



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 :

Substitution du filler calcaire par de la poudre de déchets de céramique et de brique dans le mortier auto plaçant : Propriétés et durabilité

Déposé le : 29/05/2022

Par :

DAREM Rekaia

Évalué Par le jury composé de :

NESSIL Abdelhamid

MAA

Univ Ghardaia

Président

BOUCHERBA Mohammed

Dr G.C.

L.T.P.S Ghardaia

Évaluateur

SALHI Aimad

MAA

Univ Ghardaia

Encadreur

TIOUA Tahar

MCB

C.Univ A.B. MILA

Co-Encadreur

Année universitaire : 2021/2022



Dédicace

Je dédie ce mémoire

*À mes chers parents, pour tous leurs
sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur
soutien et leurs prières tout au long de mes
études.*

*À mes frères et mes soeurs et ses enfants,
toutes ma famille, mes proches*

*À mes profs et mes collègues de la
promotion de 2022*

À tous ceux qui j'aime...

Remerciements

La Première chose je remercie **Allah** pour le succès Qu'il me a donné, la volonté et la patience tout au long de la période d'étude.

En second lieu je remercie aussi mon encadreur **Mr. Salhi Imad**, et Co-Encadreur **Mr. Tahar Tioua** pour l'orientation, la confiance et

la patience tout long de ce travail.

Merci également aux professeurs de département de génie civil l'université Ghardaia.

Je veut remercier vivement toute personne qui a aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui me aidé de près ou de loin à accomplir ce travail et tous les ingénieurs du laboratoire de LTPS Ghardaia spécialement au **Mr.Cheikh Beddiaf** et **Hadjer Dahman** et les employés du laboratoire de génie civil à l'université de

Ghardaia et tous les ingénieurs du laboratoire de LTPS Ghardaia

et je veut remercie l'informaticien **Mlle.Mahdjoub zineb** à me aide dans ce mémoire.

Résumé

Résumé

La présente recherche a pour but d'évaluer expérimentalement l'influence de la substitution d'une partie de ciment par un nombre de matériaux de construction (fillers calcaire, brique, céramique) dans le mortier autoplaçant sur les propriétés physiques (étalement et écoulement), mécaniques (la résistance à la flexion et à la compression) et la durabilité dans les milieux agressifs

J'ai préparé des éprouvettes de mortier autoplaçant contenant des proportions variables de différents types de filler utilisés (10%, 20%, 30%).

Les résultats de notre étude montrent que la substitution d'une partie de ciment par un nombre de matériaux de construction améliore les caractéristiques des mortiers à l'état frais (meilleure fluidité) avec amélioration de la durabilité (la résistance chimique) de mortier autoplaçant par rapport au mortier témoin.

Les mots clé : mortier autoplaçant , nombre de matériaux, ciment, propriétés physiques, durabilité

Abstract

The purpose of this research is to experimentally evaluate the influence of the substitution of a part of cement by a number of building materials (limestone, brick, ceramic fillers) in self-compacting mortars on the physical properties (spreading and flow) , mechanical (resistance to bending and compression) and durability in aggressive environments

I prepared test specimens of self-compacting mortar containing varying proportions of different types of filler used (10%, 20%, 30%).

The results of our study show that the substitution of a part of cement by a number of building materials improves the characteristics of the mortars in the fresh state (better fluidity) with improvement of the durability (the chemical resistance) of the self-compacting mortars compared to the control mortar.

Key words: self-compacting mortar, number of materials, cement, physical properties, durability .

الملخص

يهدف هذا البحث إلى إجراء تقييم تجريبي لتأثير إستبدال جزء من الإسمنت بحشوة لمجموعة من مواد البناء (الحشو الكلسي، البريك، السيراميك) في الملاط ذاتي القوية على الخواص الفيزيائية (الإنتشار و التدفق) و الميكانيكية و الديمومة في البيئة التي لها تأثير سلبي على الملاط.

قمت بإعداد عينات من الملاط ذاتي القوية تحتوي على نسب متباينة من مختلف أنواع الحشو (10%,20%,30%)

أظهرت نتائج الدراسة أن إستبدال جزء من الإسمنت بإستخدام الحشوات المذكورة لها تأثير إيجابي على الخواص الفيزيائية و الديمومة للملاط ذاتي القوية مقارنة بالملاط المرجعي

الكلمات المفتاحية: الملاط ذاتي القوية، الحشوات، الإسمنت، الخصائص الفيزيائية، الديمومة.

Liste des Figures	Page
Figure (I.01): Principaux pays producteurs de ciment dans le monde de 2014 à 2019	09
Figure (I.02) : Les constituants du mortier ordinaire et auto-plaçant	11
Figure (I.03) : Étalement au Mini cône de mortier	14
Figure (I.04) : Dimensions de l'entonnoir v (v-funnel)	15
Figure (I.05) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion	16
Figure (I.06) : Dispositif de rupture en compression	16
Figure (I.07) : Les déchets de briques	18
Figure (I.08) : Déchets de céramique	21
Figure (I.09) : Classes des céramiques	22
Figure (II.01) : Fillers calcaire	27
Figure (II.02) : Pouzzolane naturelle	28
Figure (II.03) : Pile de briques modernes, faites d'argile et de sable	31
Figure (III.01) : Le ciment AWTED	38
Figure (III.02) : Le Sable utilisé	39
Figure (III.03) : Analyse granulométrique par tamisage	40
Figure (III.04) : analyse granulométrique des granulats	41
Figure (III.05) : La masse volumique absolue	42
Figure (III.06) : La masse volumique apparente	43
Figure (III.07) : Equivalent de sable	44
Figure (III.08) : les étapes de broyage de brique	45
Figure (III.09) : Agitateur bleu méthylène	45
Figure(III.10) : les étapes de broyage de céramique	46
Figure (III.11) : les étapes de broyage de filler calcaire	47
Figure (III.12): SIKA ® de type VISCOCRETE TEMPO 12	48
Figure (III.13) : Un malaxeur	50
Figure (III.14) : Malaxeur pour les mortiers autoplaçants (MAP)	52
Figure (III.15) : Moulage des éprouvettes	53
Figure (III.16) : Conservation des éprouvettes dans une chambre humide.	53
Figure (III.17) : Dimensions de Mini cône	54
Figure (III.18) : l'essai de Mini cône à mortier	55
Figure (III.19) : Dimensions de V funnel	55
Figure (111.20) : Essai De (V-Funnel).	56
Figure(III.21) : Essai de la résistance à la flexion	57
Figure(III.22) : Essai de la résistance à la compression	58
Figure (III.23) : Essai d'absorption d'eau par capillarité	59
Figure (III.24) : Acide H ₂ SO ₄	60
Figure (III.25) : Acide Hcl	60
Figure (III.26) : Les Différentes bassins d'acide	61
Figure (III.27) : la préparation des échantillons	61
Figure (III.28) : les échantillons après 7 jours	62
Figure (III.29) : les échantillons après 15 jours	62
Figure (III.30) : Le degré d'attaque	62
Figure(IV.01) : Histogramme des diagrammes d'étalement au mini cône	65
Figure (IV.02) : Histogramme des diagrammes d'étalement au V (V-funnel)	66
Figure (IV.03) : Histogramme des diagrammes de résistance à la compression à 2 Jours	67
Figure(IV.04) : Histogramme des diagrammes de résistance à la compression à 7 Jours	67
Figure(IV.05) : Histogramme des diagrammes de résistance à la compression à 28 Jours	68

Figure(IV.06) : Histogramme des diagrammes de résistance à la compression à 60 Jours	69
Figure(IV.07) : des diagrammes de résistance à la flexion à 2 Jours	69
Figure (IV.08) : Histogramme des diagrammes de résistance à la flexion à 7 Jours	70
Figure (IV.09) : Histogramme des diagrammes de résistance à la flexion à 28 Jours	70
Figure (IV.10) : Histogramme des diagrammes de résistance à la flexion à 60 Jours	71
Figure (IV.11) : Histogramme des diagrammes de résistance à la compression et à la flexion par 60 Jours	72
Figure (IV.12) : Histogramme des diagrammes de absorption à 24 heures	72
Figure (IV.13) : Histogramme des diagrammes de absorption à 24 heures	73
Figure (IV.14) : Histogramme des diagrammes de la dégradation des échantillons a Témoin (l'eau)	73
Figure (IV.15) : Histogramme des diagrammes de la dégradation des échantillons a Témoin (l'eau)	74
Figure (IV.16) : Histogramme des diagrammes de la dégradation des échantillons a acide H2SO4	74
Figure (IV.17) : Histogramme des diagrammes de la dégradation des échantillons a acide H2SO4	75
Figure (IV.18) : Histogramme des diagrammes de la dégradation des échantillons a acide HCL	76
Figure (IV.19) : Histogramme des diagrammes de la dégradation des échantillons a acide HCL	76

Liste des Tableaux	Page
Tableau (I.01): classification de ciment	02
Tableau (I.02) : Classe de résistances des ciments.	04
Tableau (I.03) : Composition chimique de CPJ	05
Tableau (I.04) : La composition chimique du clinker	05
Tableau (I.05) : La teneur des principaux composants dans la farine crue.	06
Tableau (I.06) : Composition minéralogique de déchets de briques	20
Tableau (II.01) : Classification des ajouts selon leur réactivité	26
Tableau (III.01) : Les caractéristiques chimiques de ciment AWTED	39
Tableau (III.02) : Les caractéristiques physico-mécaniques de ciment AWTED	39
Tableau (III.03) : Les résultats de la masse volumique absolue	42
Tableau (III.03) : Les résultats de la masse volumique apparente	43
Tableau (III.05) : Les résultats de l' Equivalent de sable	44
Tableau (III.06) : l'analyse chimiques de sable	45
Tableau (III.07) : l'analyse chimiques de brique	46
Tableau (III.08) : L'analyse chimique de céramique	47
Tableau (III.09) : Caractéristiques physico-chimiques et organiques de l'eau de gâchage.	48
Tableau (III.10) : Analyse minéralogique d'eau utilisée.	48
Tableau (III.11): Caractéristiques physiques et chimiques du superplastifiant	49
Tableau (III.12) : Représente les différents types et dosages des mortiers autoplaçant	49

Introduction général

Introduction général

Le béton est la deuxième ressource la plus consommée après l'eau et est considéré comme l'un des matériaux les plus performants au monde. La production mondiale annuelle de l'industrie du béton en 2010 est d'environ 33 milliards de tonnes, qui a consommé près de 3,7 milliards de tonnes de clinker de ciment Portland et 27 milliards de tonnes de granulats [1].

L'industrie du ciment (la production mondiale de ciment est de 4,2 milliards de tonnes en 2019, soit environ 0,5 tonne par habitant) est une source majeure d'émissions de gaz à effet de serre, en particulier de dioxyde de carbone (CO_2), qui représente environ 8 % des émissions mondiales totales de CO_2 . [2].

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

Dans ce contexte, les laboratoires de recherche sur les matériaux travaillent sur le développement de nouveaux composites cimentaires à base de ces déchets, dans le but économique (réduire le coût de réalisation), écologique (éliminer ces déchets de l'environnement) et technique.

Les déchets minéraux sont actuellement utilisés dans les bétons soit comme ajouts minéraux (par substitution partielle du ciment), soit comme granulats fins ou granulats grossiers (par substitution des granulats traditionnels) afin d'améliorer certaines propriétés à l'état frais (telles que la fluidité) ou à l'état durci (telle que la durabilité des bétons). Les laboratoires de recherche de matériaux ont commencé à développer des composés de béton et de mortier à base de ces déchets, en raison de leurs avantages, d'un point de vue environnemental (réduction de la quantité de déchets) en termes économiques (réduction des coûts de production) techniquement (amélioration des propriétés mécaniques et physiques du béton et du mortier). Parmi ces déchets, les déchets de briques et de céramiques peuvent être concassés et utilisés comme additifs pour fabriquer de mortier et de béton qui peuvent être exploités dans de plusieurs domaines.

L'objectif de notre travail, est la valorisation des déchets comme le poudre de brique et le poudre de céramique en différents pourcentage par substitution du filler calcaire dans la formulation d'un mortier auto-plaçant à base de matériaux locaux.

Après une introduction générale, ce présent travail est subdivisé en quatre (04) chapitres : Le premier chapitre présente une revue de littérature sur le Ciment et Le mortier auto-plaçant, tandis que le deuxième chapitre présente les ajouts minéraux et leurs effets sur les mortiers auto-plaçant le troisième chapitre traite la caractérisation des matériaux utilisés et Méthodes d'essais et le quatrième chapitre montre les résultats et les interprétations.

Enfin, on conclue ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Chapitre I: **Revue de littérature sur le Ciment et Le mortier auto-plaçant**

1^{er} partie : le ciment

I.1.1 Définition :

Le ciment est un liant hydraulique, matériau inorganique finement broyé, lorsqu'il est mélangé avec de l'eau, il forme une pâte qui fait prise, durcit et conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Le ciment ordinaire anhydre est constitué de clinker portland, de gypse et éventuellement d'additifs telles que les cendres volantes, le laitier granulé de haut fourneau, la fumée de silice, pouzzolanes naturelles[1]

Une notation cimentière a été établie pour simplifier l'écriture des phases solides. Les équivalences sont les suivantes: $\text{CaO}=\text{C}$; $\text{SiO}_2=\text{S}$; $\text{Al}_2\text{O}_3=\text{A}$; $\text{Fe}_2\text{O}_3=\text{F}$; $\text{SO}_3=\text{S}$; $\text{H}_2\text{O}=\text{H}$ [2]

I.1.2 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	36% ≤ total
Cendre siliceuses (V)	*	≤20%	≤35%	*	*	*	≤35% (fumée)	≤55% (fumée)
Fumée de silice (D)	*	(fumée	(fumée	*	*	*	≤10%)	≤10%)
Cendres calciques (W)	*	de	de	*	*	*	*	*
Schistes (T)	*	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.1.2.1 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 filler.

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 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.1.2.3 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.1.2.4 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 (II.02) : 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(Rapide)	15.0	35.0	55.0
55	-	-	45.0	65.0
55	R(Rapide)	22.5	45.0	65.0
HP (hautes Performances)	-	-	55.0	-
	R(Rapide)	27	55.0	-

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.1.2.4 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]

Composition chimique de CPJ:

Tableau (I.03) : Composition chimique de CPJ

Oxyde	SiO %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	SO ₃ %	R.ins %	P.F %	CaO.l %
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.2 Le clinker :

I.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.2.2 La composition chimique du clinker :

Tableau (I.04) : 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.2.3 la composition minéralogique du clinker :

Les quatre principaux constituants du clinker sont :

- le silicate tricalcique : $\text{SiO}_2, 3 \text{CaO}$ (ou C_3S), (50 à 65%)
 $\% \text{C}_3\text{S} = 4.071 \% \text{CaO} - 7.6 \% \text{SiO}_2 - 6.718 \% \text{Al}_2\text{O}_3 - 1.43 \% \text{Fe}_2\text{O}_3$.
- le silicate bi-calcique : $\text{SiO}_2, 2 \text{CaO}$ (ou C_2S), (15 à 20%)
 $\% \text{C}_2\text{S} = 4.071 \% \text{CaO} + 8.602 \% \text{SiO}_2 + 5.068 \% \text{Al}_2\text{O}_3 + 1.078 \% \text{Fe}_2\text{O}_3$.
- l'aluminate tricalcique : $\text{Al}_2\text{O}_3, 3\text{CaO}$ (ou C_3A) ; (5 à 15%).
 $\% \text{C}_3\text{A} = 2.65 \% \text{Al}_2\text{O}_3 - 1.69 \% \text{Fe}_2\text{O}_3$.
- l'alumino-ferrite tétra-calcique : $4 \text{CaO}, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3$, (ou C_4AF) de (5 à 10%)
 $\% \text{C}_4\text{AF} = 3.04 \% \text{Fe}_2\text{O}_3$.

On distingue selon la composition minéralogique du clinker :

- Le ciment fortement alitique : C_3S plus de 60%.
- Le ciment alitique : $\text{C}_3\text{S} = 50$ à 60%.
- Le ciment fortement bélitique : $\text{C}_3\text{S} = 35\%$.
- Le ciment aluminatique : $\text{C}_3\text{S} = 12\%$
- Le ciment aluminoferrique : $\text{C}_4\text{AF} = 18\%$ et $\text{C}_3\text{A} = 2\%$.

I.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 :

Tableau (I.05) : La teneur des principaux composants dans la farine crue.

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_2O_3 %	< 1.5	1.5-7	1-2
Fe_2O_3 %	< 1.5	1.5-3	6.5-10

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.

I.3.1 Processus de cuisson :

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).

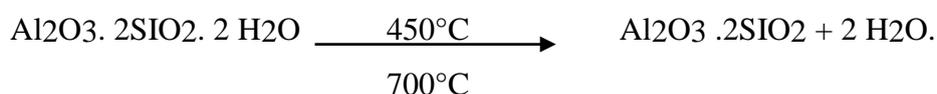
Le degré d'inclinaison et là sa lente rotation permettant à la matière de cheminé vers l'aval tout étapes en se transformant en clinker. (Il peut produire 2500 t de clinker par jour).

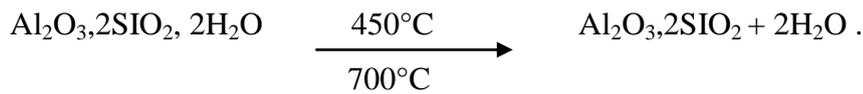
-Zone de chauffage :

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

-Zone de déshydrations :

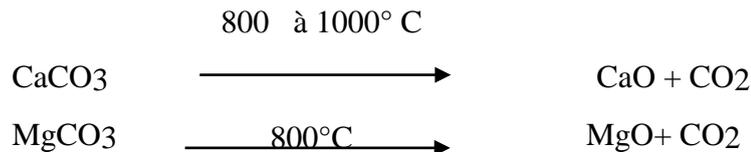
La déshydrations se déroule généralement dans le 2^{ème} et le 3^{ème} cyclone, dégagent de l'eau de cristallisation à une température d'environ 500°C, ce que s'explique la réaction suivante :





-Zone de décarbonatation:

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]

b. 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.

c. 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.

d. 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]

I.4. Production mondiale et nationale du ciment :

I.4.1 Production mondiale

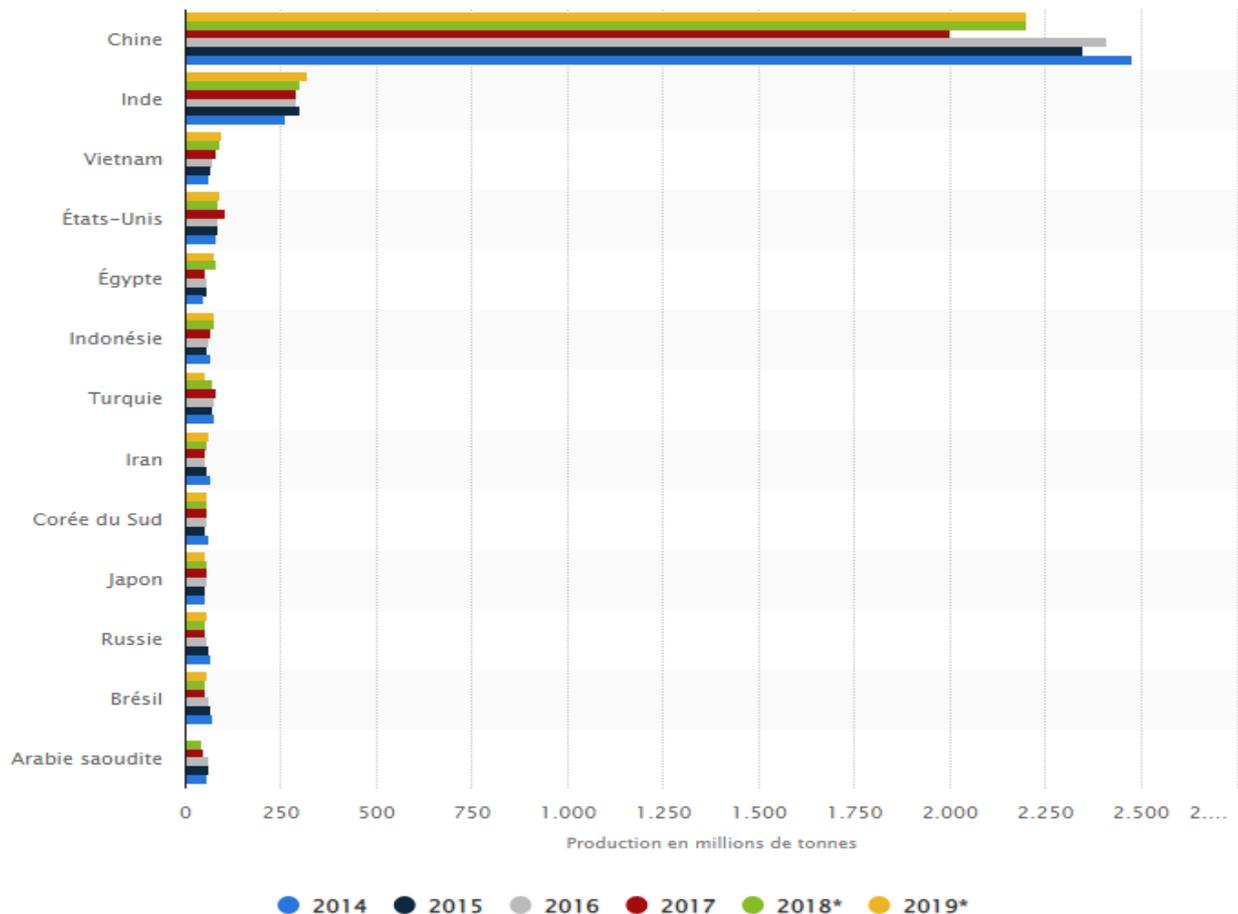


Figure (I.01): Principaux pays producteurs de ciment dans le monde de 2014 à 2019...[7]

Cette statistique indique la production de ciment dans le monde entre 2014 et 2019, selon le pays et en millions de tonnes. En 2019, la production de ciment aux États-Unis était estimée à environ 87 millions de tonnes.

I.4.2 Production nationale du ciment :

Les cimenteries en Algérie mènent une véritable bataille, face à la concurrence féroce sur le marché local, et les efforts du gouvernement pour développer la stratégie de ce secteur, en

portant la production de ciment du pays à 50 millions de tonnes annuelles d'ici 2025, par rapport à l'actuel une production de ce matériau comprise entre 25 et 30 millions de tonnes par an, et une demande intérieure estimée à 22 millions de tonnes, ce qui fait que la boussole du gouvernement se dirige vers les exportations, pour commercialiser le surplus

Le nombre de cimenteries est passé de 3 à plus de 20 ces dernières années, réparties sur tout le territoire national, avec une production totale de plus de 30 millions de tonnes en 2020.

Quatre usines principales sont actuellement actives dans la production de ciment, dont le Complexe industriel de ciment algérien "**GICA**", avec une capacité de production de près de 13 millions de tonnes par an.

En deuxième position se trouve le concessionnaire étranger « **Lafarge Holcim** », qui produit plus de 8 millions de tonnes par an, suivi par les concessionnaires algériens du secteur privé...[9]

2^{ème} partie : **Mortiers auto-plaçant**

Le Mortier auto plaçant

Définition et caractéristiques principales :

-Les Mortiers :

Les mortiers sont très utilisés pour des travaux de tous types, ces derniers se déclinent en divers produits, qu'ils soient de ciment, de chaux ou de résine, tous ne s'utilisent pas de la même façon. [10]

I.2.1 Définition

Les mortiers auto-plaçant «MAP» se caractérisent par une grande fluidité et une grande capacité de remplissage tout en étant stables et garantissent aussi de bonnes performances mécaniques et de durabilité [5].

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, se diffèrent selon les réalisations et d'adjuvant [6].

En effet, les recherches menées, au cours des dernières années, montrent que les MAP sont formulés différemment des mortiers ordinaires : ils contiennent plus d'éléments fins qui doivent comporter au moins une addition minérale, un dosage élevé en super plastifiant et assez souvent un agent colloïdal.

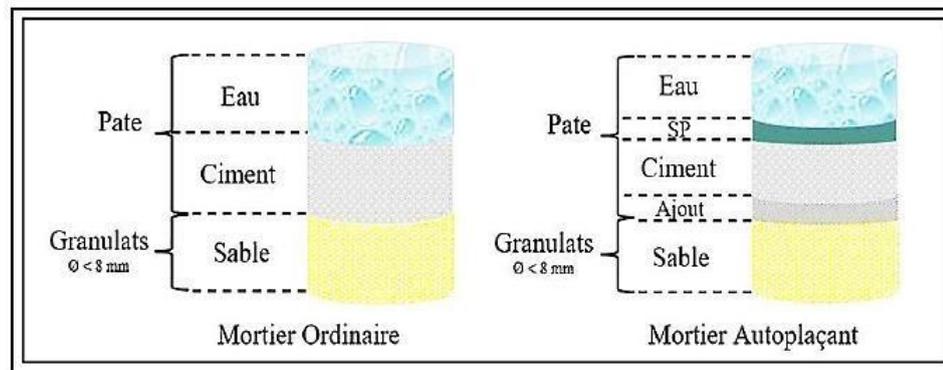


Figure (I.02) : Les constituants du mortier ordinaire et auto-plaçant [5].

I.2.2 Principes de formulation de MAP

La méthode de formulation de MAP et BAP est basée sur les principes suivants :

A. Un volume de pâte élevé

Le frottement entre les gravillons restreint l'écoulement du béton, donc le MAP contient une grande quantité de pâte, son rôle est de maintenir les gravillons à part [27].

B. Une quantité importante de fines

Afin d'assurer une maniabilité suffisante et de limiter les risques de ségrégation et de ressuage, le MAP contient plus de particules fines que le mortier ordinaire. Cependant, afin d'éviter le problème d'échauffement excessif lors du processus d'hydratation et de réduire son coût global, le liant est souvent un composé binaire [28], voire ternaire [29]; Ciment Portland et cendres volantes, laitier, filler calcaire, pouzzolane naturelle ou fumées de silice.

C. Un fort dosage de super plastifiant

L'introduction d'une plus grande dose de super plastifiant dans le BAP peut d'abord réduire la teneur en eau tout en maintenant sa capacité de maniabilité. Une dose trop élevée peut augmenter la sensibilité du béton aux changements de teneur en eau liés aux problèmes de

ségrégation et du ressuage [30].

D. Une utilisation éventuelle d'agent colloïdal

Bien que non systémique, dans la plupart des cas, le BAP contient des agents colloïdes[31]. Comme les fines particules, ce produit évite le ressuage et limite le risque de ségrégation des granulats, épaississant ainsi la pâte. En principe, il semble raisonnable d'utiliser ce produit pour des bétons à fort rapport eau/liant, car les petites particules ne suffisent pas toujours à fixer l'eau dans le béton ; en revanche, cela semble inutile. Dans le cas du MAP à faible rapport massique eau/liant, sa résistance dépasse 50 MPa. Son utilité doit être étudiée au cas par cas. Il est bien connu que les agents colloïdes peuvent rendre le BAP moins sensible aux changements de teneur en eau liés à la ségrégation et ressuage [32], [33].

I.2 3 Méthode de Formulation d'OKAMURA

Selon la méthode développée par l'Université de Kochi au Japon[34], la génération de MAP est réalisée en toute sécurité, en tenant compte du volume de pâte, mais au détriment des granulats. Cette procédure de formulation est conçue pour les expériences de dose unitaire et de dose d'eau. Et des adjuvants. Pour développer un BAP basé sur cette méthode appelée méthode japonaise, nous devons procéder comme suit :

- Choix du dosage en ciment : La quantité du ciment dépend du cahier des charges et des performances désirées (résistance, durabilité...).
- - Désignation du volume d'air : Le volume d'air occlus est égal à 2 %.
- Détermination du dosage du sable : Le volume de sable est posé forfaitairement égal à 40% du volume du mortier.
- Détermination du dosage minimal en eau : La demande en eau passe par la conception de la composition de la pâte. En effet des essais d'étalement au mini- cône sont réalisés en faisant varier le rapport Eau/Liant avec le dosage choisi en liant.
- En traçant la courbe d'Eau/Liant en fonction de l'étalement relatif « R_p » (équation.1), on détermine le point d'intersection avec l'axe des ordonnées « β_P » qui permet de déterminer le besoin en eau minimale nécessaire pour cimenter les additions minérales[35], [36].

$$R_p = \frac{d^2 - 100^2}{100^2} = \left(\frac{d}{100} \right)^2 - 1 \quad \text{I.1}$$

Avec :

R_p : L'étalement relatif.

d : le diamètre d'étalement moyen en millimètre de la galette de pâte.

I.2.4 Caractérisation de MAP à l'état frais :

La déformabilité du mortier est définie comme la capacité de mortier à changer de forme sous son propre poids. Le mortier nécessite un haut niveau de ductilité. Afin d'obtenir une déformabilité suffisante, il est important de minimiser les frottements entre le sable du mélange. Une grande quantité de sable grossier et une quantité accrue de pâte sont nécessaires pour atteindre la déformabilité MAP requise. Une autre façon de réduire le frottement inter sable et le sable consiste à ajouter des minéraux supplémentaires comme les fillers [37].

De manière générale, la norme de stabilité d'écoulement est plus difficile à résoudre, mais avec l'aide d'agents colloïdes, elle peut fournir une teneur élevée en additifs minéraux ou une teneur correspondante en sable, stabilité et déformabilité [5].

I.2.4.1. Essais de l'étalement au Mini cône de mortier :

L'essai d'étalement consiste à remplir le mini cône miniature placé sur un plan horizontal, et après avoir soulevé le cône, le diamètre d'étalement de mortier est mesuré dans deux directions verticales pour obtenir une valeur moyenne. Le mortier doit être compris entre 270 et 330 mm pour obtenir un mortier auto-plaçant. La Figure I.5 montre le dispositif de l'essai d'étalement de mortier[38].

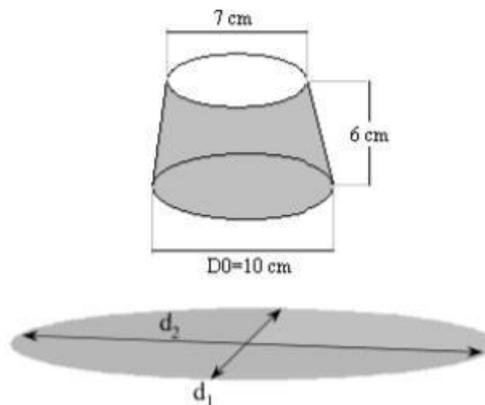


Figure (I.03) : Étalement au Mini cône de mortier [39].

I.2.4.2. Essais De l'Entonnoir En V (V-Funnel) :

L'essai d'écoulement à l'entonnoir est utilisé pour évaluer la fluidité et la viscosité d'un MAP. Un entonnoir d'une certaine taille est rempli d'un mortier d'en haut. Ensuite, la vanne d'arrêt à sa base est ouverte et le temps (Tv) nécessaire pour que la solution quitte la trémie avant qu'elle ne soit complètement vide est mesuré. Ce temps d'étalement, qui doit être compris

entre 2 et 10 secondes, caractérise la viscosité de mortier [40].

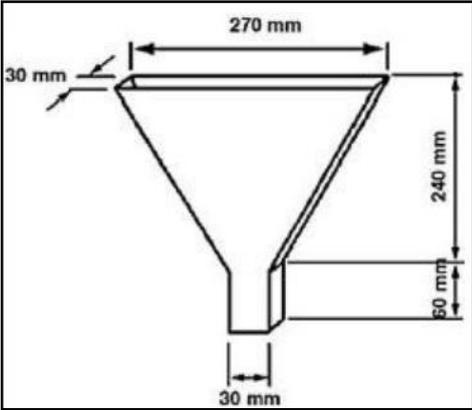


Figure (I.04) : Dimensions de l'entonnoir v (v-funnel) [40].

I.2.5 Caractérisation de MAP à l'état durci

I.2.5.1. Essais de Résistances mécaniques :

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4x4x16cm conservés dans l'eau à 20°C. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps entre 1 et 28 jours [6].

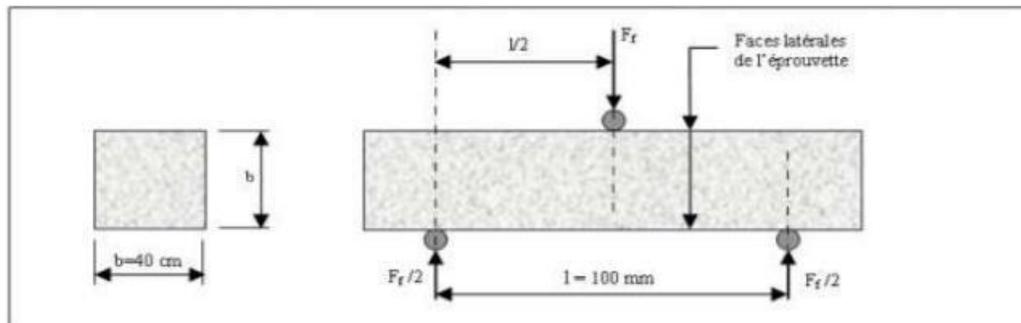


Figure (I.05) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion [41].

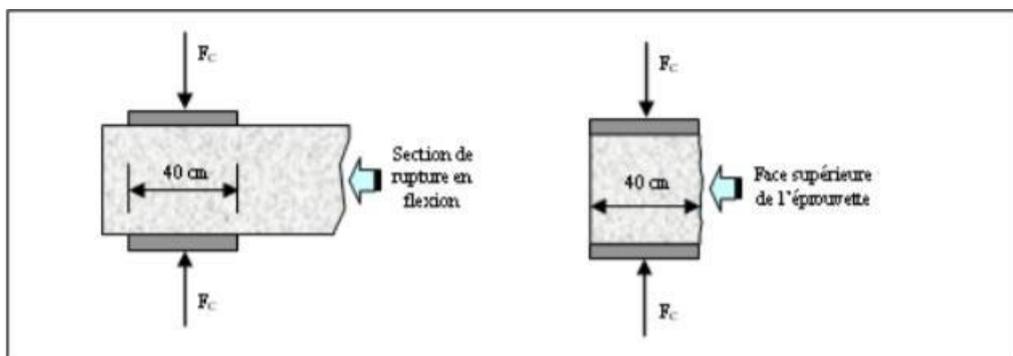


Figure (I.06) : Dispositif de rupture en compression [41].

Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs :

- Nature et dosage en ciment.
- Rapport E/C.
- Granulométrie et nature du sable.
- Energie de malaxage et mise en œuvre.
- Protection des premiers jours [6].

I.2.6. Domaine d'application d'un MAP

Le mortier autoplaçant est généralement utilisé pour remplir des espaces vides et difficiles pour y accéder contrairement au béton [42]. Le domaine d'application du MAP est très vaste, on peut l'utiliser comme :

- Un joint.
- Une réparation.
- Un support pour les peintures murales.

3^{ème} partie : **les déchets**

I.3.1. Définition de déchet

Selon l'article L541-1-1 du Code de l'Environnement, un déchet est défini comme « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». En fonction de leurs types et de leurs origines, les déchets ont un niveau de dangerosité variable qui, dans certains cas, peut être préjudiciable à l'homme et à l'environnement. [17]

I.3.2. Classification des déchets

a. Selon l'origine

On a deux classes :

- **Déchets industriels.**
- **Déchets urbains.**

Après le tri et le traitement on adoptera une étape cruciale dans le processus de valorisation de ces déchets. La bonne gestion nous permettra de mieux exploiter ces déchets et ainsi réduire leurs nuisances et leurs impacts environnementaux, leur réutilisation devient ainsi profitable et conduit à un résultat très positif sur le plan économique.

b. Selon leur mode de traitement

Les professionnels et les chercheurs s'accordent à regrouper les déchets en quatre grandes familles.

- Les déchets inertes.
- Les déchets banals.
- Les déchets spéciaux.

- Les déchets dangereux.

c. Selon leur effet sur l'environnement

A ce titre on distingue :

- Les déchets inertes.
- Les déchets fermentescibles.
- Les déchets toxiques. [18]

I.3.3. Déchet de brique

I.3.3.1. Introduction

Le déchet de brique est appelé aussi « Briquillons », « Chamotte » ou « Brique concassé ». Il y'a pas beaucoup de données sur l'emploi de déchet de brique, leur consommation universelle de matière première (Brique), leur utilisation comme granulats du béton, en conséquence leur génération en quantités énormes. Les recherches en Algérie sur les matériaux est presque rare. Lorsqu'on dit « Briquillons » on réfère aux briques morcelées provenant à cause de la démolition ou d'une mauvaise cuisson de brique. « Chamotte » est la brique cuite broyée ou concassée. [19]

Les déchets de briques sont des sous-produits de l'industrie des produits rouges. Ils se trouvent en grande quantité au niveau national à cause du nombre élevé de briqueteries et des taux de rejets (briques non conformes où cassées) qu'elles génèrent et qui représentent 10 à 15 % de leurs productions. [20]

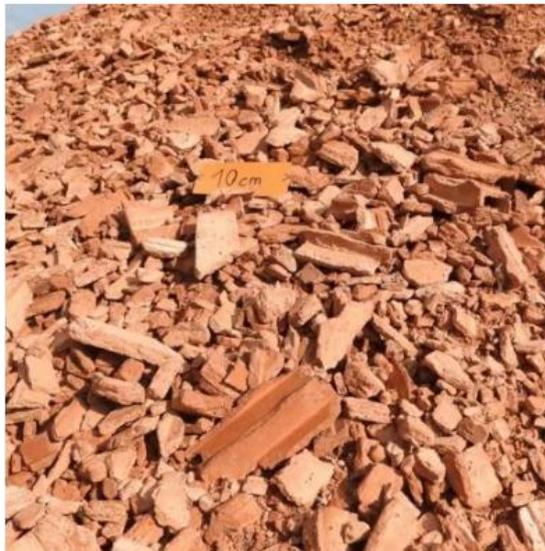


Figure (I.07) : Les déchets de briques

I.3.3.2. Définition de la brique

La brique de terre argileuse crue et séchée au soleil ou cuite au four, utilisée comme un matériau de construction. Elle est un parallélépipède rectangle. L'argile est souvent mêlée de sable. [20]

I.3.3.3. Technique de la production de la brique

La production de la brique, est un travail complexe qui permet une production en grande quantité à des coûts raisonnables, demande une parfaite organisation ; c'est la raison qui, sans doute, explique qu'il a fallu attendre la naissance, au troisième millénaire avant J-C, Pour une société organisée, on envisage de cuire des briques, alors que la céramique existait depuis l'époque néolithique. Il y a cinq étapes se succèdent dans la fabrication de la brique :

- **L'extraction de la terre**, jusqu'à la fin du XIX^e siècle où furent inventées les premières excavatrices motorisées, se faisait à la pelle.
- **La préparation de la pâte** : mélange d'une ou plusieurs terres argileuses, ou de limon, avec de l'eau et des éléments dits "dégraissants", comme le sable.
- **Le façonnage de l'antiquité**, on voit apparaître le moule, cadre de bois avec ou sans fond, aux dimensions de la brique à produire.
- **Le séchage** est, en effet, indispensable de faire sécher doucement la brique de terre crue, avant de la cuire. Ce séchage se fait actuellement en séchoir artificiel, mais autrefois, la brique était mise à sécher sous de vastes hangars à l'air libre.

La cuisson est l'opération la plus délicate, la brique est mise à cuire dans un four. [20]

I.3.3.4. Les caractéristiques physico-chimiques de la brique

Les types d'argiles sont dans les briques cuites. Ils sont : les illitiques (couleur marron gris à rouge) les kaoliniques et les bravaistiques (couleur orange à rose). Les éléments métalliques sont aussi trouvés dans la pâte argileuse.

Ces éléments dits « réfractaires » le degré de fusion est très supérieur à celui de la température (800° à 1000°) des fours à brique : la silice (SiO₂) et de l'aluminium (AL₂O₃). Les déterminants de la couleur basique de la brique (les colorants) ce sont :

- 1- L'oxyde de fer.
- 2- L'oxyde de titane.
- 3- L'oxyde de manganèse.

Les fondants aussi ce sont à deux types :

- 1- Les oxydes alcalins (oxyde de sodium et potassium)
- 2- Les oxydes alcalino-terreux (chaux et magnésie) [20]

La composition minéralogique de déchet de brique rouge a été déterminée par fluorescence X. le tableau 1.1 présente les résultats obtenus qui mettent en évidence des pourcentages élevés en silice et en alumine. [21]

Tableau (I.06) : Composition minéralogique de déchets de briques. [21]

Eléments	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P.F
Pourcentages %	6.06	66.52	14.20	5.45	2.35	0.73	2.09	0.73	/	1.00

les sources des briqueteries indiquent que les déchets de brique trouvent parfois des utilisations locales occasionnelle comme :

- 1- Plates formes en béton.
- 2- Chapes en mortier du ciment.
- 3- Étanchéité : forme de pente en isolation de toiture.
- 4- Réfection de planchers anciens.
- 5- Béton réfractaire utilisé pour revêtement des wagons de brique. [19]

I.3.3.5. Conclusion

A travers cette recherche bibliographique, on a remarqué que plusieurs travaux de recherches ont confirmé que la brique de terre crue est utilisable vu ses significatives propriétés, de plus ce travail montre que la construction en terre crue a plusieurs avantages pour réaliser des différents édifices. On a cité aussi les différents types d'argiles et leurs caractéristiques.

I.3.4. Déchets de céramique

I.3.4.1. Introduction

Les plus grands volumes de déchets de céramique proviennent des chantiers de démolition ou des travaux publics. Considérées comme inertes, les céramiques ne se décomposent pas, ne polluent pas les eaux de ruissellement et ne posent pas de problème pour la santé. Cependant, elles représentent des quantités importantes et nécessitent d'être traitées. Le recyclage de la céramique commence une fois triée et isolée des autres déchets.

Les céramiques sont d'abord concassées par des engins adaptés, le plus souvent installés directement sur les chantiers. Ensuite, on les passe au crible pour améliorer la pureté du produit fini. Un contrôle final permet de valider sa qualité et exclure tout risque de pollution.

[22]

I.3.4.2. Définition de céramique

Une définition plus large des céramiques précise qu'il s'agit là de matériaux non métalliques et non organiques obtenus par l'action de fortes températures. Ce sont ces fortes températures qui induisent, au cœur de la matière première, une transformation irréversible qui confère à la céramique produite, des propriétés nouvelles : solidité et résistance à l'usure, résistance à la chaleur, propriétés isolantes, etc. [10]



Figure (I.08) : Déchets de céramique

I.3.4.3. Trois grandes manières de recycler les déchets de céramique :

le remblai : il représente la principale façon de réutiliser les céramiques. Il peut être réemployé directement in situ selon le type de chantier ou alors être vendu à des particuliers ou des professionnels pour renforcer et terrasser certains sols. Les routes : Les granulats obtenus après broyage servent généralement au secteur du BTP pour le terrassement ou

comme sous-couche pour la création de nouvelles routes ;

le béton : si le granulats de céramique est d'excellente qualité et conforme à un cahier des charges précis (dureté, propreté, granulométrie...), il peut être utilisé dans la composition du béton [22]

I.3.4.4. Les grandes caractéristiques des céramiques

Les céramiques sont caractérisées par des liaisons fortes, ce qui se traduit dans la pratique par :

- Une très bonne tenue en température.
- Une excellente rigidité élastique.
- Une bonne résistance à la corrosion.
- Une bonne résistance à l'usure.

Ces matériaux ont de hauts points de fusion, ils sont fragiles peu ductiles. [23]

I.3.4.5. Classification des produits céramiques

On distingue deux grandes classes des céramiques ; céramiques de construction et céramiques techniques. [23]

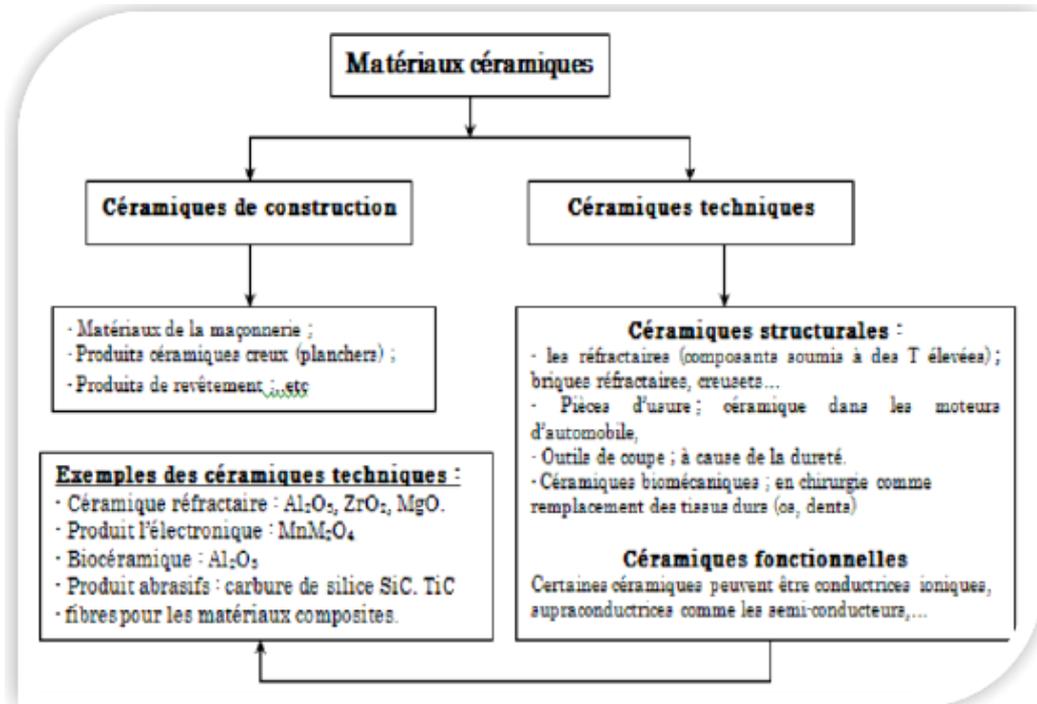


Figure (I.09) : Classes des céramiques

Conclusion

Dans ce chapitre, j'ai présenté quelques définitions et historiques sur les matériaux de construction de base en général, que j'ai utilisés au cours de mes études, notamment le ciment et certains des adjuvants utilisés (déchets utilisés). Et le mélange utilisé (auto-plaçant) et les essais appliqués sur dessus.

Chapitre II

II.1. Les Ajouts Minéraux

II.1.1. Aperçu sur l'utilisation des ajouts minéraux

Différents ajouts minéraux sont actuellement utilisés dans le béton. Ils sont utilisés en addition ou en substitution d'une partie du ciment comme matières cimentaires supplémentaires. Leur usage fournit au béton une matrice plus dense qui sera plus résistante aux produits agressifs tels que les sulfates, les chlorures et les autres agressifs. La finesse des ajouts minéraux, leur composition chimique, leur structure (vitreuse ou cristalline) et leur solubilité en milieu alcalin gouvernent leurs propriétés cimentaires dans le béton. Leur contenu en phase amorphe est un facteur clé dans la réactivité des ajouts minéraux. Il a été prouvé que l'introduction des ajouts minéraux dans la pâte de ciment conduit à la ségmentation des larges pores capillaires et offrent un grand nombre de sites de germination pour la précipitation des produits d'hydratation qui accélèrent l'hydratation du ciment et permettent de réduire les dimensions des cristaux de chaux [3]

A- Classification des ajouts minéraux

Ces matériaux proviennent principalement des sous-produits de l'industrie métallurgique, des centrales thermiques à charbon, de la nature et sont classés selon la norme NF EN 197 1 en ajouts minéraux inertes et actifs [4]. Ils se divisent selon leur réactivité comme le montre le tableau ci-dessous.

Tableau (II.01) : Classification des ajouts selon leur réactivité.

Type	Réactivité	Matériau
Hydraulique	Fortement réactif	Ciments spéciaux-chaux hydraulique
Hydraulique Latent		Laitier granulé-cendres volantes riche en calcium (calciques)
Pouzzolanique	Fortement réactif	Fumée de silice
	Moyennement Réactif	Cendres volantes pauvre en calcium, pouzzolanes naturelles (verre volcanique, tufs volcanique, , terres a diatomées
	Faiblement réactif	Scories cristallines
Inerte	Non réactif	Fillers (farine calcaire,...) fibres, pigments colorants, matières expansives, dispersions synthétique

B- Principaux 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. [3]

C- Les ajouts minéraux actifs

- La pouzzolane : naturelle ou artificielle.
- La fumée de silice.
- Les cendres volantes.
- Le laitier de haut fourneau.

II.2. Fillers calcaires

II.2.1. Définition et utilisation :

Les fillers calcaires sont des produits obtenus par broyage fin de roches naturelles (calcaires, basalte, bentonite, etc.) présentant une teneur en carbonate de calcium CaCO_3 supérieure à 75%. Ces produits désignés dans le commerce comme fillers sont des poudres fines à granulométries contrôlées et dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 micron.

Les fillers se différencient les uns des autres par:

- leur origine, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs défauts de structure, les impuretés qui' ils contiennent.

Chapitre II: les ajouts minéraux et leurs effets sur les mortiers auto-plaçant

- leur finesse, la forme des grains, leur état de surface.
- leur dureté, leur porosité.

Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine. [3]



Figure (II.01) : Fillers calcaires [5]

Fillers calcaires améliorent la réponse mécanique des mélanges cimentaire (pâtes, mortier, béton). L'incorporation des **fillers calcaire** conduit à une diminution de l'absorption capillaire du béton , mécanique et l'absorption capillaire du béton. [6]

II.3. Pouzzolane naturelle

Est un produit d'origine volcanique essentiellement composé de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolaniques. Elle peut être d'origine volcanique: verre volcanique, ponce, rhyolite, tufs, zéolite ou d'origine sédimentaire: terre à diatomées, diatomites.

Les pouzzolanes naturelles sont des matériaux d'origine naturelle qui peuvent avoir été calcinées dans un four ou transformées, puis broyées pour obtenir une fine poudre. Les variétés de Pouzzolanes naturelles les plus fréquemment utilisées en Algérie coté ouest du Nord à l'heure actuelle comprennent l'argile calcinée, le schiste calciné et le métakaolin.

Chapitre II: les ajouts minéraux et leurs effets sur les mortiers auto-plaçant

De la terre de diatomées est également utilisée en Californie. Les pouzzolanes naturelles, y compris le métakaolin, doivent satisfaire aux exigences de la norme CSA A 3001, Liants utilisés dans le béton (ASTM C 618) [7]



Figure (II.02) : Pouzzolane naturelle [7]

II.4. Poudre de brique

II.4.1 Définition :

La brique : La brique est un matériau de construction qui est fabriqué en portant une petite quantité d'argile, préalablement mise en forme, à une température appropriée-la température de frittage. Les particules d'argile commencent alors à fondre et s'agglomèrent pour former une masse à caractère pierreux. Après la cuisson, la brique conserve une certaine porosité, qui lui confère d'ailleurs des propriétés spécifiques et la distingue des autres matériaux de construction.

On peut distinguer différents types de briques :

- brique de terre crue (qui peut aussi contenir des fibres (pailles, lin, crin..),
- brique cuite pleine matériau respectant les traditions particulièrement anciennes,
- brique cuite creuse, découverte au XIX^e siècle, plus légère et isolante qui est aujourd'hui de loin la plus utilisée,

Chapitre II: les ajouts minéraux et leurs effets sur les mortiers auto-plaçant

- brique de chanvre, très bon isolant thermique
- brique non gélive,
- brique réfractaires, pour la construction des fours, chaudières, foyers, cheminées, etc.

La brique pleine peut être laissée apparente ou être employée comme matériau de parement, alors que la brique creuse, qui présente l'avantage d'être plus légère et plus isolante, est le plus souvent enduite. [8]

II.4.2. Historique sur la valorisation du laitier :

L'origine de la brique remonterait à 7 000 ans avant J. C. dans la région du Tigre et de l'Euphrate. Son utilisation se généralise au III^e millénaire comme matériau de construction avec la sédentarisation de l'Homme. L'obligation de se protéger de façon durable des intempéries et des prédateurs impose à l'Homme de trouver un matériau dur et résistant. Qui plus est, la brique est aisément réalisable à partir d'argile ou de terre. Les premières maisons en brique ont été découvertes en Irak puis en Mésopotamie et son usage couvre rapidement dans tout le Moyen-Orient.

Pendant longtemps, la brique (appelée «adobe») était moulée puis séchée au soleil. Ainsi, elle permettait de monter des habitations ou des monuments comme la pyramide d'Amenemhat III. Mais elle restait fragile et ne résistait pas aux intempéries. Les hommes découvrent que la brique laissée au soleil devient plus dure et par conséquent plus résistante. La cuisson de la brique est expérimentée 2500 avant J. -C. en Mésopotamie et dans la vallée de l'Indus. La cuisson sert à réaliser des constructions plus importantes. En Assyrie et en Grèce, la cuisson de la brique sert à créer des frises et de réaliser des briques émaillées. Au XV^e siècle, le nord de l'Italie devient maître dans cet art avec la décoration des habitations et des monuments avec des frises, des guirlandes et des festons.

En 1830, Auguste Virebent dépose un brevet d'invention d'un dispositif de presse de brique. C'est le début de l'industrialisation de la brique. Il met au point aussi une invention dénommée «plinthotomie» qui était une machine agissant comme un emporte-pièce pour découper diverses formes sur la glaise fraîche. Cette technique sert à s'affranchir de sculpteur et d'industrialiser sa fabrication

- ¶ Avec la révolution industrielle, des briqueteries se regroupent et forme de véritables usines. Des fours à charbons permettent de créer des fours plus grands et les

Chapitre II: les ajouts minéraux et leurs effets sur les mortiers auto-plaçant

grandes cheminées de briques deviennent des éléments caractéristiques de ces briqueteries. Toulouse devient une ville importante de la brique avec d'avantage de 170 briqueteries. Actuellement, les briqueteries ont quasiment disparu. L'après-guerre marque le remplacement de la brique par le béton et l'acier. [8]

a. Méthode traditionnelle

L'extraction de la terre indispensable à la fabrication de brique était faite à partir de puits rudimentaires, de mines ou de carrières. Avant la mécanisation, les hommes arrachaient l'argile avec fers à plats. Une fois l'argile extraite, un travail de broyage permet d'affiner la matière première. Par la suite, l'ajout d'eau en grande quantité permet d'obtenir une pâte homogène à la plasticité voulue. Le pétrissage, jadis au pied et désormais avec de puissantes machines, permet d'éliminer les derniers cailloux. Cette préparation de l'argile se termine par une phase de pourrissage pendant laquelle la terre glaise se «repose

Son façonnage se fait grâce à un moule en bois dont les bords et le fond sont ensablés pour que la glaise n'adhère pas. Un morceau de glaise est déposé dans le moule, puis identiqueisé.

La surface est identiqueisée et arasée de son excédent avec un archet ou d'une plane humide. Le tout est démoulé et déposé sur une grille pour aller au four. Ce travail manuel forme des briques caractéristiques. Actuellement, ce travail est industrialisé et permet d'obtenir différents tailles de briques idéalement semblables. Un dispositif de coupes automatique produit des briques à partir de boudins de glaise. La brique subit ensuite une série de séchage qui éviteront les fissures et les éclats lors de la cuisson. [8]

b. Méthode moderne :



Figure (II.03) : Pile de briques modernes, faites d'argile et de sable.

La fabrication d'une brique moderne passe par les grandes étapes suivantes :

- ✓ Extraction de l'argile rouge et de l'argile verte. On mélange à peu près 10 % d'argile verte avec 90 % d'argile rouge. La terre argileuse, le plus souvent extraite à proximité de la briquetterie, n'a pas le droit de comporter trop de sable.
- ✓ Broyage de la terre pour obtenir la granulométrie désirée.
- ✓ Humidification et mélange des divers types de terres ; ajout d'une faible quantité de lignosulfite, résidu de l'industrie du papier, dérivé de la lignine contenue dans les arbres ; le lignosulfite favorise l'extrusion.
- ✓ Extrusion au travers de filières correspondant à une forme donnée de brique.
- ✓ Coupage
- ✓ Séchage dans un séchoir à gaz (durée entre 20 h et 50 h)
- ✓ Cuisson à peu près 900 °C, jusqu'à 30 heures.
- ✓ Peut-être rectification (fraisage des bords jointifs pour favoriser le montage). [8]

II.5. Poudre de sable de dune

Le sable est un produit de la désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie...etc. ce matériau se trouve en grande quantité dans les régions sahariennes.

Le sable de dune était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblais, de fondations et les travaux routiers.

Chapitre II: les ajouts minéraux et leurs effets sur les mortiers auto-plaçant

Le sable de dunes est un matériau d'une grande disponibilité en Algérie. Ce matériau est pratiquement non exploité, malgré les éventuelles caractéristiques qu'il peut présenter.

L'introduction de ce nouveau matériau dans la construction, peut soulager davantage le domaine d'habitat, et contribuer au développement des régions du sud algérien, très riches en sable de dune. [3]

II.5.1. Utilisation du sable de dune

L'utilisation des sables en techniques routières n'est pas nouvelle. Beaucoup d'études et de réalisations ont été faites et un guide pratique d'utilisation routière des sables a été publié (Chauvin, 1987). Cependant, les sables de dunes constituent un cas particulier pour lequel les directives et recommandations ne peuvent pas être appliquées sans études spécifiques. L'utilisation du sable de dune seul ne peut être envisagée malgré la facilité qu'il présente au reprofilage, car sa stabilité de surface est souvent incertaine, ce qui augmente la résistance au roulement et provoque parfois des enlacements (Autret, 1989). Mais il pourrait être mélangé avec d'autres matériaux. [9]

II.6. Poudre de céramique

Dans l'histoire de l'Homme, l'art de travailler la céramique arrive avant celui de travailler le verre ou le métal, dès le Néolithique. Et il s'avère que les céramiques présentent des propriétés différentes selon la nature de leurs composants et leur température de cuisson. On distingue par exemple les poteries, les faïences, les porcelaines, etc.

Une définition plus large des céramiques précise qu'il s'agit là de matériaux non métalliques et non organiques obtenus par l'action de fortes températures. Ce sont ces fortes températures qui induisent, au cœur de la matière première, une transformation irréversible qui confère à la céramique produite, des propriétés nouvelles : solidité et résistance à l'usure, résistance à la chaleur, propriétés isolantes, etc. [10]

Premier " art du feu " à apparaître (avant la métallurgie et le travail du verre), la **céramique** désigne l'ensemble des objets fabriqués en terre qui ont subi une transformation physico-chimique irréversible au cours d'une cuisson à température plus ou moins élevée.

Le mot céramique provient du grec ancien κέραμος / *kéramos*, qui signifie " terre à potier ", " argile ". Il a donné son nom à un quartier d'Athènes, le Céramique.

Chapitre II: les ajouts minéraux et leurs effets sur les mortiers auto-plaçant

On peut distinguer trois branches de la céramique :

- **La céramique utilitaire :**

principalement la poterie, la plus ancienne des formes de céramique (elle est antérieure au travail des métaux) qui utilise les terres argileuses comme matériau de base ;

- **La céramique d'art :**

qui a dérivé de la précédente, et délaisse la fonction utilitaire pour se centrer sur la valeur décorative ou esthétique;

- **La céramique industrielle :**

particulièrement développée au XX^e siècle, elle utilise des matériaux à base d'oxydes, de carbures, de nitrures, etc.

Un matériau céramique est solide à température ambiante et n'est ni métallique, ni organique. Les objets en céramique sont réalisés par solidification à haute température d'une pâte humide plastique, ou agglutination par chauffage (frittage) d'une poudre sèche préalablement comprimée, sans passer par une phase liquide ; par extension, on désigne sous le terme " céramique " les objets eux-mêmes ainsi fabriqués. [11]

II.7. Effets des Ajouts sur les matériaux cimentaires

II.7.1. Amélioration de l'ouvrabilité

Si nous ajoutons une quantité d'une fine poudre à un béton, nous diminuons le ressuage et la ségrégation dans ce béton, en diminuant le volume des vides. L'utilisation des cendres volantes ou du laitier diminue le besoin en eau d'un béton pour obtenir une certaine consistance.

Pour cette même consistance, l'utilisation de poudres ayant une très grande surface spécifique, comme les fumées de silice, tend à augmenter la quantité d'eau nécessaire.

La demande en eau et la maniabilité d'un béton contenant des ajouts minéraux dépendent de leur forme et de la granulométrie des particules. La norme ASTM C 618 limite la quantité des particules $> 45 \mu\text{m}$ à un maximum de 34 %. [12]

II.7.2. Chaleur d'hydratation

Le remplacement du ciment par une pouzzolane diminue de façon significative la chaleur d'hydratation du ciment, et par conséquent la fissuration d'origine thermique du béton.

La chaleur d'hydratation des ajouts pouzzolaniques est égale à environ la moitié de celle du ciment Portland. [12]

II.7.3. Développement des résistances

Bien que le développement des résistances soit lent, les résistances à long terme dépassent quelques fois celles du ciment Portland sans ajouts, à condition d'optimiser la quantité d'ajouts.

Cette augmentation des résistances est due à l'affinage des pores et des grains ainsi qu'à l'augmentation de la quantité de C-S-H. [12]

II.7.4. Durabilité

Par rapport au ciment Portland, les ciments aux ajouts pouzzolaniques ont une meilleure résistance aux acides et aux sulfates. Cela est dû à l'effet combiné d'une meilleure imperméabilité pour un même rapport E/L, et à une diminution de la quantité de CH.

Les sulfates peuvent détruire le béton en se combinant avec les aluminates du ciment pour former de l'ettringite expansive.

Chapitre II: les ajouts minéraux et leurs effets sur les mortiers auto-plaçant

Les conditions pour que cette réaction se passe sont : la perméabilité du béton, la quantité de CH et la quantité d'aluminate dans le mélange.

À cause de leur bonne imperméabilité et surtout d'une faible quantité de CH, des bétons faits à partir de ciment au laitier résistent très bien à l'attaque des sulfates, malgré une quantité importante de C3A dans le ciment.

Les ajouts pouzzolaniques tels que le laitier diminuent l'expansion des bétons qui se produit par réactions entre les alcalis du ciment et les granulats réactifs. Les alcalis sont piégés dans le C-S-H formé par l'ajout. [12]

Conclusion

Dans ce chapitre je présente tous les ajouts minéraux utilisés dans cette étude et leurs différentes caractéristiques et leurs effets sur les mortiers auto-plaçant .

Chapitre III

Introduction

Dans ce chapitre, j'ai intéressé 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 - 1-Formulation des mortiers

J'ai formé de quatre types de mortier qui sont :

- Mortier témoin: 0% ajouts
- Mortier mélange ciment et brique : 5% 10% 20% 30% des brique .
- Mortier mélange ciment et céramique : 10% 20% 30% des céramique .
- Mortier mélange ciment et filler calcaire : 10% 20% 30% des filler calcaire.

III 2-Les essais sur les matériaux :

III .2.1 ciment :

Un seul type de ciment a été utilisé pour des différentes compositions : CEMII/A-L 42,5 N provenant de la cimenterie de Laghouat EL -Beida de nom commercial AWTED dont les compositions chimiques et minéralogiques ainsi les caractéristiques physico-mécaniques sont présentées dans les tableaux suivants :(14)



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 (III.01) : Les caractéristiques chimiques de ciment AWTED [14]

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

- Les caractéristiques physico-mécaniques:

Tableau (III.02) : Les caractéristiques physico-mécaniques de ciment AWTED [14]

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 jours)	Plus de 10	MPA	NA234 (EN 196-1)
Résistance à la compression (28 jours)	Plus de 42.5	MPA	NA234 (EN 196-1)

III .2.2. Le sable

Dans tous les mélanges, j'ai utilisé un sable alluvionnaire de classe 3,15 commercialisé au niveau, de la wilaya de Laghouat.



Figure (III.02) : Le Sable utilisé

Une série d'analyses a été menée afin de déterminer les propriétés physiques et granulométriques de sable.

III .2.2.1. Analyse 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. les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous ainsi que la courbe obtenue.



Figure (III.03) : Analyse granulométrique par tamisage

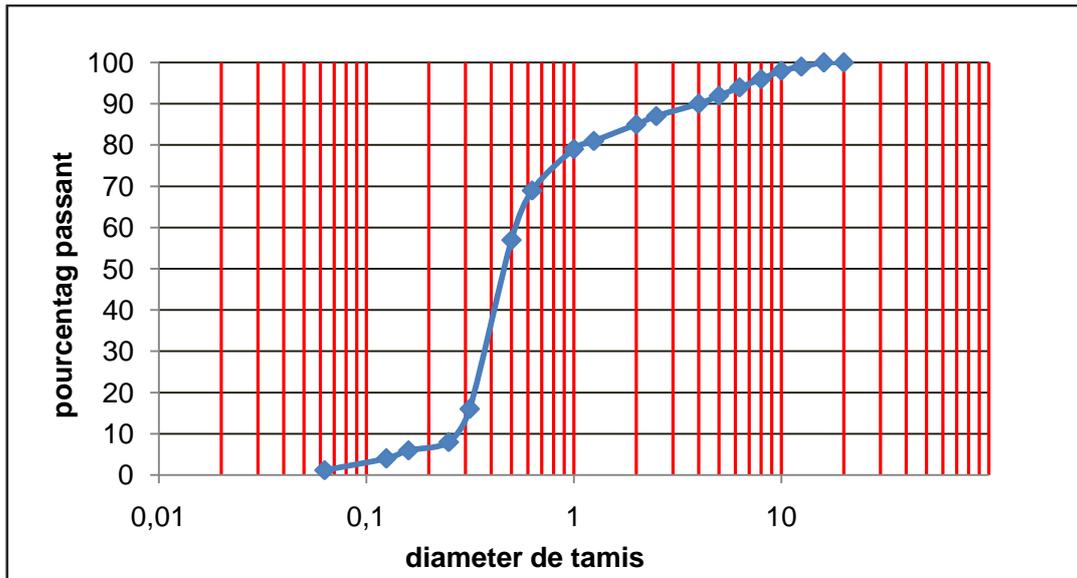


Figure (III.04) : analyse granulométrique des granulats

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 (Mf).

$$Mf = \sum Rc / 100$$

RC : refus cumulé en (%) sous les tamis de module (0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,5 ; 5).

Lorsque Mf est comprise entre :

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

$$Mf = 0.3 + 7.9 + 13.1 + 18.7 + 83.8 + 98.8 / 100 = 2.226$$

D'après le résultat obtenu notre sable est un **sable préférentiel**.

III .2.2.2. La masse volumique absolue:

Cet essai est régi par la norme (4), elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains. [15]



Figure (III.05) : La masse volumique absolue

Tableau (III.03) : Les résultats de la masse volumique absolue

Poids des agrégats secs	P1	500.00	G
Poids du récipient plein d'eau	P2	2180.6	G
P1 + P2	P3	2680.6	G
Poids récipient + agrégats + eau	P4	2489.4	G
Volume des agrégats P3 – P4	V	191.00	G
Masse volumique absolue	P1/V	2.62	g/cm ³

III .2.2.3. La masse volumique apparente :

Cet essai est réalisé selon la norme (5), elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.



Figure (III.06) : La masse volumique apparente

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

	Pn + T	P0 (g)	Pn (g)	V récept V (g)	Poids moyen M (g)	M V app P/V (g/cm ³)
P1	4876		3066			
P2	4872	1810	3062	2000	3066	1.53
P3	4880		3070			
P4	4874		3064			

III .2.2.4. Equivalent de sable :

Il est défini par la norme NF P 18-598 ; 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

Chapitre III Caractérisation des matériaux utilisés et Méthodes d'essais

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.

Je lavé l'échantillon, selon un processus normalisé, et j'ai laissé reposer le tout. Au bout de 20 minutes, je mesure les éléments suivants :

H1 : Hauteur totale (sable propre +éléments fins).

H2 : Hauteur de sable (sable propre seulement).

ES : l'équivalent de sable.

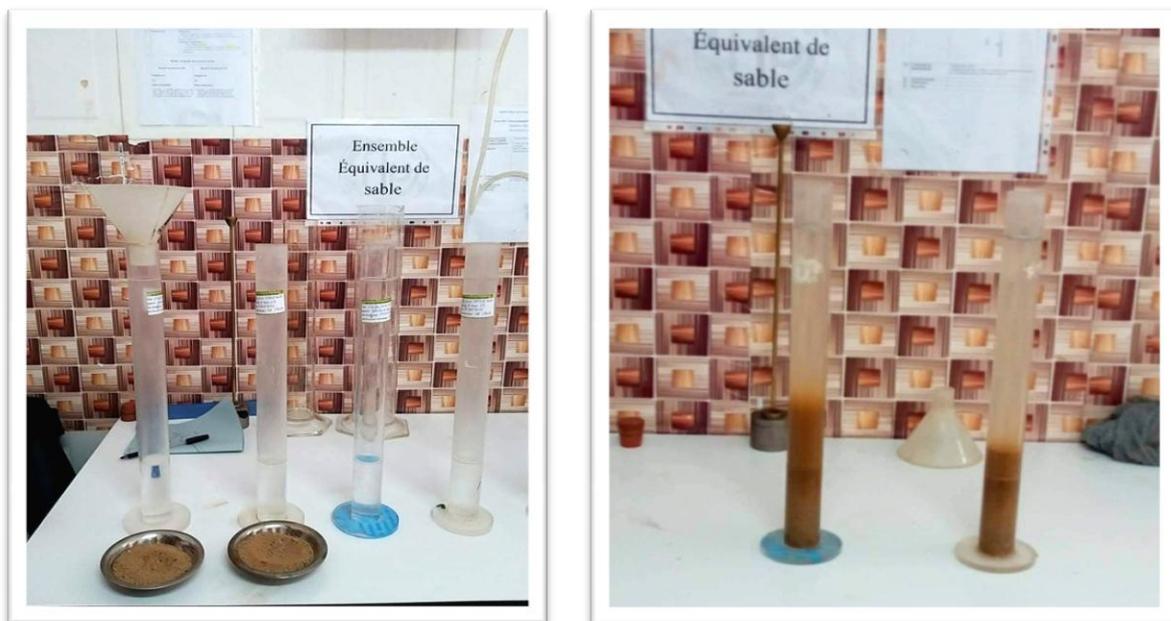


Figure (III.07) : Equivalent de sable

Tableau (III.05) : Les résultats de l' Equivalent de sable

Echantillon	Essai 1	Essai 2
Hauteur totale H1 (cm)	12.1	12.8
Hauteur de sable H2 (cm)	8.3	8.9
$ES = H2/H1 * 100$	68.59	69.53
ES moyen (pour 100)	69.06	

Après l'essai de l'équivalent de sable et ses résultats, j'ai constaté qu'il s'agissaient bien des sables propres donc ils conviennent très bien pour la composition de nos mortiers autoplaçant.

III .2.2.5. Analyse chimiques de sable

Tableau (III.06) : l' analyse chimiques de sable

Echantillon	Sable	
INSOLUBLES NFP 15 - 461	Creuset précipité	31.749
	Creuset vide	30.824
	Poids du résidu	0.925
	% insolubles	92.5
SULFATES BS 1377	Creuset précipité	
	Creuset vide	15.315
	Poids du résidu	
	% SO ₃	/
CARBONATES NFP 15 - 461	V NaOH	
	% CaCO ₃	-

III .3. Les Ajouts Minéraux

III .3.1. Le brique :

J'ai utilisé un seul type de brique (brique fabriqué) je la broie avec le broyeur Dans le laboratoire de LTPS Ghardaïa.



Figure (III.08) : les étapes de broyage de brique



Figure (III.09) :Agitateur bleu méthylène

III .3.2. Analyse chimiques de brique

Echantillon	Brique	
INSOLUBLES NFP 15 - 461	Creuset précipité	30.482
	Creuset vide	29.634
	Poids du résidu	0.848
	% insolubles	84.8
SULFATES BS 1377	Creuset précipité	/
	Creuset vide	26.117
	Poids du résidu	
	% SO ₃	/
CARBONATES NFP 15 - 461	V NaOH	
	% CaCO ₃	4

Tableau (III.07) : l'analyse chimiques de brique

III .3.2. Le céramique :

J'ai utilisé les déchets de céramique je le broie avec le broyeur Dans le laboratoire de l'université de Ghardaïa et après LTPS Ghardaïa



1. déchets de céramique 2. Broyage 3. Tamisage du SC 4. Sable C (0/3)

Figure(III.10) : les étapes de broyage de céramique

III .3.2.1. Analyse chimiques de céramique

Echantillon	Céramique	
		Creuset précipité
INSOLUBLES NFP 15 - 461	Creuset vide	29.730
	Poids du résidu	0.260
	% insolubles	26
SULFATES BS 1377	Creuset précipité	/
	Creuset vide	22.264
	Poids du résidu	/
	% SO ₃	/
CARBONATES NFP 15 - 461	V NaOH	/
	% CaCO ₃	63

Tableau (III.08) : L'analyse chimique de céramique

III .3.3. Le filler calcaire :

Le filler utiliser dans cette étude est un filler calcaire ramené du concasseur de Ben HAMMOUDA sis à la commune de Metlili W-Ghardaia



Figure (III.11) : les étapes de broyage de filler calcaire

III .3.4. Eau de gâchage

Toutes les eaux peuvent être utilisées pour gâcher les bétons et les mortiers, l'eau potable est toujours utilisable, mais dans certains cas l'eau contient des impuretés, ce qui nécessite une analyse chimique pour déterminer les impuretés qui s'y trouvent. Ces impuretés sont, soit des composés chimiques qui peuvent être actifs vis-à-vis du ciment, des granulats ou des armatures, soit des particules en suspension qui sont indésirables. L'excès d'impuretés détériore les propriétés physiques et mécaniques du béton (prise et résistance), les propriétés esthétiques (tâches, efflorescences), la durabilité (corrosion des armatures).

Chapitre III Caractérisation des matériaux utilisés et Méthodes d'essais

L'eau utilisée dans mon 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.

Tableau (III.09) : Caractéristiques physico-chimiques et organiques de l'eau de gâchage.

Paramètres organiques	Quantités et qualités selon la norme AF P 18 303
Couleur	Clair
Odeur	Bonne
Gout	Bon
PH	7.94
Salinité (%)	9
CO ₂ libre (mg/l)	9.26
Oxygène dissous (mg/l)	5.47

Tableau (III.10) : Analyse minéralogique d'eau utilisée.

Ions	Mg ⁺²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	Fe ⁺²
Teneurs (mg/l)	37.3	265	760.48	0	0.04

III .3.5. Les adjuvants –Sika viscocrète Tempo12

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



Figure (III.12): SIKA ® de type VISCOCRETE TEMPO 12

Tableau (III.11): 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%

III .4. Formulation des mortiers auto plaçant

Quatre types de mortier ont été formulés qui sont les suivant :

- Mortier auto-plaçant témoin (100%) ciment.
- Mortiers autoplaçant avec une substitution d'une partie du ciment par trois types du (brique , céramique et filler calcaire) à des dosages de 5%, 10% , 20% et de 30%.

Les proportions de mélange ont été conçues selon les valeurs limites de mortier frais fournies par les spécifications EFNARC. (Quatre/trois) mélanges distincts de mortiers j'ai été produits avec différents dosage de (brique, céramique et filler calcaire) (5%, 10% , 20%et de 30%).

Pour la conception du mélange, en maintenant le rapport pondéral sable / liant (S / L) constant (égale à 2) et le rapport (E / C) aussi constant pour tous les mélanges et égale à 0,40 le super plastifiant (SP) a été ajusté selon les recommandations pour fournir la fluidité souhaitée Le tableau montre les détails des mélanges.

Tableau (III.12) : Représente les différents types et dosages des mortiers autoplaçant

Mélange	Sable (g)	Eau (ml)	Poudre (g)				S-plastifiant (ml)	Diamètre (cm)
			Cim	Brq	Crn	Cal		
Tm	650	130	325				2.11	25.5
Br 5%	650	130	292.5	16.2			2.5	26
Br 10%	650	130	292.5	32.5			2.8	25.5
Br 20%	650	130	260	65			3.9	24.5
Br 30%	650	130	227.5	97.5			5.1	25.5
Cr 10%	650	130	292.5		32.5		2.76	25.5
Cr 20%	650	130	260		65		3.08	25
Cr 30%	650	130	227.5		97.5		2.6	24.5
Cl 10%	650	130	292.5			32.5	2.76	24.5
Cl 20%	650	130	260			65	3.18	25.5
Cl 30%	650	130	227.5			97.5	2.92	26

III .4.1. Malaxage des mortiers auto plaçant

Malaxer chaque type de mortier mécaniquement au moyen du malaxeur.

Le mode opératoire de malaxage est le suivant :

- Peser les constituants au moyen de la balance.
- Malaxer le ciment et le filler très bien pendant 10 secondes, puis mettre le ciment-filler et le sable dans le bol en prenant soin d'éviter toute perte de ciment , de filler ou de sable.
- Mettre immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse pendant 15 secondes.
- Introduire 70% d'eau pendant 45 secondes pendant
- Arrêter le malaxeur pendant les premières 30s et enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc ou en plastique tout le mortier adhérent aux parois et au fond du bol et le placer au milieu du bol.
- A la fin reprendre le malaxage et mettre 30% d'eau + l'adjuvant à grande vitesse pendant 240 secondes.



Figure (III.13) : Un malaxeur

III. 5. La méthode de mortier de béton équivalent (MBE)

L'approche du Mortier de Béton Equivalent (MBE) a été initialement développée au CTG (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.

[16]

O. HADDAD, S. AGGOUN et al, ont mené un travail qui consistait à l'extension de la méthode MBE aux BAP, en étudiant les compositions de 5 bétons et leurs MBE. Les auteurs ont pu confirmer qu'il est possible d'étendre la méthode MBE aux BAP et la composition particulière des BAP ne change pas les principes de calcul des MBE. [16]

L. NACHBAUR et al. ont aussi étudié la faisabilité de l'extension de la méthode MBE au BAP. Ils ont pu montrer que la méthode MBE qui était initialement développé pour des bétons d'affaissement inférieur à 21 cm peut être adaptée aux BAP et aussi que les principes de base de la méthode peuvent être gardés. [16]

III .6. Protocole de mélange des mortiers auto plaçant (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:

Mettre l'eau et 2/3 de superplastifiant dans le récipient .

Mettre le mélange de liant (Ciment+ fines) .

Mélanger à vitesse lente pendant 1mn30sec ensuite racler le bord et mélanger encore 1mn 30 sec .

Verser le 1/2 de 1/3 de superplastifiant et le 1/2 de sable .

Mélanger à vitesse lente pendant 1mn .

Rajouter encore le reste de 1/3 superplastifiant et le 2ième 1/2 de sable .

Mélanger à vitesse lente pendant 1mn .

Enfin mélanger à vitesse rapide pendant 1mn (le total 6 min).



Figure (III.14) : Malaxeur pour les mortiers autoplaçants (MAP)

III.7. 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, l'exécutent deux coches.
- Compacter le mortier à l'aide d'une table vibrant en applique 120 secondes (cette étape n'est pas applicable pour les mortiers fluides ou les mortiers autoplaçants).
- 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) : Moulage des éprouvettes

III.8. 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 2 jours et 7 jours et 28 jours et 60 jours.



Figure (III.16) : Conservation des éprouvettes dans une chambre humide.

III .9. Conduite d'essai

III .9. 1. A l'état frais

Etant donné que mon étude est réalisée sur des mortiers autoplaçants, il est nécessaire de vérifier les propriétés rhéologiques de ces mortiers. En plus, les mortiers autoplaçants doivent être très fluides avec une bonne mise en oeuvre du matériau (sans secousse ou vibration) et aussi ces mortiers doivent être stables (ne présentent pas de ségrégation). Toutes ces propriétés rhéologiques sont les principales propriétés des bétons autoplaçants. Pour cela, j'ai procédé à la caractérisation à l'état frais des mortiers autoplaçants étudiés. Ces derniers ont été élaborés en substituant partiellement le ciment par le filler (brique, céramique et calcaire).

III .9.1.1. Essai au mini cône

L'appareil se compose d'un moule tronconique creuse de 6 cm de hauteur 7 cm et du bas 10 cm.

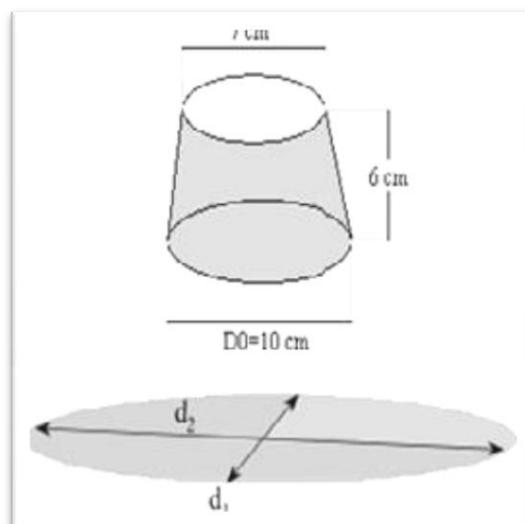


Figure (III.17) : Dimensions de Mini cône

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

$$D_{\text{moy}} = (D1 + D2) / 2$$



Figure (III.18) : l'essai de Mini cône à mortier

III .9.1.2. Essais de l'entonnoir en V (V-funnel)

L'appareil se compose d'un moule creuse de 34 cm de hauteur 37 cm et du bas 3.9 cm.

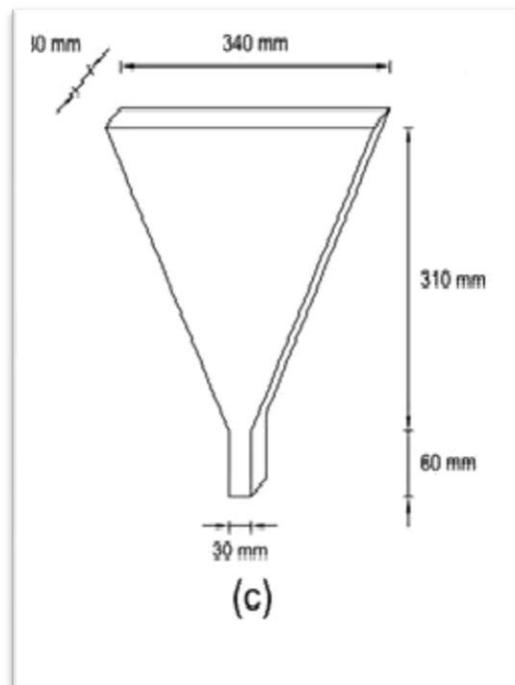


Figure (III.19) : Dimensions de V funnel

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.

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.



Figure (III.20) : Essai De (V-Funnel).

III .9.2. A l'état durci

III .9.2.1. La résistance à la flexion (NF P 15-471) : La résistance à la traction par flexion des mortiers a été évaluée par des essais de flexion trois points effectués sur des éprouvettes prismatique (4x4x16) cm³.

$$R_f = (1.5PL/a)$$

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.21) : Essai de la résistance à la flexion

III .9.2.2. 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.

$$\sigma = (Pc / S)$$

σ : Contrainte de compression

Pc : la charge de rupture à la compression.

S : Section transversale de l'éprouvette.



Figure(III.22) : Essai de la résistance à la compression

III .9.2.3. Essai d'absorption d'eau par capillarité

L'absorption par capillarité est une propriété hydrique qui témoigne de la capacité de l'échantillon à absorber une quantité d'eau par unité de temps et de surface, lorsqu'une seule face est en contact direct avec de l'eau. Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité $C_{w,s}$ s'exprime en $g/m^2.s^{1/2}$, et est obtenue expérimentalement pour l'échantillon selon la norme NF EN 772-11.

La détermination de cette caractéristique intrinsèque s'avère particulièrement importante pour les éléments et les structures en contact avec le sol, par exemple, plinthes, soubassements et pavage.

Principe et méthode d'essai :

Cet essai consiste à suivre la cinétique d'imbibition capillaire à travers la quantité d'eau absorbée par unité de surface de l'échantillon en contact avec l'eau, en fonction de la racine carré du temps.

L'échantillons sont préalablement séchés à une température de $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ jusqu'à obtention d'une masse constante, puis pesés afin d'en déterminer la masse sèche. A noter que les éprouvettes testées peuvent se présenter sous la forme d'un cube de côté (70 ± 5) mm ou (50 ± 5) mm, ou d'un cylindre dont le diamètre et la hauteur sont égaux à (70 ± 5) mm ou (50 ± 5) mm.

Chapitre III Caractérisation des matériaux utilisés et Méthodes d'essais

J'ai complètement emballé les échantillons par adhésif aluminium et laissé le côté inférieur non emballé ensuite les échantillons sont placés dans un bac permettant une mise en contact constante d'une face de l'échantillon avec 3 ± 1 mm d'eau. Une pesée des éprouvettes est assurée au cours du temps, à des instants définis par la norme.

Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité est défini comme la pente de la régression linéaire de la partie de la courbe reliant la quantité d'eau absorbée par unité de surface à la racine carré du temps :

$$C_{w,s} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s \sqrt{t_{so}}} \times 10^6$$

$C_{w,s}$: coefficient d'absorption d'eau par capillarité, en $\text{g/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$;

$m_{so,s}$: masse de l'éprouvette après immersion pendant un temps t , en g ;

$m_{dry,s}$: masse de l'éprouvette après séchage, en g ;

A_s : surface brute de la face de l'éprouvette immergée dans l'eau, en mm^2 ;

t_{so} : temps d'immersion, en s



Figure (III.23) : Essai d'absorption d'eau par capillarité

III.9.2.4 . Essai de Réaction chimique avec l'acide

Le degré d'attaque dépend du type, de la concentration et de la quantité d'acide chimiquement et de la solubilité, en particulier du taux de lixiviation des sels produits dans le mortier. Par conséquent, le développement de la décomposition dépend de la porosité du béton, qui détermine l'infiltration des acides et le lessivage de la pâte de ciment. Le degré d'attaque est également affecté par la température et le débit d'acide.

Les étapes de l'essai

- Je découpe les échantillons aux dimensions 4x4x5 cm.
- J'ai préparé les bassins désignés pour les acides.
- J'ai ajusté les acides dans les proportions requises et les ai versés dans les bassins.
- j'ai deux types d'acide en plus de le témoin (l'eau sec) et mettons le même type d'échantillons dans des bassins différentes. Et chaque semaine je pèse les échantillons. et chaque 15 jours je change l'acide.

Les types d'acides utilisés

- Acide H_2SO_4
- Acide Hcl

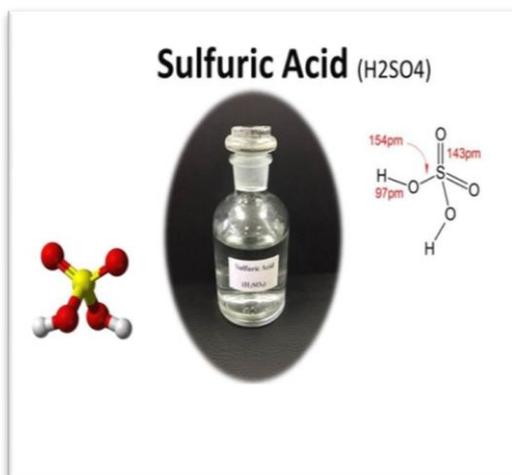


Figure (III.24) : Acide H_2SO_4



Figure (III.25) : Acide Hcl

- Les pourcentage utilisé sont : Acide H_2SO_4 (5%) dans 3.2L d'eau distillé.
Acide Hcl (37%) dans 3.2L d'eau distillé.



Figure (III.26) : Les Différentes bassins d'acide

Les phases de l'attaque d'échantillons

1^{er} jour : la préparation



Figure (III.27) : la préparation des échantillons

La dégradations des échantillons

Après 7 jours :



Figure (III.28) : les échantillons après 7 jours

Après 15 jours :



Figure (III.29) : les échantillons après 15 jours

Le degré d'attaque



Figure (III.30) : Le degré d'attaque

Conclusion

Dans ce chapitre, je caractérisé tous les matériaux entrant dans la composition des mortiers autoplçants, la formulation des mortiers est l'aide des méthodes d'élaboration. Les essais réalisés sur les mortiers à l'état frais et durcis ainsi que les essais de durabilité ont été présentées et l'absorbation et la réaction d'acide.

Chapitre IV

Chapitre IV : Résultats et Interprétations

Introduction :

Dans ce chapitre, j'expose les résultats de travail pratique effectué au niveau du laboratoire LTPS et du laboratoire d'université de Ghardaïa. Les résultats de cette étude ont été présentés en trois parties qui sont les suivantes :

- La première partie : Consiste à caractériser les mortiers à l'état frais (essai d'étalement et la détermination du temps d'écoulement).
- La deuxième partie : Présente les caractéristiques mécaniques des mortiers (essai de traction et de compression).
- La troisième partie : dans cette partie, la durabilité des mortiers sera présentée.

Remarque

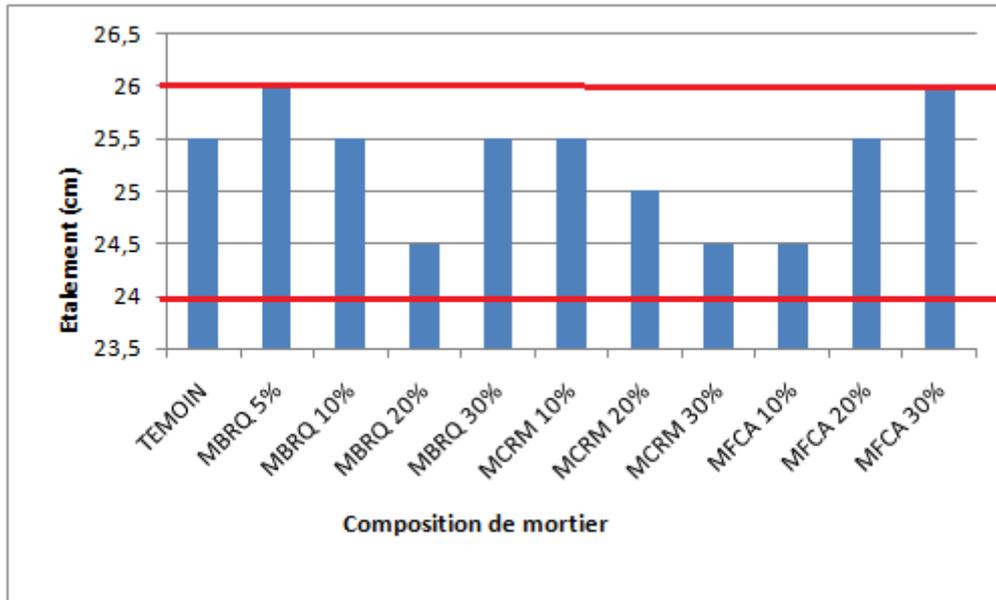
En ce qui concerne la différence dans les Pourcentages d'ajouts minéraux, 5% de filler calcaire et de céramique j'étais exclu en raison du volume de travail soumis et du manque de temps, ainsi que de la surpopulation du laboratoire avec les étudiants, j'ai donc décidé de réduire le nombre d'expériences.

1. Résultats à l'état frais :

Dans cette partie je présente l'ensemble des résultats des essais effectués sur mortier MAP à l'état frais.

A- Essai au mini cône

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 filler utilisé.

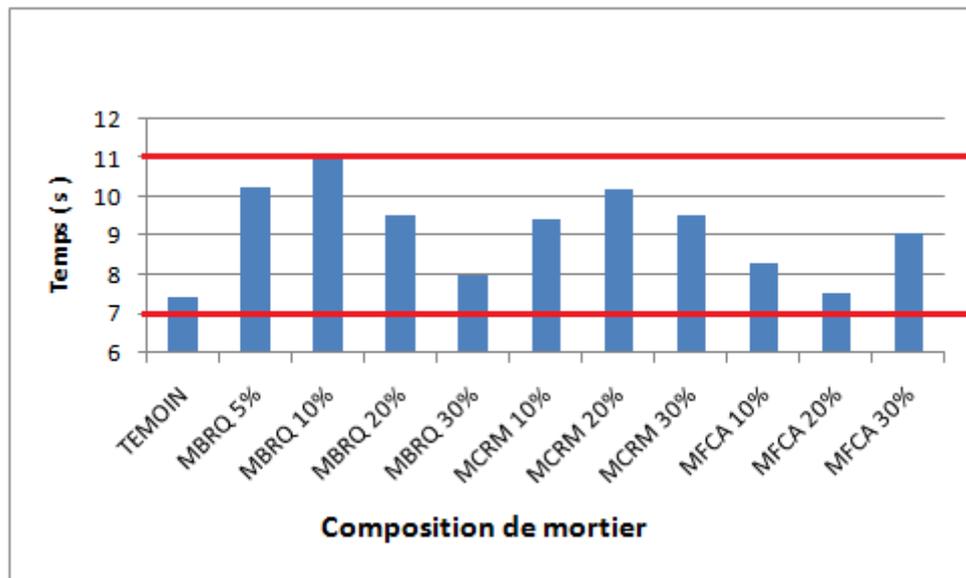


Figure(IV.01) : Histogramme des diamètres d'étalement au mini cône.

D'après la figure IV.01 on remarque que le diamètre d'étalement pour les tous les types des mortiers réalisés se trouvait dans l'intervalle des MAP défini 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 la substitution du filler soit par des déchets de céramic soit de brique qui iflus par la diminution des frottements entre les grains, par conséquent elles augmentent la fluidité du mortier.

B- 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 filler utilisé sont présentés sur la figure (IV.02).



Figure(IV.02) : Histogramme des diagrammes d'étalement au V (V-funnel)

Les mesures de l'étalement utilisant l'entonnoir en V (Figure IV.2) montre que tous les mortiers s'insèrent dans la fourchette 7 – 11 seconds, mais tous les mortiers ont un temps d'écoulement supérieur à celle de mortier témoin. C'est-à-dire que tous les ajouts utilisés augmentent la viscosité de mortier.

2. Résultats à l'état durci

Dans cette partie je présente l'ensemble des résultats des essais mécaniques sur mortier à l'état durci.

a- Resistance à la compression

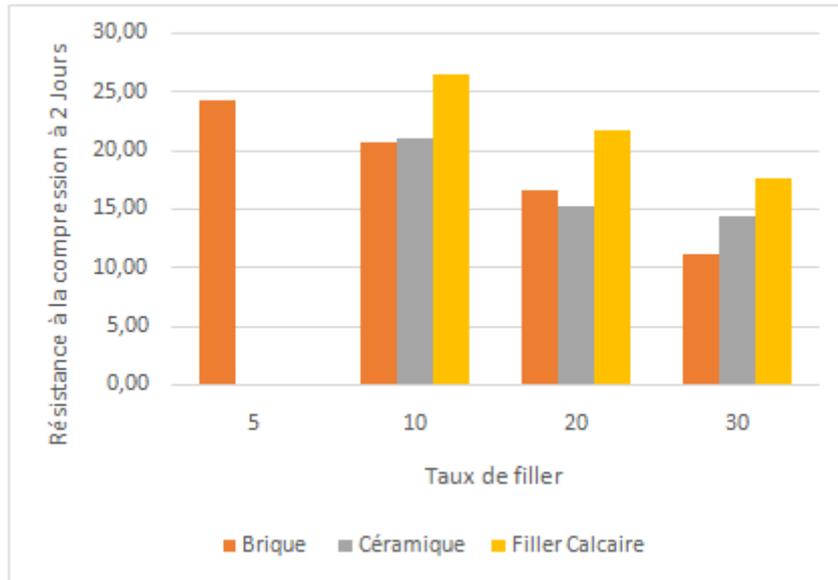


Figure (IV.03) : Histogramme des résultats de la résistance à la compression après 2 jours de cure.

La figure IV.03 montre une comparaison de la résistance à très jeune âge entre les 03 types de filler utilisés, d'où j'ai noté que le mortier avec 10% de filler calcaire a la meilleure résistance. Pour le filler de brique la meilleure résistance est notée pour MBRQ5%, tandis que MCRM10 % a noté la meilleure résistance pour le filler céramique.

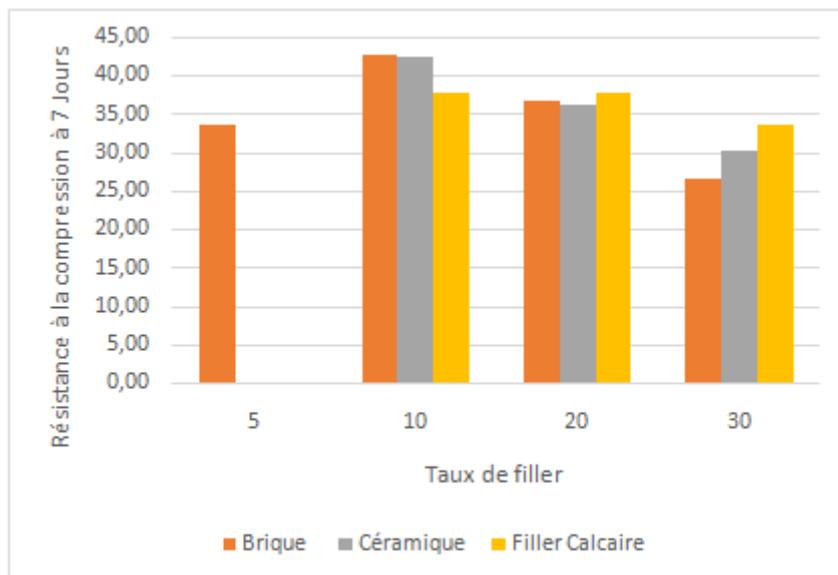


Figure (IV.04) : Histogramme des résultats de la résistance à la compression après 7 jours de cure.

La figure IV.04 montre aussi une comparaison de la résistance a 7 jours entre les 03 types de filler utilisés, d'où j'ai noté que la meilleure résistance dans cet âge est de 10% pour le

mortier avec la brique et le céramique. Pour le filler calcaire la meilleure résistance est notée dans les taux de 10 % et 20 % qui sont presque égaux.

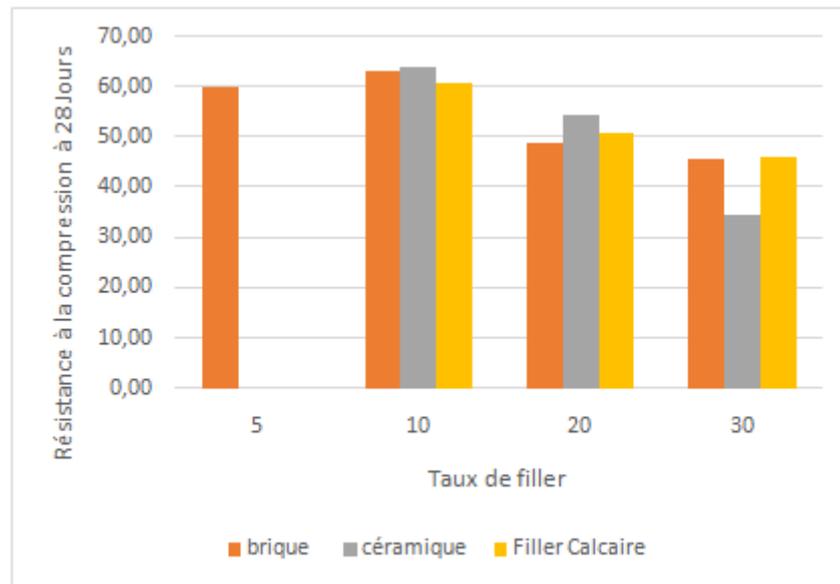


Figure (IV.05) : Histogramme des résultats de la résistance à la compression après 28 jours de cure.

La figure IV.05 montre une comparaison de la résistance à 28 jours d'où le mortier arrive à un taux important de sa résistance totale (généralement 95 %), d'où j'ai noté dans ce cas que la meilleure résistance est toujours à 10% mais avec la céramique qui dépasse légèrement la résistance de briques, d'où on peut dire qu'ils sont égaux.

Pour le filler calcaire la meilleure résistance est notée dans les taux de 10 %.

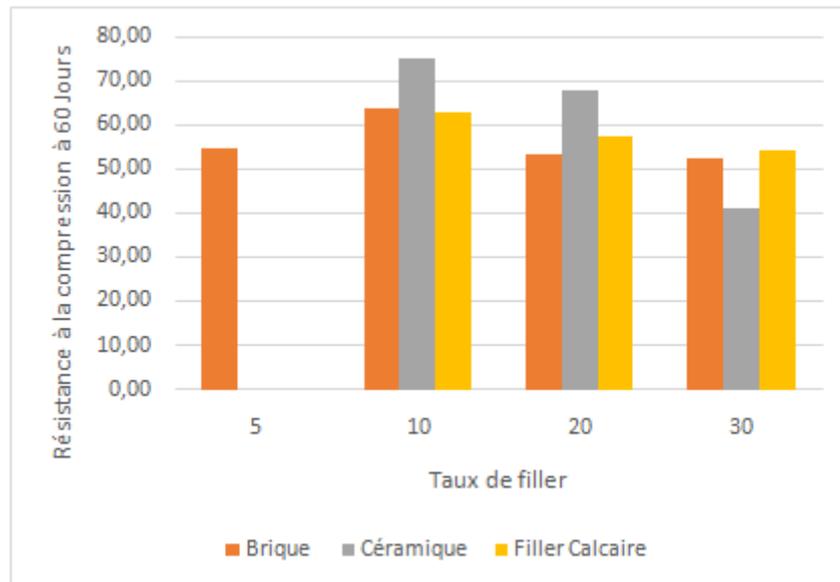


Figure (IV.06) : Histogramme des résultats de la résistance à la compression après 60 jours de cure.

La figure IV.06 montre une comparaison de la résistance a long durée (60 jours), d'où j'ai noté que la meilleure résistance dans cet âge est de 10% de mortier mélange céramiques qui dépasse la résistance de mortier mélangé avec les briques. Malgré sa la meilleure résistance dans les mortiers mélangés avec des briques et le filler calcaire est e 10 %.

b- Résistance à la flexion

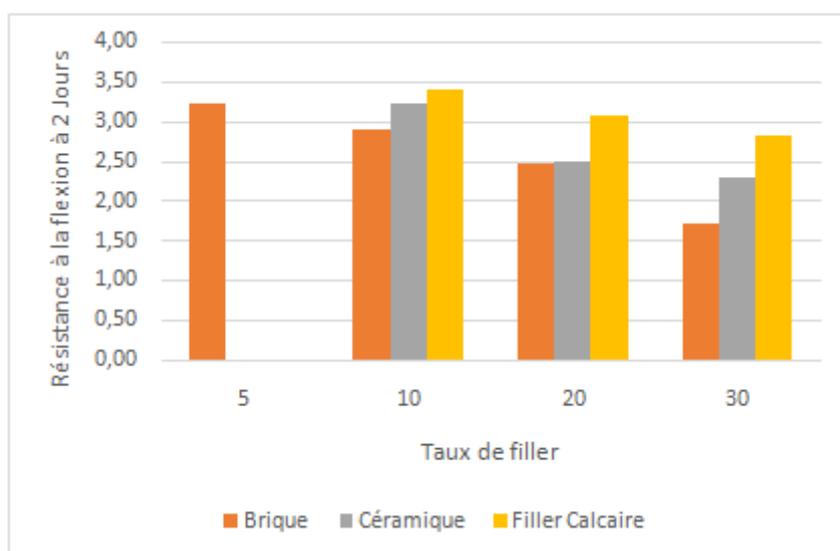


Figure (IV.07) : : Histogramme des résultats de la résistance à la Traction après 2 jours de cure.

La figure ci-dessus présente une comparaison des résistances de traction entre les différents types de fillers utilisés dans le MAP, à très jeune âge (2 jours) le MAP avec 10 % de filler calcaire est le meilleur MAP résistants. Concernant les MAP avec briques la meilleure résistance est notée dans le cas 5, et pour la céramique est notée avec un taux 10 %.

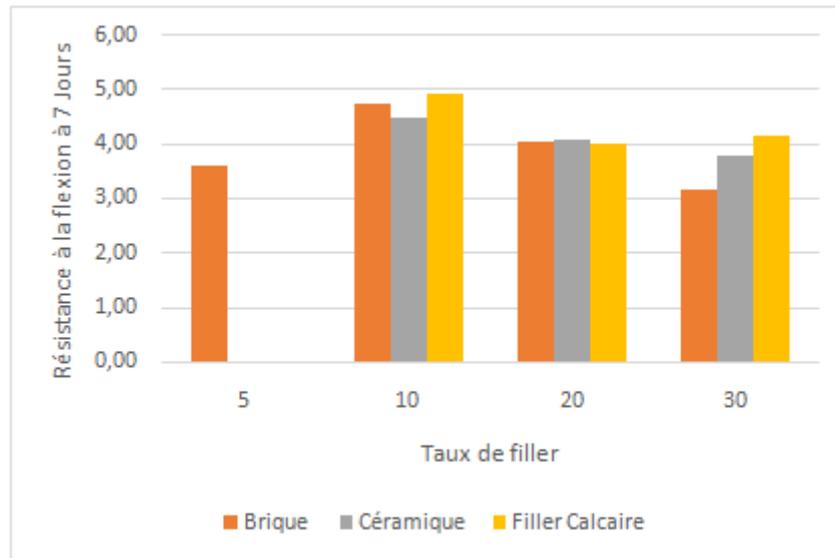


Figure (IV.08) : : Histogramme des résultats de la résistance à la Traction après 7jours de cure.

La figure IV.8 présente une autre comparaison des résistances de traction à jeune age (7 jours), toujours le MAP avec 10 % de filler calcaire est le meilleur MAP résistants. Concernant les MAP avec briques la meilleure résistance est notée dans le cas 10%, et pour la céramique est notée avec un taux 10 % aussi.

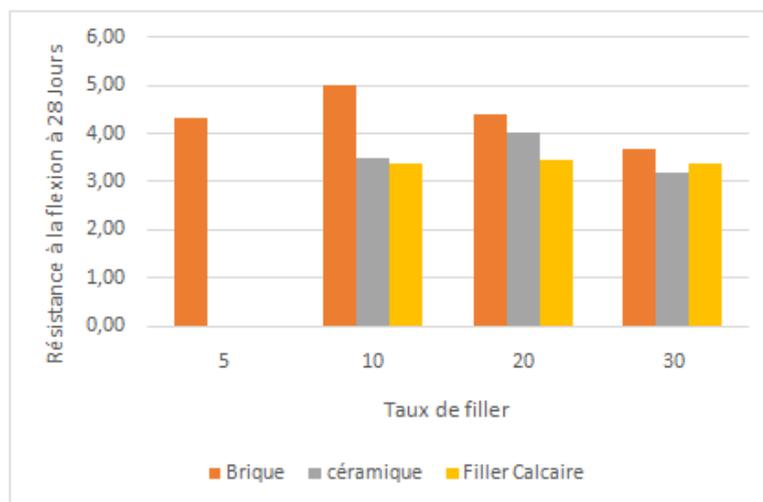


Figure (IV.09) : Histogramme des résultats de la résistance à la traction après 28jours de cure.

La figure IV.9 présente une autre comparaison des résistances de traction à l'âge de 28 jours, dans ce cas le MAP avec 10 % de briques donne la meilleure résistance. Concernant les MAP avec céramique donne la meilleure résistance dans le cas 20%, et pour le filler calcaire, les résistances sont presque égaux.

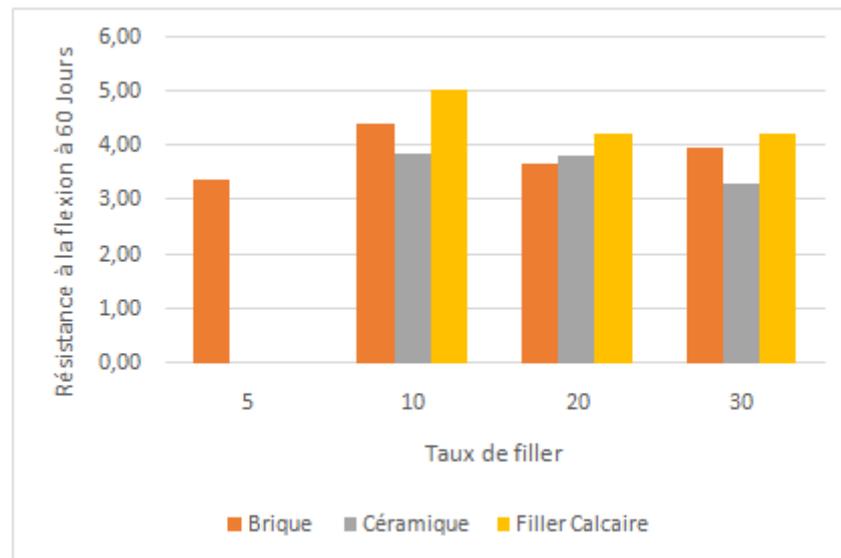


Figure (IV.10) : : Histogramme des résultats de la résistance à la traction après 60 jours de cure.

La figure IV.10 présente une autre comparaison des résistances de traction à 60 jours, le MAP avec 10 % de filler calcaire est le meilleur MAP résistants. Concernant les MAP avec briques la meilleure résistance est notée dans le cas 10%, et pour la céramique est notée avec un taux 10 % aussi.

c- Absorption capillaire

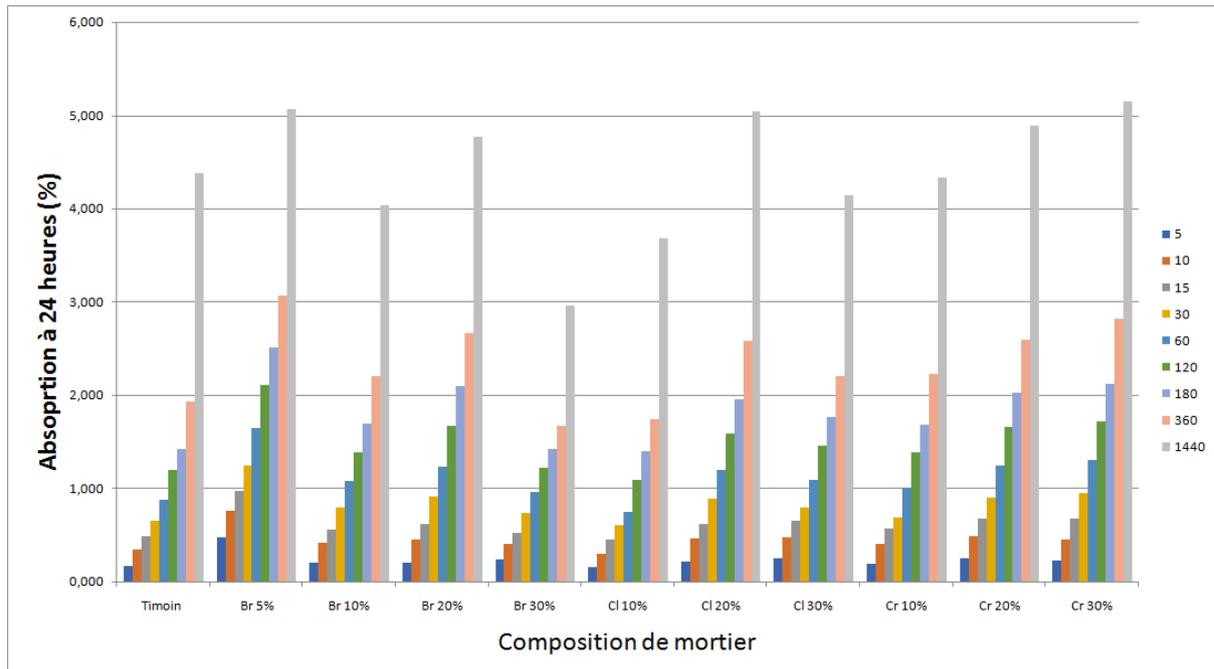


Figure (IV.12) : Histogramme des diagrammes d'absorption après 28 jours de cure.

La figure ci-dessous présente l'absorption d'eau par les différents mortiers auto-plaçant, et après 28 jours d'immersion dans l'eau d'où on peut remarque :

- L'augmentation de l'absorption d'eau en fonction du temps dans tous les mortiers,
- De plus, l'absorption a augmenté de manière significative dans les dernières 18 heures (entre 360 et 1440 minutes) mais malgré tout, le plus grand taux d'absorption est dans les premières 6 heures, et la plupart du temps, c'est plus de la moitié de la valeur après 24 heures.

Réaction avec l'acide pendant semaines (Dégradation des échantillons de mortier)

Témoin (l'eau)

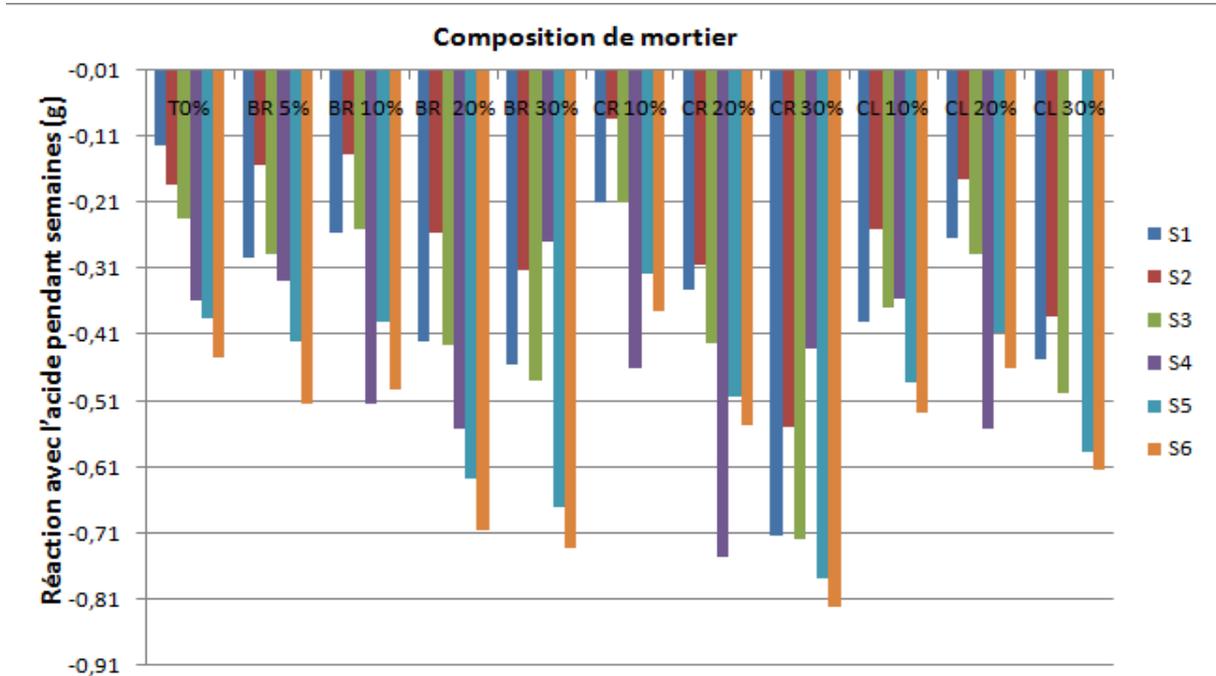


Figure (IV.14) : Histogramme des diagrammes de la dégradation des échantillonsa Témoin (l'eau)

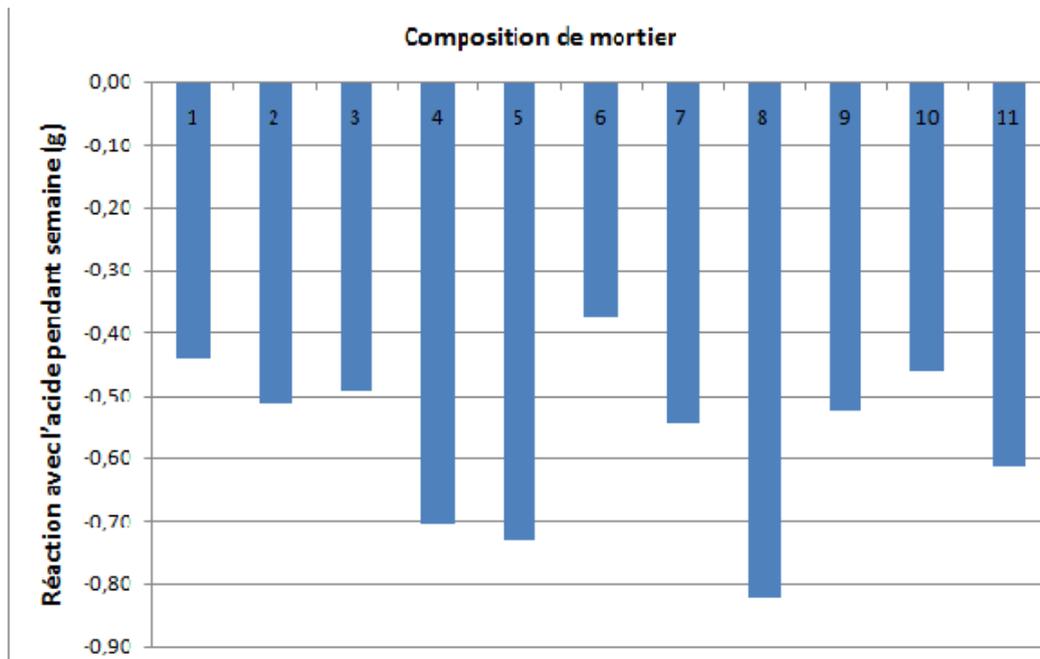


Figure (IV.15) : Histogramme des diagrammes de la dégradation des échantillonsa Témoin (l'eau)

Les résultats de l'absorption d'eau de l'ensemble des MAP avec différent type d'addition sont présentés sur les figures (IV 14 et IV 15). Les MAP les moins absorbants sont obtenus avec l'ajout de la poudre de brique et de céramique. L'absorption de tous les MAP avec 10% des différentes addition diminue. Alors que les MAP avec addition 30 % de filler calcaire se caractérisent par une absorption important.

ACIDE H₂SO₄

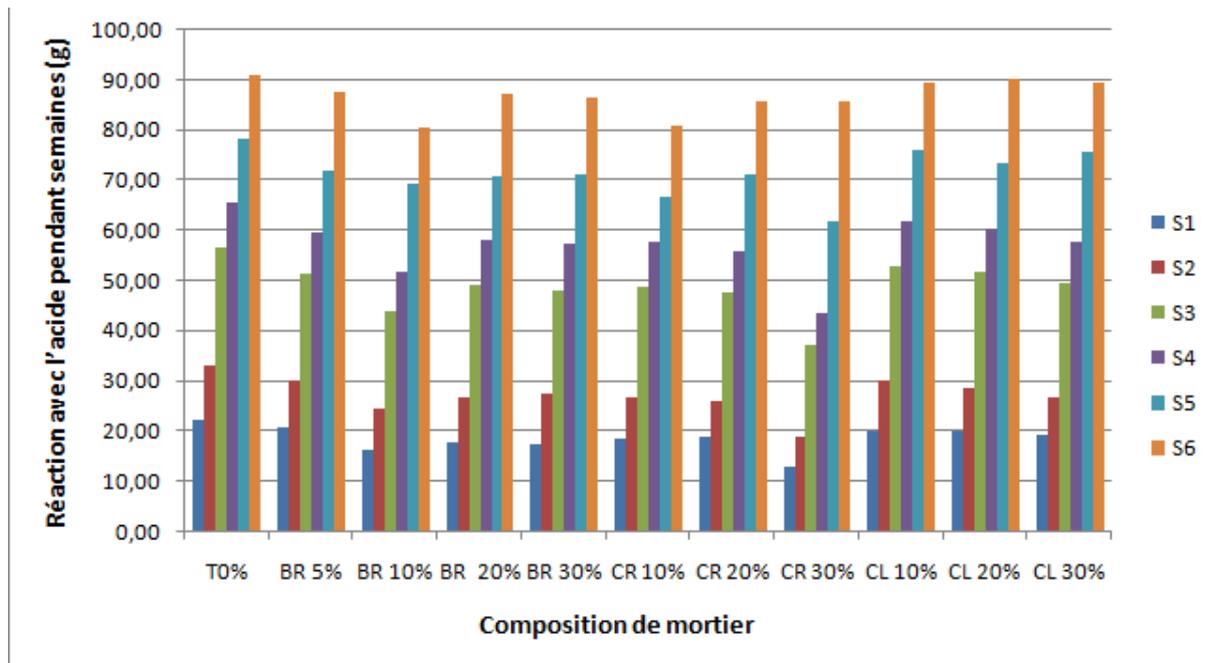


Figure (IV.16) : Histogramme des diagrammes de la dégradation des échantillons acide H₂SO₄

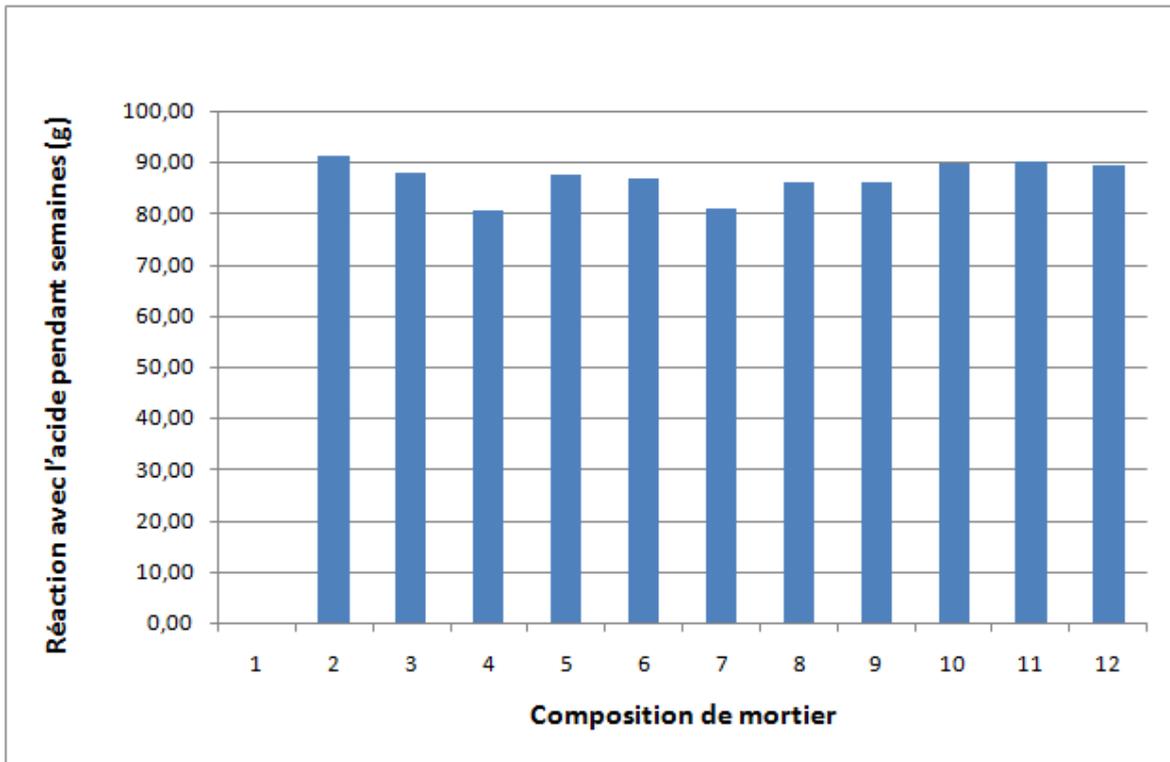


Figure (IV.17) : Histogramme des diagrammes de la dégradation des échantillon sa acide H2SO4

La figure ci-dessous présente de la dégradation des échantillons sa acide H2SO4 , on remarque que 10% de brique et 10 % de céramique donnée bien réaction dans l' acide H2SO4 par rapporte les différents compositions de mortier auto-placants.

ACID EHCL

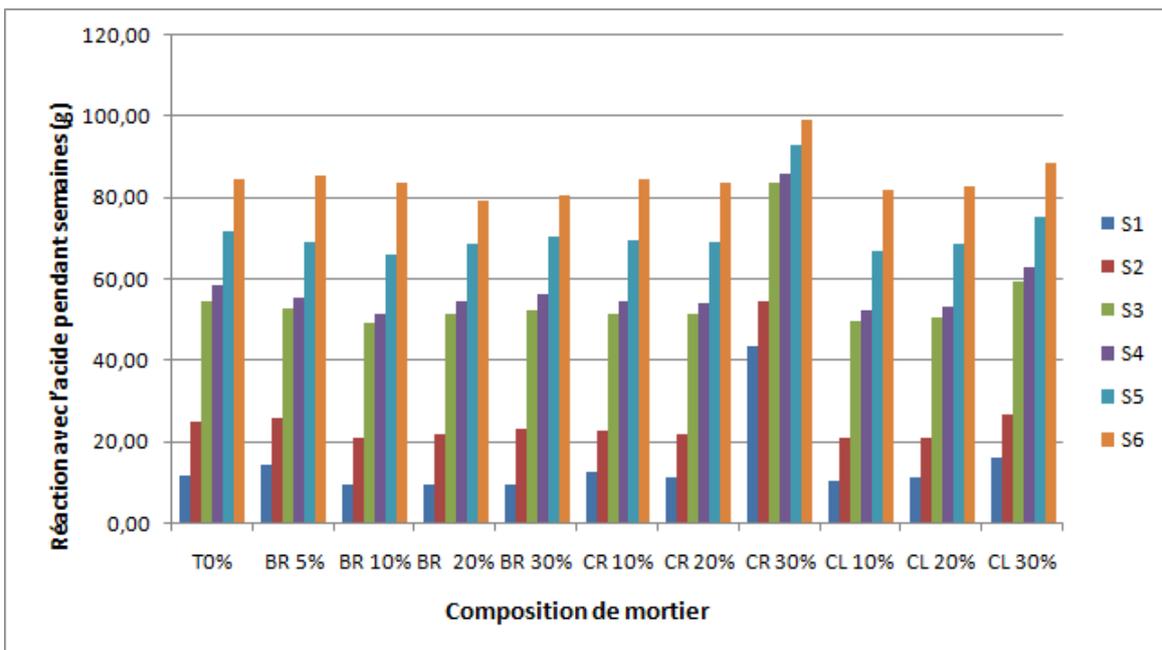


Figure (IV.18) : Histogramme des diagrammes de la dégradation des échantillons a acide HCL

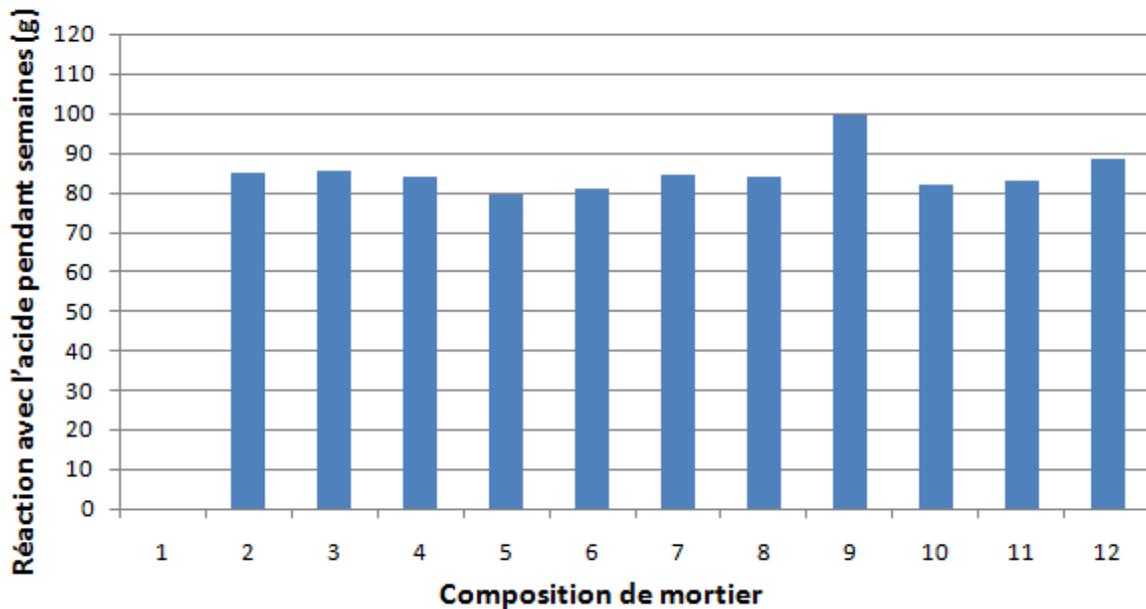


Figure (IV.19) : Histogramme des diagrammes de la dégradation des échantillons sa acide HCL

La figure ci-dessous présente de la dégradation des échantillons sa acide HCL, on remarque que tous les différents compositions de mortier donnée une bien réaction dans l'acide HCL

Conclusion

Sur la base des résultats obtenus des différents essais menés à l'état frais et durci, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

L'augmentation du dosage en addition améliore légèrement l'étalement des MAP par rapport aux mortier de référence et MAP avec poudres de brique et céramique.

L'ajout du filler calcaire, de la poudre de brique ou de la céramique augmente le temps d'écoulement à travers l'entonnoir des mélanges pour un taux de 20 %, au-delà duquel l'effet inverse se produit.

L'incorporation d'addition diminuer les résistances mécaniques par rapport à un mortier de référence uniquement confectionné avec du ciment, cependant, cette diminution reste dépendante de la nature et du dosage de l'addition.

L'incorporation d'addition par un taux de 10%, diminuer l'absorption d'eau de l'ensemble des MAP par rapport à un mortier de référence sans addition.

L'emploi des déchets de brique et céramique

Conclusion et recommandations

Conclusion et recommandations

La possibilité de remplacer le filler calcaire par de la poudre de briques et la poudre de déchet de céramique dans un mortier auto-plaçant a été évaluée. Les taux de substitution sont : 5%, 10%, 20% et 30%,. Les résultats obtenus lors de cette étude, nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- Il est possible d'obtenir un MAP jusqu'à 30 % maximum de substitution de filler calcaire par de poudre de briques et ou la poudre de déchets de céramique.
- La substitution du sable naturel par le sable recyclé de brique provoque une perte d'ouvrabilité.
- La substitution du filler calcaire par de poudre de briques et ou la poudre de déchets de céramique à un taux de 10 % donne des meilleurs résultats de résistance à la compression avec une légers augmentation par rapport aux mortiers de référence.
- La résistance à la traction a été améliorée par la même tendance que la résistance à la compression à court terme.
- Les paramètres de durabilité d'absorption capillaire après plus de 28 jours de cure humide, les résultats sont comparables pour l'ensemble des mélanges par rapport aux mortiers de référence. Les fillers de déchets de brique et de céramiques ne semblent pas être perturbés ces paramètres de durabilité des MAP.

Recommandations

L'utilisation de poudre de briques et la poudre de déchets de céramique comme alternative aux fillers calcaires semble être une bonne opportunité pour recycler les déchets de briques et de céramiques et réduire l'épuisement des ressources naturelles. Les propriétés fraîches et durcies des mortiers satisfont globalement aux exigences des mortiers auto-plaçant. Une attention particulière doit être portée à l'utilisation de ces matériaux en cas de présence de renforts et de risques liés à l'attaque chimiques. Cependant, une étude plus approfondie, notamment à long terme pour lesquels la manifestation de l'effet pouzzolanique serait plus évidente, devrait encore être menée pour de futures recherches.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- [1] J. P Olivier: livre de " Durabilité des bétons ". (A.NONAT :chapitre2; V. BAROGHELBOUNY, B. CAPRA, S. LAURENS: chapitre9; A. CARLES-GIBERGUES, H.HORNAIN :chapitre11; G. ESCADEILLAS, H. HORNAIN: chapitre 12 (Edition: Presse de l'école nationale des ponts et chaussées-2008).
- [2] Nicolas HYVERT. [Application de l'approche probabiliste à la durabilité des produits préfabriqués en béton] (Thèse de doctorat -l'Université Toulouse III-Paul Sabatier-2009).
- [3]Le dictionnaire professionnel du BTP (<https://www.editions-eyrolles.com/Dico-BTP/definition.html?id=2222>)
- [4] <https://www.startimes.com/f.aspx?t=7878624>
- [5] <http://coursexosup.blogspot.com/2015/06/ciments.html>
- [6] CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS
2001 LA NORMALISATION FRANÇAISE DES CIMENTS
- [7] <https://fr.statista.com/statistiques/570415/principaux-pays-producteurs-de-ciment-dans-le-monde/>
- [8] <https://www.infociments.fr/ciments/fabrication-du-ciment-le-process/>
- [9] Al-Araby Al-Jadeed Magazine : Le surplus de ciment inquiète le gouvernement algérien.06/09/2021
<https://www.alaraby.co.uk/economy/>
- [10] BOUALI Khaled [Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires], mémoire de magister (spécialité: Génie des Matériaux) Option Physique et Mécanique des Matériaux UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES (2013/2014).
- [11] Mr. GUELLIL Mustapha Khadir : [FORMULATION DES BETONS AUTOPLAÇANTS PAR LA METHODE DE LA PATE EN EXCES] mémoire de magister en génie civil présenté et soutenu (2012).
- [12] BENTOUATI Ilham [Influence de l'ajout de la poudre de marbre sur le comportement mécanique] mortier de master (spécialité: Génie civil)
- [13] <https://www.memoireonline.com>
- [14] NAOUM Mohamed amine & SAYEH BEN AISSA Khaled. [Effets du filler calcaire sur la durabilité de mortier auto plaçant exposé aux attaques chimiques] Mémoire Pour l'obtention du diplôme de Master (2021).
- [15] OULAD MEBAREK Imane & BOUKHARI Chourouk. [Effets de la poudre de gravier roulé sur la durabilité de mortier auto-plaçant exposé aux attaques chimiques] Mémoire Pour l'obtention du diplôme de Master
- [16] AZRAR Taous. [Influence du PH sur les propriétés physico-mécaniques d'un mortier autoplaçant] Mémoire Pour l'obtention du diplôme de Master
- [17] ZAHIR CHELABI HAMZA ET TALEB [Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction.] – BOUIRA, Thèse magister (2017).

Références bibliographiques

- [18] Abderrezak S. «Gestion des déchets solides en Algérie ». Séminaire sur la gestion intégrée des déchets solide. Alger. (2000).
- [19] Barkat A bderezzak.[Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton] Mémoire de magister en génie civil, université KASDI MERBAHOUGLA. (2006).
- [20] Ishak Zerrouki [Effet de déchet de brique rouge sur la stabilisation des briques de terre crue] mémoire de master génie civil (2019).
- [21] Aissa Salem.[Effet de l'activation mécanique de l'argile cuite (déchets de briques) sur le comportement mécanique du mortier]. Mémoire de master, université Mohamed Boudiaf M'sila. . (2016)
- [22] www.hubency.com/recyclage-dechets/ceramique
- [23] Safi Brahim, [Procédés et mise en forme des matériaux : Les produits céramiques]. Université de Boumerdes.
- [27] AFGC," Recommandations pour l'emploi des bétons Auto-plaçants". Association Française de Génie Civil," pp. 64, (2008).
- [28] M. Yurugi, N. Sakata, M. Iwai, and G. Sakai, "Mix proportion for highly workable concrete," Proc. Concr., pp. 579–589, (2000).
- [29] S. Tangtermsirikul, J. Sakamoto, T. Shindoh, and Y. Matsuoka, "Evaluation of resistance to segregation of super workable concrete and the role of a new type of viscosity agent," Reports Tech. Res. Inst., vol. 24, pp. 369–376, (1991).
- F. de Larrard, F. Bosc, C. Catherine, and F. Deflorenne, "La nouvelle méthode des coulis de l'AFREM pour la formulation des bétons à hautes performances," Bull. des Lab. des ponts chaussées, vol. 202, pp. 61–69, (1996).
- [30] T. Sedran, [Rhéologie et rhéométrie des bétons. Application aux bétons autonivelants,] Thèse de Doctorat, L'Ecole Nationale. Des Ponts et Chaussées, (1999).
- [31] Y. M. S. Kuroiwa M. Hayakawa, and T. Shindoh, "Application of Super workable concrete to construction of a 20-Story Building," ACI Symp. Publ., vol. 140, doi: 10.14359/3909.
- [32] T. Shindoh, Y. Matsuoka, S. Tangtermsirikul, and J. Sakamoto, "Effect of variation of material quality on properties of super workable concrete," Trans. Japan Concr. Inst., vol. 14, pp. 71–78,(1992).
- [33] H. Okamura and M. Ouchi, "Self-compacting concrete. Development, present use and future," in Self-Compacting Concrete: Proceedings of the First International RILEM Symposium, pp. 3–14 (1999).
- [34] H. Okamura, K. Ozawa, and M. Ouchi, "Self-compacting concrete," Struct. Concr., vol. 1, no. 1, pp. 3–17, (2000).
- [35] H. Okamura and M. Ouchi, "Self-compacting concrete," J. Adv. Concr. Technol., vol. 1, no. 1, pp. 5–15, (2003).

Références bibliographiques

- [36] NAOUM Mohamed amine & SAYEH BEN AISSA Khaled. [Structures Effets du filler calcaire sur la durabilité de mortier auto-plaçant exposé aux attaques chimiques] mémoire de master Filière: Génie Civile Spécialité
- [37] NF EN 1998-1 norme européenne Septembre 2005 Indice de classement : P 06-030-1
- [38] Zakaria Hamadache [Formulation et performances d'un béton autoplaçant incorporant des granulats en caoutchouc] Université Saad Dahlab de Blida 1 - Master en génie civil (2015).
- [39] https://www.memoireonline.com/05/18/10219/m_Formulation-et-performances-d-un-beton-autoplaant-incorporant-des-granulats-en-caoutchouc19.html.
- [40] OULAD MEBAREK Imane & BOUKHARI Chourouk [Effets de la poudre de gravier roulé sur la durabilité de mortier auto-plaçant exposé aux attaques chimiques] mémoire de master Filière: Génie Civile Spécialité: Structures (2021)
- [41] <https://www.zwickroell.com/fr/secteurs-dactivite/test-de-materiau-essai-de-materiau/essai-de-flexion/>
- [42] Naamaoui née Haddadou Naima [Elaboration et caractérisation de béton autoplaçant fibré avec ajout de poudre de marbre] Thèse de Doctorat Filière : Sciences et Génie des Matériaux Option : Physique et Mécanique des Matériaux (2014/2015).

Annexes



AMOUA CIMENT

AWTED

CIMENT PERFORMANCES ÉLEVÉES

BPE, BÉTON STRUCTUREL, PRÉFABRICATION
DALLAGE ET VOIRIE

PRÉSENTATION

AWTED est un ciment gris conforme à la norme algérienne NA 442 ainsi que la norme européenne EN 197-1.

AWTED convient parfaitement pour le coulage par temps chaud ainsi que le transport du béton prêt à l'emploi.

Désignation normalisée : NA 442-CEM II/A-L 42.5 N.

AWTED est un produit 100 % algérien fabriqué exclusivement dans l'usine AmoudaCiment à El Beydha.

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.



Directeur Générale et commerciale
L'Edouard 290, Service 4, Zone d'Activité
Amara, El Harrag, Alger
Tél : 021 451 251/457 200-01/1790 111 811
Fax : 021 31 01 84
E-mail : service_client@amoudaciment.com



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

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.

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

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