

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Kasdi Merbah Ouargla



FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES
Département de : Génie Civil et Hydraulique

C:.....
R:.....

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Civil
Spécialité : Structures

Thème

Propriétés rhéologiques et mécaniques du mortier auto-plaçant à base de déchets de carrière (sable 0/3) comme alternative durable au sable naturel

Présenté par : SALHI Manel

Soumis au jury composé de :

MOKHTARI Abdessamed	M.C (B)	U.K.M. Ouargla	Président
MEKHERMECHE Abdessalam	M.C (B)	U.K.M. Ouargla	Examineur
DJIREB Samir	M.C (B)	U.K.M. Ouargla	Encadreur
SALHI Aimad	M.A (A)	U. Ghardaia	Co-Encadreur

Année Universitaire
2021/2022

ملخص

أدت التطورات في الهندسة المدنية مؤخرًا إلى إيجاد طرق هيكلية جديدة وزيادة في استهلاك الركام، وخاصة رمل الوديان. هذا الطلب المتزايد يؤدي إلى البحث عن بديل لرمل الوديان، وأحد البدائل الأكثر استخدامًا هو الرمل المكسر، وهو منتج ثانوي لعملية تفتيت الحصى الخشن، كرمل اصطناعي بديل.

الهدف من هذا العمل البحثي هو المساهمة في استغلال وتثمين المنتج الثانوي المتراكم لاستخدامه كبديل لرمال الوديان. في هذا السياق، ستتم دراسة الخواص علم الجريان والميكانيكية لملاط الضغط الذاتي MAP باستخدام ثلاثة أنواعًا من الرمل: رمل الوديان، والرمل المكسر، والخليط (40/60) من الرمل المكسر/ رمل الوديان وذلك خلال الفترات 3 و 7 و 28 و 60 يومًا.

أشارت النتائج المتحصل عليها إلى أن جميع خلطات MAP المحتوية على الرمل المكسر بما في ذلك رمل الوديان لها خصائص ريولوجية مقبولة بناءً على معايير EFNARC. بينما أظهرت الخلطات المحتوية على الرمل المكسر خواص ميكانيكية أعلى من الخلطات الشاهدة.

الكلمات المفتاحية: رمل مكسر، رمل الوديان، ملاط ذاتي الوضع، مقاومة الضغط، الشد.

Résumé

L'évolution du génie civil s'est récemment traduite par des nouvelles méthodes structurales et une consommation accrue de granulats, notamment de sable. Cela conduit à la recherche d'une alternative au sable alluvionnaire, et l'une des alternatives les plus utilisées est le sable concassé, un sous-produit du processus de fabrication des granulats grossiers, comme matériau de sable artificiel.

Le but de ce travail de recherche est de contribuer à l'exploitation et à la valorisation d'un sous-produit accumulé à utiliser comme alternative au sable alluvionnaire. Dans ce cadre, les propriétés rhéologiques et mécaniques du Mortier auto-plaçant MAP seront étudiées à l'aide de 03 types de sables : sable alluvionnaire S All (témoin), sable concassé SC (03), et un mélange (60/ 40), sable concassé / sable alluvionnaire S Call (60/40) et cela pendant les périodes 3, 7, 28 et 60 jours.

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

Les mots clés: Sable concassé, sable de vallée, mortier auto-durcissant, résistance à la compression, résistance à la traction.

Abstract

Developments in civil engineering have recently resulted in new structural methods and increased consumption of aggregates, particularly sand. This leads to the search for an alternative to alluvial sand, and one of the most widely used alternatives is crushed sand, a by-product of the coarse aggregate manufacturing process, as an artificial sand material.

The aim of this research work is to contribute to the exploitation and valorization of an accumulated by-product to be used as an alternative to alluvial sand. In this context, the rheological and mechanical properties of the MAP self-compacting mortar will be studied using 03 types of sand: alluvial sand S All (control), crushed sand SC (03), and a mixture (60/40), crushed sand / alluvial sand S Call (60/40) and this during the periods 3, 7, 28 and 60 days.

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

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



DEDICACE

Avec un grand plaisir ; je dédie ce modeste travail :

A toute ma famille

Mes amis, mes collègues

A tous ce qui j'aime et qui m'aiment.

SALHI Manel

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Je présente mes sincères remerciements avec mes profonds respects à mon encadreur Dr DJIREB Samir et à Mr SALHI Aimad, comme co-encadreur qui ont bien voulu par leurs aimable bienveillance, dirigé ce travail, qu'il trouve ici notre profond respect.

Mes remerciements vont aussi à les membres de jury Dr MOKHTARI Abdessamed d'avoir accepté de présider le jury de cette mémoire et Dr MEKHERMECHE Abdessalem d'avoir accepté d'examiner ce manuscrit.

Je profite l'occasion à remercier tous nos enseignants de notre département de Génie Civil ET de l'Hydraulique.

Enfin, que toutes celles et tous ceux qui, de près ou de loin nous ont généreusement offert leurs concours à l'élaboration de ce travail, trouvant ici l'expression de mon profonde sympathie.

Enfin, je remercie mes parents, mes frères, mes sœurs tous mes Ami(e)s que j'aime Pour leur sincère amitié et confiance.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude

Liste de figures

Figure I.1	Les constituants du mortier ordinaire et autoplaçant	02
Figure I.02	MEB des minéraux principaux du clinker	06
Figure I.03	L'effet du super plastifiant sur les grains de ciment	10
Figure I.04	Détermination de l'étalement	12
Figure I.05	Mesure du taux de remplissage	.13
Figure I.06.	Essai de stabilité eu tamis	14
Figure I.07	Essai au mini cône	17
Figure I.08.	Essai De Déformabilité De l'Entonnoir En V (V-Funnel).	18
Figure I.09	Essai de la résistance à la flexion	19
Figure I.10	Essai de la résistance à la compression	19
Figure II.01	station de concassage.	22
Figure II.02..	Evolution de la production de sable	24
Figure II.03	Effet des fines calcaires sur l'affaissement	.25
Figure II.04.	Histogramme des temps d'écoulement des trois mortiers élaborés .	26
Figure II.05..	développement de résistance à la traction par flexion	27
Figure II.06	Résistance à la traction des mortiers et bétons en fonction.	27
Figure II.07	Relation entre la résistance à la compression et la teneur en fine de calcaire ..	29
Figure III.01	représente les résultats de l'analyse granulométrique du sable	31
Figure III.02...	Principe de l'essai d'équivalente de sable	.32
Figure III.03.....	Essai d'équivalent de sable...	32
Figure III.04.	Le super plastifiant	34
Figure III.05....	Malaxeur pour mortier..	35
Figure III.06...	Essai d'étalement sur les mortiers..	36
Figure III.07.	Essai de traction	37
Figure III.8	Essai de compression	38
Figure IV.01	Résultats d'essais d'étalement	39
Figure IV.02....	Résultats d'essais de temps d'écoulement	.40
Figure IV.03...	La résistance à la compression des différents mélanges	42

Liste des tableaux

Tableau (I.1) : Composition minéralogique de clinker	05
Tableau (I.2): Composition chimique de clinker	07
Tableau (I. 3): Classification des ajouts selon leur réactivité	08
Tableau (I. 4) : Utilisation Des ajouts dans les cimentaires algériennes	09
Tableau (I.5) : Les valeurs et les classes d'étalement pour le BAP	13
Tableau (III. 1) : Analyse chimique du ciment Matine.	29
Tableau (III. 2) : Caractéristique physico-mécanique du ciment Matine.	30
Tableau (III.3) : Les valeurs d'équivalent de sable indiquant la nature et qualité du sable.	33
Tableau(III.4): la description de produit	34
Tableau(III.05) : Composition des trois types de mortier formulés.	35

SOMMAIRE

Résumé.....	i
Liste de figure.....	ii
Liste de tableau	iii
Introduction.....	01

CHAPITRE I : Revue de littérature sur le mortier auto-plaçant .

- I.1 Mortiers auto-plaçant.....	02
- I.2 Constituants du MAP.....	03
I.2.1 Le Sable.....	03
I.2.2 Le ciment.....	04
I.2.2.A Composition des ciments.....	05
I.2.3 L'eau de gâchage.....	07
I.2.4 Ajout minéraux	07
Super-plastifiant.....	09
I.3 Formulation des MAP.....	10
I.3.1 Différentes méthodes de formulation.....	10
I.3.1 Méthode Japonaise.....	10
I.3.2 Méthode Suédoise.....	11
I.3.3 Approche LCPC.....	11
I.3.4 Autres méthodes.....	12
I.4 Caractéristique des BAP.....	12
I.4.1 A l'état frais.....	12
I.4.2 A l'état durci:.....	14
a)- Les essais de compression.....	14
b)- Les essais de traction par flexion:.....	14
I.5 Méthode de formulation du MBE.....	14
I.6.1.2. Principe de la technique.....	16
I.7.Caractérisation de MAP à l'état frais.....	16
I.7.1 Fluidité et déformabilité de MAP :.....	16
I.7.2 Méthodes de caractérisation :	17
I.7.2.1 Essai à l'état frais :.....	17
a)- Essai au mini cône (NF EN 196-1) :.....	17
- b)- Essai De Déformabilité De l'Entonnoir En V (V-Funnel).....	17
I.7.3 Essais à l'état durci :	18
- a)- La résistance à la flexion (NF P 15-471).....	18
- b)- La résistance à la compression (NF EN 196-1).....	19

Chapitre II: béton et mortier auto-plaçant à base de sable concassé (0/3) : Valorisation et caractéristiques

II.1. Introduction.....	20
II.2. Les sables	20
II.2.1. Définition	20
II.1.1. Sable alluvionnaire.....	20
II.2.2.2. Sable concassée.....	20
II.3. Eléments sur l'élaboration des sables concassé :	21
a)- Les principales opérations effectuées.....	21

b)- L'extraction.....	21
c)- Le concassage.....	22
d)- Le criblage.....	22
II.....Caractéristiques des sables de concassage.....	23
Utilisation du Sable de concassage en Algérie.....	23
Effet du sable de concassage sur l'état frais.....	26
Effet du sable de concassage sur l'état frais.....	26
Effet du sable de concassage sur l'état durci.....	26
Résistance à la compression.....	27
Chapitre III: Caractérisation des matériaux utilisés et Méthodes Expérimentales	
III.1 Introduction.....	29
III.2 Caractéristiques des matériaux III.2.1 Le ciment.....	29
a □ Caractéristique chimiques.....	29
b-Caractéristique physiques.....	30
III.2.2 Le sable.....	30
a- Analyse granulométrique (EN 933-1).....	30
b- Le module de finesse :NF P 18- 540.....	30
C- Equivalent de sable.....	31
D- La masse volumique absolue.....	33
E- La masse volumique apparente.....	33
III.2.3 Super plastifiants.....	33
III.2.4 L'eau de gâchage.....	34
III.3 Méthodes d'élaboration.....	34
A - Formulation des mortiers.....	34
b-Composition des mortiers.....	34
C-Malaxage des mortiers auto-plaçant.....	35
D- Confection des éprouvettes.....	36
III.4 Conservation des éprouvettes (selon la norme NF P18 438).....	36
III.5 Méthodes de caractérisation.....	36
A-Essai à l'état frais A-1 Essai au mini cône (NF EN 196-1).....	36
A.2. Essai d'écoulement au cône de Marsh.....	37
B.1 La résistance à la flexion (NF P 15-471).....	37
B.2 La résistance à la compression (NF EN 196-1).....	37
Chapitre IV : Résultats Et Discussion	
IV.1 Introduction.....	39
IV.2 Les résultats des essais à l'état frais:	39
IV.2.1 les essais de mini cône.....	39
IV.2.1 les essais de V-Funnel.....	40
IV.3 Les résultats des essais à l'état durci :	41
IV.3.1 la résistance à la compression.....	41
1 la résistance à la traction.....	41
Conclusion et recommandations.....	43

Introduction

Le béton autop-laçant (BAP) est un béton très fluide qui ne se sépare pas et peut se répandre en place, remplir le coffrage avec des armatures fortement encombrées sans aucune vibration mécanique [1]. Dans le BAP, les granulats contribuent pour 60 à 70 % du volume total. Le choix approprié des granulats a une influence significative sur les propriétés fraîches et durcies du béton [2]. Les effets de forme et de texture du granulat fin sont beaucoup plus importants que les effets du granulat grossier [3].

Le sable alluvionnaire (SA) est utilisé comme agrégat fin dans le béton depuis des siècles. Cependant, l'augmentation de la demande et l'épuisement du sable de rivière, ainsi que les restrictions imposées à l'exploitation du sable de rivière, ont entraîné la recherche d'une alternative appropriée.

Où l'une des alternatives les plus utilisées est le sable concassé - un sous-produit du processus de fabrication des granulats grossiers - .

En Algérie ; il existe environ 1010 carrières avec une capacité de production allant de 10 à 400 tonnes par heures et une production totale de 68 millions de tonnes par an. Ces carrières fabriquent 15 millions de tonnes de sable de concassage comme sous-produit, ce sable n'est utilisé que partiellement dans la construction des routes et rarement dans les bétons et mortiers, ce qui provoque un problème de stockage au niveau des carrières.

Le but principal de ce travail est la valorisation du sable de concassage de la région d'Ouargla pour l'utiliser comme alternative au sable alluvionnaire, et cela par l'étude des propriétés rhéologiques et mécaniques du MAP.

Notre mémoire est décomposée en quatre chapitres dont le premier présente une généralité sur les mortiers auto-plaçant. Le deuxième est dédié au béton et mortier auto-plaçant à base de sable concassé : valorisation et caractéristiques ainsi qu'une revue de littérature sur l'influence du sable de concassage sur les propriétés des mortiers et bétons ordinaires et auto-plaçant. Dans le troisième dernier chapitre les matériaux et le protocole d'essais utilisés pour réaliser l'étude expérimentale sont présentés. Un quatrième chapitre regroupe les résultats des essais réalisés sur MAP à base de trois types de sable.

Enfin, une conclusion qui regroupent les principaux résultats obtenus.

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

I.1 Mortiers auto-plaçant

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 [1].

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 [2].

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 superplastifiant et assez souvent un agent colloïdal.

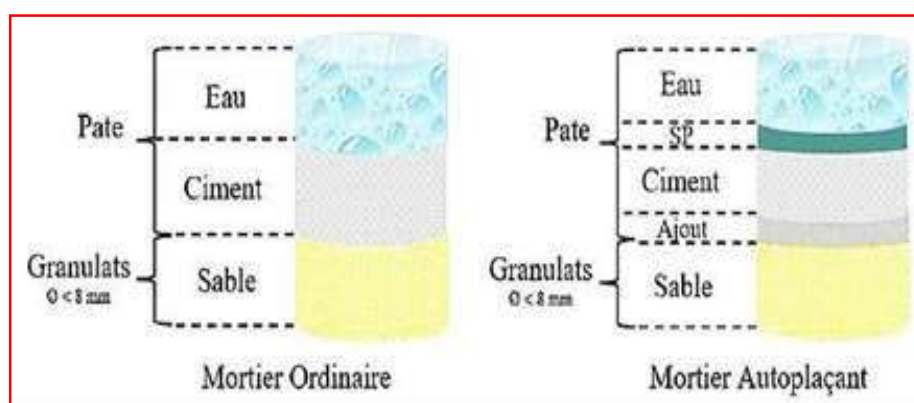


Figure (I.1) : Les constituants du mortier ordinaire et autoplaçant [1].

Par ailleurs, en Algérie, la plupart des bétons sont exclusivement fabriqués avec de sable alluvionnaire. Cependant, beaucoup de régions du pays souffrent d'un manque remarquable en sable alluvionnaire approprié. En outre, les exigences d'environnement, l'impact sur les coûts, l'épuisement des gisements alluvionnaires et l'éloignement des chantiers par rapport à ces gisements sont également des facteurs qui encouragent à chercher d'autres types de sables. Le sable concassé produit énormément par les carrières ainsi que le sable de dunes disponible de quantités inépuisables dans le sud du pays ne sont pas encore exploités

sérieusement dans la formulation des bétons. Ces sables, qui contiennent normalement des teneurs élevées en fines, se présentent comme une alternative attirante du point de vue technique, économique et écologique pour la formulation des bétons [1].

I.2 Constituants du MAP

La différence entre le mortier auto-plaçant et le mortier traditionnel ou le mortier vibrant réside dans ses performances fraîches et sa composition poudre fine minérale (additifs minéraux) et une quantité de super plastifiant.

Les composantes du MAP jouent un rôle très important dans la détermination des caractéristiques du MAP à l'état frais et durci. Par conséquent, il est nécessaire de savoir quel rôle chaque composant peut jouer et comment il affecte les performances du MAP [3].

I.2 1 Le Sable

Le sable forme une ossature inerte de mortier durci. Il doit avoir une bonne granulométrie et être propre, c'est-à-dire qu'il ne doit contenir aucune matière organique ni particules d'argile [4].

a. Choix du sable

Le choix du sable est un élément particulièrement important car il affecte fondamentalement les propriétés du mortier, c'est-à-dire l'ouvrabilité du mortier frais et la résistance du mortier durci. La granulométrie du sable grossier naturel (de 0/2 à 0/4) est continue et croissante ; en revanche, la granulométrie du sable fin naturel (0/1) est plus grande.

Le sable grossier contribue à la stabilité du mortier car vous pouvez le traiter avec une teneur en eau inférieure à celle du sable fin. Il réduit également le risque de retrait des mortiers et de fissures dans les mortiers frais et durcis.

Par conséquent, il est parfois recommandé d'ajouter une quantité limitée de médium au sable fin. Il améliore l'adhérence du mélange frais sans affecter négativement les performances finales du mortier [5].

b. Types de sable

✓ Sable alluvionnaire

Le sable alluvionnaire, également appelé roulé, se présente sous forme d'érosion. Il provient de roches meubles de sédiments alluviaux trouvés dans des canaux ou des

rivières et contiennent du silicium.

Le sable utilisé pour fabriquer du béton doit avoir une bonne granulométrie. Si les petits grains dominent alors il faut augmenter la dose en eau de béton. Si le sable est trop rugueux, la plasticité du mélange est suffisante et la mise en place est difficile[4].

✓ **Sable De Dunes**

Le sable de dune est le produit de roches qui sont lentement détruites sous l'action d'agents érosion tels que l'air et la pluie. Les dunes de sable peuvent être déplacées par l'érosion dans le sens du vent et s'entasser sur la pente opposée. Avec le soutien de ressources naturelles abondantes (Sahara), d'un coût minier quasi nul et d'une pureté apparente, il apporte une solution au problème de l'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un futur matériau [6].

✓ **Sable concassé**

Le sable concassé est le substrat rocheux et le sable est produit de la même manière qu'il se formerait naturellement : les roches sont concassées et pulvérisées en particules de plus en plus petites. A l'aide de différents types de broyeurs et d'un processus adapté, en fonction de l'application et de la spécification du sable à produire, des broyeurs à cône, à percussion à axe horizontal ou vertical et des broyeurs à cylindres peuvent être utilisés pour transformer les roches en tout type de granulats remplissant les exigences spécifiées [7].

I.2.2 Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire un matériau minéral finement moulu qui, gâché avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et de processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau [8].

L'hydratation commence dès que le ciment vient en contact avec l'eau. Cette réaction chimique produit des hydrates de ciment (résultat de l'hydratation), qui se forment à la surface de chaque particule de ciment. Ces hydrates croissent et se répandent, jusqu'au moment où ils se lient avec d'autres qui se sont fixés sur des particules de ciment adjacentes ou adhèrent à d'autres substances voisines. En raison de ce processus continu d'hydratation, le mélange se raidit, durcit et acquiert sa résistance mécanique. L'hydratation continue tant

que les conditions d'humidité et de température sont favorables (cure) et que les produits de l'hydratation disposent de l'espace nécessaire.

Le raidissement du béton se manifeste par une perte de maniabilité qui se produit habituellement dans les trois heures qui suivent le gâchage. Il est fonction de la composition et de la finesse du ciment, des adjuvants, des proportions du mélange et de la température. Ensuite, le béton prend et durci. L'hydratation et l'acquisition de la résistance ont lieu pour l'essentiel au cours du premier mois d'existence du béton mais continuent, quoique plus lentement, pendant une longue période, si les conditions d'humidité et de température sont adéquates. On a déjà enregistré des accroissements de résistance s'étalant de façon continue sur 30 ans et plus [9].

I.2.2.A Composition des ciments :

La composition du noyau du ciment exprimée en pour cent s'entend par la somme des constituants principaux et des constituants secondaires hors le sulfate de calcium et les additifs éventuels.

A) Constituants principaux :

➤ Clinker Portland (C)

C'est un constituant obtenu à partir de la cuisson à haute température, supérieure à $1\ 450^{\circ}\text{C}$, d'un mélange approprié de calcaire 80% et d'argile en proportion moyenne de 20 %.

Les silicates et aluminates hydrauliques formés lors de cette cuisson (clinkérisation) sont représentés dans le tableau N1. [8]

Tableau (I.1) : Composition minéralogique de clinker [45]

Nom particulier	Constituants	Composition et abréviation	Pourcentage (%)
Alite	Silicate tricalcique	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_3S)	45-65
Bélite	Silicate dicalcique	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_2S)	15-25
Célite	Aluminate tricalcique	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A)	0-15
	Alumino-ferrite tétracalcique	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{F}_2\text{O}_3$	0-10

Le clinker Portland est un matériau hydraulique qui doit être constitué d'au moins deux tiers, en masse, de silicates de calcium $[(\text{CaO})\ 3\text{SiO}_2]$ et $[(\text{CaO})\ 2\text{SiO}_2]$, la partie restante contenant de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3), de l'oxyde de fer (Fe_2O_3) et d'autres oxydes. Le

rapport en masse $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)$ ne doit pas être inférieur à 2,0. La teneur en oxyde de magnésium (MgO) ne doit pas dépasser 5,0 % en masse.

Les propriétés des ciments varient en fonction des pourcentages respectifs de ces différentes phases:

Le C_3S qui libère au cours de l'hydratation une quantité de chaleur voisine de double de libérée par le C_2S , donne au ciment une résistance rapide et élevée ; cette phase est responsable des résistances aux premiers âges.

Le C_2S permet au ciment d'atteindre des résistances élevées à moyen et long terme ; à fort pourcentage, la chaleur d'hydratation dégagée par le phénomène de prise est plus faible.

Le C_3A est la phase présentant la plus grande vitesse de réaction initiale d'où l'obtention de résistances initiales élevées. C'est la phase dont la réaction d'hydratation est la plus exothermique. De ce fait elle contribue essentiellement à la prise de la pâte de ciment alors qu'elle contribue peu à la résistance finale. Elle est ailleurs facilement attaquée par les sulfates.

Le C_4AF , qui forme une solution solide de C_2A et C_2F réagit moins vite que C_3A ; son rôle est mineur dans les réactions de durcissement du ciment [10].

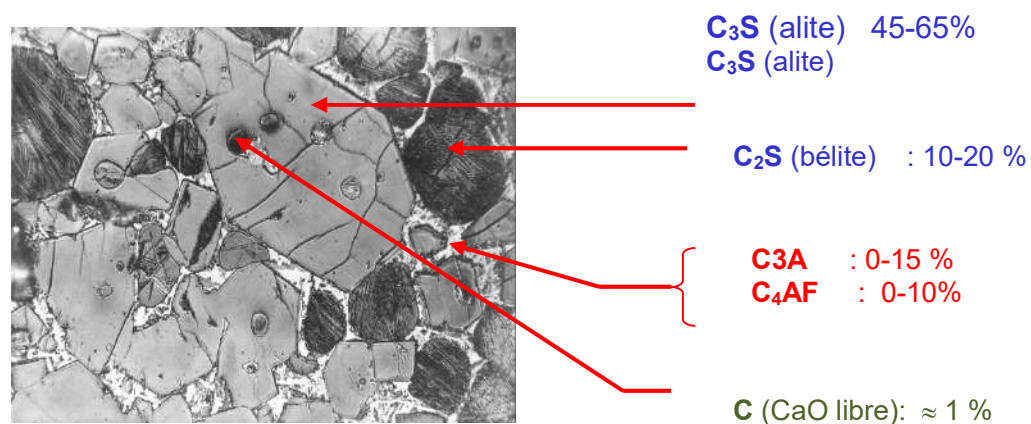


Figure (I.2) : MEB des minéraux principaux du clinker

Composition chimique de clinker : Présente dans le tableau N2:

Tableau (I.2):Composition chimique de clinker[45]

Les oxydes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	F ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	Mn ₂ O ₃	TiO ₂	Cl	PAF
Minimum (%)	20.0	3.7	1.7	61.0	1.7	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.15	0	0.2
Maximum (%)	24.3	7.1	5.7	68.1	4.0	1.4	0.7	1.3	0.6	1.2	0.4	0.1	1.1

I.2.3 L'eau de gâchage

L'eau a deux fonctions : d'une part, elle sert à hydrater le ciment ; d'autre part, elle fluidifie la pâte [14].

Certaines eaux sont utilisées pour l'hydratation du ciment en étant contenues dans la composition chimique de l'hydrate ou retenues dans les pores de l'hydrate. Cette eau n'aide pas à la fluidification de la pâte car elle est fixée physiquement et chimiquement par l'hydrate. L'eau ne participe pas à l'hydratation du ciment [11].

I.2.4 Ajout minéraux

Les ajouts additifs pour ciment sont des matériaux qui peuvent améliorer les performances du mortier frais, du mortier hydraulique ou pouzzolanique ou des deux lorsqu'ils sont combinés avec du ciment Portland. Des exemples courants sont Les pouzzolanes naturelles, les cendres volantes, le laitier de haut fourneau granulé broyé et les fumées de silice [15].

Une addition minérale est définie par la norme européenne EN 197-1 [13] comme étant, un matériau minéral finement divisé utilisé dans le béton afin d'améliorer certaines propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières [16].

Il existe deux catégories des ajouts minérales :

- Les fines actives : additions à caractère pouzzolanique ou hydraulique latent (cendres volantes, fumée de silice, laitier...etc.).

- Les fines inertes : comme les fillers calcaires, l'objectif de leur utilisation est d'améliorer la compacité du béton et donc sa résistance.

✓ Avantages économiques et environnementaux

L'utilisation généralisée des additions minérales dans le monde contribue aussi à réduire la production du ciment qui nécessite une énergie importante, donc à réduire la quantité de combustible utilisée pour l'industrie du ciment, ainsi que l'émission du CO₂ de l'industrie cimentière dans la nature [17].

✓ Avantages techniques

- améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité des bétons, en raison de leurs petites dimensions.
- limiter le ressuage du béton et à augmenter la cohésion de l'ensemble.
- Les additions minérales réduisent la chaleur dégagée du béton lors de l'hydratation, ce qui diminue la fissuration d'origine thermique [17].

✓ Classification des ajouts minéraux dans le ciment Portland

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 EN197-1 en ajouts minéraux inertes et actifs [18]. Ils se divisent selon leur réactivité comme le montre le tableau ci-dessous.

Tableau (I.3): Classification des ajouts selon leur réactivité [19]

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

- L'utilisation des ajouts en Algérie

Le moyen efficace d'augmenter la production de ciment est d'utiliser des additifs très bon marché disponibles en grande quantité en Algérie, comme le laitier d'El – Hadjar, le calcaire et la pouzzolane naturelle de Beni – Saf. Le tableau I.6 donne une idée sur les ajouts utilisés dans les cimenteries algériennes [12].

Tableau I.4 : Utilisation Des ajouts dans les cimenteries algériennes [12]

Entreprise	Cimenterie	Ajouts Utilisés
ERCE	Ain Touta	Pouzzolane
	Ain El Kebira	
	Hamma Bouziane	
	H'djar Essaoud	Laitier
	Tebessa	
ERCC	Meftah	Tuf / Calcaire
	Raiss Hamidou	Poussière
	Sour EL Ghozlane	Calcaire/Tuf
ECDE	Chlef	Calcaire
ERCO	Beni Saf	Pouzzolane
	Zahana	
	Saida	

Super-plastifiant

La fonction principale de l'agent réducteur d'eau est la floculation des particules de ciment. La répulsion électrostatique est de neutraliser la charge et/ou la répulsion spatiale à la surface des particules. En raison de la longue chaîne moléculaire, l'eau piégée par les floes est de nouveau disponible pour la maniabilité du béton il est alors possible de mettre en œuvre des bétons très fluides, avec des rapports E/C faibles [17].

- Réduisent considérablement la demande en eau de 12 % à 30 % et la teneur en liants,
- Produisent des bétons avec une ouvrabilité normale ou améliorée voir ème fluide
Affaissement > 190 mm selon ASTM 1017 et cohésif.
- La diminution du dosage en eau et du rapport eau/liants peuvent permettre :
- Une résistance à la compression de plus de 70 MPa.
- Une augmentation des gains de résistance au jeune âge.
- Une meilleure durabilité.

- Une plus grande résistance à la pénétration des ions chlore [20].

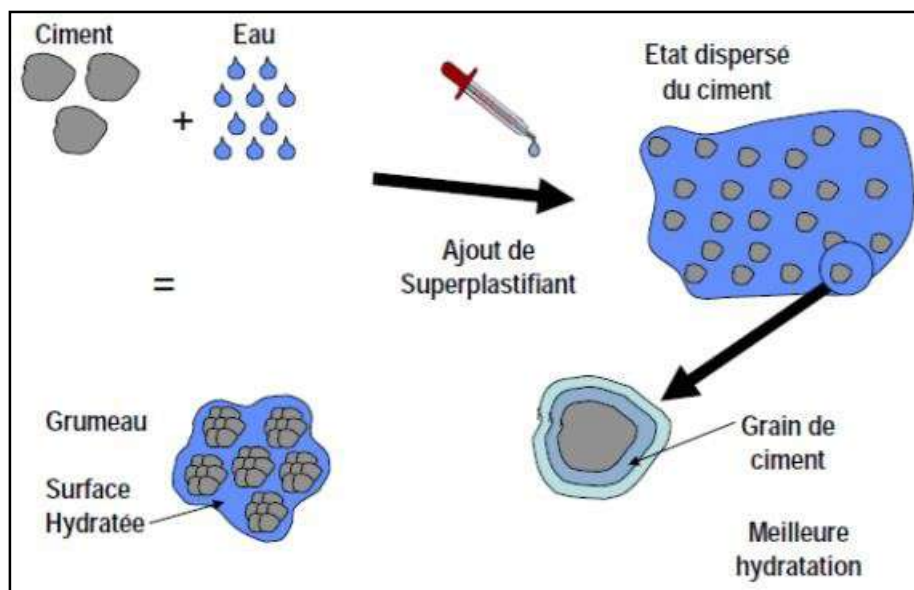


Figure (I.3) : L'effet du super plastifiant sur les grains de ciment [20].

I.3 Formulation des MAP

I.3.1 Différentes méthodes de formulation

I.3.1 Méthode Japonaise : Considérée comme la méthode générale de formulation, l'approche japonaise a été développée à l'Université de Tokyo par Okamura, Ozawa et al [21], [22], [23], [24], [25]. En général, cette approche consiste d'abord à fixer le dosage de gravier dans le béton et celui du sable dans le mortier, ensuite de procéder à l'optimisation de la pâte de ciment afin de donner au béton résultant les meilleures performances et pour satisfaire les critères d'ouvrabilité. Le volume du gravier est fixé à la hauteur de 50% du volume des solides contenus dans le béton. Selon les auteurs, ce pourcentage permet d'éviter les risques de blocages, à condition que le mortier du béton réponde correctement aux critères d'ouvrabilité testés. En effet, pour assurer une bonne ouvrabilité, le volume du sable est fixé à 40% du volume total de mortier.

Toutefois, le volume de gravier dans cette méthode est généralement sous-dimensionné pour pouvoir éviter les risques de blocages, ce qui peut conduire à des problèmes de retrait (le volume de la pâte étant important). Le béton obtenu est ainsi loin d'un optimum économique. De ce fait, plusieurs modifications et différents développements sont apportés à cette méthode. En effet, Edamatsu et al [26] ont réussi grâce à l'utilisation d'additions minérales (fillers calcaire, cendres volantes, laitiers de hauts fourneaux) à augmenter le

dosage de sable dans le mortier et à réduire donc le volume de pâte, et particulièrement du ciment, dans le béton. Travaillant avec des matériaux locaux, d'autres auteurs ont trouvé qu'il est possible d'augmenter le volume de gravier dans le béton à la hauteur de 60% du volume solide total, et obtenir un béton autoplaçant. Le volume total de pâte est réduit de 10% par rapport à celui obtenu avec la méthode générale.

I.3.2 Méthode Suédoise: La méthode de formulation suédoise est développée par CBI (Cement och Betong Institutet) [26], [28],[29] et se caractérise par la prise en compte des conditions des chantiers. En effet, cette approche est basée sur l'évaluation des risques de blocage des granulats dans les milieux ferraillés. Elle permet d'optimiser la taille maximale des granulats par rapport à l'espacement entre les armatures, et le volume des granulats dans le béton. Le principe de cette méthode s'appuie sur des tests effectués par différents auteurs [30],[31],[32] sur des mélanges de pâte de ciment et de granulats de différentes tailles, passant à travers différents espacements d'armatures. Pour chaque taille de granulats, ils ont montré qu'il existe une teneur volumique critique de granulats en deçà de laquelle le risque de blocage est nul et au dessus de laquelle le blocage est systématique. Cette teneur volumique critique est fonction de l'espacement entre les armatures (par rapport à la taille des granulats), et de la forme des granulats (roulés ou concassés).

Cette méthode suppose que le phénomène de blocage est indépendant de la nature de la pâte, pourvu que celle-ci soit suffisamment fluide. Les principales modifications et extensions de la méthode CBI sont apportées par autre auteur, qui a proposé un critère supplémentaire pour obtenir un béton autoplaçant. Il s'agit d'ajouter un volume de pâte pour assurer un espacement minimal suffisant entre les granulats afin de réduire les frictions et les frottements entre les granulats.

I.3.3 Approche LCPC : L'approche développée en France au LCPC par de Larrard et Sedran est basée sur le modèle d'empilement compressible [33],[34] qui passe par l'optimisation de la porosité du système formé par les grains solides. D'après les auteurs, un arrangement optimal du squelette granulaire permet d'obtenir une meilleure résistance et une plus grande ouvrabilité.

Le modèle permet de prévoir la compacité du squelette granulaire à partir des caractéristiques

des constituants telles que la densité apparente, les proportions du mélange, les distributions granulaires et la compacité propre. Les auteurs ont modélisé le comportement à l'état frais du béton à partir de la compacité de son squelette granulaire. Cette approche, basée sur la

synthèse d'une quinzaine d'années de recherches est simplifiée par la mise en œuvre d'un logiciel (Bétonlab Pro 2) prenant en compte tous les paramètres de calcul de cette démarche [44], et permettant de déterminer des formulations de différents types de bétons (Bétons à haute performance, bétons ordinaires, bétons secs pour démoulage immédiat, bétons autoplaçants).

Des extensions de cette méthode de formulation sont effectuées par les mêmes auteurs [34] afin de prendre en compte plus de paramètres tels que les propriétés des bétons à l'état durci (retrait, fluage, module d'élasticité, résistance à la traction et à la compression).

I.3.4 Autres méthodes

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

I.4 Caractéristique des BAP :

I.4.1 A l'état frais :

a)- Essai d'étalement (slump flow) : L'essai d'étalement est utilisé pour caractériser la fluidité du béton. C'est une variante de l'essai d'affaissement sur cône d'Abrams qui consiste à mesurer (en utilisant le même matériel) le diamètre d'étalement de la galette de béton sur deux côtés perpendiculaires les valeurs sont relevées en millimètres.

La figure (I.01) montre les étapes d'essai d'étalement



Figure (I.4) : Détermination de l'étalement

Les valeurs d'étalement préconisées pour un BAP (NF EN 206-1) se situent entre 600mm et 800mm, Ainsi trois classes d'étalement ont été définies.

Tableau (I.5) :
les classes
pour le BAP

Classe	Etalement au cône d'Abrams en mm
SF1	550 à 650
SF2	660 à 750
SF3	760 à 800

Les valeurs et
d'étalement

b)- Essai de boîte en L (L- box test) : La boîte en L permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage.

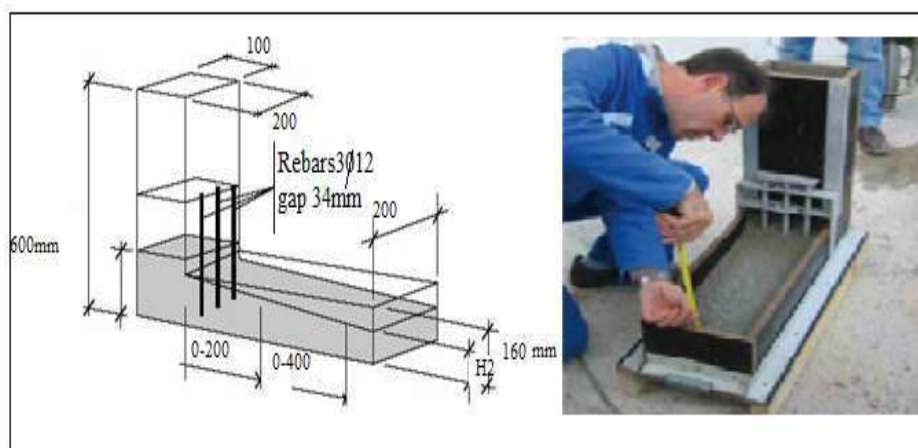


Figure (I.5) : Mesure du taux de remplissage (L- box test)

Après écoulement du béton, on mesure la différence de hauteur dans les parties verticale (H1 côté trappe) et horizontale (H2).

Le résultat de l'essai s'exprime par le taux de remplissage $H2/H1$ qui traduit la capacité à circuler en milieu confiné. Une valeur de ce rapport supérieure à 0,8 traduit un bon écoulement du BAP.

c)- Essai stabilité eu tamis : Cet essai vise à quantifier le risque de ségrégation des BAP. Il permet de compléter l'essai de biote en L.

On prélève un échantillon de 10 litres de béton, après 15 minutes d'attente, on verse sur un tamis d'ouverture 5mm, une masse de 4,8Kg de béton et on relève la masse de l'échantillon ainsi que celle du fond avec la laitance.



Figure (I.6) : Essai de stabilité eu tamis

D'une formulation d'un béton autoplaçant sont divisés en trois classes :

- Si $0 \% < p < 15 \%$: stabilité satisfaisante.
- Si $15 \% < p < 30 \%$: stabilité critique.
- Si $30 \% < p < 100 \%$: stabilité mauvaise.

I.4.2 A l'état durci:

Le béton doit être soumis à différents essais mécaniques de caractérisation :

- Les essais de compression.
- Les essais de traction par flexion.

a)- Les essais de compression:

Les essais de mesure de la résistance à la compression sont réalisés sur des éprouvettes cylindriques 11x22 cm ou 15x30 cm conformément aux prescriptions de la norme. Ce test fournit la force de compression [N] qui génère la rupture de l'échantillon. La contrainte de compression à la rupture [MPa] est déduite de cette force en divisant par la surface de la section sollicitée. la résistance à la compression est obtenue par l'application de la formule I :

$$R_c = F_c / b^2 \dots \dots I$$

b)- Les essais de traction par flexion:

Cet essai très utilisé permet de simuler le type de sollicitation le plus courant dans les éléments des ouvrages . Les éprouvettes utilisées pour ce type d'essai sont propre uniquement aux mortiers, elles sont prismatiques de dimensions 4x4x16 cm. L'objectif de l'essai a pour but de connaître la résistance à la flexion avec la relation II:

$$R_f = 1.5 * F_f * L / b^3 \dots \dots II$$

I.5 Méthode de formulation du MBE:

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

propriétés visées. [29]

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

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

I.6 Méthode de mortier équivalent :

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

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

Ses constituants :

- Ciment ;

Sable, gravillons ;

- Eau de gâchage ;
- Adjuvant ;
- Additions.

Sa mise en œuvre :

- Températures du béton frais et extérieur ;
- Condition de coulage et de serrage ;
- Durée et conditions de transport.

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

I.6.1. Technique du mortier de béton équivalent « MBE » :

I.6.1.1. But de la technique :

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

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

I.6.1.2. Principe de la technique :

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

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

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

Ces éléments préalables peuvent être complétés par la connaissance des contraintes particulières imposées par le chantier (durées de transport, variations de températures, ...). Les différents essais rhéologiques qui seront appliqués sur le mortier restent du même type que ceux appliqués sur le béton correspondant. Ainsi, les essais d'affaissement et d'étalement au cône d'Abrams du béton correspondant les essais d'affaissement et d'étalement au mini cône du mortier de béton équivalent. Conditions de coulage, ...).

I.7. Caractérisation de MAP à l'état frais

I.7.1 Fluidité et déformabilité de MAP :

La déformabilité du mortier est définie comme étant la capacité de mortier de subir un changement de forme sous son propre poids. La déformabilité élevée est exigée de sorte que le mortier. Afin d'obtenir une déformabilité adéquate, il est important de réduire au minimum le frottement inter sable du mélange. La réduction de la quantité du gros sable et l'augmentation du volume de pâte sont exigées pour obtenir la déformabilité désirée des MAP. Une autre manière de réduire le frottement inter sable est obtenu avec l'incorporation d'additions minérales telles que les fillers.

La déformabilité du béton est directement liée à la déformabilité de la pâte. Pour augmenter la déformabilité de la pâte et réduire le frottement inter sable, des super-plastifiants haut-réducteur d'eau (SPRE) sont incorporés dans les mélanges MPA. Ces SPRE permettent de maintenir un rapport eau- matières cimentaires relativement bas tandis que la fluidité reste élevée. La déformabilité de la pâte est augmentée aussi en réduisant la viscosité. Un mortier fortement fluide peut être obtenu sans réduction significative de sa cohésion en améliorant sa résistance à la ségrégation. En général, le critère de fluidité- stabilité est assez difficile à résoudre, mais, au moyen d'agents colloïdaux, de teneurs élevées en ajouts minéraux ou de teneurs appropriés en sable, la stabilité et la déformabilité peuvent être assurées

I.7.2 Méthodes de caractérisation :

I.7.2.1 Essai à l'état frais :

a)- Essai au mini cône (NF EN 196-1) :

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



Figure (I.7) : Essai au mini cône

Le diamètre est mesuré suivant les deux détractions perpendiculaires.

$$D_{moy} = (d1 + d2 / 2).....III$$

b)- Essai De Déformabilité De l'Entonnoir En V (V-Funnel) :

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

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 7 et 11 secondes, caractérise la viscosité du mortier. Si le mortier s'écoule plus rapidement, c'est que sa viscosité est trop faible.

Bien que l'essai soit conçu pour mesurer la fluidité, le résultat est affecté par d'autres propriétés du MAP que celle de l'écoulement. La forme de cône inversée fera bloquer l'écoulement du mortier si, par exemple il y a trop gros granulat. Par contre un temps élevé d'écoulement peut être associé à une faible déformabilité due à une viscosité élevée de la pâte et ou un frottement inter granulaire élevé.

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



Figure (I.8) : Essai De Déformabilité De l'Entonnoir En V (V-Funnel).

I.7.3 Essais à l'état durci :

a)- 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.

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

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 (I.9) : Essai de la résistance à la flexion

b)- La résistance à la compression (NF EN 196-1) :

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

$$\sigma = (P_c / S).....IV$$

σ : Contrainte de compression

P_c : la charge de rupture à la compression.

S : Section transversale de l'éprouvette.



Figure (I.10) : Essai de la résistance à la compression

Chapitre II: béton et mortier auto-plaçant à base de sable concassé (0/3) (Valorisation et caractéristiques)

II.1. Introduction :

L'augmentation de la demande de sable de construction en Algérie, l'incapacité des carrières algériennes à fournir du sable fin et l'arrêt programmé de l'utilisation du sable de plage, conduisant à un problème écologique majeur pour l'Algérie, sont autant de raisons qui poussent à continuer aujourd'hui à chercher des matériaux de substitution pour faire face à la demande croissante d'agrégats pour mortier et béton. Et malgré les préconisations d'utilisation du sable concassé, sauf qu'utilisation exclu de toute utilisation dans les travaux de construction, malgré le potentiel économique et environnemental que cette solution pourrait apporter. la zone de Ghardaïa vive cette situation et doit aujourd'hui chercher des matériaux de substitution pour faire face à la demande croissante en sables ,qu'ils ont transportés en grandes quantités surtout au Nord du pays (Algérie) après l'interdiction d'exploitation du sable de la mer Nous nous intéressons donc à la récupération de ce type de sable concassée.

II.2. Les sables :

II.2.1. Définition :

Le sable est un matériau granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0.063 (limon) et 2 mm (gravier) selon la définition des matériaux granulaires en géologie. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths) ainsi que des débris calcaire de coquillage et de corail. [35]

II.1.1. Sable alluvionnaire :

Les sables naturels peuvent être issus des rivières. Également appelé « sable des rivières » ou « sable alluvionnaire », il se caractérise par sa forme arrondie et sa dureté, et il provient de l'action de l'eau sur les rochers.

II.2.2.2. Sable concassée :

Les sables de concassage se composent de la fraction fine de granulats provenant du concassage et du criblage de pierres et de roches naturelles. Leurs dimensions se situent entre 0 et 5 mm. Les sables de concassage sont disponibles dans les carrières (calcaire, grès et porphyre) de Concasseur Granulats. L'utilisation des sables est déterminée par la dimension des grains et les caractéristiques intrinsèques (mécaniques et chimiques) de la roche dont ils proviennent. En règle générale, ils s'utilisent pour des sous-fondations et fondations, dans des applications liées au ciment, par exemple du béton, et pour la production de mélanges bitumineux. [36]

Le sable concassé dépend de la roche maternelle en composition chimique, minéralogique, description pétrographique, dureté, stabilité physique et chimique et même de la couleur. Mais les autres propriétés sont différentes de la roche maternelle la forme, la texture de la surface, l'absorption d'eau,...etc. . [37]

II.3. Eléments sur l'élaboration des sables concassé :

a)- Les principales opérations effectuées : L'élaboration de sables concassé à partir de roches meubles ou massives nécessite un certain nombre d'opérations. Les caractéristiques géométriques (granularité, forme) et de propreté des granulats dépendent du processus d'élaboration dans les installations de traitement.

b)- L'extraction L'ensemble des opérations d'extraction de la roche dans le gisement peut être défini dans un plan d'exploitation qui traite:

- de la reconnaissance du gisement.
- de l'enlèvement de la découverte.
- des méthodes d'extraction.
- de l'organisation des fronts.
- de l'homogénéisation des produits extraits et, s'il y a lieu, de la dilution

(opération qui consiste à diluer de façon contrôlée un faciès altéré ou réactif vis-à-vis des alcalins par mélange avec une extraction de matériaux sains, de façon que les produits élaborés soient conformes aux spécifications des normes, non réactifs et homogènes).

Dans les roches massives, l'extraction se fait par minage suivant des plans de tir définis permettant d'obtenir un produit de blocométrie de l'ordre de 0/1000 mm. (Voir schéma d'extraction et élaboration des granulats).

c)- **Le concassage** La fragmentation des matériaux (comminution) se fait par concassage et broyage, la distinction entre les deux termes relevant de l'usage. Les producteurs appellent concassage la fragmentation grossière et broyage l'élaboration de sables, petits gravillons et fillers. Les appareils utilisés se divisent en trois grandes catégories :

- les appareils travaillant par écrasement lent.
- les appareils travaillant par chocs.
- les appareils à effets multiples, travaillant éventuellement par gravité.

L'ouverture d'entrée (largeur et prise) conditionne la taille des plus gros éléments admis à l'alimentation et l'ouverture de sortie (appelée quelquefois réglage) la granularité du produit sortant.

d)- **Le criblage** C'est l'opération qui permet de séparer et de classer un ensemble de grains $0/D_n$ provenant de l'extraction et/ou du concassage en sous-ensembles $0/D_i$ ou d_i/D_i . Elle se fait au moyen de cribles vibrants inclinés, constitués par un caisson équipé de grilles mis en vibration, le plus souvent, par un arbre balourdé, le tout étant supporté par une suspension souple (ressorts, tampons en caoutchouc). Les grilles subissent un mouvement vibratoire (dont l'amplitude dépend du balourd) imposé aux matériaux qui sont ainsi secoués et avancent par gravité. L'intensité du secouage (couple vitesse amplitude) varie en fonction du type de criblage. [38]



Figure (II.1): station de concassage.

II. 4 Caractéristiques des sables de concassage

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

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

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

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

II.5 Utilisation du Sable de concassage en Algérie

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

L'Algérie a élaboré en 2005 [Loi n° 05-12, 2005] une instruction ministérielle organisant la généralisation progressive de l'usage des sables de concassage dans le bâtiment, en précisant les spécifications techniques auxquelles doivent répondre ces matériaux. Une cartographie nationale a été mise en place en vue de répertorier les carrières susceptibles de fournir des sables de concassage, et des titres miniers ont été attribués pour la production exclusive de ce type de sable.

Depuis l'année 2005, la production de sable concassé est en croissance continue, permettant ainsi de répondre à la demande croissante du marché du bâtiment et des travaux publics. De 2.72 Millions de M³ de sable concassé produits en 2005, la production a presque quintuplé, en passant à 13.36 Millions de M³ en 2009, soit une hausse de +391.2%. (Figure II.2)

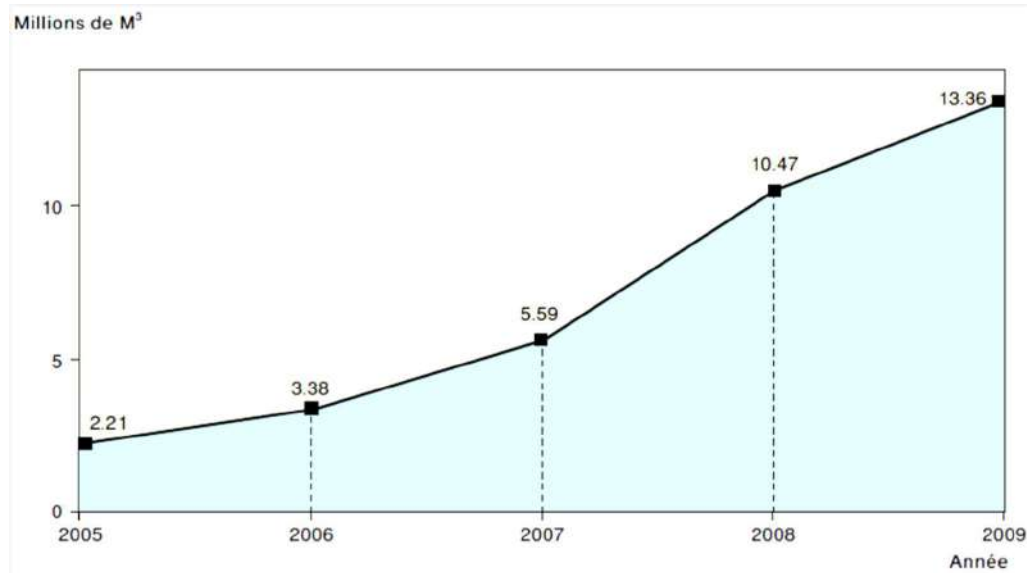


Figure (II.2): Evolution de la production de sable concassé période 2005 – 2009 (Bilan des activités minières, 2008)

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

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

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

II.6 Effet du sable de concassage sur l'étatfrais

Ouvrabilité

Skender [39] a étudié l'effet des fines calcaires substituées au sable de concassage sur l'ouvrabilité du béton (Figure 2.2), le pourcentage des fines calcaires utilisé est de 0, 5, 15 et 25%. Les résultats montrent que l'ouvrabilité du béton diminue avec l'augmentation du taux de fines calcaires indépendamment du type de ciment utilisé.

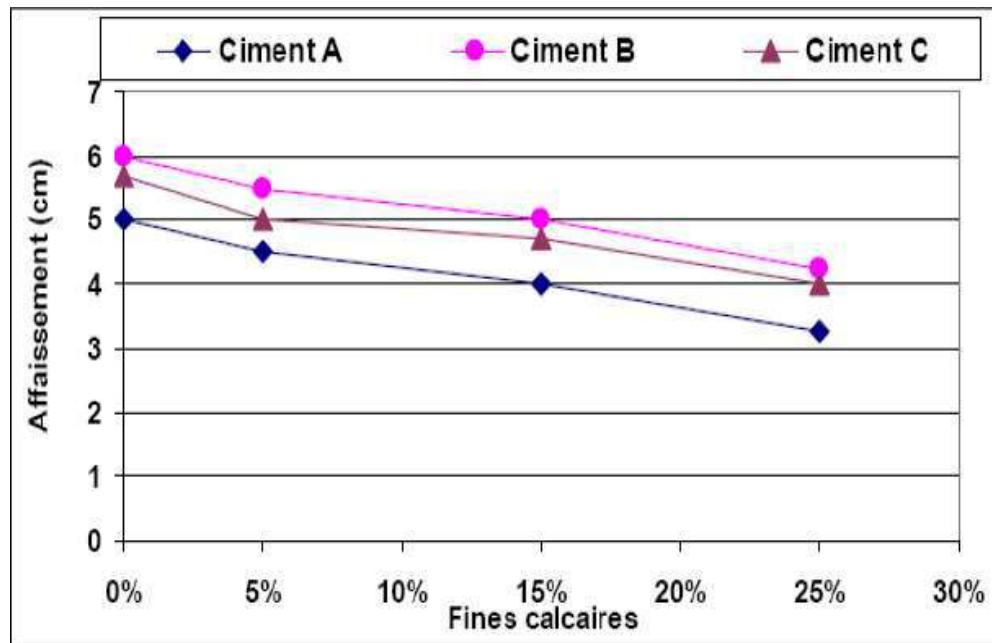


Figure (II.3): Effet des fines calcaires sur l'affaissement du béton [39]

Bonavetti *et al.* [40] ont étudié l'effet des fines substituées au sable sur les propriétés physiques et chimiques des mortiers. Trois types de fines de nature quartz, granite et calcaire ont été utilisées avec un taux de fines variant de 0 à 20%. Les résultats de cette étude ont montré que la demande en eau augmente avec l'augmentation du pourcentage des fines dans le mortier. En effet, cette augmentation peut être attribuée à la grande surface spécifique des fines. Pour les mortiers avec 5 % de fines, l'augmentation de la demande en eau est insignifiante (< à 2%). Cependant, une augmentation rapide de la demande en eau a été observée lorsque le pourcentage des fines dépasse 10%. Les mortiers avec 20% de fines de granite et de calcaire présentent une augmentation de la demande en eau de 17%.

AZRAR *et al.* [41] ont étudié l'écoulement de MAP en fonction de pourcentage de fine, les résultats trouvés montrent que le temps d'écoulement diminue avec l'augmentation de dosage

des filles calcaires , ils constatent que cette diminution est due à la présence du superplastifiant qui joue le rôle de fluidifiant et aussi l'ajout des fines calcaires qui diminue les frottements intergranulaires , et donc augmente la fluidité et réduit le temps d'écoulement. (FigII.4).

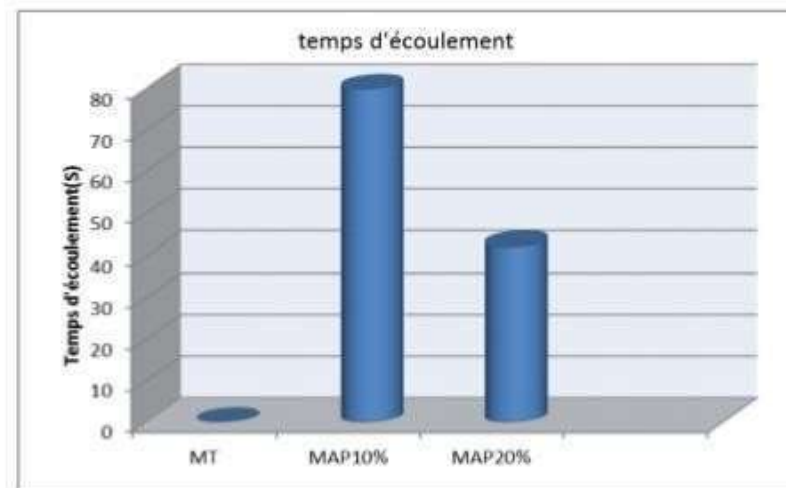


Figure (II.4) : Histogramme des temps d'écoulement des trois mortiers élaborés.[41]

II.7 Effet du sable de concassage sur l'état durci

A-Résistance à la traction par flexion

La résistance à la traction par flexion des mortiers à base de sable de concassage augmente avec l'âge quelque soit le type de ciment utilisé. Cette augmentation est due à l'évolution de l'hydratation avec le temps. Pour les mortiers contenant des fines calcaires et ciment, un accroissement de la résistance par rapport au mortier de référence à l'âge de 2 jours est observé [42]. Le taux de cette augmentation est de l'ordre de 14, 18 et 39% pour 10, 15 et 20% de filler, respectivement. La résistance à la traction des mortiers avec 15% de fines présente une meilleure performance par rapport aux autres mortiers avec et sans fines à l'âge de 90 jours. Cependant, dans le cas des mortiers confectionnés avec le ciment CEM II 42.5, une chute de résistance à la traction est enregistrée à tous les âges pour tous les pourcentages de fines à l'exception du mortier de 5% de fines ou un accroissement de 3% de la résistance par rapport aux mortiers de référence à été observé. A l'âge de 90 jours, Menadi (2008) a trouvé une réduction de la résistance à la traction par flexion. En effet, cette diminution de la résistance à la traction par

flexion est due à l'effet de dilution résultant de l'ajout des fines dans le sable (figure II.5).

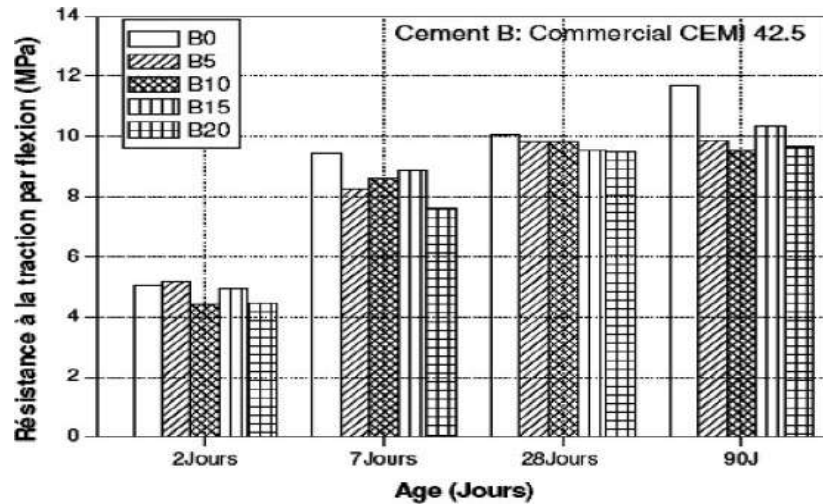


Figure (II.5) : développement de résistance à la traction par flexion à différents âges

[42]

La résistance à la traction des mortiers et bétons diminue avec l'augmentation de pourcentage de fines (Figure 2.10). Une chute remarquable de la résistance est observée pour les mortiers avec fines calcaires. Cependant, des résistances comparables sont notées pour les bétons à bases fines par rapport au béton de référence (Benna, 1998).

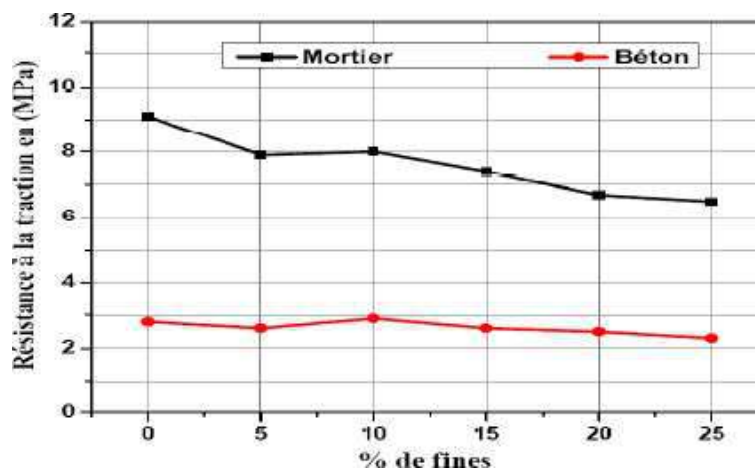


Figure (II.6) : Résistance à la traction des mortiers et bétons en fonction de pourcentages de fines

[43]

B-Résistance à la compression

Plusieurs études sont conduites (Khatib et al., 2009 ; Menadi, 2008) sur l'influence de fines

calcaires présentes dans le sable de concassage sur la résistance à la compression des mortiers. Pour trois types de ciment utilisés avec des pourcentages de fines calcaires de 0, 5, 10, 15 et 20% et un rapport E/C de 0,55, les résultats ont montré que la résistance à la compression augmente à jeune âge pour 10 à 15% de fines calcaires selon les différents types de ciment (Khatib et *al.*, 2009) . Cette augmentation de la résistance à la compression au jeune âge est due à l'effet du filler, à l'accélération de l'hydratation de C_3A et C_3S , au changement de la morphologie du gel C-S-H et à la formation des carboaluminates de la réaction du $CaCO_3$ avec le C_3A . Cependant, la diminution de la résistance à la compression des mortiers avec fines calcaires pour les différents types de ciment est due à l'effet de dilution à long terme.

Benyamina [44] a étudié l'évolution de la résistance à la compression des mélanges de BAP avec et sans teneur en fines calcaires aux différents âges (figure II.7) Il a obtenu que les mélanges avec fines calcaires présentent une résistance à la compression à 28 jours, inférieure à celle du béton témoins. En effet, il a observé une augmentation de la résistance à la compression pour les mélanges de BAP avec fines calcaires aux âges de 3 et 7 jours par rapport au béton témoin. Cette augmentation peut être due, d'une part, à l'augmentation de l'hydratation des grains de ciment due aux sites de nucléation créés par les fillers calcaires, et d'autre part, à l'effet de fillers.

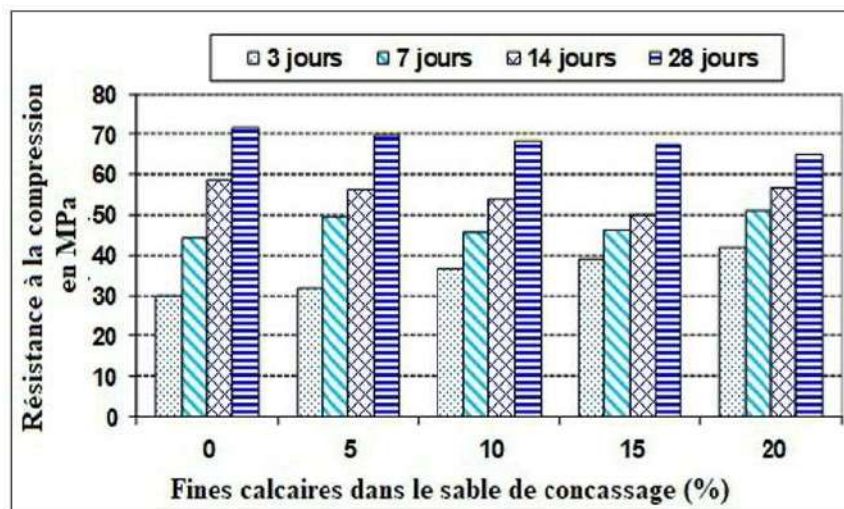


Figure (II.7): Relation entre la résistance à la compression et la teneur en fine de calcaire. [44].

Chapitre III: Caractérisation des matériaux utilisés et Méthodes Expérimentales

1. Introduction

Il est très important de connaître les propriétés et les caractéristiques des matériaux constitutifs du béton et mortier, comme on le sait, le mortier est un matériau composite composé de plusieurs matériaux différents tels que du sable, de l'eau, du ciment et des adjuvants. Ces matériaux ont des propriétés et des caractéristiques différentes telles que le poids unitaire, la gravité spécifique et la gradation de taille. Les essais pertinents sur ces matériaux ont été effectués pour concevoir le mélange de mortier.

2 Caractéristiques des matériaux

2.1. Le ciment

Un seul type de ciment a été utilisé pour des différentes compositions : CEMII/B 42,5 N provenant de la cimenterie de LAFARGE de M'sila de nom commercial MATINE dont les compositions chimiques et minéralogiques ainsi les caractéristiques physico-mécanique sont présentées dans les tableaux suivants :

a) Caractéristique chimiques :

Les analyses chimiques et minéralogiques du ciment sont représentées dans les tableaux suivants :

Tableau (III.1) : Analyse chimique du ciment Matine [45] .

Analyses Chimiques					
SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	
17,8	4,4	2,6	61,2	1,8	
SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	Pert f	
2,6	0,6	0,1	0	9,3	
Total					
100,4					
Analyse minéralogique de ciment Matine					
Alite sum	Belite beta	Alum sum	Ferrite	Portlandite	Calcite
45.8	14.3	2.6	10.0	0.2	19.8

b) Caractéristique physiques :**Tableau (III.2) :** Caractéristique physico-mécanique du ciment Matine [45].

Refus 45 μ		9.1
Refus 90 μ		0.9
%H ₂ O		28.4
Début de prise		195.0 min
Fin de prise		260.0 min
Exp		1.0
Résistance à la flexion (MPa)	2j	4.4
	7j	6.1
	28j	7.3
Résistance à la compression (MPa)	2j	22.1
	7j	36.1
	28j	46.6
Prism poids 2j		572.0
Prism poids 7j		571.9
Prism poids 28j		572.0

2.2. Le sable

Dans les mélanges de notre étude, on a utilisé trois types de sable à savoir :

- Sable Concassé (0/3) SC. Commercialisé au niveau de la station de concassage de BEN BRAHIM qui se trouve à 50 Kms de Ouargla vers Hassi Messaoud.
- Sable Alluvionnaire SA. Carrière CASAB 30Kms de Ouargla vers Touggourt.
- Sable mixte concassé alluvionnaire (60% ; 40%), SMCA

a) Analyse granulométrique (EN 933-1)

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.

b) Le module de finesse :NF P 18- 540

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Il est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur une série de tamis (0,16 0,315 0,63 1,25 2,5 5). Il est

donné par la relation suivante:
$$Mf = \sum \frac{Rc}{100}$$

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 .

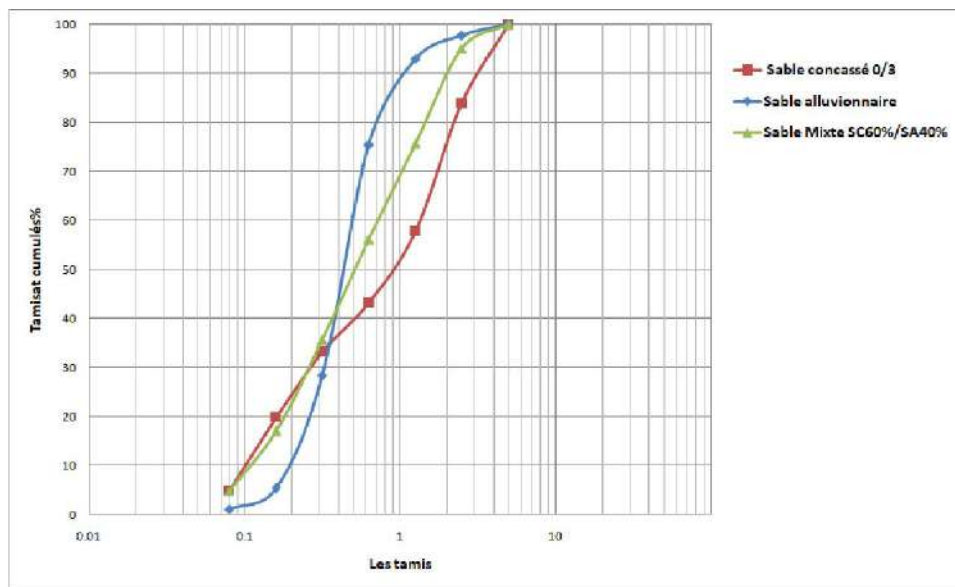


Figure III.1 : représente les résultats de l'analyse granulométrique du sable

c) 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 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 floclent.

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

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- Hauteur h_1 : sable propre +éléments fins,
- Hauteur h_2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention, est :

Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine Esv (équivalent de sable visuel) ou Esp (équivalent de sable au piston).

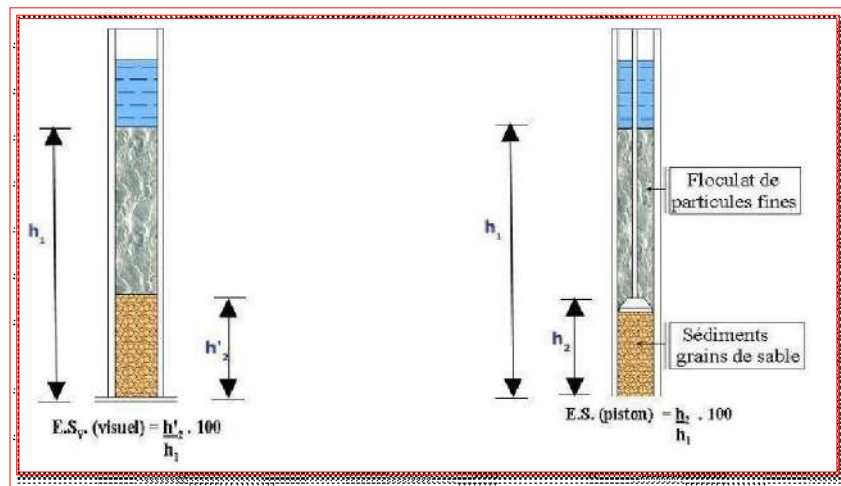


Figure III.2 : Principe de l'essai d'équivalente de sable.



Figure III.3 : Essai d'équivalent de sable.

Les valeurs courantes d'Esp et Esv : Le tableau (III.3) représente les valeurs d'équivalent de sable qui indiquent la nature et qualité du sable.

Tableau III.3 : Les valeurs d'équivalent de sable indiquant la nature et qualité du sable.

ES visuel	ES au piston	Nature et qualité du sable
$65\% \leq ES < 75\%$	$60\% \leq ES < 70\%$	Sable argileux : risque de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité.
$75\% \leq ES < 85\%$	$70\% \leq ES < 80\%$	Sable légèrement argileux de propreté admissible n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
$ES \geq 85\%$	$70\% \leq ES < 80\%$	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$65\% \leq ES < 75\%$	$60\% \leq ES < 70\%$	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

Les résultats obtenus pour l'essai d'équivalent de sable sont mentionnés sur le tableau suivant :

d) La masse volumique absolue

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

e) La masse volumique apparente

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

2.3. Super plastifiants :

Un seul type d'adjuvant a été employé durant notre étude, un superplastifiant SIKA VISCOCRETE TEMPO 12, qui est un superplastifiant haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique, conforme à la norme (3). Il se caractérise par sa grande durée de rhéologie et de sa résistance à la ségrégation.



Figure III.2 : Le super plastifiant

On présente la description de produit dans le tableau suivant :

Tableau (III.4): la description de produit [45].

Conditionnement	▪ Fût de 217 L ; ▪ CP de 1000 L ; ▪ Vrac
Aspect / Couleur	▪ Liquide brun clair
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 ré-homogénéisé.
Densité	▪ $1,060 \pm 0,020$
Valeur Ph	▪ $5,5 \pm 1,0$
Extrait Sec	▪ $29,5 \pm 1,4\%$ (méthode halogène selon NF 085) ▪ $29,5 \pm 1,4\%$ (NF EN 480-8)

2.4. L'eau de gâchage

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

3. Méthodes d'élaboration

3.1. Formulation des mortiers

Dans notre étude trois types de mortier ont été formulés qui sont les suivant :

- Mortiers auto-plaçant avec une substitution d'une partie du ciment par des fillerscalcaire à des

dosages de 10% .

3.2. Composition des mortiers

Les mortiers auto-plaçant ont été formulés par la méthode japonaise. Le tableau Le tableau(III.5) représente la composition des trois types de mortier formulés.

Tableau III.5 : Composition des trois types de mortier formulés.

Composition	Eau		Ciment(g)	SP		Filler calcaire		Sable(g)
MSAII	0,48	312g	585	0.4%	2.60g	10%	65g	1300
Msmax (10%)	0,48	312g	585	2.1%	13.65g	10%	65g	1300
MSC0.3 (20%)	0,60	390g	585	2.4%	15.6g	10%	65g	1300

3.3. Malaxage des mortiers auto-plaçant

Peser le ciment et l'eau au moyen de la balance, lorsque l'eau est mesurée en volume, elle doit être introduite avec une précision de 1 ml. Malaxer chaque gâchée de mortier mécaniquement au moyen du malaxeur.

Le chronométrage des différentes étapes du malaxage s'inscrit entre les moments de la mise en marche et de l'arrêt du malaxeur et il doit être respecté à 2 secondes. Le mode opératoire de malaxage est le suivant :

- Introduire le ciment puis les granulats dans le bol, en prenant soin d'éviter toute perte de ciment ou de granulats.
- Mettre immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse tout en lançant le chronométrage des étapes du malaxage.
- Après 15 secondes de malaxage à sec, introduire 2/3 d'eau pendant les 90 secondes.
- Arrêter le malaxeur, pendant les premières 30 secondes 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.
- Reprendre le malaxage et mettre 1/3 d'eau + 2/3 d'adjuvant à grande vitesse pendant 90s.
- A la fin ajouter 1/3 d'adjuvant à la même vitesse précédant pendant 60s.



Figure III.3 : Malaxeur pour mortier

3.4. Confection des éprouvettes

- On utilise des moules prismatiques de dimension $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$.
- On doit nettoyer les éprouvettes à l'aide d'une brosse métallique puis étaler un lubrifiant (huile) pour faciliter le démoulage.
- emplir les moules par les mortiers, l'exécutent deux coches.
- Compacter le mortier à l'aide d'une table vibrant en applique 120 secondes (cette tape 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.

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

Les éprouvettes doivent rester dans le moule et doivent être protégées contre les vibrations, les chocs, et la dessiccation pendant 24 h. Après le démoulage les éprouvettes sont conservées dans un bac rempli d'eau à une température de $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à la date d'essais

5. Méthodes de caractérisation

5.1. Essai à l'état frais

5.1.1. Essai au mini cône (NF EN 196-1)

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

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



Figure III.4:Essai d'étalement sur les mortiers.

5.1.2. Essai d'écoulement au cône de Marsh

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

5.2. Essais à l'état durci

5.2.1. 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.

$$R_f = \frac{1.5F_f L}{b^3}$$

R_f : est la résistance en flexion en (Mpa)

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

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

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

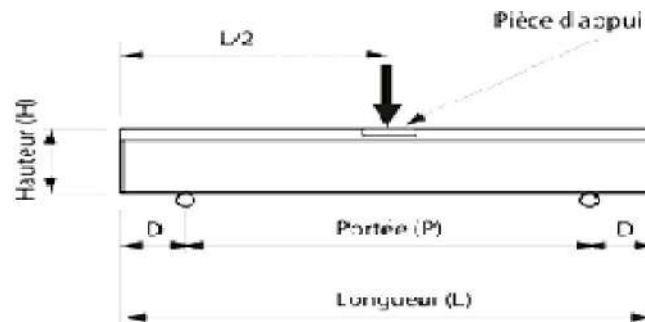


Figure III.5 : Essai de traction.

5.2.2. La résistance à la compression (NF EN 196-1)

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

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

R_c : Contrainte de compression

F_c : la charge de rupture la compression

b : Section transversale de l'éprouvette.

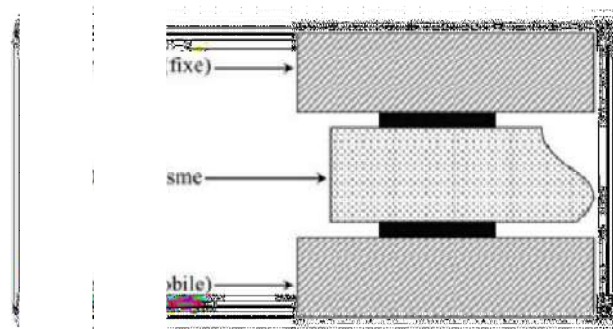


Figure III.6 : Essai de compression

Chapitre IV : Résultats Et Discussion

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre, les résultats des travaux effectués sur les mortiers auto-plaçant préparés au niveau du laboratoire sont présentés :

- Le but de notre étude est d'étudier les propriétés à l'état frais et durcie en fonction du type de sable utilisé, sable concassé 0/3 (MSC), sable alluvionnaire (MSAll) comme témoin et sable mixte concassé alluvionnaire (60/40) (MSCA(60/40)). Les résultats sont divisés en deux parties :

La première partie présente des résultats à l'état frais (l'essai du mini-cône et l'essai du V-Funnel) tandis que la deuxième partie présente les résultats à l'état durcie (l'essai de la résistance à la compression, à la traction).

IV.2 Les résultats des essais à l'état frais:

IV.2.1 les essais de 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 sable utilisé.

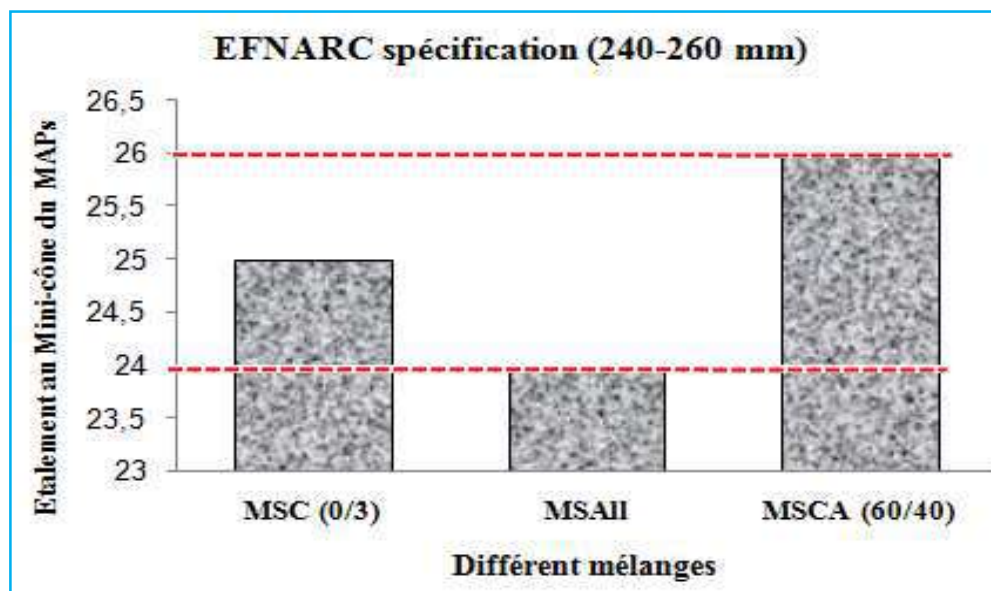


Figure (IV.1) : Résultats d'essais d'étalement.

On remarque que les diamètres d'étalement des galettes des mortiers MSAll diminuent avec l'utilisation du sable alluvionnaire tandis qu'elle enregistre une augmentation avec

l'utilisation du sable mixte concassé alluvionnaire. Notant que les étalements de tous les mortiers sont dans l'intervalle des MAP de 240 à 260mm,

IV.2.1 les essais de V-Funnel :

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

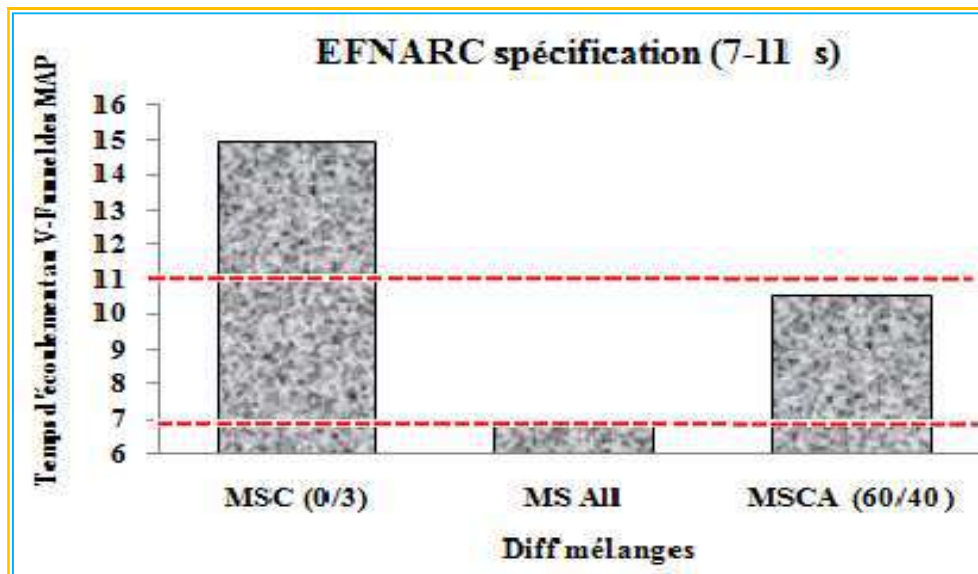


Figure (IV.02) : Résultats d'essais de temps d'écoulement.

Ces résultats indiquent que le temps d'écoulement qu'on a mesuré augmente avec l'utilisation du sable concassé où le temps d'écoulement pour le MSC dépasse la limite de plus de 4 secondes. Tandis que les temps d'écoulements du MS All et MSCA (60/40) sont dans la plage acceptable d'EFNARC pour les SCM qui est de 7 à 11 s.

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

IV.3 Les résultats des essais à l'état durci :

IV.3.1 la résistance à la compression :

Les valeurs de résistance à la compression varient entre 12,30 et 45,50 MPa, la résistance à la compression la plus faible concerne le MSAll à 3 jours de durcissement et la plus élevée concerne les échantillons de MSC après 60 jours de durcissement comme illustré sur la figure (IV.03).

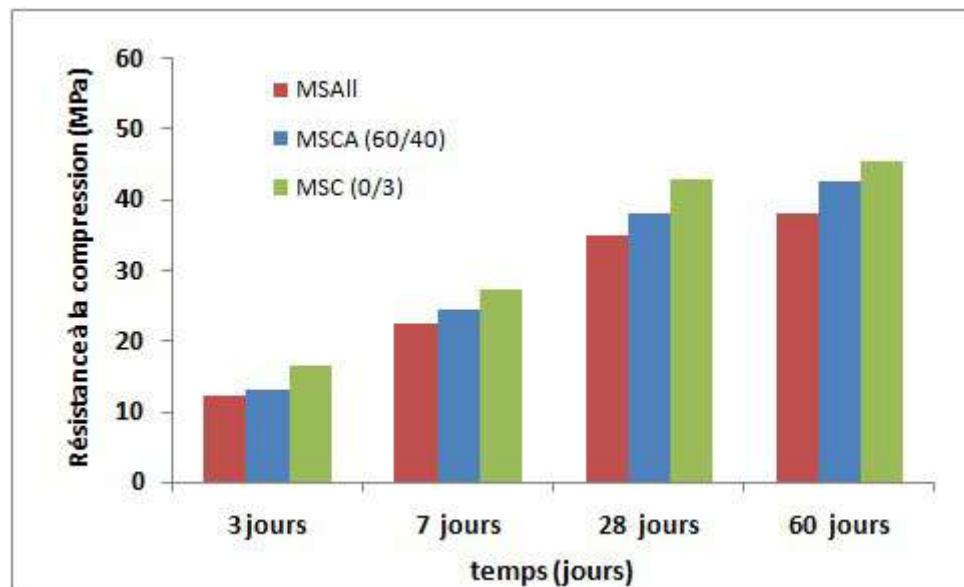


Figure (IV.03) : La résistance à la compression des différents mélanges

Les résistances à la compression des échantillons ont été obtenues à 3, 7, 28 et 60 jours. Comme le montre la (IV.03), il peut être rapporté que les résistances à la compression de tous les échantillons de SCM s'améliorent à mesure que le temps de durcissement passe de 3 jours à 60 jours.

1 la résistance à la traction :

Les valeurs de résistance à la traction varient entre 1,42 et 5,89 MPa, la résistance à la traction la plus faible concerne le MSAll à 3 jours de durcissement et la plus élevée concerne les échantillons MSC pendant 90 jours de durcissement, comme le montre la figure (IV.04). L'augmentation de la résistance de traction âgée de 3 jours était de 30,98% et 39,40% pour les mélanges MSCA et MSC respectivement par rapport aux échantillons témoins.

mais la résistance à la flexion de 28 jours a entraîné une amélioration de 21,75%, 11,64%, 4,27% et 8,61% aux taux d'inclusion de 10%, 20%, 30% et 40% RVM, respectivement par

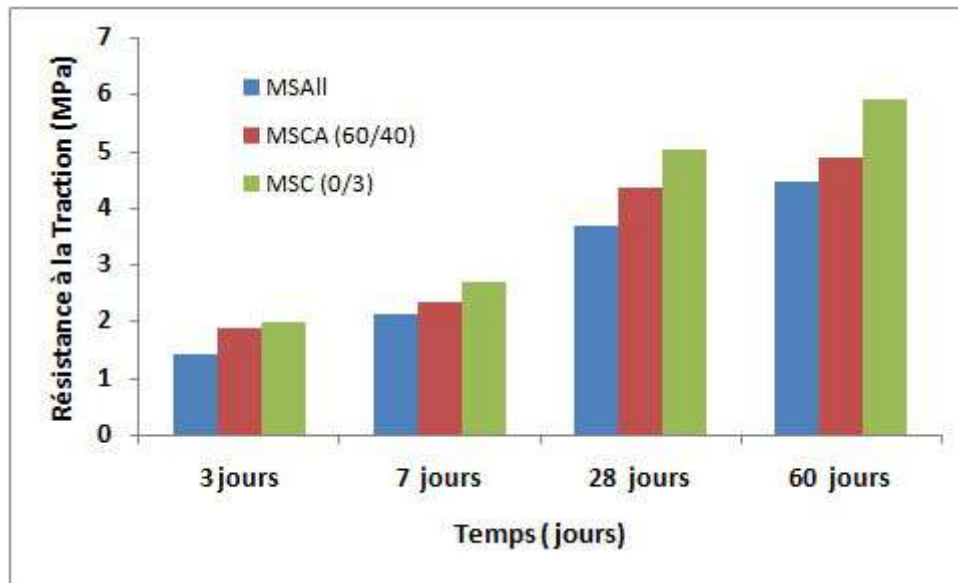


Figure (IV.04) : La résistance à la traction des différents mélanges

L'amélioration de la résistance à la traction l'âge de 28 jours est clair par rapport aux échantillons témoins.

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

Références

- [1] ACI 237 R. Self-consolidating concrete. American Concrete Institute; 2007.
- [2] Legg FE. Aggregates, concrete construction handbook. McGraw-Hill Publication; 1998.
- [3] Quiroga PN. The effect of the aggregates characteristics on the performance of Portland cement concrete. Ph.D. thesis. The University of Texas at Austin; 2003
- [4] K. Yahiaoui, M. Sadki, "Propriétés de mortier autoplaçant à base de différents types de sables" Mémoire de Master 2, Faculté des sciences et de la technologie, Université de Djelfa, p. 70, 2017.
- [5] K. Bouali, "Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires", Mémoire de Magister, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Boumerdes 2014.
- [6] Berrahail I, Kherici S. "Influence de l'effet du vieillissement sur l'écoulement et le comportement mécanique des BAP ", Mémoire de Master 2, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Annaba 2020.
- [7] G. Abdallah, Gherzouli A, Rahali L. "Etude des caractéristiques rhéologique et mécanique d'un mortier Auto-plaçant a base de fillers calcaire", Mémoire de Master 2, Faculté de technologie, Université de M'sila 2019.
- [8] Myttenaere, Olivier et Beeldens, Anne. "Code de bonne pratique pour l'exécution des revêtements en béton", 2009, p 03 .
- [9] Boudana E, Ben Fettacha M. "Compacité des bétons Autoplaçants aux différents Types de sables ", Thèse de Doctorat, Faculté des sciences et de la technologie, Université de Djelfa 2016.
- [10] O.Meneses, "Le sable concassé – une solution au déficit global de sable ? - Metso Outotec," 2021. .
- [11] Youssef fritih «doctorat de l'université de Toulouse » 2009.
- [12] Norme européenne NF EN 197-1, Éditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR), Tour Europe 92049 Paris février 2001.
- [13] Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese Normand F. MacLeod et Richard J. McGrath « Dosage et contrôle des mélanges de béton » 7^{ème} édition canadienne 2004.
- [14] Berrahail I, Kherici S. "Influence de l'effet du vieillissement sur l'écoulement et le comportement mécanique des BAP ", Mémoire de Master 2, Faculté des sciences de

l'ingénierie, Université de Annaba 2020.

[15] Belhocine A, Nagoudi N." Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux ", Mémoire de Master 2, Faculté des sciences appliquées, Université de Ouargla 2014.

[16] Afnor, Nf EN 197-1 "Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants," 2012.

[17] H. Fares, A. Noumowe, S. Remond, "Self-consolidating concrete subjected to high temperature: mechanical and physicochemical properties. Cement and Concrete Research", 2009, vol. 39, no 12, pp. 1230-1238. Université de Cergy Pontoise, 2009, doi: 10.1016/j.cemconres.2009.08.001.

[18] Bitar Z. " Influence de la surface spécifique des ciments aux ajouts minéraux (calcaire) sur le comportement mécanique ", Mémoire de Master 2, Faculté de technologie, Université de M'sila 2016.

[19] Abdelaziz B." Utilisation des additions minérales et des adjuvants fluidifiants pour l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons ", Thèse de Doctorat, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Constantine 2017.

[20] Mohamed M." Etude de l'influence de la nature et les dimensions des fibre sur les propriétés rhéologique et mécaniques des bétons autoplaçants (BAP)". Mémoire de Master 2, Université de M'sila 2015.

[21] Yankwa D, Noel J." effets de l'incorporation d'adjuvants minéraux sur les propriétés de ciments géopolymères à base de scories volcaniques ", Thèse de Doctorat. Université de Yaoundé 2013.

[22] S. I. A. Norme, "215: Liants minéraux," Société suisse des ingénieurs des Archit. Zurich, 1989.

[23] D. Boukhelal," Adjuvants chimiques" Cours. Université Yahia Fares de Médéa.

[24] Loukili.A, Turcry.P, "Effect of a viscosity agent on mechanical properties of self-compacting concrete", In proceeding of Conference ICPCM A new era of building, 18-20 February 2003.

[25] Ozawa.K, Maekawa.K, Okamura.H, "High performance concrete with high filling capacity ", Proceedings of RILEM International Symposium on Admixtures for Concrete: Improvement of Properties, Barcelone, pp. 51-, 1990.

[26] Gihouda Publishing Co, Tokyo, 1993.

- [27] Okamura.H, Maekawa.K, Ozawa.K, "High performance concrete", First ed. Okamura.H, Ozawa.K, "Mix design method for self-compacting concrete", Proceedings of Japan Society of Civil Engineers, 1995.
- [28] Okamura.H, Ouchi.M, "Self-compacting high performance concrete", Progress in Structural Engineering and Materials, Vol1, 1998.
- [29] Ouchi.M , Edamatsu.Y, "A simple evaluation method for interaction between coarse aggregate and mortar particles in self-compacting concrete", In Proceedings of the First International RILEM Symposium of Self-Compacting Concrete, Stockholm,1999
- [30] Petersson.O, Billberg.P, Van.B.K, "A model for self-compacting concrete", Proceedings of RILEM International Conference on Production Methods and Workability of Fresh Concrete, Paisley, Ecosse, 1996.
- [31] Petersson.O, Billberg.P, "Investigation on blocking of self-compacting with different maximum aggregate size and use of viscosity agent instead of filler", Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Suède, pp. 333-344, 1999.
- [32] Billberg.P, "Self-compacting concrete for civil engineering structures – the Swedish experience", Report 2: 99, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1999.
- [33] Ozawa.K, Tangtermsirikul.S, Maekawa. K, "Role of powder materials on the filling capacity of fresh concrete", Proceedings of the 4th CANMET/AI Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Istanbul, Turquie, pp. 121-137, 1992.
- [34] Van.B.K., "A method for the optimum proportioning of the aggregate phase of highly durable vibration-free concrete", MSc thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, 1994.
- [35] Tangtermsirikul.S, Van.B.K, "Blocking criteria for aggregates phase of Selfcompacting high performance concrete", Proceedings of Regional Symposium on Infrastructures Development in Civil Engineering, Bangkok, pp. 58-69, 1995.
- [36] Sedran.T, De Larrard.F, "Optimization of self compacting concrete thanks to packing model", Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting concrete, Stockholm, Suède, pp. 321-332, 1999.
- [37] De Larrard.F, Sedran.T, "Mixture-proportioning of high-performance concrete", Cement and Concrete Research, 32, 11, pp. 1699-1704, 2002.

- [35] WWW.memoireonline.com › Sciences
- [36] MAZA MEKKI amélioration des caractéristiques d'un mortier à base de sable mixte avec adjuvant m'sila 1997.
- [37] KOMAR. Matériaux et éléments de construction, Moscow, 1978
- [38] MENADI, B., KENAI, S., KHATIB, J., and al. strength and durability of concrete incorporating crushed limestone sand. Construction and building materials, 2009, vol. 23, no 2, p. 625-633
- [39] Skender Z., Bali A and Kettab R . (2019). Self-compacting concrete (SCC) behaviour incorporating limestone fines as cement and sand replacement. European Journal of Environmental and Civil Engineering.
- [40] Bonavetti V.L., Irassar E.F., The effect of stone dust content in sand, Cement and concrete research. vol. 24, No. 3; pp-590, 1994.
- [41] Azrar T. (2018).Influence du PH sur les propriétés physico-mécaniques d'un mortier autoplaçant . Matériaux en génie civil diplôme master 2. Université Akli Mouhnd Oulhadje- Bouira.
- [42] Menadi B. (2008). Performance du mortier et béton à base de filler calcaire. Thèse de doctorat d'état, Département de Génie Civil, université Saad Dahleb de Blida.
- [43] Benna Y., Valorisation du sable de concassage, 1er colloque maghrébin en génie civil, Algérie, Beskra, les 16 et 17 novembre 1998.
- [44] Benyamina S. (2020).Performance des bétons autoplaçants à base de sable de concassage.Thèse de doctorat, Université Saad Dahleb - Blida 1.
- [45] fiche technique du ciment ELMATINE.