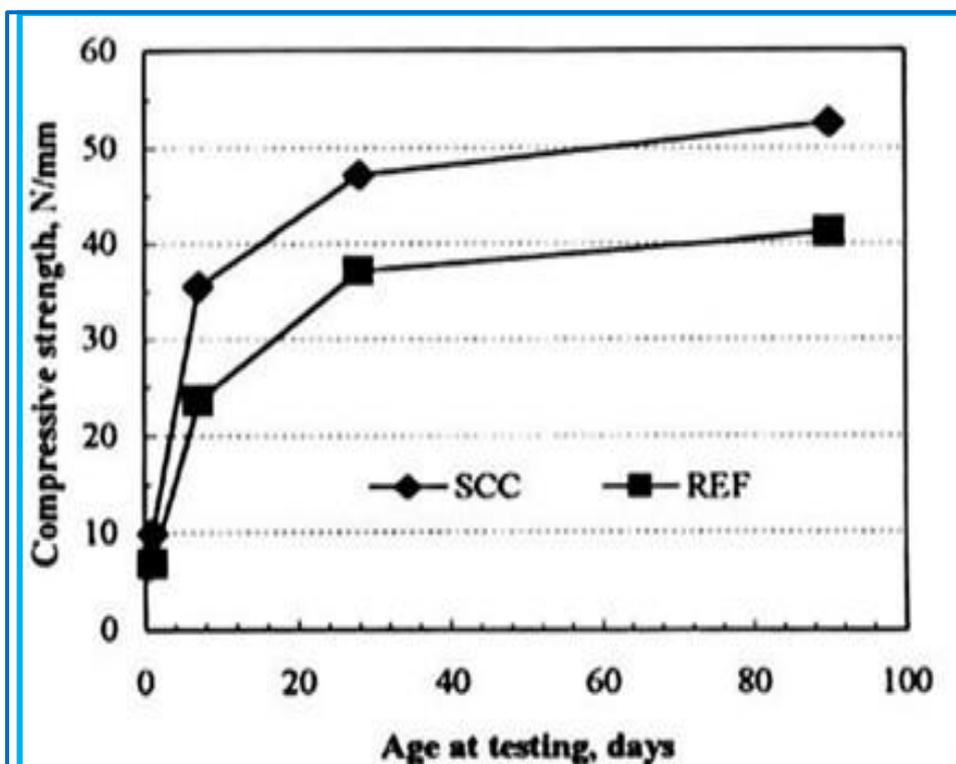


Figure (II.05) : Effet des fines sur l'évolution de la résistance mécanique d'un BAP et d'un béton ordinaire. [23]

Felekoglu [24] n'illustre que l'incorporation de la poudre de calcaire avec une même quantité du ciment améliore la résistance à la compression des BAP.

b) Résistance à la flexion :

Des recherches [22] ont été mené sur l'évolution de la résistance à la flexion des trois types de mortier, les résultats trouvés montrent que les résistances à la flexion des mortiers autoplaçants diminue avec l'augmentation du dosage des fillers calcaires, cette diminution est due à la substitution d'une partie du liant par les fines calcaires comme illustre la figure (II.05).

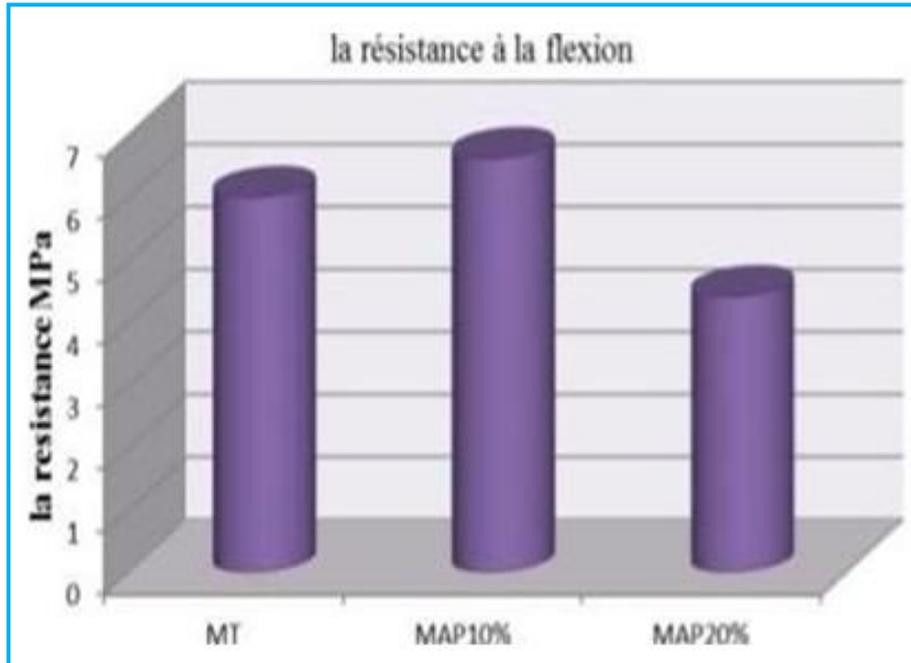


Figure (II.06) : Evolution de la Rf à 28 jours des trois types de Mortiers.[22]

D'autres travaux antérieurs [26] ont montré que la résistance à la traction par flexion augmente d'autant plus que la finesse du fillers calcaires est importante, les BAP formulés avec le fillers calcaire UF5 (le plus fin) présentes les meilleures résistances pour tous les âges. (Figure II.06).

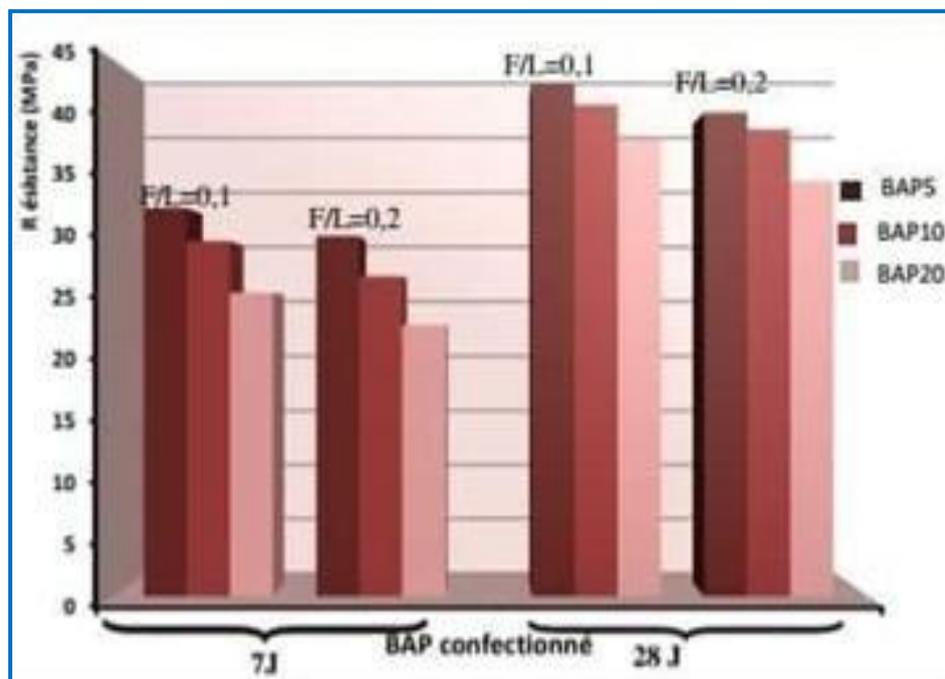


Figure (II.07) : Influence de la finesse du filler sur la résistance à la traction des Différents BAP confectionnés à 7 et 28 jours. [24]

Felekoglu [24] n'illustre que l'incorporation de la poudre de calcaire avec une même quantité du ciment améliore la résistance à la compression des BAP.

R'mlli et al.[25] a fait une étude comparative entre les BAP et les BO à base de sable d'un concassage et autre de désert avec différents pourcentages, les résultats trouvés montrent que les résistances les plus élevées sont obtenus pour les BAP à fort dosage en SC. Et au-delà de 30 % de SD, ces résistances chutes remarquablement, et aussi dit que les résistances mécaniques des BAP sont les meilleures que celles des BO à base de 100 % de SC ou de 100 % de SD (figureII.07).

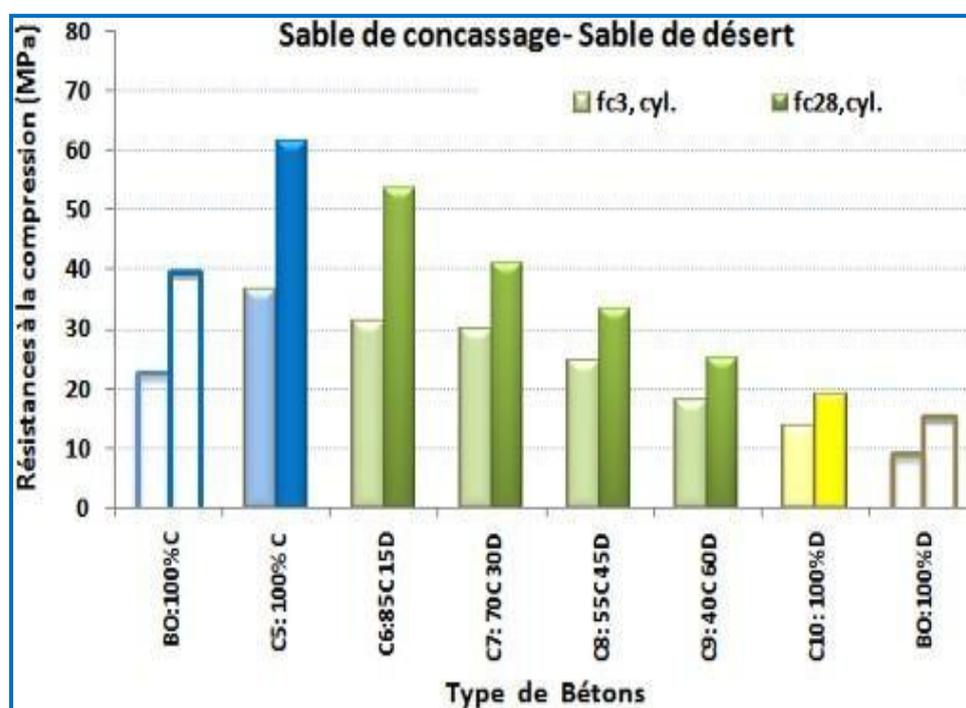


Figure (II.08) : Résistance à la compression des BAP et BO. [25]

Chapitre III :
Caractérisation des
matériaux utilisés et
Méthodes Expérimentales

Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés et Méthodes Expérimentales

III.1.Introduction :

Dans ce chapitre, on s'intéresse à la présentation des matériaux utilisés pour réaliser les différents essais expérimentaux. Les matériaux utilisés dans cette étude sont d'origine locale. Il est connu que la connaissance des caractéristiques de ces matériaux est impérative à toute recherche puisque chacune de ces caractéristiques pourrait influencer considérablement sur les résultats de l'étude.

III.2 Les Matériaux utilisées :

III.2.1 Ciment :

Le ciment utilisé dans ce travail, est un ciment composé CEM II /A-L de résistance 42.5, il provient de la cimenterie de AWTED . IL est un ciment gris conforme à la norme algérienne (1) ainsi que la norme européenne (2), convient parfaitement pour le coulage par temps chaud ainsi que le transport du béton prêt à l'emploi. AWTED est produit 100% algérien fabriqué exclusivement dans l'usine AMOUDA ciment à El baydha.



Figure (III.01) : Le ciment AWTED

III.2.1.1 Les caractéristiques techniques :

Le ciment a passé à plusieurs essais pour découvrir les propriétés / caractéristiques chimiques et aussi physico-mécaniques qui sont comme suit :

- **les caractéristiques chimiques :**

Tableau N°01 : Les caractéristiques chimiques de ciment AWTED

Eléments	Unités en %	Norme
SO ₃	≤ 3.5	NA5042 (EN 196-2)
Chlorure	≤ 1.5	NA5042 (EN 196-2)

- **Les caractéristiques physico-mécaniques :**

Tableau N°02 : Les caractéristiques physico-mécaniques de ciment AWTED

Caractéristiques	Résultats	Unités	Norme
Début de prise (DP)	Plus de 60	Mn	NA230 (EN 196-3)
Fin de prise (FP)	Plus de 240	Mn	NA230 (EN 196-3)
Surface spécifique (SSB)	3500	cm ² /g	NA231 (EN 196-6)
Résistance à la compression (2 j)	Plus de 10	MPA	NA234 (EN 196-1)
Résistance à la compression (28 j)	Plus de 42.5	MPA	NA234 (EN 196-1)

III.2.1.2 Applications / Usages :

AWTED est destiné à la réalisation de bétons de structure selon la (NA 16002 eq de la EN 206-1) en milieux non agressifs pour :

- Ouvrages en béton armé ou non.
- Bétons autoplaçants.
- Dallages, sols industriels, chapes.
- Fondations ou travaux souterrains.
- Voirie et chaussée en béton.

III.2.2.sable :**III.2.2.1Analyse granulométrique par tamisage :**

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.

Dans notre travail, nous avons utilisé quatre types de sable

- Sable alluvionnaire
- Sable concassée
- Sable de dunes
- Sable mixteconcassée et de dunes (60% ,40%).



Figure (III.02) :Analyse granulométrique par tamisage

Les résultats sont représentés dans la figure (III.03) ci-dessus :

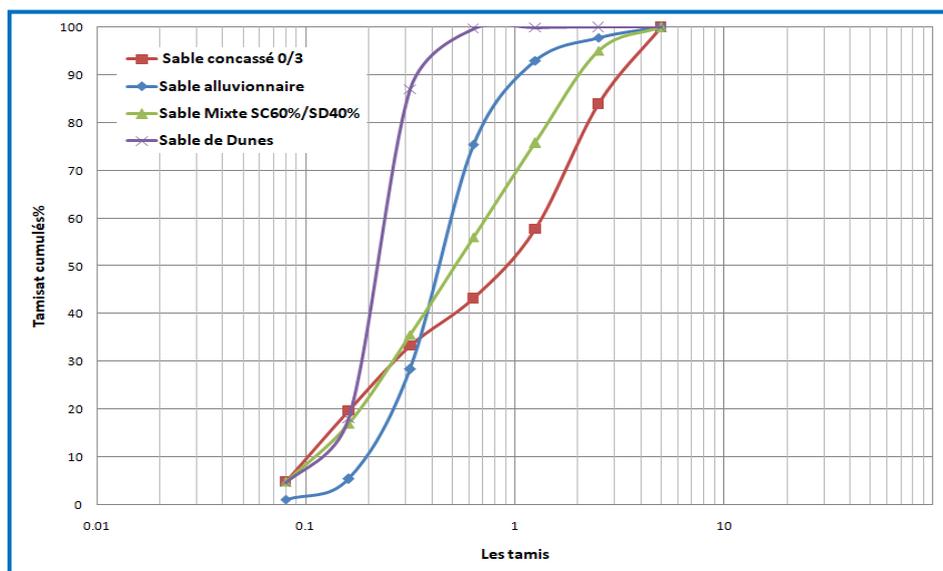


Figure (III.03) : Courbes granulaires des quatre types des sables utilisés.

III.2.2.2 Le module de finesse :

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (M_f).

$$M_f = \frac{\sum R_c (5 + 2.5 + 1.25 + 0.63 + +0.315 + 0.16)}{100}$$

Tableau (III.03) : les types de Sable

Désignation	M_f	Type de Sable
Sable concassé SC	2,62	sable préférentiel
Sable Alluvionnaire SA	1,98	le sable est à majorité de grains fins
Sable Mixte Conca-Dunes (60/40%) SMCS	2,20	sable préférentiel
Sable de Dunes	0,95	le sable est de grains très fins

II.2.2.3 La masse volumique :

Elles servent à traduire les compositions en masse, en composition volumiques. Il s'agit des masses volumiques réelles, déterminées selon la norme AFNOR P18-554 pour les gravillons et la norme P18-555 pour les sables.

La masse volumique des poudres (ciment, fines et ultrafines...) est mesurée selon la norme ASTM C188.[T. SEDRAN]

A. La masse volumique apparente [NA.255-5/1990] :

Qu'on indique aussi dans l'appellation « masse volumique en vrac », qui est une masse de constituants secs par unité de volume où les vides entre les grains sont inclus.



Figure (III.04) :La masse volumique apparente

➤ Mode opératoire :

- Déterminer le volume du récipient (V).
- Poser le récipient sur la balance et tarer sa masse
- mettre l'échantillon de la paille dans le récipient
- Laisser couler l'échantillon au centre de la masse jusqu'à qu'il débord
- Araser à la règle.
- Peser le contenu du récipient (M).

Les résultats de la masse volumique apparente sont réunis dans le tableau suivant :

Tableau (III.04) : Les résultats de la masse volumique apparente

Désignation		Essais 1	Essais 2	Essais 3	Moyenne
Sable concassé SC	m (g)	5065.1	5005.7	5027.3	2.25
	P (g/cm ³)	2.53	2.5	2.51	
Sable Alluvionnaire SA	m (g)	5065.1	5005.7	5027.3	2.25
	P (g/cm ³)	2.53	2.5	2.51	
Sa.MixteConca-Dunes (60/40%) SMCD	m (g)	5039.1	5053.2	5055.3	2.52
	P (g/cm ³)	2.52	2.53	2.53	
Sable de Dunes SD	m (g)	4817.3	4824.7	4824.7	2.41
	P (g/cm ³)	2.41	2.41	2.41	

B. Masse volumique absolue [NA.255/1990] :

Elle est indiquée par unité de volume, c'est la masse volumique de chaque matériau sans tenir compte les vides existants qu'ils soient dans ou entre les grains.

**Figure (III.05) : La masse volumique absolue****➤ Mode opératoire :**

- Peser une masse (M) bien déterminée de sable.
- Remplir la répression par un volume d'eau (V1).
- Verser la prise d'essai de sable dans la répression
- Définir le nouveau volume (V2).

Les résultats de la masse volumique absolue sont réunis dans le tableau suivant :

Tableau (III.05) : Les résultats de la masse volumique absolue

	$P_1 (g)$	$P_2 (g)$	$P_3 (g)$	$P_4 (g)$	$V (cm^3)$	$M_v (g/cm^3)$
SC	300,1	2181,5	2481,6	2370,2	111,4	2,694
SA	300,1	2181,5	2481,6	2370,2	111,4	2,694
SD	479,9	2181,5	2661,4	2365,3	296,1	1,621
SMCD	299,7	2181,5	2481,2	2366,9	114,3	2,622

- P_1 : Quantité d'échantillon.
- P_2 : Poids du pot rempli d'eau.
- $P_3 = P_1 + P_2$
- P_4 : Poids du mélange (sable+l'eau)
- $V = P_3 - P_4$
- $M_V = \frac{P_1}{V}$

III.2.2.4. Equivalent de sable:

Cet essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier.

➤ Mode opératoire :

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse et mis à sécher



Figure (III.06): lavage de sable

L'essai est réalisé sur 2 échantillons et on prend la moyenne.

1. Verser la solution lavant dans l'éprouvette jusqu'à le premier trait.
2. Peser une masse de 120 g de l'échantillon.
3. Transvaser la prise d'essai dans l'éprouvette.
4. Chasser les bulles d'air en frappant la pomme de la main sur la base de l'éprouvette.
5. Laisser reposer pendant 10 minutes.



Figure (III.07) :Laisser reposer

6. Fermer l'éprouvette et l'agiter au moyen d'une machine agitatrice à 90 cycles en 30 secondes.



Figure (III.08) :La machine agitatrice

7. Rincer les parois de l'éprouvette, puis enfoncer le tube laveur jusqu'à le fond de l'éprouvette.

En réalisant un mouvement doux de piquage et en faisant tourner la tube entre les doigts afin d'assurer la remontée des fines.

8. Remplir l'éprouvette jusqu'au deuxième trait



Figure (III.09) :Remplir l'éprouvette

9. Laisser reposer le tout pendant 20 minutes.

Posséder au mesure par rapport à la base le niveau de flocculat (h1) et à l'aide d'un piston descendu jusqu'à ce qu'il pose sur la partie du sédiment sableux On déduit l'équivalent du sable qui par convention égale à :

$$ES=100\frac{H_1}{H_2}$$

Les résultats d'équivalent de sable sont réunis dans le tableau suivant (III.0...):

Tableau (III.06) :Les résultats d'équivalent de sable

	SC		SA		SD		SMCD	
Hauteur totale	Essai 1	Essai 2						
H1 (cm)	13.8	14.1	13.8	14.1	9.9	10	13.6	13.5
Hauteur de sable								
H2 (cm)								
ES= H2/H1*100	8.1	8			8.9	9	8.8	8.4
ES moyen (%)	57.7				89.5		57.7	

III.2.3.L'eau de gâchage :

L'eau utilisée dans notre étude est une eau de robinet du laboratoire LTPs de ghardaia. Selon la norme NF EN 1008, l'eau potable est toujours utilisable dans la formulation des bétons et des mortiers.

III.2.4. Superplastifiant

Le superplastifiant (SP) utilisé est un adjuvant réducteur d'eau de haute gamme de nouvelle génération de type viscocrete tempo12, à base de copolymère acrylique. Ce superplastifiant est utilisé pour produire des bétons très fluides, avec un rapport eau / ciment (E / C) très faible et conforme à la norme EN 934-2 [27]. Le tableau 3 présente les caractéristiques physiques et chimiques du superplastifiant

Tableau (III.07) : Caractéristiques physiques et chimiques du superplastifiant

La désignation	Couleur	pH	Densité	Dosage	Cl ⁻	Na ₂ O
SIKA VISCOCRETE TEMPO 12	Brun clair	4,5–6,5	1,06	0,2 à 3%	≤0,1%	≤ 1%

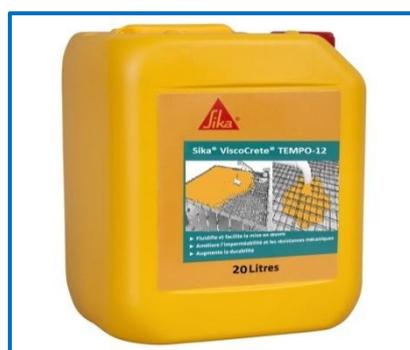


Figure (III.10) : Le super plastifiant

III.3. Formulation des mortiers

Dans notre étude quatre types de mortier ont été formulés qui sont les suivants :

- Mortier auto-plaçant avec sable alluvionnaire (Témoin).
- Mortiers auto-plaçant avec sable concassé.
- Mortiers auto-plaçant avec sable de dunes.
- Mortiers auto-plaçant avec mélange (60% sable concassé et 40% sable de dune).

Tableau (III.08) : Formulation des mortiers

	sable(g)	Ciment (g)	Poudre (Filler céramique)	Eau/Ciment	Super plastifiant
S. Alluv Témoin	1300	650	-	0,40	0.85%
Sable Concassé. 0/3	1300	585	65	0,40	0,75%
Sable 40 SD/60 SC	520//780	585	65	0,40	0,85%
Sable des Dunes	1300	585	65	0,50	2,80%

III.3.1. Composition des mortiers :

III.3.1.1. Protocole de mélange des mortiers autoplaçants (MAP) :

Le protocole de mélange des mortiers autoplaçants (MAP), a été établi selon les caractéristiques recherchées (la fluidité du mortier selon le béton autoplaçant). Ce protocole a été appliqué sur tous les mélanges des mortiers étudiés durant notre étude.

- Le Protocole de mélange des mortiers MAP, suivit dans cette partie est comme suit:

- 1) Mettre le mélange de cohésion (ciment + granulés) dans le malaxeur et mélanger à vitesse lente pendant 15 secondes
- 2) Ajoutez ensuite les 2/3 de l'eau et mélangez pendant 45 secondes,
- 3) puis grattez l'embout et mélangez à nouveau Verser un tiers d'eau et de superplastifiant
- 4) Enfin, mélangez à vitesse lente pendant quatre minutes (5 minutes au total)



Figure (III.11) : Malaxeur a mortier

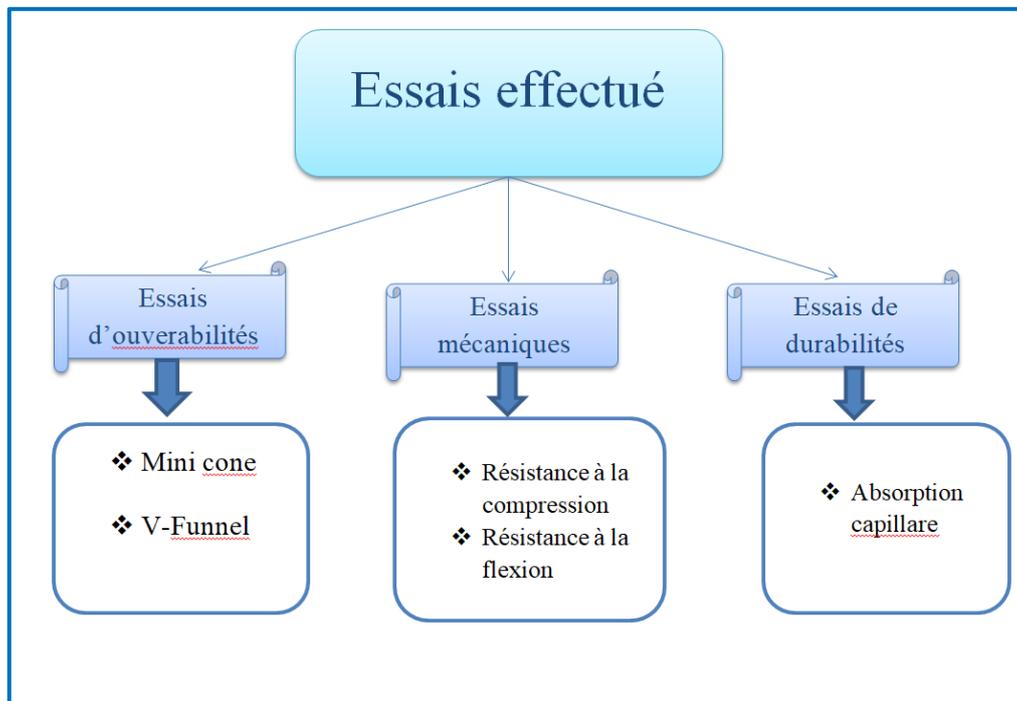


Figure (III.12) :Schème des essais effectués

III.3.2. Conduite d'essai à l'état frais

III.3.2.1.Essai au mini cône :

L'appareil se compose d'un moule tronconique creuse de 60 mm de hauteur 70mm et du bas 100 mm. Le cône est placé au centre d'une plaque et rempli de mortier, le cône est soulevé et le mortier s'écoule sur la table. Le diamètre est mesuré suivant les deux détractions perpendiculaires

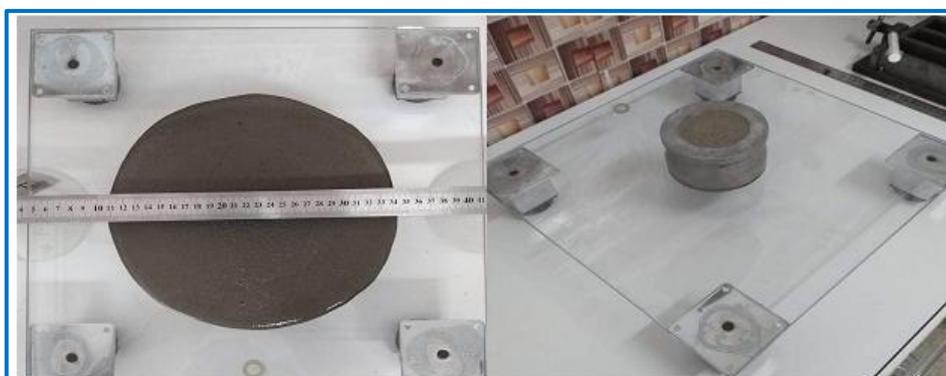


Figure (III.13) :Essais de mini cône

III.3.2.2. Essais de l'entonnoir en V (V-funnel)

On calcule le temps qu'il faut au mortier autoplaçant pour s'écouler à travers la trappe ouverte est une mesure de la consistance.



Figure (III.14) : Essais de l'entonnoir en V

III.3.3. Confection des éprouvettes :

- On utilise des moules prismatiques de dimension (4x4x16) cm³
- On doit nettoyer les éprouvettes à l'aide d'une brosse métallique puis étaler un lubrifiant (huile) pour faciliter le démoulage.
- Remplir les moules par les mortiers,
- Il faut qu'elle soit bien arasée à l'aide d'une règle métallique et placée lentement sur la face du moule.



Figure (III.15) : les moules de mortier.

III.3.4. Conservation des éprouvettes (selon la norme NF P18 438)

Les éprouvettes doivent rester dans le moule et doivent être protégées contre les vibrations, les chocs, et la dessiccation pendant un minimum de 16h et un maximum 3 jour à la température de $20^{\circ}\text{C}\pm 5\text{C}$.

Ces éprouvettes sont conservées dans une chambre humide à $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ et d'humidité relative au moins égale à 95 %, pendant 28 jours.



Figure (III.16) :les éprouvettes de mortier

III.3.5. Conduite d'essai A l'état durci

III.3.5.1. Essai de traction par flexion :

La résistance à la traction par flexion des mortiers a été évaluée par des essais de flexion trois points effectués sur des éprouvettes prismatique $(4 \times 4 \times 16)\text{cm}^3$

$$R_f = \frac{1.5 pl}{a^3}$$

R_f : est la résistance en flexion en Map ;

a : est le côté de la section carrée de prisme en millimètres (mm) ;

P : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture en newtons (N) ;

L : est la distance entre les appuis en millimètres (mm).

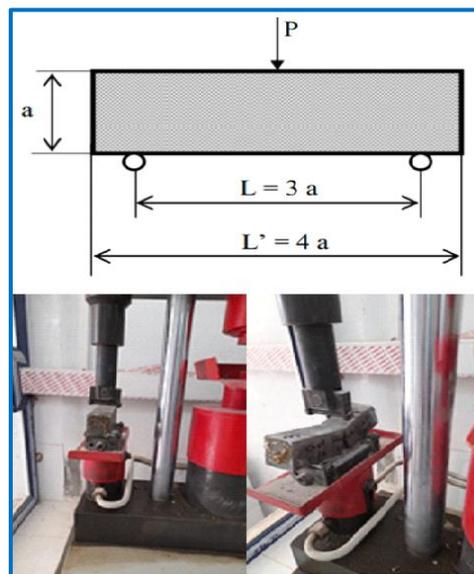


Figure (III.17) : Essai de traction

III.3.5.2. Essai de compression :

L'essai de la compression s'effectue après avoir l'essai de traction par flexion cette dernière rend l'éprouvette en deux parties.

$$\sigma_c = \frac{P_c}{S}$$

σ_c : Contrainte de compression

P_c : la charge de rupture à la compression.

S : Section transversale de l'éprouvette.

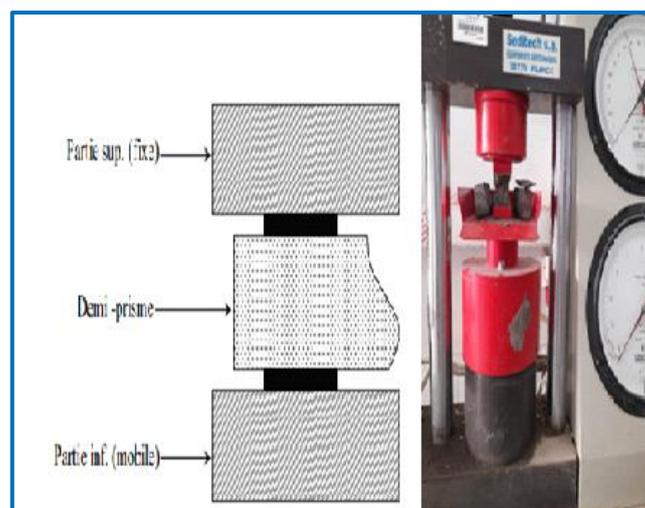


Figure (III.18) : Essai de compression.

III.3.5.3. Essai d'absorption d'eau par capillarité

Dans le domaine physico-chimique, les résultats des essais expérimentaux (perméabilité à l'oxygène, diffusion des ions chlore, absorption d'eau, carbonatation accélérée et lessivage au nitrate d'ammonium) ont été comparés en fonction de la résistance mécanique pour les deux types de mortier. La perméabilité à l'oxygène des mortiers auto-plaçants est inférieure à celle des mortiers ordinaires vibrés pour une gamme de résistance donnée. Il n'y a pas de différence significative en termes de diffusion des ions chlore et d'absorption d'eau par capillarité. Et toujours à résistance équivalente, le taux de carbonatation et la cinétique de lessivage au nitrate d'ammonium des deux types de mortier restent comparables. Ces propriétés évoluent avec la résistance en compression de manière identique pour les mortiers auto-plaçant :

$$VM\% = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100$$

VM : variation de la masse en (%).

M₀ : La masse de l'éprouvette avant exposition à leau en (g).

M_i (i=5,10,15, ,1440) min la masse en (g).



Figure (III.19) : Essai d'absorption d'eau

Chapitre IV :

Résultats et discussions

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous exposons les résultats de travail pratique effectué au niveau du laboratoire LTPS de Ghardaïa. Notre étude a pour objectif d'étudier les propriétés rhéologique et mécanique des mortiers à base de divers types de sable.

Afin de voir l'influence de filler de déchets de céramique sur les caractéristiques des mortiers auto-plaçant à l'état frais et à l'état durci, les résultats ont été comparés avec ceux d'un mortier avec le sable alluvionnaire (témoin).

IV.2. Essais à l'état frais :

IV.2.1 Essai de mini cône (NF EN 196-1)

Les résultats obtenus de l'essai de mini cône sont présentés sur la figure (IV.01) ci-dessous. La figure (IV.01) présente la variation de l'étalement des différents mortiers en fonction du type de sable utilisé.

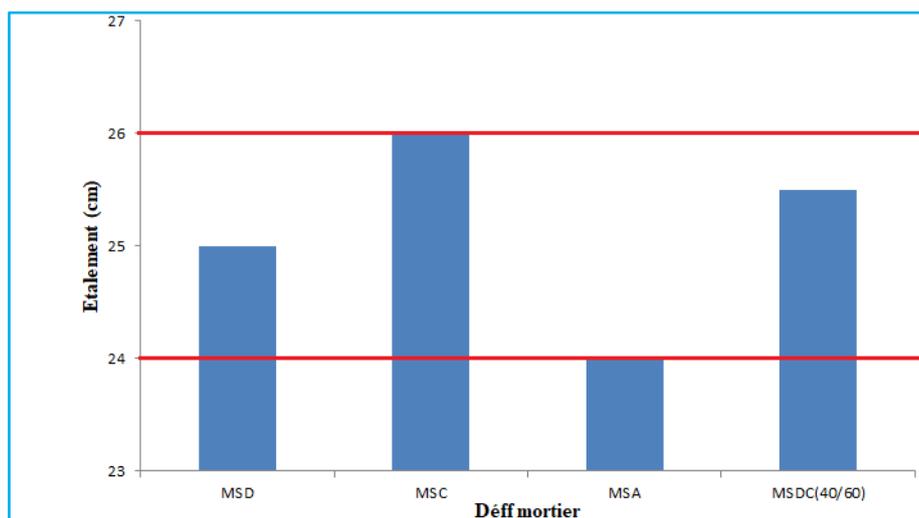


Figure (IV.01) : Histogramme des diamètres d'étalement au mini cône des quatre mortiers élaborés.

D'après la figure 4.1 on remarque que le diamètre d'étalement pour les quatre types des mortiers réalisés se trouvait dans l'intervalle des MAP autorisé par EFNARC qui est entre 24 et 26 mm. L'augmentation du diamètre d'étalement pour les mortiers est due à la présence du super plastifiant qui joue le rôle de fluidifiant et aussi l'ajout de filler des déchets céramiques qui diminue les frottements entre les grains, par conséquent elles augmentent la fluidité du mortier.

IV.2.2 Essai d'entonnoir (V-Funnel)

Les résultats de la variation du temps d'écoulement de l'essai d'entonnoir (V-Funnel) en fonction du type de sable utilisé sont présentés sur la figure (IV.02).

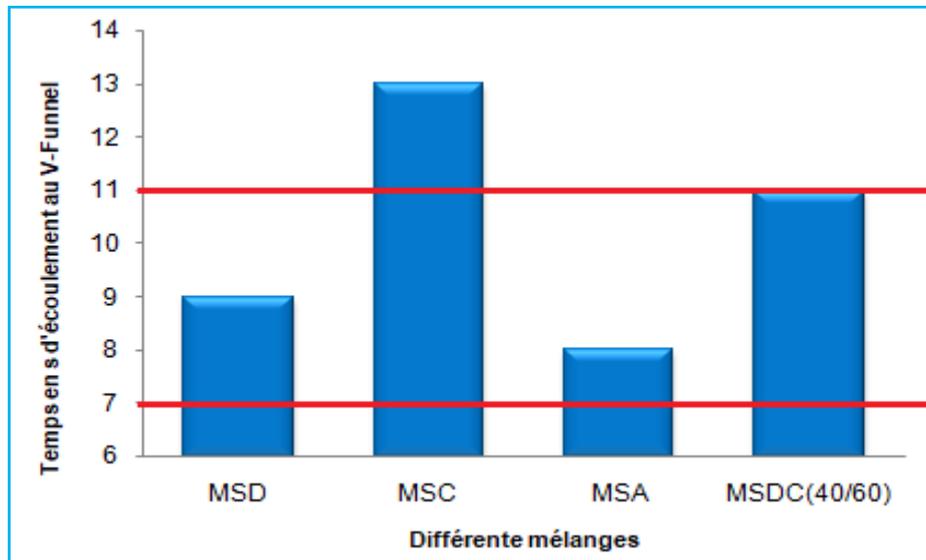


Figure (IV.02) : Résultats d'essais d'entonnoir (V-Funnel).

Ces résultats indiquent que le temps d'écoulement qu'on a mesuré augmente avec l'utilisation du sable concassé où le temps d'écoulement pour le MSC dépasse la limite de plus de 2 secondes. Tandis que les temps d'écoulements du MSD, MSA, et MSDC (40/60) sont dans la plage acceptable d'EFNARC pour les SCM qui est de 7 à 11 s.

Il peut être conclu à partir de ces résultats qu'une diminution de la fluidité des mortiers avec du sable concassé a été observée. Cette diminution de fluidité due à la forme angulaire du squelette granuleux de se sable qui gêne (ou freine) l'écoulement des mortiers. De nombreuses études ont été menées sur l'effet des formes irrégulières des granulats grossiers sur la rhéologie du béton auto-compactant [38]. Par contre les mortiers avec de sable MSD et Sable MSA qui ont une forme sphérique favorisent l'écoulement des mortiers. Des résultats similaires sont rapportés par Yang et al. [22].

IV.3. Essai à l'état durci :

IV.3.1. La résistance à la compression :

Les résultats de la résistance à la compression de l'essai d'entonnoir (V-Funnel) en fonction du type de sable utilisé sont présentés sur la figure (IV.03) ci-dessus :

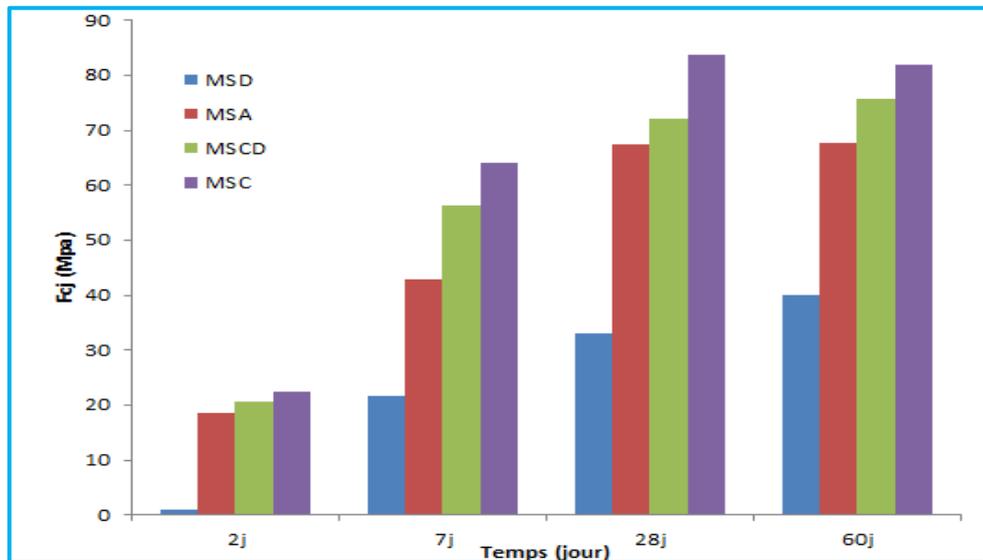


Figure (IV.03): Résultats d'essais de la résistance à la compression des différents mélanges.

D'après la figure (IV.03) on remarque que la résistance à la compression a enregistré une augmentation pour les deux mélanges à savoir MSC et MSCD par rapport au témoin tandis qu'elle a enregistré une diminution pour MSD, les taux d'augmentation de la résistance à la compression après 2 jours d'immersion sont : 22% et 12% respectivement et le taux de diminution est de 94%. Aussi avec la même tendance les taux d'augmentation de la résistance à la compression après 7 jours d'immersion sont : 49% et 31% respectivement et le taux de diminution est de 50%. Aussi avec la même tendance les taux d'augmentation de la résistance à la compression après 28 jours d'immersion sont : 24% et 8.9% respectivement et le taux de diminution est de 51%. Aussi avec la même tendance les taux d'augmentation de la résistance à la compression après 60 jours d'immersion sont : 21% et 11.7% respectivement et le taux de diminution est de 41%.

Il peut être rapporté que les résistances à la compression de tous les échantillons de SCM s'améliorent à mesure que le temps de durcissement passe de 2 jours à 60 jours.

IV.3.2. La résistance à la traction par flexion :

Les résultats de la résistance à la traction par flexion en fonction du type de sable utilisé sont présentés sur la figure (IV.04) ci-dessus :

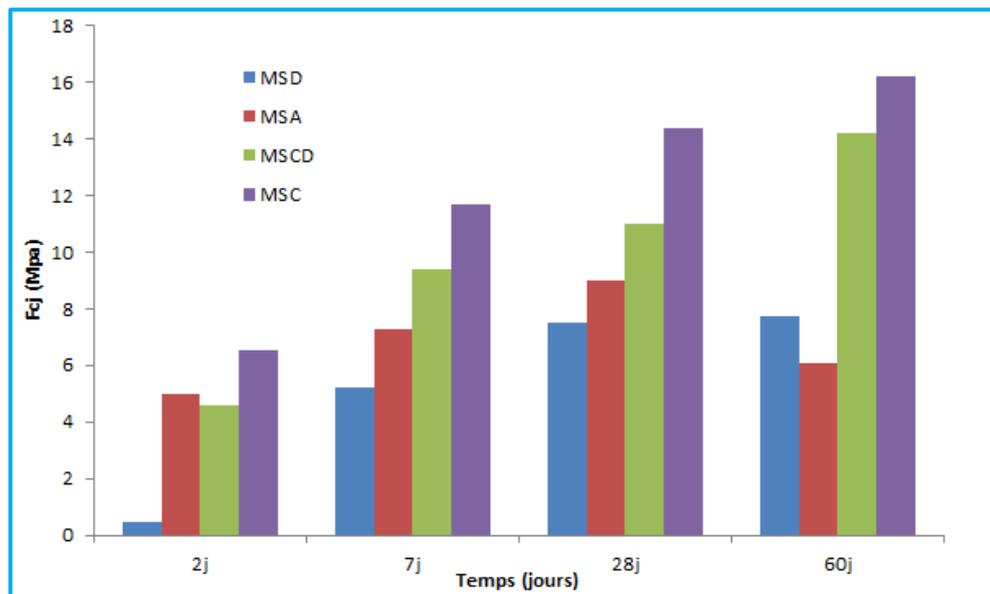


Figure (IV.04) : Résultats d’essais de la résistance à la traction par flexion des différents mélanges.

D’après la figure (IV.04) on remarque que la résistance à la traction par flexion a enregistré une augmentation pour les deux mélanges à savoir MSC et MSCD par rapport au témoin tandis qu’elle a enregistré une diminution pour MSD, les taux d’augmentation de la résistance à la compression après 2 jours d’immersion sont : 31% et 30% respectivement et le taux de diminution est de 90%. aussi avec la même tendance les taux d’augmentation de la résistance à la compression après 7 jours d’immersion sont : 60% et 20% respectivement et le taux de diminution est de 29%. Aussi avec la même tendance les taux d’augmentation de la résistance à la compression après 28 jours d’immersion sont : 60% et 24% respectivement et le taux de diminution est de 36%. Aussi avec la même tendance les taux d’augmentation de la résistance à la compression après 60 jours d’immersion sont : 17% et 12% respectivement et le taux de diminution est de 2%.

L’augmentation de la résistance à la traction dans les mélanges de MCS et MSCD est liée à la plus grande quantité de matériaux poudreux et à l’effet de blocage dû à la forme angulaire des agrégats ces résultats sont également soutenus par Buest Neto [33], ainsi que la source minéralogique à un grand effet sur la résistance, où les mélanges avec des agrégats de calcaire (CS) ont des meilleures résistances que celle avec des sables siliceux (MSA, MSD). Ces résultats sont en accord avec les résultats de Kilic et al. [34].

IV 3.2.1. Corrélation entre la résistance à la compression et la résistance à la traction par flexion :

La corrélation entre la résistance à la traction par flexion et la résistance à la compression après 3,7,28 et 60 jours de durcissement a été présentée à la figure (IV.05). Comme le montre la figure (IV.05), on peut dire qu'il existe de fortes corrélations entre la résistance à la compression et les valeurs de résistance à la traction en flexion des SCM produits à partir du différent sable. La ligne de tendance et les valeurs de (R^2) confirment ces fortes corrélations entre la résistance à la compression et la résistance à la traction par flexion.

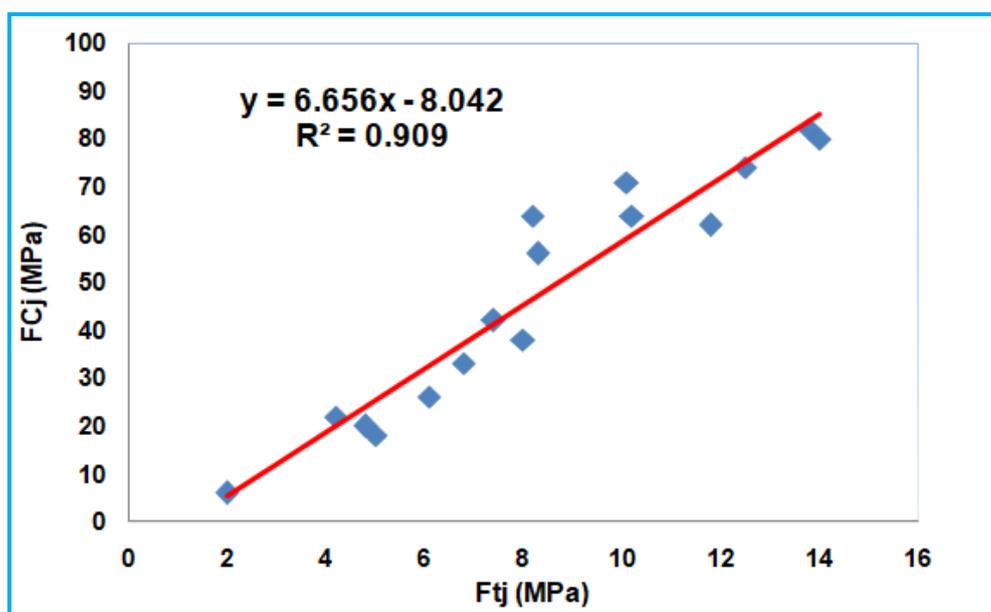


Figure (IV.05) : Corrélation entre R. Compression et R. traction par flexion.

IV.3.3. Absorption capillaire

D'après la figure (IV.06) on remarque que l'absorption capillaire des échantillons contenant de sable des dunes MSD est le plus élevé tandis que les échantillons contenant de sable concassé MSC est le plus bas.

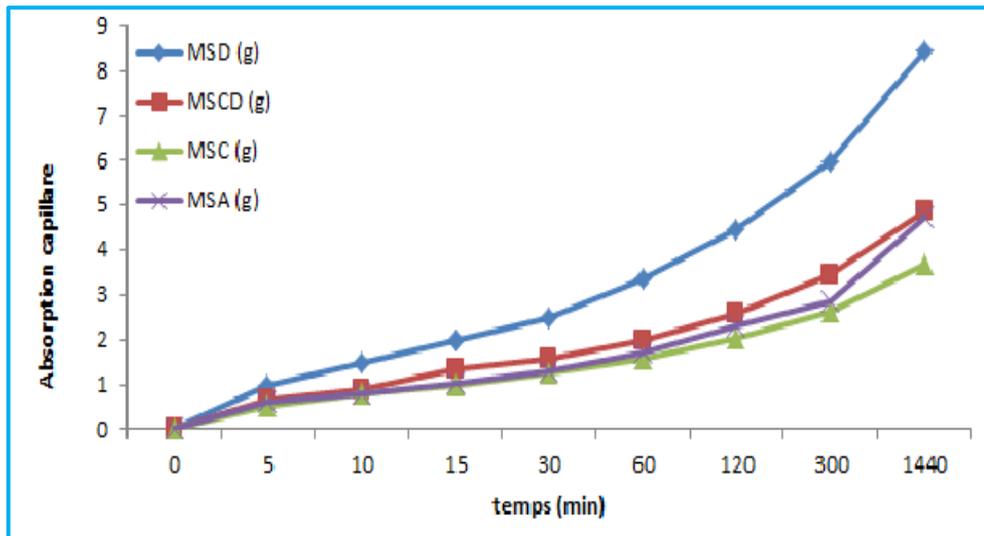


Figure (IV.06) : Résultats d'essais d'absorption capillaire.

Cet grand absorption des échantillons contenant de sable des dunes MSD est peut être du a des vides à l'intérieur de ses composants qui aident l'eau à pouvoir exister à l'intérieur par rapport à l'échantillon témoin, où par contre on voit que l'échantillon avec le sable de concassé est moins absorbant que l'échantillon témoin car il contient du sable fin qui aide à combler les vides Cela rend difficile la présence d'eau dans l'échantillon.

Conclusion

Conclusion

Cette étude a déterminé l'influence du sable concassé, sable de dunes, mélange de sable concassé de dunes et sable alluvionnaire sur les propriétés rhéologique et mécaniques du MAP. Sur la base des résultats des essais expérimentaux, nos observations et conclusions peuvent être résumées comme suit :

A l'état frais :

- On remarque que les diamètres d'étalement des galettes des mortiers avec différents type de sables diminuent avec l'utilisation du sable de dunes MSD et des sable alluvionnaire tandis qu'elle enregistre une augmentation avec l'utilisation du sable concassé et du sable mixte concassé dunes.

A l'état durci

- Le sable concassé à un taux de remplacement de 100%, et le sable mixte concassé-dunes (MSCD 60/40) pourrions remplacer complètement le sable Alluvionnaire dans la fabrication du MAP, avec des améliorations des propriétés mécaniques du MAP : Résistance à la compression, résistance à la traction.
- Le sable concassé mélangé au sable de dunes a donné une amélioration aux propriétés du MAP. La teneur optimale en sable de dunes était de 40 % en masse pour la meilleure maniabilité et la meilleure résistance du béton en compression et en traction des Résultats confirmés par la littérature.
- Le paramètre de durabilité d'absorption capillaire après plus de 60 jours de cure, les résultats avec du sable concassé ou mélangé avec de sables de dunes sont comparables par rapport au mortier témoin. Le filler des déchets de céramiques ne semblent pas être perturbés ces paramètres de durabilité des MAP.

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire a été limité malheureusement par le temps, à cet effet nous recommandons de le poursuivre par les travaux de recherches suivants :

- Effet du sable concassé à divers taux de fines sur les performances des BAP et MAP.
- L'étude de la durabilité du sable concassé face aux attaques chimiques.

Les Références

Les Références

- [1] Hebbouche A., Propriété mécaniques et durabilité du béton à base de sable de concassage, Mémoire de magistère, Université de SAAD DAHLEB Blida, 2002
- [2] Bilan des activités minières, 2008.
- [3] Courard, L. “Repairing concretes with self-compacting concrete: Testing methodology assessment” In: Proceedings of First North American Conference on the design and the use of self-consolidating concrete (SCC), Chicago, U.S.A, “(2002).
- [4] Felekoğlu, B.” The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars”. Cement and concrete research, 36(9), (2006).
- [5] Kiran Pokkuluri « Effect of admixtures, chlorides, and moisture on dielectric properties of Portland cement concrete in the low microwave frequency range » - Master thesis – Virginia University – 210p - October 1998.
- [6] M. Regourd, H. Hornain, « Applications de la microscopie électronique à balayage » Revue des matériaux de construction, 693 : 73–87- 1975.
- [7] Y. Older , « Hydration, setting and hardening of Portland cement », dans Lea’s - Chemistry of Cement and Concrete, chap.6, Arnold, 4th éd- 1998.
- [8] R. Gané « Cours de durabilité et Réparation des bétons » - Chapitre 2- Université de Sherbrooke –p32-1993.
- [9] R. SERSALE, “Structure et caractérisation des pouzzolanes et des cendres volantes » thème VI-17^{ème} Congrè International de la chimie des ciments - Volume 1- Partis 1980.
- [10] H. PICHON, P. Gaudon, A. Benhassain, O. Eteradossi, «Caractérisation et quantification de la fraction réactive dans les pouzzolanes naturelles », Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, N° 201- Jan-Fev 1996.
- [11] P.C. AITCIN, C. jolicoeur et J. macgregor, « superplasticizers : how they word and why they accasionnelly don’t », concrete international, pp 45-52 – Mai 1994.
- [12] P.C. AITCIN «les propriétés minéralogiques des sables de laitier de haut fourneau de fonte thomas et leur utilisation dans les mortiers en béton » . Revue des matériaux de construction, pp 185-194 - Mai 1968.
- [13] P.C. AITCIN, C., F. Autefage, A. carles-Macgreues., A. Vaquier., « comparative study of the cementitious of différent fly ashe », pp 91-114 - 1994.
- [14] B. C. BENI-REMOUR., « Matériaux pouzzolainique: etude physico-chimique et mécanique des mortiers et bétons contenant de la pouzzolane », mémoire de fin d’étude ingénieurat - IGCM ORAN-

- [15] P.C. AITCIN «les propriétés minéralogiques des sables de laitier de haut fourneau de fonte thomas et leur utilisation dans les mortiers en béton ». Revue des matériaux de construction, pp 185-194 - Mai 1968.
- [16] P.C. AITCIN, C., F. Autefage, A. carles-Macgreues., A. Vaquier., « comparative study of the cementitious of différent fly ashe », pp 91-114 -1994.
- [17] Okamura et Ouchi, Self-compacting concrete, Journal of advanced Concrete Technology, 2003, vol 1, n°1, pp 5-15.
- [18] SALHI Mohamed, « Effet du climat chaud sur la durabilité des bétons autoplaçants », thèse doctorat, de l'Université de Hassiba Ben Bouali, 2018.
- [19] BETHMONT Sandine, « Mécanismes de ségrégation dans le béton autoplaçant », Thèse de doctorat, École nationale des ponts et chaussée, 2005.
- [20] SOUCHU Bernard et QUENE Philippe, « Volcans, Cendres Volcanique et Pouzzolanes », Document électronique[en ligne] n°26 mis en ligne le janvier 2014 disponible sur : <http://doc.lerm.fr/>
- [21] Senthamarai R.M, Manoharan P.D. Concrete with ceramic waste aggregate. Cement and Concrete Composites 2005; 27(9-10): 910-913.
- [08] Gonzalez-Corominas A, Etxeberria M. Properties of high performance concrete made with recycled fine ceramic and coarse mixed aggregates. Construction and Building Materials 2014; 68: 618-626.
- [09] Subaşı S Öztürk H Emiroğlu M. Utilizing of waste ceramic powders as filler material in selfconsolidating concrete. Construction and Building Materials 2017; 149: 567-574.
- [10] El-Dieb A.S, Kanaan D.M. Ceramic waste powder an alternative cement replacement – Characterization and evaluation. Sustainable Materials and Technologies 2018; 17: 1-11.
- [11] Kannan D.M, Aboubakr A.H, EL-Dieb A.S, Taha M.M.R. High performance concrete incorporating ceramic waste powder as large partial replacement of Portland cement. Construction and Building Materials 2017; 144: 35-41.
- [12] E. Lasseguette, S. Burns, D. Simmons, E. Francis, Y. Huang. Chemical, microstructural and mechanical properties of ceramic waste blended cementitious systems. Journal of Cleaner Production 2019; 211: 1228-1238.
- [13] BENSEBTI Salah Eddine, « Formulation et propriétés des bétons autoplaçants à base de matériaux locaux », Université Mentouri Constantine, Thèse de Doctorat, 2008
- [14] BENBRAHIM Fahima, « Effet des granulats de verre mousse sur les propriétés rhéologique et physico-mécaniques du mortier autoplaçant », Mémoire de Master, 2015.
- [15] TURCRY Philippe, « Retrait et fissuration des bétons autoplaçants », Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes et l'Université de Nantes, 2004.
- [16] ABIB Zinnedine, « Formulation et caractérisation des bétons autoplaçants », Thèse de Magistère de l'Université USTHB, 2004.
- [17] BILLBERG P., “Influence of filler characteristics on SCC rheology and early hydration”, Proceedings of 2nd International Symposium on Self-Compacting Concrete, Tokyo, Japon, pp. 285-294, 23-25 octobre 2001.

- [18] Domone P.L, Jin J. Properties of mortar for self-compacting concrete. Proceedings of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Å. Skarendahl and Ö. Petersson (Editors), Stockholm, Sweden, 1999; 109-120.
- [19] Guneyisi E, Gesoglu M, Ozbay E. Effects of marble powder and slag on the properties of self compacting mortars. *Materials and Structures* 2009; 42: 813-826.
- [20] Hebbouche A., Propriété mécaniques et durabilité du béton à base de sable de concassage, Mémoire de magistère, sous la direction de Pr. Kenai. S, département de Génie Civil, Université de SAAD DAHLEB Blida, 2002.
- [21] Benyamina S. (2020). Performance des bétons autopaçants à base de sable de concassage. Thèse de doctorat, Université Saad Dahleb - Blida 1.
- [22] Azrar T. (2018). Influence du PH sur les propriétés physico-mécaniques d'un mortier autopaçant . *Matériaux en génie civil* diplôme master 2. Université Akli Mouhnd Oulhadje- Bouira.
- [23] Gibbs j.c and Zhu .w . (1999). Strength of handmed self-compacting concrete . Proceeding first international RILEM Symposium on self-compacting concrete (pro7) ; Stockholm Suede, pp-199-209.
- [24] B.felkoglu.(2007). Utilisation of high volumes of limestone quarry waster in oncrete industry (self-compactiongconcete case) . *Resource ; conservation and Recycline* S1 270-791.
- [25] R'mili et M .benougdou .(2012). Valorisation du sable de désert dans la composition des bétons autopaçants. laboratoire de génie civil. Ecole nationale d'ingénieurs de tunis. Université tinis El Manar ; Ecole supérieure des sciences et techniques de tunis, université de tunis , tunisie.
- [26] Boudra .S. (2014) . Contribution à la modélisation du retrait des bétons .majister en génie civil ; université constantine.
- [27] EN 196-1, 2005. Methods of Testing Cement e Part 1: Determination of Strength,- European Committee for Standardization, CEN, 2005. NA 442, 2003. Norme Algerienne, [Algerian Standards] Liantes Hydrauliques -Ciments Courants, Composition, Specification. IANOR, Algiers.
- [28] De Larrard.F, Sedran.T, "Mixture-proportioning of high-performance concrete", *Cement and Concrete Research*, 32, 11, pp. 1699-1704, 2002.
- [29] S. I. A. Norme, "215: Liantes minéraux," Société suisse des ingénieurs des Archit. Zurich, 1989.
- [30] Ozawa.K, Tangtermsirikul.S, Maekawa. K, "Role of powder materials on the filling capacity of fresh concrete", *Proceedings of the 4th CANMET/AI Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, Istanbul, Turquie, pp. 121-137, 1992.
- [31] Van.B.K., "A method for the optimum proportioning of the aggregate phase of highly durable vibration-free concrete", MSc thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, 1994.

Les Annexes

NOTICE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12

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

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

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 autoplacants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplacants, 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.

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fût de 230 kg ▪ Cubi de 1100 kg ▪ Vrac
Aspect / Couleur	Liquide brun clair à foncé
Durée de Conservation	12 mois dans son emballage d'origine intact.
Conditions de Stockage	A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.
Densité	1,06 ± 0,01
Valeur pH	4,5 ± 1,0
Teneur Totale en Ions Chlorure	≤ 0,1 %
Équivalent Oxyde de Sodium	≤ 1 %

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

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 / NORMES

Marquage CE et NF selon la norme NF EN 934-2 tab 3.1 et 3.2.

PV CNERIB : DTEM/108/2017

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage

Plage de dosage : 0,2 à 3,0% 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.

VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire.

Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

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.

RESTRICTIONS LOCALES

Veillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni

Sika El Djazair SPA

08 route de Larbaa
16111 Les Eucalyptus
ALGERIE
Tél.: 0 21 50 16 92 à 95
Fax: 0 21 50 22 08
dza.sika.com



Notice produit

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12
Septembre 2021, Version 01.02
021301011000000110

aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. 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 soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

SikaViscoCreteTEMPO-12-fr-DZ-(09-2021)-1-2.pdf