



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
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technol
قسم الري و الهندسة المدنية
Département Hydraulique et Génie Civile

N°d'enregistrement

/...../...../...../...../.....

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine: ST
Filière: Génie Civile
Spécialité: Structures

Thème :

**Effets de la poudre de gravier roulé sur la durabilité
de mortier auto-plaçant exposé aux attaques chimiques**

Déposé le : 17/06/2021

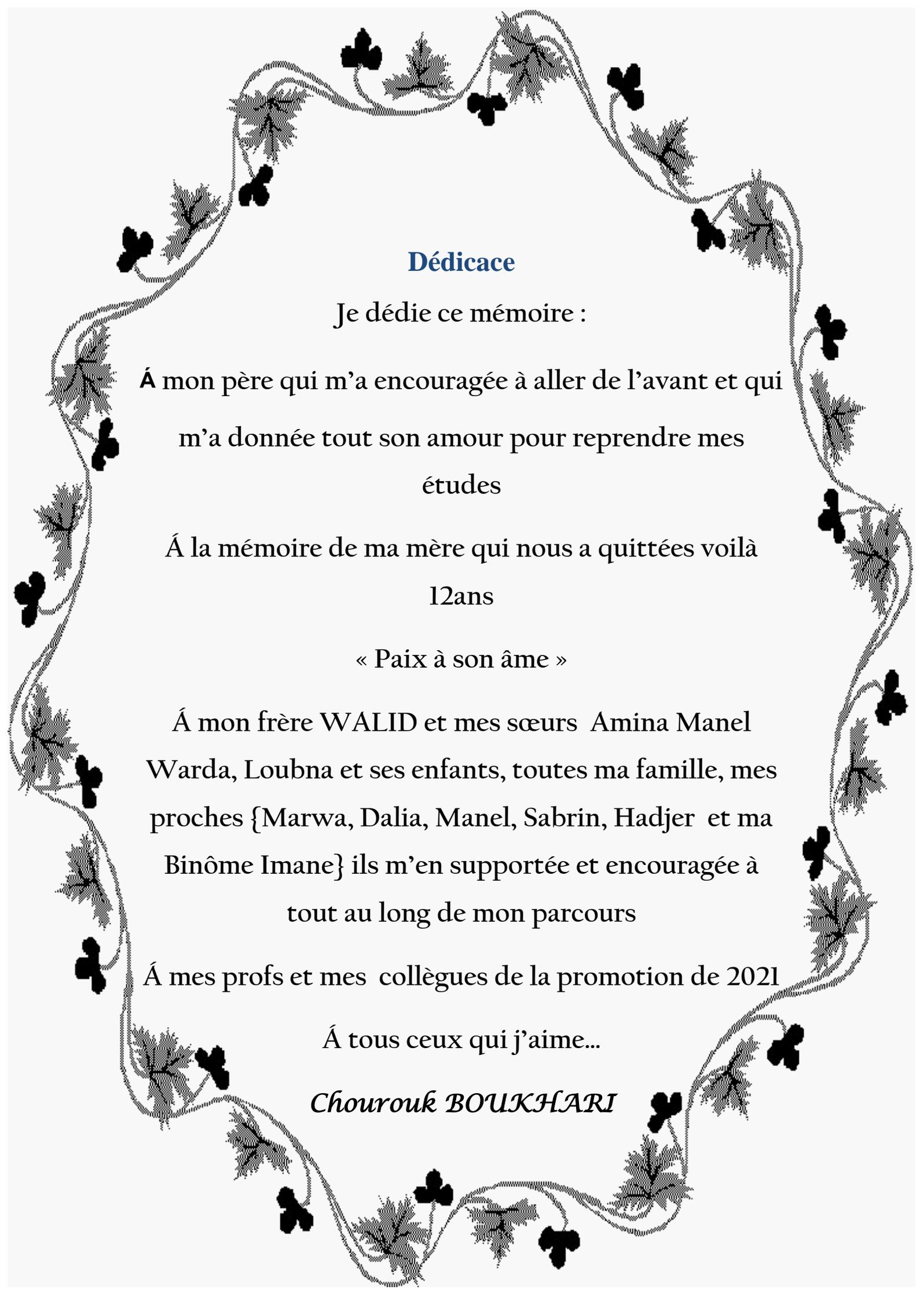
Par :

OULAD MEBAREK Imane & BOUKHARI Chourouk

Évalué Par le jury composé de :

SAITI Isam	M.A.A	Univ Ghardaia	Evaluateur
DAHANE Sara	MAG.GC.	Univ Ghardaia	Evaluateur
SALHI Aimad	M.A.A.	Univ Ghardaia	Encadreur

Année universitaire : 2020/2021



Dédicace

Je dédie ce mémoire :

À mon père qui m'a encouragée à aller de l'avant et qui
m'a donnée tout son amour pour reprendre mes
études

À la mémoire de ma mère qui nous a quittées voilà
12ans

« Paix à son âme »

À mon frère WALID et mes sœurs Amina Manel
Warda, Loubna et ses enfants, toutes ma famille, mes
proches {Marwa, Dalia, Manel, Sabrin, Hadjer et ma
Binôme Imane} ils m'en supportée et encouragée à
tout au long de mon parcours

À mes profs et mes collègues de la promotion de 2021

À tous ceux qui j'aime...

Chourouk BOUKHARI



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*A mon Père qui a sacrifié sa vie pour notre
instruction*

*La bougie de ma vie, la fleur de mes jours, ma
Mère Qui attendait avec impatience mon succès*

*A mes très chers frères Marouane Mohammed
Yacine Abd El Aziz*

*A mes chères sœurs Manar Safa
Nayla Masaouda Asma*

A mes grands parents

A mes oncles et mes tantes

A tous mes cousins et mes cousines

Et toute ma famille : Oulad Mebarek et Hiloufa

*A tous mes amis Dalia Feriel Chourouk Sabrina
Chafika*

Imane Oulad Mebarek

Remerciement

Nous tenons dans un premier temps à adresser nos vifs remerciements accompagnés par gratitude à nos encadreur Mr. SALHI IMAD pour son soutien, sa disponibilité et ses précieux conseils tout au long de ce travail. Il nous permis d'approfondir au maximum nos travaux afin de pouvoir être fier aujourd'hui du travail réalisé.

Nous tenons aussi à exprimer nos vifs remerciements à Monsieur ABDELNACER AMIEUR pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à ce travail.

Nous adressons nos remerciements et notre sympathie à nos chers enseignants du département de génie civil pour toutes les connaissances acquises au cours de notre étude.

Nous rendons un grand hommage à l'ensemble du personnel du LTPS pour leurs Assistances en vue de notre réussite.

Notre gratitude la plus profonde à tous nos amis de la promotion ainsi qu'à tous le personnel du département de génie civil de l'université de Ghardaïa .

RESUME

Le béton et le mortier auto-plaçant présentent plusieurs avantages qui leur ont permis de réussir à se répandre dans le monde malgré leur modernité, notamment l'arrêt d'utiliser les vibreurs lors des opérations de coulage et le bruit qu'ils génèrent, ainsi que l'obtention de cette propriété devenue possible, en utilisant une grande quantité de liant. (En moyenne 550 kg/m³) qui se compose généralement de ciment et d'additifs minéraux, généralement de calcaire.

Le remplacement du ciment (dont la production génère environ 5% de gaz toxiques comme le dioxyde de carbone responsable de la dégradation environnementale de notre planète) par des proportions variables de calcaire est un autre ajout qui apporterait également des avantages techniques, économiques et environnementaux. L'objectif de cet étude et d'étudier l'effet du remplacement du ciment par du calcaire dans des proportions de 5, 10 et 20 % à l'état liquide, et à l'état solide après avoir soumis les échantillons à une attaque d'acide chlorhydrique (HCl) et d'acide sulfurique (H₂SO₄) à un taux de 5%.

Les résultats obtenus ont montré que le taux de remplacement de 5% améliore la résistance dans des conditions normales, tandis que dans les milieux agressifs, la proportion de 10% de remplacement a donné des résultats idéaux.

Mots clés : béton auto-plaçant, mortier auto-plaçant, calcaire, acide chlorhydrique, acide sulfurique.

ABSTRACT

Concrete and self-casting mortar have several advantages that made them succeed in spreading globally despite their modernity, including the dispensation of vibrators during the pouring operations and the noise they generate, as well as obtaining this property became possible, using a large amount of binder (average 550 kg / m³), which consists Usually of cement and mineral additives, usually of limestone.

Replacing cement (the production of which generates about 5% of toxic gases such as carbon dioxide responsible for the environmental degradation of our planet) with varying proportions of limestone is another addition that would bring technical, economic and environmental benefits as well. The aim of our work is to study the impact of replacing Cement with limestone in proportions of 5, 10 and 20% in the liquid state, and in the solid state after subjecting the samples to an attack of chlorhydric acid (HCl) and sulfuric acid (H₂SO₄) at a rate of 5%.

The obtained results showed that the replacement of limestone by 5% improves the resistance in normal conditions, while in aggressive media, the percentage of replacement by 10% gave ideal results.

Key words: self-compacting concrete, self-compacting mortar, limestone, chlorhydric acid, sulfuric acid.

المخلص

تمتاز الخرسانة و الملاط ذاتي القولية بعدة مميزات جعلتها تنجح في الانتشار عالميا رغم حداثتها، منها الاستغناء عن الهزاز أثناء عمليات الصب وما تولده من ضجيج، كذلك الحصول على هذه الخاصية أصبح ممكنا، باستخدام كمية كبيرة من الرابط (متوسط 550 كغ / م³) والذي يتكون عادة من الاسمنت و إضافات معدنية تكون عادة من الحجر الجيري.

استبدال الاسمنت (والذي إنتاجه يولد حوالي 5 % من الغازات السامة مثل ثاني أكسيد الكربون المسؤول عن التدهور البيئي لكوكبنا) بنسب متفاوتة من الحجر الجيري يعتبر إضافة أخرى من شأنه أن يحقق منافع تقنية، اقتصادية و بيئية كذلك.الهدف من عملنا هذا هو دراسة أثر استبدال الاسمنت بالحجر الجيري بنسب 5، 10 و 20 % على الحالة السائلة، و الحالة الصلبة بعد تعريض العينات لهجوم من حمضي الكلوريدريك (HCl) و السولفيريك (H₂SO₄) بنسبة 5 %.

أظهرت النتائج المحصل عليها أن استبدال الحجر الجيري بنسبة 5 % يحسن المقاومة في الظروف العادية، أما في الأوساط العدوانية فنسبة 10 % من الاستبدال أعطت نتائج مثالية.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ذاتية التوضع، الملاط ذاتي التوضع، الحجر الجيري، حمض الكلوريدريك ، حمض السولفيريك .

SOMMAIRE

Dédicace	v
Remerciement	vi
Résumé	vii
Abstract	vii
الملخص	viii
Table de matières	xiii
Liste des Tableaux	1
Liste des Figures	1
Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralités Sur Le Béton Auto-plaçant Et Le Mortier Auto-plaçant	
I.1 Introduction	4
I.2 Définition de BAP	4
I.2 Composition du béton auto-plaçant	4
I.2 Différentes méthodes de formulation	5
1.4.1 Méthode Japonaise	5
1.4.2 Méthode Suédoise	5
1.4.3 Approche LCPC	6
1.4.4 Autres méthodes	6
I.5 Caractéristique des BAP	7
I.5.1 À l'état frais	7
a- Essai d'étalement	7
b- Essai de boîte en L	7
c- Essai stabilité eu tamis	8
I.5.2 Á l'état durci	9
a- Les essais de compression	9
b- Les essais de traction par flexion	9
I.6 Méthode de formulation du MBE	9
I.7 Méthode de mortier équivalent	10
I.7.1. Technique du mortier de béton équivalent « MBE »	10
I.7.1.1. But de la technique	10
I.7.1.2. Principe de la technique	10
I.8. Caractérisation de MAP	11
I.8.1 Fluidité et déformabilité de MAP	11
I.8.2 Méthodes de caractérisation	12
I.8.2.1 Essai à l'état frais	12
a- Essai au mini cône	12
b- Essai De Déformabilité De l'Entonnoir En V (V-Funnel)	12

I.8.3 Essais à l'état durci	13
a- La résistance à la flexion	13
b- La résistance à la compression	14
I.9 Ajouts cimentaires	15
I.9.1 Définition	15
1.9.2 Classification	15
I.9.3 Bénéfices de l'utilisation des ajouts cimentaire	17
1-Bénéfices écologiques et environnementaux	17
2-Bénéfices fonctionnels	17
3-Bénéfices économiques	17
Conclusion	17

Chapitre II :LA DURABILITÉ

II.1 Introduction	19
II.2 Définition De La Durabilité	19
II.3 Durabilité et économie	20
II.4 La carbonatation	20
II.4.1 Définition de la carbonatation	20
II.5 Les attaques chimiques des bétons	21
II.5.1 Attaques des acides	21
II.5.2 Acides organiques	21
II.5.3 Acides minéraux	21
II.5.4 Mécanisme d'attaque	22
II.5.5 Les facteurs influant la durabilité	22
II.5.5.1 La porosité	22
II.5.5.2 La fissuration	23
II.6 Conclusion	24

Chapitre III : Caractéristique des matériaux et essais

III.1 Introduction	26
III.2 Les Matériaux utilisées	26
III.2.1 Ciment	26
III.2.1.1 Les caractéristiques techniques	27
III.2.2 Le Filler	28
III.2.3 Super plastifiants	28
III.2.4 Sable	29
III.2.4.1 La masse volumique absolue	29
III.2.4.2 La masse volumique apparente	31
III.2.4.3 Equivalent de sable	32
III.2.4.4 Analyse granulométrique par tamisage	33

III.2.4.4.1 Le module de finesse	34
III.2.5 L'eau de gâchage	35
III.3 Méthodes d'élaboration	35
III.3.1 Formulation	36
III.3.2 Malaxage du mortier	36
III.3.3 Essai à l'état frais :	37
III.3.3.1 Essai de mini cône	37
III.3.3.2 Essai au V-funnel	38
III.3.4 Essai à l'état Durci	38
III.3.4.1 Résistances mécaniques à la flexion et à la compression	38
III.3.4.2 la durabilité	40
III.4 Conclusion	42
Chapitre IV : Résultat Et Discussion	
IV.1 Introduction	44
IV.2 Les résultats des essais à l'état frais	44
IV.2.1 les essais de mini cône et de V-Funnel	44
IV.3 Les résultats des essais à l'état durci	45
IV.3.1 la résistance mécanique des mortiers autoplaçant durci à la traction et la compression	45
IV.3.2 La durabilité	49
IV.3.2.1 Présentation des résultats	49
IV.4 Conclusion	53
Conclusion général	55
Références bibliographiques	58
Annexes	62

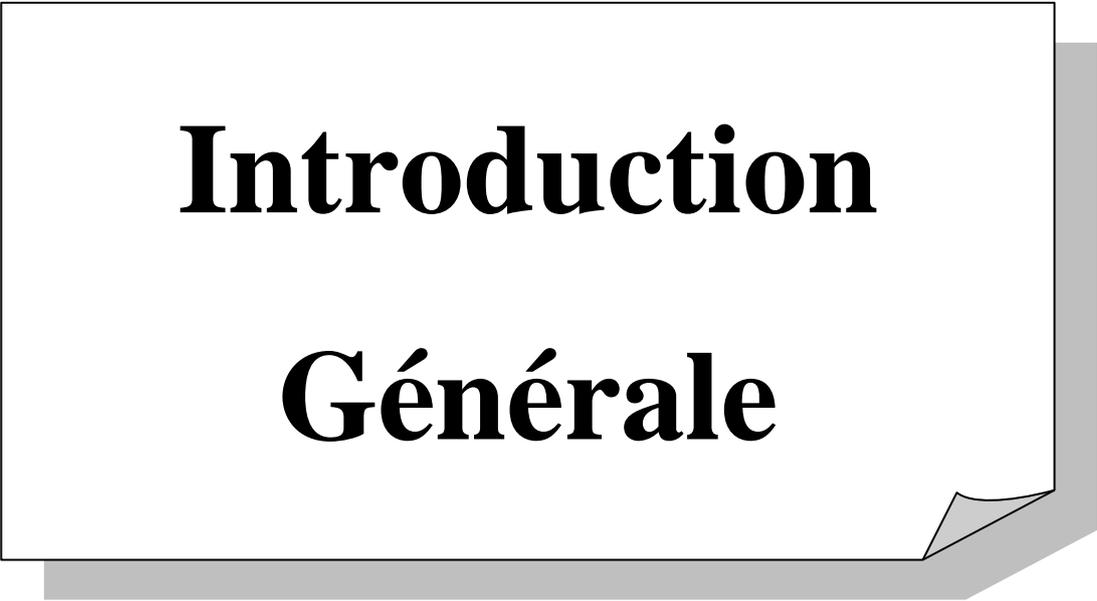
Liste de Tableaux

Tableaux	Titles	Pages
ChapitreI :Généralité Sur Le Béton Autoplaçant Et Le Mortier Autoplaçant		
Tableau (I.01)	Les valeurs et les classes d'étalement pour le BAP	7
Tableau (I.02)	les Classification des ajouts cimentaires	16
ChapitreIII :Caractéristique des matériaux et essais		
Tableau (III.01)	Les caractéristiques chimiques de ciment AWTED	27
Tableau (III.02)	Les caractéristiques physico-mécaniques de ciment AWTED	27
Tableau (III.03)	La composition chimique de Gravier roulée	28
Tableau (III.04)	la description de produit	29
Tableau (III.05)	Les résultats de la masse volumique absolue	31
Tableau (III.06)	Les résultats de la masse volumique apparente	32
Tableau (III.07)	Les résultats de l'Equivalent de sable	33
Tableau (III.08)	Les résultats obtenus de l'analyse granulométrique du sable	35
Tableau (III.09)	Représente les différents types des mortiers autoplaçant	36
ChapitreIV :Résultat Et Discussion		
Tableau (IV.01)	Résultats d'essais d'étalement et de temps d'écoulement	44
Tableau (IV.02)	Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 2 jours	45
Tableau (IV.03)	Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 7 jours	46
Tableau (IV.04)	Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 28 jours	47
Tableau (IV.05)	Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 2 mois	48
Tableau(IV.06)	Résultats de la perte de masse	51
Tableau(IV.07)	la perte de masse à l'attaque chimique (Acide HCl)	52
Tableau (IV.08)	la perte de masse à l'attaque chimique (Acide H ₂ SO ₄)	53

Listede Figures

Figures	Titles	Pages
ChapitreI :Généralité Sur Le Béton Autoplaçant Et Le Mortier Autoplaçant		
Figure (I.01)	Détermination de l'étalement	7
Figure (I.02)	Mesure du taux de remplissage (L- box test)	8
Figure (I.03)	: Essai de stabilitéeu tamis	8
Figure (I.04)	Essai au mini cône	12
Figure (I.05)	Essai De Déformabilité De l'EntonnoirEn V (V-Funnel).	13
Figure (I.06)	Essai de la résistance à la flexion	14
Figure (I.07)	Essai de la résistance à la compression	14
Figure (I.08)	Ajoutscimentaires	15
ChapitreII :LA DURABILITÉ		
Figure (II.01)	Représentationschématique de la carbonatation du béton	21
ChapitreIII :Caractéristique des matériaux et essais		
Figure (III.01)	Le ciment AWTED	27
Figure (III.02)	Le filler utiliségravierroulé	28
Figure (III.03)	Le super plastifiant	29
Figure (III.04)	Le Sable	30
Figure (III.05)	La masse volumiqueabsolue	31
Figure (III.06)	La masse volumiqueapparente	33
Figure (III.07)	Equivalent de sable	33
Figure (III.08)	Analysegranulométrique par tamisage	34
Figure (III.09)	courbed'analysegranulométrique	35
Figure (III.10)	Un malaxeur	37

Figure (III.11)	Essais de mini cône	37
Figure (III.12)	Essais de V-Funnel	38
Figure (III.13)	Appareil des résistances mécaniques à la flexion et à la compression	39
Figure(III.14)	Etapes de préparation les éprouvettes (40×40×160) mm ³	39
Figure (III.15)	Etapes de préparation les éprouvettes (50×50×50) mm ³	40
Figure(III.16)	Figure (III.16): L'essai de la durabilité	42
Chapitre IV : Résultat Et Discussion		
Figure (IV.01)	Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 2 jours	45
Figure (IV.02)	Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 7 jours	47
Figure (IV.03)	Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 28 jours	48
Figure (IV.04)	Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 2 mois	49
Figure (IV.05)	examen visuel sur l'échantillon immergé dans H ₂ SO ₄	50
Figure (IV.06)	examen visuel sur l'échantillon de HCl	50
Figure (IV.07)	examen visuel sur l'échantillon de H ₂ O (Eau)	51
Figure (IV.08)	la perte de masse à l'attaque chimique (Acide HCl)	52
Figure (IV.09)	la perte de masse à l'attaque chimique (Acide H ₂ SO ₄)	53



Introduction
Générale

L'histoire de l'humanité a connu un grand développement dans tous les domaines et le plus important est le domaine de la construction, où le béton a été inventé au fil des ans et a été le plus largement utilisé et est toujours en demande, mais la science ne s'est pas arrêtée ici et essayé de l'améliorer jusqu'à ce qu'ils atteignent dans les années 1980 au Japon à le béton autoplaçant. Le béton autoplaçant possède de la fluidité, c'est grâce aux divers adjuvants superplastifiants qui le composent. Ceci a rendu les constructions plus sûres et a grandement facilité les méthodes de mise en œuvre du béton.

Le ciment est le constituant de base des bétons et des mortiers. Ce liant hydraulique permet en effet de coller entre eux les grains de sable et les granulats. Mis au point au début du XIXe siècle, le ciment est aujourd'hui le deuxième produit de consommation courante dans le monde après l'eau, et ne cesse d'augmenter.

Cette dernière constitue un réel problème, inévitable à toute vie biologique et à toute activité industrielle car ces résultats de sa production est un danger pour l'environnement et il est coûteux.

Le besoin universel de protéger l'environnement et de bien gérer les ressources, nécessitent d'établir des nouveaux lois et d'adapter des nouveaux concepts. La valorisation des matériaux naturels est un moyen efficace face aux contraintes d'ordres économiques et écologiques de ces dernières années. L'utilisation des matériaux naturels sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production et consommation et de protéger l'environnement.

Notre étude s'inscrit dans une politique de la valorisation des matériaux locaux de la wilaya de Ghardaïa. Le but principal de ce travail est de mettre en évidence la possibilité d'utiliser le filler de gravier roulé comme addition en le substitué du ciment. Cette étude consiste à caractériser les matériaux utilisés pour la confection des mortiers autoplaçants, pour ce la on a établi un programme expérimental visant à étudier l'utilisation des additions tel que le filler de gravier roulée comme substituant du ciment.

Ce travail s'organise en quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacrée à l'état des connaissances actuelles sur le sujet notamment le BAP et le MAP et les différentes méthodes de formulation ainsi que les essais nécessaires pour l'étude.

Le deuxième chapitre traite de la mise en évidence de l'effet des additions sur l'écoulement des pâtes pures.

Le troisième chapitre traite des méthodes expérimentales et la caractérisation des matières premières utilisées dans ce travail et en particulier l'addition (le filler GR) qui a fait l'objet d'analyses chimiques, et regroupe les résultats des essais de caractérisation des matériaux

Le dernier chapitre traite des propriétés à l'état frais et durci, pour l'état durci dans une première partie il est mis en évidence l'effet des additions minérales sur les résistances mécaniques en compression et en traction. La deuxième partie de ce chapitre est consacrée aux tests de durabilité.

Le travail s'achève par une conclusion générale rappelant les principaux résultats obtenus sur la faisabilité de MAP en substituant le ciment par le filler calcaire.

Chapitre I

Généralité Sur Le Béton Autoplaçant Et Le Mortier Autoplaçant

I.1 Introduction

Ces dernières années, suite aux évolutions dans le domaine de la construction, une nouvelle génération de béton est apparue, appelée béton auto-plaçant (BAP). Le JAPON a été dans les années 80 le pionnier dans le développement de cette nouvelle technique et qui s'est progressivement répandue à travers le reste du monde, de nombreux termes définissent ces bétons :

- Béton auto-compactant (BAC).
- Self-compacting concrete (SCC, enAnglais).
- Béton hyper fluide.

L'appellation la plus usitée aujourd'hui est le béton autoplaçant (BAP).

Ce chapitre fournit des informations générales sur le béton auto plaçant et leurs composants ainsi que le mortier auto plaçant.

I.2 Définition de BAP :

Par béton auto-plaçant (BAP), on désigne un béton très fluide, très déformable, stable et mis en œuvre sans vibration (la compaction des BAP s'effectuant par le seul effet gravitaire). Il confère à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant au béton classique mis en œuvre par vibration, il garantit à la structure la résistance et la durabilité [1]. Par définition, les BAN (Bétons Auto-Nivelant) constituent une famille de BAP correspondant aux applications horizontales (dallage, planché...).

I.3 Composition du béton auto plaçant :

Les constituants des BAP peuvent être assez différents de ceux des bétons ordinaires. Ils peuvent différer tant par leurs proportions que par leur choix. Étant donné le mode de mise en place des BAP, les constituants entrant dans la fabrication du BAP, selon leur utilisation, peuvent être divisés en trois catégories, à savoir les matériaux de base (ciment, granulats et eau de gâchage), les additions minérales ainsi que les adjuvants chimiques. Comme le béton léger se caractérise par un volume de pâte élevé, le volume de granulats présents dans la composition est ainsi moins important que dans un béton ordinaire, ce qui réduit les éventuels frottements. Ceci permet donc au mélange d'être plus fluide, facilitant ainsi le remplissage des coffrages.

Les adjuvants sont essentiels dans la composition des BAP. Les adjuvants utilisés lors de la composition du BAP sont les super plastifiants qui favorisent aussi l'obtention d'un mélange.

I.4 Différentes méthodes de formulation

I.4.1 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 [2], [3], [4], [5], [6]. 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 [7] 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.4.2 Méthode Suédoise: La méthode de formulation suédoise est développée par CBI (Cement och Betong Institutet) [8], [9], [10] 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 ([11],[12],[13]) 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.4.3 Approche LCPC : L'approche développée en France au LCPC par de Larrard et Sedran est basée sur le modèle d'empilement compressible [14], [15] 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 [15] 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.4.4 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.5 Caractéristique des BAP :

I.5.1 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 cotés perpendiculaires les valeurs sont relevées en millimètres.

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



Figure (I.01) : Détermination de l'étalement [26].

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

Tableau (I.01) : Les valeurs et les classes d'étalement pour le BAP

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

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.

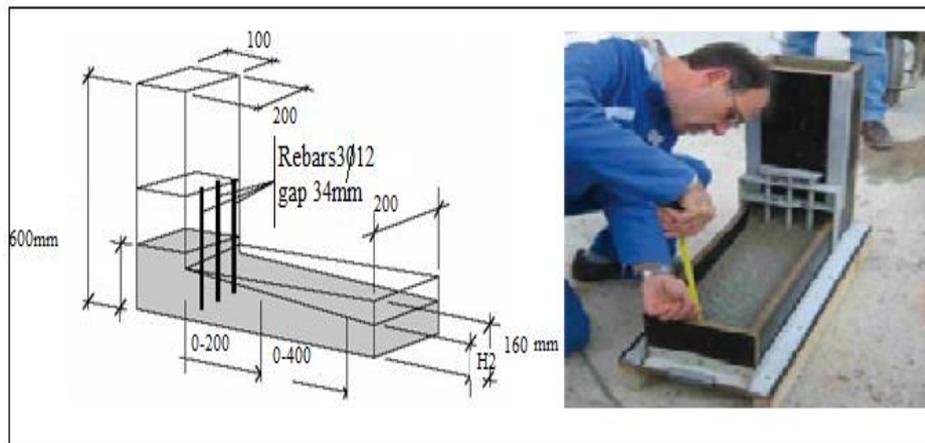


Figure (I.02) : Mesure du taux de remplissage (L- box test)[26].

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.03) : Essai de stabilité eu tamis [26].

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.5.2 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 :

$$R_c = F_c / b^2$$

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 :

$$R_f = 1.5 * F_f * L / b^3$$

I.6 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. [10]

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

I.7.1. Technique du mortier de béton équivalent « MBE » :**I.7.1.1. But de la technique :**

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

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

I.7.1.2. Principe de la technique :

Pour éviter la difficulté à reproduire en laboratoire en utilisant des conditions exacte du malaxage du béton en centrale et pour limiter la lourdeur des études sur le béton, il est avéré nécessaire d'utiliser une technique d'essai rapide et capable de fournir des résultats pouvant être reliés avec ceux qui seraient obtenus sur le béton. La méthode retenue consiste à travailler

sur la phase mortier du béton avec prise en compte de la surface développée des gravillons écartés. Pour cette raison, la technique a été appelée technique du mortier de béton équivalent (MBE).

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

- La granulométrie de chaque classe de granulats,
- Leurs masses volumiques,
- Leur taux d'absorption d'eau,
- Leurs teneurs en eau totales,
- La nature et le dosage en ciment (ou en liant équivalent),
- Les caractéristiques des adjuvants,
- La composition granulaire 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, con 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.8.Caractérisation de MAP

I.8.1 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.8.2 Méthodes de caractérisation :

I.8.2.1 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.04) : Essai au mini cône

Le diamètre est mesuré suivant les deux détractions perpendiculaires.

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

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

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

L'essai d'écoulement à l'entonnoir (ou V-funnel test) est utilisé pour évaluer la fluidité et la viscosité des MAP. Un entonnoir de dimensions définies est rempli de mortier jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, on mesure le temps (T_v) que met le mortier à sortir de l'entonnoir jusqu'à ce que cet entonnoir soit entièrement vide. Ce temps d'écoulement, qui doit être compris entre 8 et 14 secondes, caractérise la viscosité du mortier. Si le mortier s'écoule plus rapidement, c'est que sa viscosité est trop faible.

Bien que l'essai soit conçu pour mesurer la fluidité, le résultat est affecté par d'autres propriétés du MAP que celle de l'écoulement. La forme de cône inversée fera bloquer

l'écoulement du mortier si, par exemple il y a trop gros granulat. Par contre un temps élevé d'écoulement peut être associé à une faible déformabilité due à une viscosité élevée de la pâte et ou un frottement inter granulaire élevé.

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

I.8.3 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.

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

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.06) : 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.

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

σ : Contrainte de compression

P_c : la charge de rupture à la compression.

S : Section transversale de l'éprouvette.



Figure (I.07) : Essai de la résistance à la compression

I.9. Ajouts cimentaires [16] :

I.9.1. Définition :

Les ajouts cimentaires sont des matériaux qui, combinés au ciment Portland, au ciment Portland au calcaire ou aux ciments composés, améliorent les propriétés du béton durci par l'activité hydraulique, l'activité pouzzolanique ou les deux. Le laitier de haut fourneau granulé et broyé et un sous-produit de la sidérurgie, et les cendres volantes, déchets pouzzolane issus de la combustion du charbon dans des centrales électriques au charbon sont des exemples d'ajouts cimentaires.



Figure (I.08) : Ajouts cimentaires [16] .

Les ajouts sont des matières premières naturelles, artificielles, sous produits d'une autre industrie, résidus industriels ou déchets industriels polluant, ils sont ajoutés soit au mélange de matières premières avant le broyage, soit à la farine crue, soit au clinker portland avant ou après le broyage, leurs pourcentages dans la masse varient suivant le but de l'addition et le rôle qu'elle peut jouer, ainsi on trouve des ajouts en faibles teneurs, moyennes ou en fortes teneurs. On distingue deux types d'ajouts : inertes et actifs

I.9.2. CLASSIFICATION :

Les ajouts sont classés : en actif, ou en inertes, les actifs sont chimiquement actifs et entrent en réaction avec l'hydroxyde de calcium en formant des hydrosilicates de calcium. Le rôle de ces ajouts est double :

L'effet filler (ou remplissage) pour lequel par leur finesse s'insèrent entre les grains de ciment et diminuent le rapport E/C.

L'effet pouzzolanique correspond à l'association partielle ou totale des ultras fins avec l'eau ou la chaux libérée par le ciment [17] .

Ils se divisent selon leur réactivité comme le montre le tableau suivant :

Tableau (I.02) : les Classification des ajouts cimentaires [18]

TYPE	REACTIVITE	MATERIAUX
Hydraulique	Fortement réactif	Ciment spéciaux-chaux hydraulique
Hydraulique latent		Laitier granule-cendre volantes riche en calcium (calcique)
Pouzzolanique	Fortement réactif	Fumée de silice
	Moyennement réactif	Cendre volantes pauvre en calcium, pouzzolanes naturelles (verre volcanique, tufs volcanique, trasse phonolithe, terres a diatomées)
Pouzzolanique	Faiblement réactif	Scories cristallines
Inerte	Non réactif	Filler (farine calcaire...) fibres, pigments Colorants, matières expansives, dispersions synthétiques

I.9.3. Bénéfices de l'utilisation des ajouts cimentaire [19] :**1-Bénéfices écologiques et environnementaux :**

- diminution de l'émission du CO₂ par l'industrie cimentière.
- élimination des sous-produits de la nature.

2-Bénéfices fonctionnels :

Incorporation des particules fines qui améliorent la maniabilité et réduit la demande en eau (à l'exception des ajouts d'une grande finesse).

- Il y a une amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du béton.
- Il y a une diminution de la chaleur d'hydratation dégagée du béton, ce qui diminue la fissuration d'origine thermique.

3-Bénéfices économiques :

La plupart des ajouts minéraux sont des sous-produits de différentes industries et leur coût est souvent égal au coût du transport et de la manipulation).

Comme la production du ciment est un grand consommateur d'énergie, son remplacement par des ajouts minéraux réduit le prix du béton pour le coût du combustible.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous présentons le béton autoplaçant et le mortier autoplaçant ainsi que les essais nécessaires pour le caractérisé.

Chapitre II

LA DURABILITÉ

II.1 Introduction :

Au cours du temps, l'ouvrage est soumis à de nombreuses agressions ou sollicitations (physiques, mécaniques, chimiques, etc.) Ainsi, la détermination de la durabilité et le choix des propriétés du béton précisément en fonction de l'agressivité du milieu dans lequel se trouvent l'ouvrage et l'amélioration de ses propriétés afin de les adapter à la durée de vie requise. Les spécifications concernent la nature et le dosage minimum de ciment, la compressibilité minimum, la valeur maximum du rapport eau/ciment, l'enrobage minimum des armatures et la teneur maximum en chlorure du béton.

Les changements physiques peuvent être superficiels (érosion, érosion, cavitation ou écaillage) ou internes sous forme de fissures (changement structurel, gradients d'humidité ou de température, pression de cristallisation, exposition aux températures extérieures).

Les changements chimiques sont principalement dus aux acides, aux bases et aux solutions salines.

Dans ce chapitre, nous parlerons de la durabilité et des acides les plus utilisés.

II.2 Définition De La Durabilité :

La durabilité d'un béton est de pouvoir conserver sa résistance et de continuer de remplir sa fonction tout au long de sa durée de vie utile pas à une durée indéfinie, il en résulte que le béton doit résister aux mécanismes de dégradation aux quels il peut être exposé, tels que les cycles de gel-dégel et certaines formes d'attaques chimiques [20].

La durabilité est définie par la norme NF X 50-501 comme «l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction dans des conditions données d'utilisation et de maintenance, jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint» [21].

II.3 Durabilité et économie [22] :

La durabilité est un objectif de qualité pour l'ingénieur, et le métier de ce dernier consiste à atteindre les objectifs fixés au moindre coût. Il en résulte deux règles qui permettent de concilier au mieux économie et durabilité.

Règle 1 : l'expérience du temps : Toute innovation doit être évaluée par comparaison avec ce qui est connu pour avoir subi avec succès l'épreuve du temps.

Règle 2 : la communication des règles de comparaison : Les règles de comparaison entre l'innovant et le traditionnel doivent donner lieu à une délibération intra et interprofessionnelle en vue de déterminer celle qui, à chaque époque, paraissent les mieux adaptées.

II.4 La carbonatation :

II.4.1 Définition de la carbonatation :

La carbonatation est un phénomène de vieillissement naturel qui concerne tous les bétons et qui conduit à la formation de carbonates de calcium par réaction entre les composés des ciments (principalement la portlandite) et le dioxyde de carbone atmosphérique (CO₂), présent dans l'air à un taux moyen de 0,03 % en volume. Ce taux est plus important en milieu urbain qu'en milieu rural.

Elle est un phénomène chimique présent dans l'épiderme du béton tout au long de sa vie. La combinaison de l'hydrate de chaux (contenu dans le ciment) et de l'acide carbonique de l'air forme du calcaire en libérant de l'eau, le pH du béton baisse et la corrosion des aciers commence [20].

A partir d'une distance de 25 à 30 mm à l'intérieur du béton, il n'y a plus d'échange gazeux grâce aux dépôts de calcaire de la pâte du ciment. Le pH reste stable à une valeur d'environ 11. La corrosion ne se manifeste pas.

Compte tenu de l'absence d'échanges gazeux, les bétons immergés ne carbonatent pas. Il est à remarquer que des manifestations de carbonatation peuvent survenir sur des faces intérieures de béton lors de climatisation et d'humidification de l'air ambiant [20].

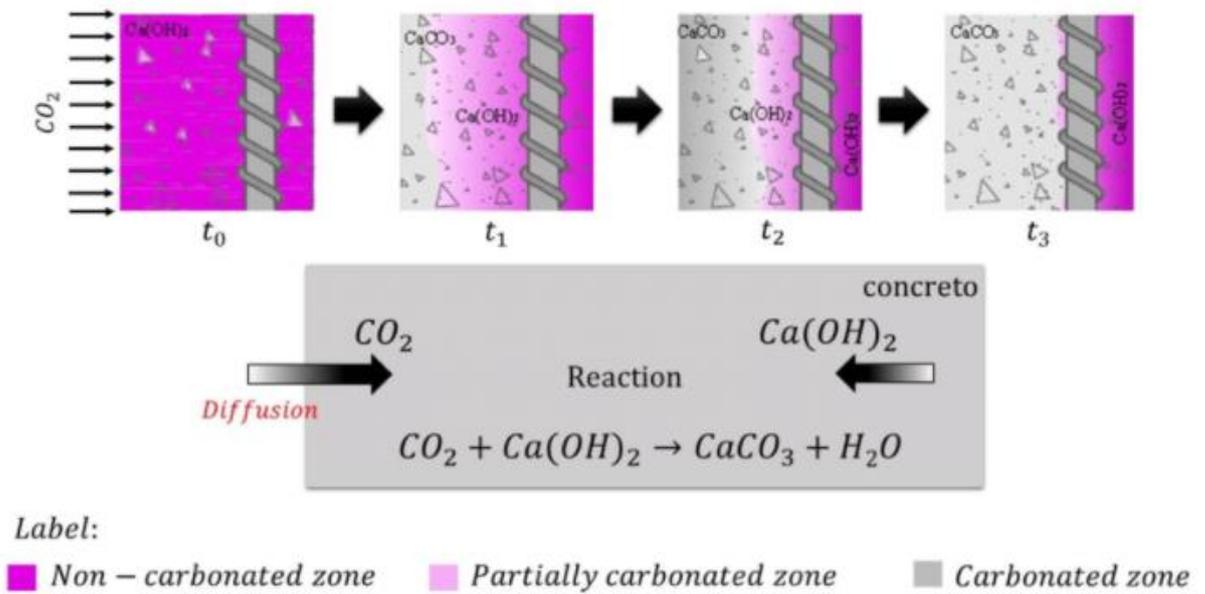


Figure (II.01): Représentation schématique de la carbonatation du béton [23].

II.5 Les attaques chimiques des bétons [24] :

II.5.1 Attaques des acides :

Les acides peuvent être divisés en acides organiques et acides inorganiques : l'acide chlorhydrique, l'acide nitrique et l'acide sulfurique par exemple sont des acides inorganiques. L'acide formique, l'acide acétique et l'acide oléique sont des acides organiques. Les acides inorganiques sont plus nuisibles pour le béton que les acides organiques.

II.5.2 Acides organiques :

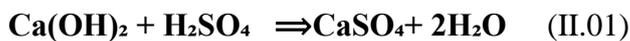
Les acides organiques tels que l'acide acétique, lactique, butyrique, formique, contenus dans certains eaux usées, attaquent les constituants calciques du ciment. Ces acides faibles, peu dissociés, sont généralement modérément agressifs et provoquent des dégradations lentes.

II.5.3 Acides minéraux :

Les acides chlorhydriques et nitriques réagissent avec la chaux de ciment et donnent des sels très solubles, sont très agressifs vis-à-vis des ciments portland. L'acide sulfurique H_2SO_4 est doublement agressif par son acidité et par l'anion SO_4^{-2} qui peut conduire à la formation de sels expansifs tel que le gypse et l'ettringite. L'acide phosphorique H_3PO_4 , qui entraîne la précipitation de phosphates de calcium très peu solubles, est modérément agressif.

II.5.4 Mécanisme d'attaque :

En général, on peut établir qu'un acide est d'autant plus nuisible que les sels de calcium formés sont plus facilement solubles. L'acide sulfurique (formule II.01) est relativement inoffensif, car les sulfates de calcium sont difficilement solubles dans l'eau. Mais les ions de sulfate jouent en l'occurrence un rôle nuisible pour le béton (gonflement dû aux sulfates).



Hydroxyde de calcium + acide sulfurique sulfate de calcium + eau L'acide sulfurique réagit donc avec la chaux libre dans le béton et forme du gypse. Cette réaction est associée à une augmentation du volume du béton. Une action bien plus destructive est la réaction entre l'aluminate de calcium et les cristaux formés de gypse. Ces deux produits forment l'ettringite ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) moins soluble dans l'eau. L'acide chlorhydrique fait partie des substances très agressives, car le sel correspondant (chlorure de calcium) est très facilement soluble dans l'eau. La formule (II.02) décrit la réaction entre l'acide chloridrique et la portlandite.



Hydroxyde de calcium + acide chlorhydrique chlorure de calcium + eau Les acides inorganiques forts ne réagissent pas uniquement avec l'hydroxyde de calcium. Ils attaquent également les autres composants de la pâte de ciment durcie, en formant des sels calciques, aluminiques ou ferriques, ainsi que des acides siliciques colloïdaux (gels de silice). [12] (cite dans [11]).

II.5.5 Les facteurs influant la durabilité :**II.5.5.2 La porosité :**

Le béton est un mélange constitué principalement du ciment, granulats et l'eau et éventuellement d'adjuvant, mais il contient bien aussi des vides dus à l'eau excédentaire

Le béton courant peut avoir un taux de porosité de l'ordre de 10 à 12% dues à la présence des différents types de pores dans la texture même des hydrates, et de capillaires qui se développent dans la structure des grains, les capillaires qui sont dimensionnellement les plus importants ne dépassent pas un diamètre de quelques microns, les pores des hydrates sont 10 à 100 fois plus petits. Et bien sûr il est bien connu l'influence de la porosité sur la résistance.

Donc, pour réaliser des bétons de hautes performances, aussi bien que d'un point de vue mécanique que vis-à-vis d'agression d'ordre physico-chimique, il est indépasseable de limiter la porosité.

Cette dernière dépend principalement de deux facteurs qui sont:

- La diminution de la teneur eau, le rapport E/C ou/ et le rapport E/L doit être le plus faible possible.
- Une granulométrie comportant des éléments fins, afin de remplir les vides qui se trouvent entre les gros granulats [24].

II.5.5.3 La fissuration :

Il faut souligner ici le caractère non préjudiciable de la plupart des fissures qui, correctement maîtrisées par des armatures ou des qui en déterminent l'emplacement et en limitent l'ouverture, n'ont pas d'influence sur la durabilité du béton, le savoir-faire et la maîtrise en matière de béton armé prévoit le dimensionnement des ouvrages et les dispositions propices à empêcher ou contrôler efficacement la fissuration potentielle. Cependant, les fissures non contrôlées à caractère fortuit sont susceptibles de jouer négatif [25].

Les principales causes de fissuration sont les suivantes :

- Retrait de la pâte de ciment
- Condition thermiques et hygrométriques
- Causes mécaniques

La pâte de ciment subit différentes phases de déformation aux stades successifs de l'hydratation à savoir pré-prise, prise et durcissement.

Chacune des phases est liée à un mécanisme prépondérant qui génère un gradient de température ou d'humidité dans le béton.

- ❖ Les facteurs qui influent sur les trois phases de déformation peuvent être groupés en quatre catégories principales, qui concernent plus particulièrement :

La composition du béton, l'interdépendance des constituants, l'hydratation;

- La mise en œuvre du béton: fabrication, mise en place, vibration, cures;
- La géométrie de l'ouvrage.
- Le milieu environnant.

Le soin apporté à la formulation du béton, et à sa mise en œuvre, et la prise en compte des conditions extérieures permettront, dans la quasi-totalité des cas, de garantir sa durabilité.

II.6 Conclusion :

De nos jours, l'application de la durabilité règle 1 se fait principalement dans les laboratoires et la règle 2 se traduit par l'élaboration de normes, de codes et de règlements. Le fondement d'une approche économique de la durabilité réside donc dans le lien nécessaire entre les résultats expérimentaux et le cadre normatif.

Chapitre III

Caractéristique des matériaux et essais

III.1 Introduction :

Comme mentionné auparavant, l'objectif de cette partie expérimentale de notre travail de recherche est d'étudier l'effet de filler de gravier roulé sur la durabilité de mortier autoplaçant exposé aux attaques chimiques au niveau de laboratoire de génie civil de l'université et laboratoire : LTPS.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la présentation des matériaux utilisés dans la conduite de divers essais expérimentaux et à connaître les propriétés de ces matériaux ainsi la composition de mortier Auto-plaçant pour chaque types d'échantillons.

III.2 Les Matériaux utilisées :

III.2.1 Ciment :

Le ciment utilisé dans ce travail, est un ciment composé CEM II /A-L de résistance 42.5, il provient de la cimenterie de AWTED. IL est un ciment gris conforme à la norme algérienne NA 442ainsi que la norme européenne EN 197-1, convient parfaitement pour le coulage par temps chaud ainsi que le transport du béton prêt à l'emploi. AWTED est produit 100% algérien fabriqué exclusivement dans l'usine AMOUDA ciment à El baydha.



Figure (III.01) : Le ciment AWTED

III.2.1.1 Les caractéristiques techniques :

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

- les caractéristiques chimiques :

Tableau (III.01) : Les caractéristiques chimiques de ciment AWTED

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

- Les caractéristiques physico-mécaniques:

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

Caractéristiques	Résultats	Unités	Norme
Début de prise (DP)	Plus de 60	Mn	NA230 (EN 196-3)
Fin de prise (FP)	Plus de 240	Mn	NA230 (EN 196-3)
Surface spécifique (SSB)	3500	cm ² /g	NA231 (EN 196-6)
Résistance à la compression (2 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 Filler :

Le filler utiliser est un poudre obtenir par brouillage du gravier roulée provient des abords d'Oued METLILI(Ghardaïa). Le gravier roulée a été broyée finement jusqu'à obtenir des fines particules passant au tamis 80 µm, voir la figure ci-dessous :



Figure (III.02) : Le filler utilisé gravier roulé

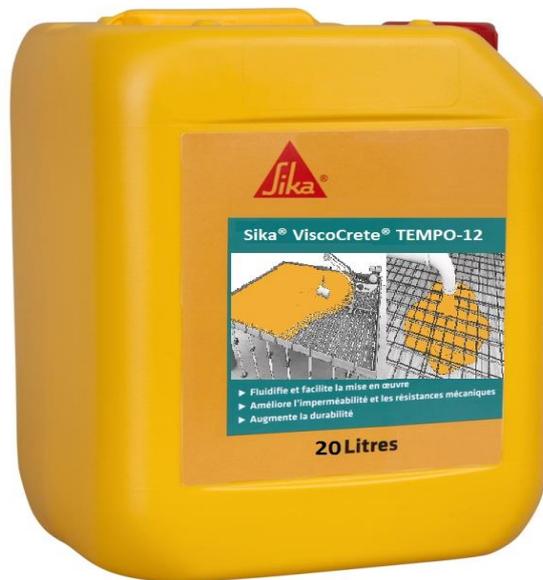
La composition chimique de Gravier roulée en (%) est présentée dans le tableau suivant :

Tableau (III.03) : La composition chimique de Gravier roulée

Composants	LOss	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Les teneurs	1.02	94.39	1.27	0.36	0.84	3.34

III.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 NF EN 934-2. Il se caractérise par sa grande durée de rhéologie et de sa résistance à la ségrégation.

**Figure (III.03) :** Le superplastifiant

On présent la description de produit dans le tableau suivant :

Tableau (III.04): la description de produit

Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fût de 217 L ▪ CP de 1000 L ▪ Vrac
Aspect / Couleur	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 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 réhomogénéisé.
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)

III.2.4 Sable:

On a utilisé un seul type de sable prélevée d'Oued Daïa Ben Dahoua de la région de Ghardaïa.



Figure (III.04) : Le Sable

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

III.2.4.1 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.



Figure (III.05) : La masse volumique absolue

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

Poids des agrégats secs	P1	443.49	G
Poids du récipient plein d'eau	P2	2183.39	G
P1 + P2	P3	2626.7	G
Poids récipient + agrégats + eau	P4	2497.19	G
Volume des agrégats P3 – P4	V	169.5	G
Masse volumique absolue	P1/V	2.62	g/cm

III.2.4.2 La masse volumique apparente :

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



Figure (III.06) : La masse volumique apparente

Tableau (III.06) : Les résultats de la masse volumique apparente

	Pn + T	Poids P0 (g)	Pn (g)	Volume du récipient V (g)	Poids moyen M (g)	Masse volumique apparente P/V (g/cm)
P1	4944	1810	3134	2000	3149	1.57
P2	4958.4		3148			
P3	4963		3153			
P4	4972		3162			

III.2.4.3 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 flocculent. 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 :

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.07) : Les résultats d'équivalent de sable

Echantillon	Essai 1	Essai 2
Hauteur totale H1 (cm)	19.1	18.9
Hauteur de sable H2 (cm)	7.8	7.2
ES= H2/H1*100	40.84	38.10
ES moyen (pour 100)	39.47	

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

III.2.4.4 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.08) : Analyse granulométrique par tamisage

III.2.4.4.1 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 [20].

Tableau (III.08) : Les résultats obtenus de l'analyse granulométrique du sable

Tamis (mm)	refus partiel(g)	Refus cumulé(g)	Refus cumulé(%)	Tamisât (%)	Observation
3,15	0	0	0	100	100
2	31,1	31,1	3,11	96,89	97
1	47,1	78,2	7,82	92,18	92
0,63	73,8	152	15,2	84,8	85
0,5	64,3	216,3	21,63	78,37	78
0,315	237,9	454,2	45,42	54,58	55
0,16	315,6	769,8	76,98	23,02	23
0,125	68,2	838	83,8	16,2	16
0,1	56	894	89,4	10,6	11
0,063	69,8	963,8	96,38	3,62	4

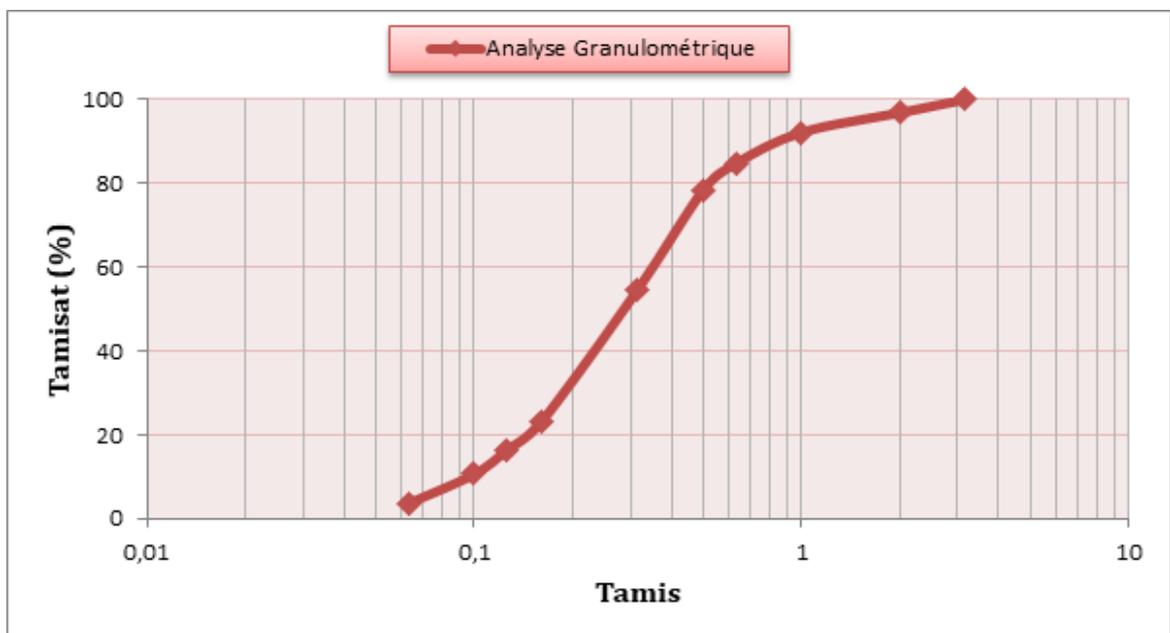


Figure (III.09) : courbe d'analyse granulométrique

$$Mf = \frac{3,11+7,82+15,2+21,63+45,42+76,98+96,38}{100}$$

$$Mf = 2,6$$

III.2.5 L'eau de gâchage :

L'eau utilisée pour le gâchage de mortier est un eau potable du réseau public de Ghardaïa.

III.3 Méthodes d'élaboration

III.3.1 Formulation de mortier auto-plaçant:

Dans notre étude 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 des fillers gravier roulé à des dosages de 5%, 10% et de 20%.

Les proportions de mélange ont été conçues selon les valeurs limites de mortier frais fournies par les spécifications EFNARC. Quatre mélanges distincts de mortiers ont été produits avec différents dosage de filler gravier roulé (5%, 10% et de 20%).

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 diamètre d'écoulement d'affaissement de mortier est de l'ordre de 250 ± 10 mm). Le tableau (III.09) montre les détails des mélanges de quatre mortiers MAP.

Tableau (III.09) : Représente les différents types des mortiers autoplaçant

Les types	Sable (g)	Eau (g)	Ciment (g)	Filler GR (g)	S-plastifiant(g)
Tm	1372.4	274.48	686.2	00	5
5%	1372.4	274.48	651.89	34.31	5.6
10%	1372.4	274.48	617.58	68.62	7.2
20%	1372.4	274.48	548.96	137.24	8.8

III.3.2 Malaxage du mortier :

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 30secondes.
- Introduire 2/3 d'eau à 30 secondes pendant 2 min et 30 secondes.

- 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 1/3d'eau + l'adjuvant à grande vitesse pendant 120s.



Figure (III.10) : Malaxeur de mortier

III.3.3 Essai à l'état frais :

III.3.3.1 Essai de mini cône :

C'est un essai essentiel qui permet de caractériser l'état frais et déterminer la maniabilité du mortier.

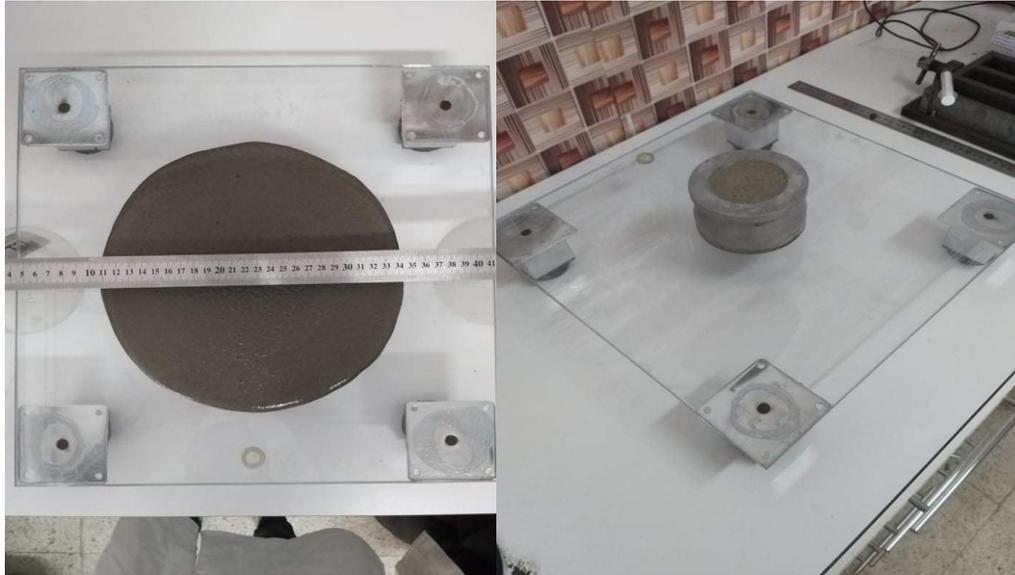


Figure (III.11) : Essais de mini cône

III.3.3.2 Essai au V-funnel :

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



Figure (III.12): Essais de V-Funnel

III.3.4 Essai à l'état Durci

III.3.4.1 Résistances mécaniques à la flexion et à la compression :

Il permet de déterminer la Limite élastique et la Résistance à la rupture des différents matériaux. Il permet de définir les caractéristiques de résistance des matériaux.



Figure (III.13) : Appareil des résistances mécaniques à la flexion et à la compression

Préparation des éprouvettes utilisé :

- On utilise des moules prismatique de dimension $(40 \times 40 \times 160)$ mm³ pour les essais de compression et traction.
- On doit nettoyer les éprouvettes à l'aide d'une brosse métallique puis étaler un lubrifiant (huile) pour faciliter le démoulage.
- Mettre la pâte cimentaire dans le moule.
- Remplissage et vibration des éprouvettes $(40 \times 40 \times 160)$ mm³.
- Démoulage et conservation des éprouvettes, après 24 heures, on procède au démoulage des éprouvettes.
- Les éprouvettes de $(40 \times 40 \times 160)$ mm³ sont conservées dans la chambre humide.
- Puis faire les essais de traction et compression.



Figure (III.14): Etapes de préparation les éprouvettes $(40 \times 40 \times 160)$ mm³

IV.3.4.2 la durabilité :

On prépare les solutions d'attaque acide de H₂SO₄ et HCl et les éprouvettes nécessaires pour faire cette étude avec les étapes suivante :

- On utilise des moules prismatique de dimension (50×50×50) mm³ cm pour les essais de durabilité
- On doit nettoyer les éprouvettes à l'aide d'une brosse métallique puis étaler un lubrifiant (huile) pour faciliter le démoulage
- Mettre la pâte cimentaire dans le moule
- Remplissage et vibration des éprouvettes (50×50×50) mm³
- Démoulage et conservation des éprouvettes, après 24 heures, on procède au démoulage des éprouvettes.
- conservation dans l'eau à la température de 20±1° C pendant 28 jours.



Figure (III.15):Etapes de préparation les éprouvettes (50×50×50) mm³

Après le 28 jours :

- Les éprouvettes sont pesées pour déterminer P1.
- Préparation des solutions :

On commence par calculer les volumes des solutions pour 8 échantillons

✚ Eau :

$$5 \times 5 \times 5 = 125 \text{ cm}^3$$

$$8 \times 3 \times 125 = 3000 \text{ cm}^3$$

- Le volume total pour les trois solutions est 3000 cm³

✚ Acide HCl :

L'acide utilisé est de pourcentage 37 %

37 % \rightarrow 100 %

5 % \rightarrow x %

➤ $X = 13.51 \%$

3000 cm³ \rightarrow 100 %

Y \rightarrow 13.51 %

➤ $Y = 405.3 \text{ cm}^3$

- Volume d'acide = 405.30 cm³
- Volume d'eau = 3000 – 405.3 = 2594.7 cm³

Acide H₂SO₄ :

L'acide utilisé est de pourcentage 98 %

98 % \rightarrow 100 %

05 % \rightarrow x %

➤ $X = 5.1\%$

3000 cm³ \rightarrow 100 %

Y \rightarrow 5.1 %

➤ $Y = 153 \text{ cm}^3$

- Volume d'acide = 153 cm³
- Volume d'eau = 3000 – 153 = 2847 cm³
- Mettre 8 échantillons dans chaque solution (H₂SO₄, HCl, H₂O) qui sont 2 échantillons pour le 5% ; 10% ; 20% et témoin. Les périodes réalisés pour l'essai sont les 7 ; 14 et 28 jours.

- A chaque périodes réalisés pour l'essai (7 ; 14 et 28 jours) on refaire l'opération de (lavage d'échantillons, séchage, peser pour calculer les changements de masse et elles réexposer aux solutions).



Figure (III.16):L'essai de la durabilité

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons cité et caractériser les matériaux utilisées et aussi expliqué la méthode de formulation utilisée dans notre recherche pour la confection des échantillons.

Chapitre IV

Résultat Et Discussion

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on a présenté les résultats de travail pratique sur le mortier autoplaçant préparé et effectué au niveau du laboratoire LTPS et du laboratoire de l'université de Ghardaïa.

Notre étude a pour objectif d'étudier les propriétés physico-mécaniques et la durabilité des mortiers à base des fillers de gravier roulé. Il est divisé en deux parties :

- La première partie présente les résultats à l'état frais (l'essai de mini cône et V-Funnel).
- La deuxième partie présente les résultats à l'état durci (les caractéristiques mécaniques (la résistance à la compression et à la traction) et les résultats de la durabilité (l'attaque chimique après l'immersion dans les deux acides à savoir l'acide sulfurique (H_2SO_4) et l'acide chlorhydrique à une seule concentration (5%).

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

IV.2.1 les essais de mini cône et de V-Funnel :

Tableau (IV.01) : Résultats d'essais d'étalement et de temps d'écoulement

Mortier Essais	Témoin	MAP 5%	MAP 10%	MAP 20%
Mini-cône (cm)	23	24	25	25
V-Funnel (s)	11,25	9,86	7,39	4,97

D'après les résultats présentés au Tableau (IV.01) on remarque que le diamètre d'étalement du mortier auto-compactant (MAP5%, MAP10%, MAP20%) augmente avec l'augmentation du pourcentage de filler (gravier roulé).

Pour le temps d'écoulement (V-Funnel) les résultats sont tous acceptables.

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

IV.3.1 la résistance mécanique des mortiers autoplaçant durci à la traction et la compression :

Nous avons effectué les essais de la résistance à la compression et à la traction sur éprouvettes prismatique ($4 \times 4 \times 16$) cm^3 pour les 04 formulations (Tm, 5%, 10%, 20%) de mortier autoplaçant à 2, 7, 28 jours et 2 mois respectivement.

Les résultats obtenus sont présentés aux tableaux suivants :

Tableau (IV.02) : Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 2 jours

2 jours				
MAP	Traction	T-moyen	compression	C-moyen
Témoin 0% Filler	1.36	1.5	25	24.33
	1.56		25	
	1.6		23	
5% Filler	1.28	1.32	24	23.66
	1.36		23	
	1.32		24	
10% Filler	1.28	1.32	20	20.5
	1.32		21	
	1.36		20.5	
20% Filler	1.28	1.24	19	18.5
	1.24		18.5	
	1.2		18	

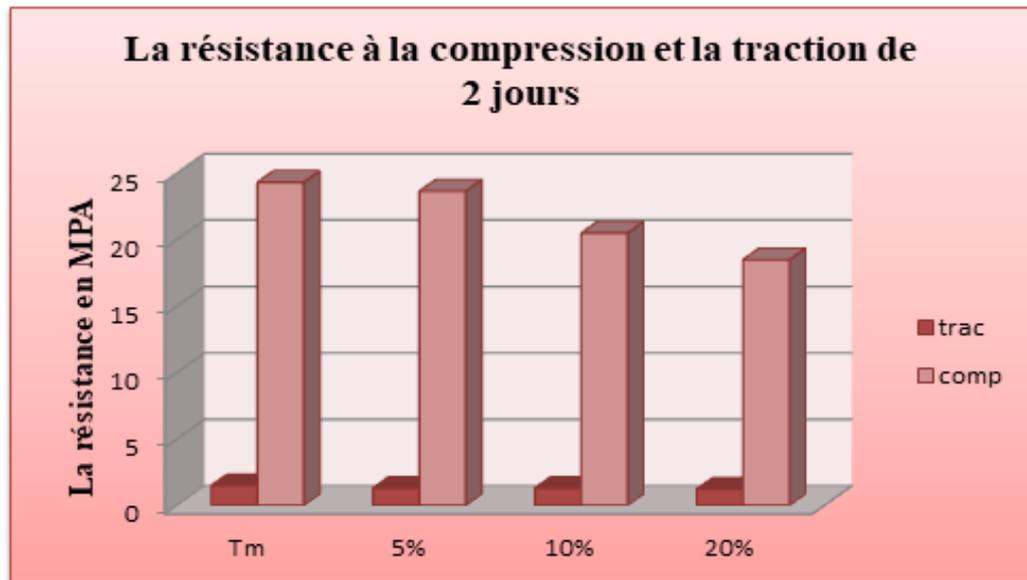


Figure (VI.1) : Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 2 jours

D'après le Tableau (IV.02) et la Figure (VI.1) on remarque que la résistance des mortiers diminue avec l'augmentation de dosage de substitution de ciment par le filler de gravier roulé. On a observé pour la résistance à la compression une diminution par rapport au mortier témoin avec un petit pourcentage de 2.7% pour la substitution de MAP 5% mais pour MAP 10% et MAP 20% une diminution de 15,74% et 23,96% respectivement ainsi que la résistance à la traction est diminuée avec un pourcentage de 13,33% pour les deux mortiers à savoir le MAP 5% et le MAP 10% pour le MAP 20% une diminution de 17,33% a été enregistrée.

Tableau (IV.03) : Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 7 jours

7 jours				
MPA	Traction	T-moyen	Compression	C-moyen
Témoin 0% Filler	5.531	5.97	32.812	34.99
	6.468		36.25	
	5.906		35.93	
5% Filler	2.28	2.29	53	55.03
	2.52		56.1	
	2.08		56	
10% Filler	1.84	1.72	36	37
	1.66		37	
	1.66		38	
20% Filler	1.82	1.9	41	41.33
	1.84		42	
	2.04		41	

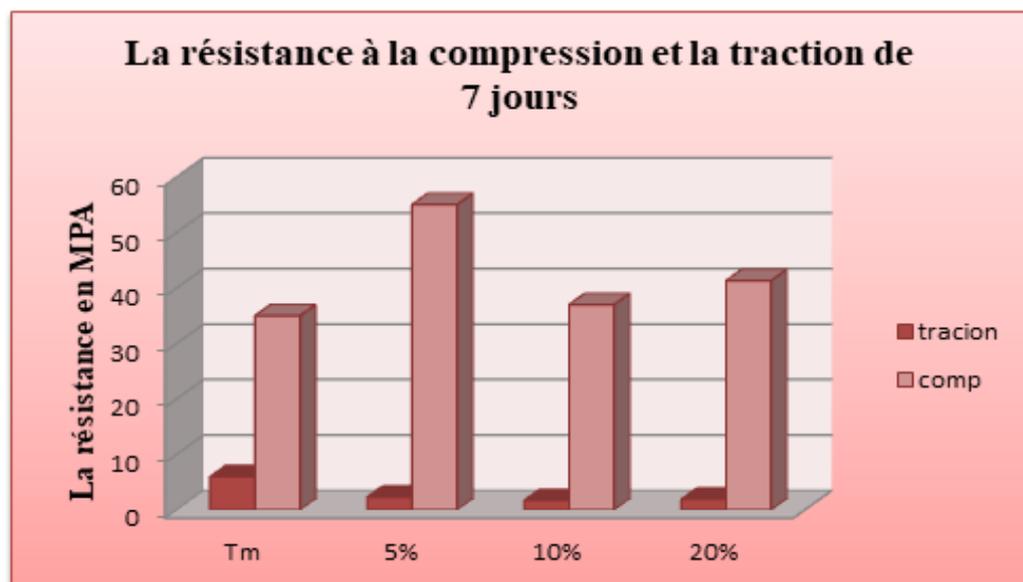


Figure (VI.2) : Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 7 jours

D'après le Tableau (IV.03) et la Figure (VI.2) on remarque que la résistance a enregistré une augmentation pour tous les formulation par rapport au mortier témoin, où on a enregistré une augmentation de 36.41% pour le MAP 5% ; 15.74% pour le MAP 10% et 23.96% pour le MAP 20% au contraire la résistance à la traction a enregistré unediminution importante pour le MAP 5% , MAP 10% et MAP 20% par rapport au mortier témoin .

Tableau (IV.04) : Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 28 jours

28 jours				
MPA	Traction	T-moyen	Compression	C-moyen
Témoin 0% Filler	3.08	2.96	78.5	66.5
	3		51	

	2.8		70	
5% Filler	2.64	2.58	75	72.5
	2.56		70.5	
	2.56		72	
10% Filler	2.08	2.24	65	63.83
	2.4		64	
	2.24		62.5	
20% Filler	2.36	2.16	58.5	57.5
	2.24		54	
	1.9		60	

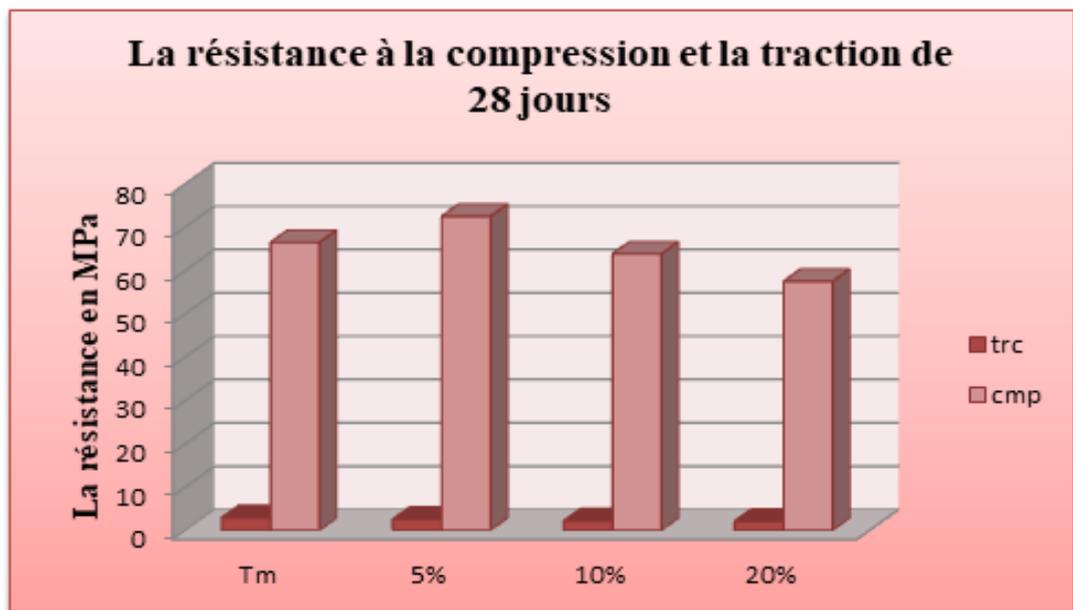


Figure (VI.3) : Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 28 jours

D'après le Tableau (IV.04) et la Figure (IV.3) on remarque que la résistance à la compression des mortiers a enregistré une augmentation de 9,02% pour le MAP 5% et une diminution de 4,01% et 13,53% pour le MAP 10% et le MAP 20% respectivement par rapport au mortier témoin. Pour la résistance à la traction une diminution de la résistance de 12,83% ; 24,32% et 27,02% pour le MAP 5% ; MAP 10% et le MAP 20% respectivement.

Tableau (IV.05) : Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 2 mois

2 mois				
MPA	Traction	T-moyen	Compression	C-moyen
Témoin	3.36	3.12	82	81.5
0% Filler	3.2		89.5	

	2.76		73	
5% Filler	2.92	2.71	82	78.3
	2.4		75	
	2.8		78	
10% Filler	2.76	2.55	75	70.30
	2.6		63	
	2.28		73	
20% Filler	2.4	2.88	56	61
	3.08		65	
	3.16		62	

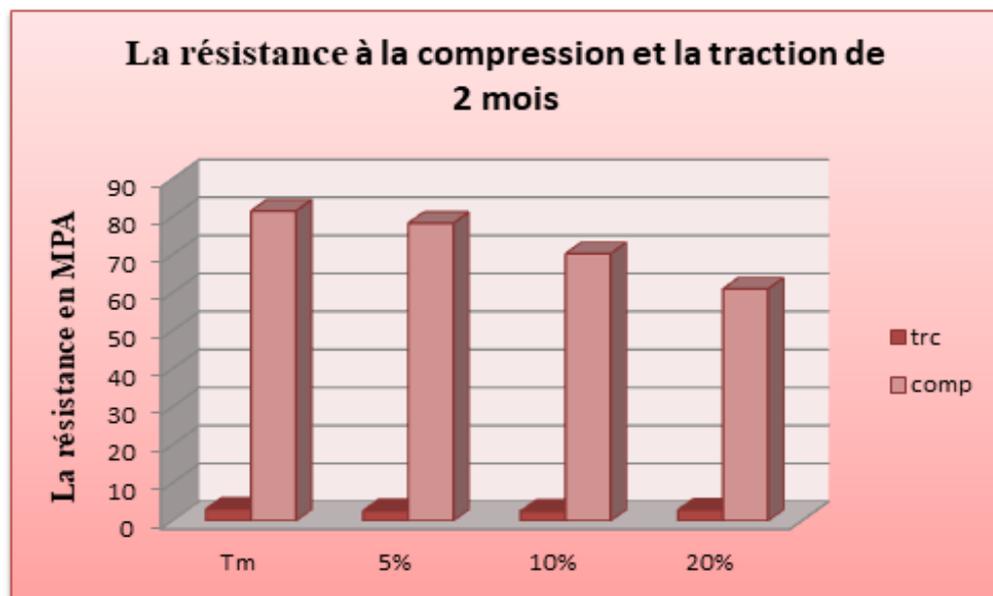


Figure (VI.4) : Les résultats de la résistance à la compression et la traction de 2 mois

D'après le Tableau (IV.05) et la Figure (VI.4) on observe que la résistance à la compression des mortiers a enregistré une diminution de 3.9 % ; 13.74% et 25.15% pour le MAP 5% ; le MAP 10% et le MAP 20% respectivement aussi pour la résistance à la traction une diminution de 13,14 % ; 18,26% et 7,69 % pour le MAP 5% ; le MAP 10% et le MAP 20% respectivement par rapport au mortier témoin.

IV.3.2 La durabilité :

Les essais de durabilité consistent à suivre l'évolution de la masse des échantillons immergés dans une solution d'eau seulement et de deux solutions de 5% HCl et H₂SO₄ chacun séparément par protocoles immersion totale.

IV.3.2.1 Présentation des résultats :

- Comparaison visuel :

Pour évaluer la dégradation de chaque mortier, une comparaison a été faite visuellement (à partir des photos numériques) avant et après 28 jours de conservation dans les trois milieux (H_2SO_4 , HCl , H_2O).



Figure (IV.05) : examen visuel sur l'échantillon immergé dans H_2SO_4

Après 28 jours d'exposition à l'acide H_2SO_4 , cette figure (IV.05) montre la présence des trous sur la surface de l'échantillon et la corrosion ainsi que la dégradation sur les bornes .



Figure (IV.06) : examen visuel sur l'échantillon de HCl

Après 28 jours d'exposition à l'acide HCl , La figure (IV.06) montre une dégradation des éprouvette et un changement de couleur .



Figure (IV.07) : examen visuel sur l'échantillon de H₂O (Eau)

Au cas de l'exposition à immersion d'échantillon à l'eau pendant 28 jours, on remarque qu'il n'y a pas une différence avant et après l'immersion juste un peu de calcaire couvre la surface.

Tableau(IV.06): Résultats de la perte de masse

Acide	Taux deFiller	Avant Immersion	7 jours	14 jours	28 jours	
H ₂ SO ₄	Tm 0%	283.5	237	215.5	204	
		291.5	246	227.5	216,5	
	5%	282.5	246	232	223.5	
		283.5	243.5	226	217	
	10%	288.5	256	241	232	
		277.5	247.5	229.5	219	
	20%	285.5	244	227.5	220.5	
		287.5	242.5	226.5	219	
	HCl	Tm 0%	294	264.5	263.5	264
			282	254.5	253.5	254
5%		285	255	254	254	
		296.5	269	268.5	268.5	
10%		284.5	254.5	253	253.5	
		310.5	278.5	277	277	
20%		282.5	250.5	248.5	249	
		285.5	254	252	252.5	
H ₂ O	Tm 0%	281.5	282	282	282	
		287.5	288	288	288	
	5%	286	286.5	286	286.5	
		279.5	280	280	285	
	10%	286.5	287.5	287	287	
		280.5	281	280.5	281	
	20%	285.5	286	286	285.5	
		285	285.5	285.5	286	

Le Tableau (IV.06) montre Les changements de la masse sont variés avec la durée de l'immersion.

Suite à l'examen visuel, l'écaillage a été observé sur la surface des échantillons, cette variation de poids n'a pas montré des tendances significatives.

Les résultats de la perte de masse vous trouverez dans les tableaux et les courbes suivants :

Tableau(IV.07) : la perte de masse à l'attaque chimique (Acide HCl)

	Avant imm	7 jours	14 jours	28 jours
Tm	288	259,5	258,5	259
5%	290,75	262	261,25	261,25
10%	297,5	266,5	265	265,25
20%	284	252,25	250,25	250,75

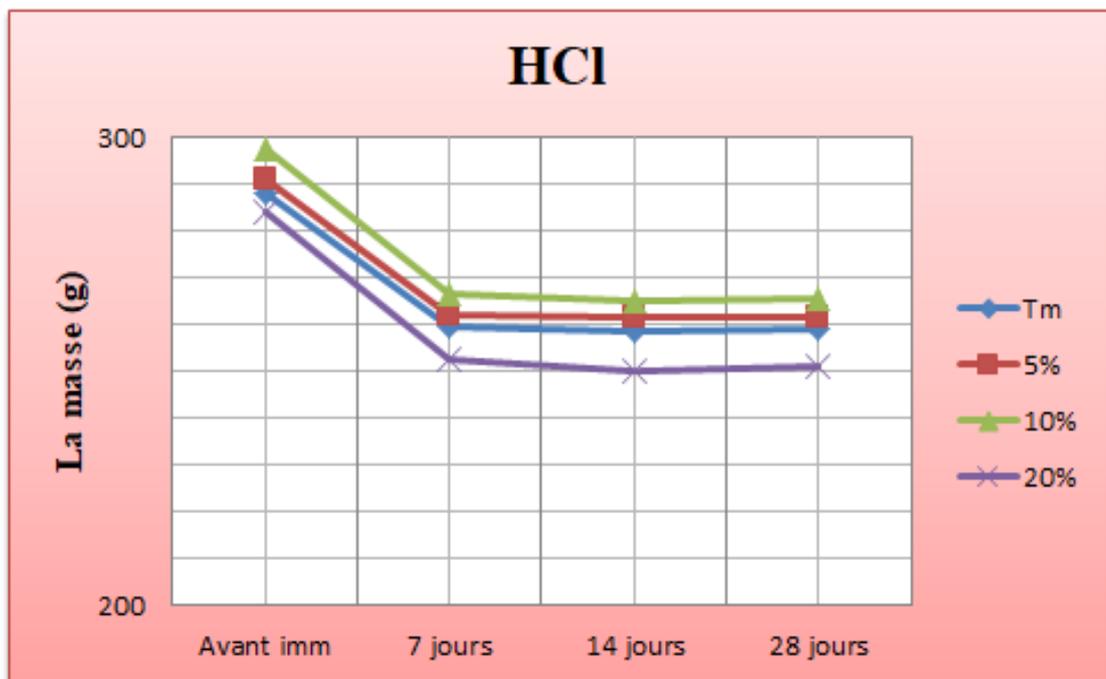


Figure (IV.08) : la perte de masse à l'attaque chimique (Acide HCl)

D'après le Tableau (IV.07) et la Figure (IV.08) on remarque que la perte de masse pour les mortiers Témoin; le MAP 5%; le MAP 10% et le MAP 20% est en diminution pendant la première semaine puis diminuent lentement jusqu'à 14 jours puis se stabilisent .

Tableau (IV.08) : la perte de masse à l'attaque chimique (Acide H₂SO₄)

	Avant imm	7 jours	14 jours	28 jours
TM	287,5	241,5	221,5	210,25
5%	283	235,25	229	220,25
10%	283	251,75	235,25	225,5
20%	286,5	243,25	227	220,5

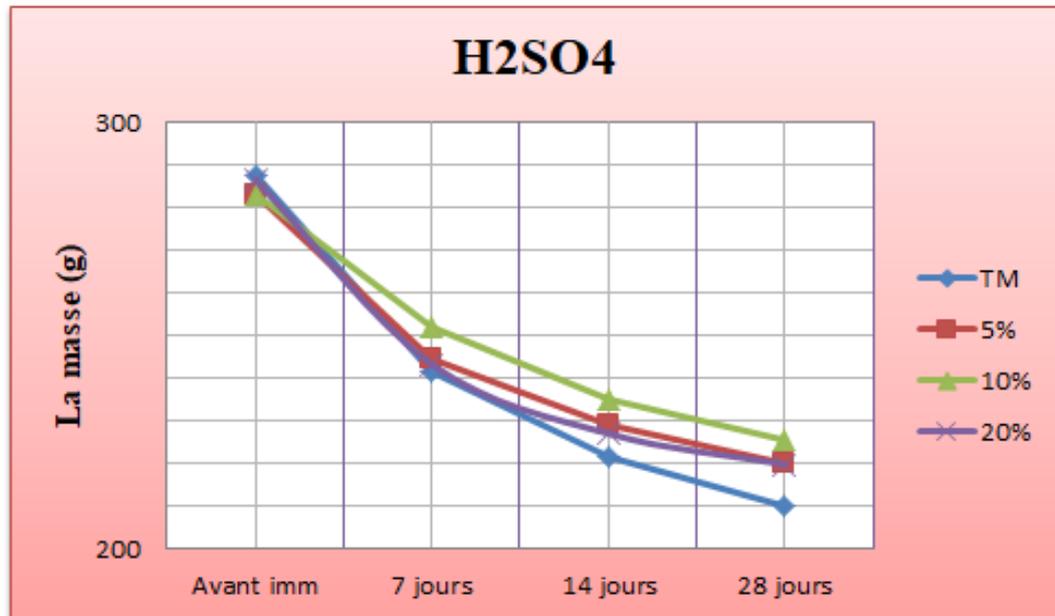


Figure (IV.09) : la perte de masse à l'attaque chimique (Acide H₂SO₄)

D'après le Tableau (IV.07) et la Figure (IV.08) on remarque que la perte de masse pour les mortiers Témoin; le MAP 5%; le MAP 10% et le MAP 20% diminue continuellement par rapport le temps .

IV.4 Conclusion :

D'après les résultats obtenus, on peut conclure que :

- Les propriétés rhéologiques et physico-mécaniques (Mini cône ; V-funnel ; résistance à la compression ; résistance à la traction) des mortiers testés a données des bonne résultats.
- les résultats de MAP 5% très proximité à résultats de Témoin.
- La perte en poids des mortiers à base de gravier roulé immergés dans l'acide H₂SO₄ est supérieure à celle qu'ils sont dans l'acide HCl .

En général les mortiers à base de filler gravier roulé présentent une résistance acceptable et proche aux mortiers Témoin (sans ajouts) aux milieux agressifs.

Conclusion Générale



Les travaux réalisés dans ce mémoire constituent une contribution à l'étude de l'effet de filler de gravier roulé sur la durabilité de mortier auto-plaçant exposé aux attaques chimiques.

Dans cette étude, on a effectué des essais sur le MAP à l'état frais et durci pour obtenir les caractéristiques des trois types de mortiers contenant un remplacement d'une partie du ciment par le filler de gravier roulé sur les propriétés physiques, mécaniques et la durabilité.

D'après les résultats obtenus sur les trois types de mortier et pour les différents essais nous pouvons tirer les principales conclusions suivantes :

Les résultats des essais de sable obtenus (masses volumiques apparentes et absolues, analyse granulométrique, équivalent du sable) sont trouvés dans les intervalles conformément aux normes en vigueur utilisés.

Afin de caractériser l'effet de l'addition, en fonction de sa nature et de son dosage, sur l'écoulement de la pâte en tant que phase prépondérante du MAP. Trois dosages d'addition 5, 10 et 20% en substitution du ciment ont été fixés.

L'étude préliminaire réalisée sur pâtes pures a permis de tirer les enseignements suivants:

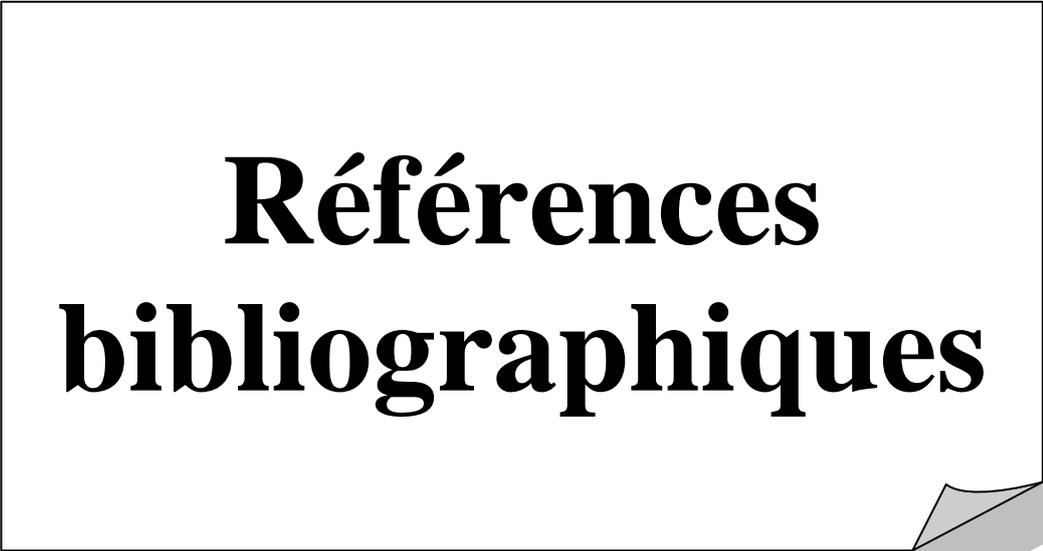
- Les demandes en eau et en super plastifiant des additions dépendent de leur finesse et de leur nature et dosage, le filler de gravier roulé est caractérisé par des demandes en eau et en super plastifiant modérées.

- L'incorporation du filler de gravier roulé dans le mortier améliore les paramètres d'ouvrabilité et de rhéologie des MAP par rapport au mortier de référence par augmentation du volume de pâte.

L'étude réalisée sur les propriétés mécaniques et sur la durabilité a permis de tirer les enseignements suivants :

- Le filler de gravier roulé améliore les résistances mécaniques à court terme, ces dernières ayant tendance à se stabiliser au-delà de 28 jours.

- La durabilité de MAP avec addition de filler de gravier roulé est bien meilleure que celle du MAP témoin. Les résultats obtenus sur la perte de masse montrent une bonne résistance du MAP 10% dans les deux milieux de conservation.



**Références
bibliographiques**

Références bibliographiques

- [1]-Association Française de Génie Civil, "Bétons auto-plaçants - Recommandations provisoires", documents scientifiques et techniques, AFGC, juillet 2000.
- [2] –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.
- [3]-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.
- [4]-Okamura.H, Maekawa.K, Ozawa.K, "High performance concrete", First ed. Gihouda Publishing Co, Tokyo, 1993.
- [5]-Okamura.H, Ozawa.K, "Mix design method for self-compacting concrete", Proceedings of Japan Society of Civil Engineers, 1995.
- [6]-Okamura.H, Ouchi.M, "Self-compacting high performance concrete", Progress in Structural Engineering and Materials, Vol1, 1998.
- [7] - 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.
- [8]-Pettersson.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.
- [9]-Pettersson.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.
- [10]-Billberg.P, "Self-compacting concrete for civil engineering structures – the Swedish experience", Report 2: 99, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1999.
- [11]-Ozawa.K, Tangtermsirikul.S, Maekawa. K, "Role of powder materials on the

fillingcapacity of freshconcrete", Proceedings of the 4th CANMET/AI Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Istanbul, Turquie, pp. 121-137, 1992.

[12]-Van.B.K., "A method for the optimum proportioning of the aggregate phase of highly durable vibration-free concrete", MSthesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, 1994.

[13]-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.

[14]-Sedran.T, De Larrard.F, "Optimization of self-compactingconcretethanks to packing model", Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compactingconcrete, Stockholm, Suède, pp. 321-332, 1999.

[15]- De Larrard.F, Sedran.T, "Mixture-proportioning of high-performance concrete", Cement and Concrete Research, 32, 11, pp. 1699-1704, 2002.

[16]- www.lafarge.canada .

[17]-Ghernouti Y., "effet des ajouts cimentaires ultrafines sur les propriétés physicomécaniques et la durabilité du béton", mémoire de magister, université de Boumerdés, 2002.

[18]-djoudrik S; fellahi S., "élaboration et caractérisation d'un béton fibre ultrahaut performance (BFUP) à base du calcaire", mémoire de master, université de Boumerdés 2010.

[19]- BENIFISS

[20]- Mémoire de durabilité d'un béton exposé à un milieu agressive (acide sulfurique) Debihabdelmohcen .

[21]- INFLUENCE DES MILIEUX DE CONSERVATION SUR LA DURABILITE DES MORTIERS AUTOPLAÇANTS (kedidsarah , boucethazakaria).

[22]- Thèse Doctorat de Ben Aissa.

[23]- Adapté de Possan (2010).

[24]- RISSELKHLIFA Mohamed, « Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçants », thèse de doctorat de l'Université de Constantine, 2009.]
,NASREDDINE Dalila et AMROUCHE Meriem, « Influence d'attaques par

(HNO₃+NH₄NO₃) et (MgSO₄) sur les résistances mécaniques en compression sur les mortiers à base des ciments pouzzolaniques », Mémoire de Master, 2016.

[25]- Peterson et al. 1996.

[26]- <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/part-1-generalites/materiel>.

Annexes



NOTICE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12

SUPERPLASTIFIANT / HAUT RÉDUCTEUR D'EAU

**INFORMATIONS SUR LE PRODUIT**

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est un superplastifiant/haute réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération à base de polycarboxylates.

DOMAINES D'APPLICATION

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 permet la fabrication de tout type de béton de consistance plastique à auto-plaçante.

- Béton autoplaçant ou autonivelant
- Béton à long maintien d'ouvrabilité sans effet retard de prise
- Béton à faible rapport E_{rel}/C
- Béton à haute ou très haute performance
- Béton pompé sur de très longues distances
- Bétonnage par temps chaud

- Béton pour ouvrages fortement ferrailés
- Chapes autonivelantes

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

De part sa formulation spécifique, Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est particulièrement recommandé pour les ciments à faible ou moyenne teneur en sulfates alcalins. Sa capacité à conférer un long maintien d'ouvrabilité lui permet de s'adapter facilement à des ciments faiblement demandeurs en adjuvants.

Son caractère polyvalent permet de s'adapter à tout type de matériaux et à une large gamme de ciments.

AGRÈMENTS / NORMES

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

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> • 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 réhomogénéisé.
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)
Teneur Totale en Ions Chlorure	$\leq 0,1\%$

Notice Produit
Sika® ViscoCrete® TEMPO-12
Mars 2020, Version 01.02
021301011000000110

1 / 2

Équivalent Oxyde de Sodium ≤ 1 %

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage Plage de dosage : 0,1 à 5,0% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

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.

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.

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.

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. Nos FDS sont disponibles sur www.quickfds.com et sur le site www.sika.fr

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 FRANCE S.A.S.
84 rue Edouard Vaillant
93350 LE BOURGET
FRANCE
Tél.: 01 49 92 80 00
Fax: 01 49 92 85 88
www.sika.fr



Notice Produit
Sika® ViscoCrete® TEMPO-12
Mars 2020, Version 01.02
021301011000000110

2 / 2

SikaViscoCreteTEMPO-12-fr-FR-(03-2020)-1-2.pdf

BUILDING TRUST







AMOUDA
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 Amouda Ciment 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.









Direction Générale et commerciale

Lotissement 202, Section 4, Zone d'activité
Amaré, Chéraga, Alger,
Tél. : 021 30 55 15
Mob. : 0470 481 451
Fax : 021 30 55 14
E-mail : serviceclients@amoudaciment.com





CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Propriétés chimiques :

- NA 5042 (EN 196-2) : SO₃ ≤ 3,5 %
- NA 5042 (EN 196-2) : Chlorure ≤ 0,1 %

Propriétés physico-mécaniques :

- NA 230 (EN 196-3) : Temps de début de prise (DP) > 60 mn
- NA 230 (EN 196-3) : Temps de fin de prise (FP) > 240 mn
- NA 231 (EN 196-6) : Surface spécifique (SSB) : 3500 cm²/g
- NA 234 (EN 196-1) : Résistance à la compression (2 Jours) > 10 MPa
- NA 234 (EN 196-1) : Résistance à la compression (28 Jours) > 42,5 MPa

Ces données sont communiquées à titre indicatif et peuvent faire objet d'un changement en fonction des paramètres de production dans les limites des normes en vigueur.

CONSEILS AMOUDA CIMENT

Pour la réalisation des travaux en milieux moyennement ou fortement agressifs (travaux maritimes, fondations en terrains gypseux, stations de traitement des eaux usées ...) préférez le ciment **AL ESSES**.

Pour la réalisation des travaux de finition (briquetage, crépissage ...) favorisez le ciment **AL IMRAN**.



Coordonnées usine
 23 km de Bouillet Sidi Saïd,
 El-Beldha, wilaya de Laghouat
 Tél. : 029 17 34 95
 Mob. : 0670 358 358
 Fax : 029 17 34 91

