

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHESCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

N° :



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE CIVIL

OPTION : MATERIAUX EN GENIE CIVIL

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par:

BOUDIA Sara

CHEBICHEB Khaoula

Intitulé

**Effet de l'incorporation et du dosage des fibres sur les
caractéristiques du mortier auto-plaçant à base de poudre
de verre**

Soutenu devant le jury composé de :

Pr BIBI Mekki

Université de M'sila

Président

Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine

Université de M'sila

Encadreur

Dr. BELOUADEH Messaouda

Université de M'sila

Co-Encadreur

Dr. AMRIOU Abderrachid

Université de M'sila

Examineur

Année universitaire : 2022/ 2023

*R*emerciements

Je remercie avant tout الله tout puissant, pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a données tout au long de ces années d'études, pour pouvoir en arriver là.

" الحمد والشكر لله "

En second lieu, Je tiens à remercier aussi et chaleureusement notre encadreur "Pr. RAHMOUNI ZINE EL ABIDINE", et notre Co-encadreur "Dr. BELOUADEH MESSAOUDA", pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené à bon port. Qu'ils trouvent dans ce travail un hommage vivant à leur haute personnalité.

Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidés à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à accomplir ce travail

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants et le chef de département de génie civil Dr : Baali Laïd et l'ensemble des membres du laboratoire qui a contribué à notre formation par ailleurs, Nos remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et

*camarades pour le soutien moral et matériel. **Merci.***

Dédicaces de Khaoula

Mes sincères remerciements à Dieu le tout puissant pour le Courage, la force, la Volonté et la santé qu'il m'a donnée afin De réaliser ce Mémoire. Je dédie ce mémoire :

A ceux qui m'ont donné la vie, symbole de beauté, et de fierté, de sagesse et de patience. Mes parents ; GAUMIDA djemaa et

CHEBICHEB Saïd

Ma mère qui a su être à mes côtés dans les moments difficiles sans laquelle je n'aurai pas abouti à ce stade d'étude, ainsi que chaque instant de bonheur qu'elle m'a procuré.

Mon père qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

À mon frère aîné (Nasseredin) et à mes chères sœurs (Houria) et (Zahia) la source de mon plus grand bonheur, qui m'ont encouragé et aidé pendant la réalisation de cette œuvre.

A Mes amis surtout : Ismail Saoudi, Douaa Yahiaoui, Chaima kuidri et Ibtissem Belgasmi, qui m'ont toujours entouré et motivé à sans cesse devenir meilleur.

A toute ma famille et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible.

Dédicaces de Sarah

C'est avec un immense plaisir que je dédie ce modeste travail à :

A ma très chère mère OUM ELKHEIR CHEMISSA (الله يرحمها)
et mon très cher père BOUDIA MOHAMED LAMINE {que dieu
le tout puissant l'accorde santé et bien-être INCHALLAH}

Aux supports de mon âme, vous mon cher frère : Brahim Said
et mes sœurs : Fatiha et Messaouda et son marie Adel Oumhani
et notre cher petit Fathi

et mes parents paternelle et maternelle surtout ma bien aimée
Fatiha {Mami}

Une dédicace très spéciale à mon amie : FatimaDjemai

A Tous les enseignants qui m'ont aidé de proche ou de loin pour
être un jour un Master en génie civil

A tous les étudiants de génie civil de l'Université de M'sila et
surtout les étudiants de la deuxième Année Master « Matériaux »

Promo 2022 /2023.

Je vous remercie tous.....

Résumé

À ce jour, peu d'applications pratiques ont été réalisées qui exploite pleinement les propriétés rhéologiques et mécaniques des mortiers auto-plaçant fibrés. Les utilisations les plus courantes s'adressent plutôt à la durabilité des structures. Cela est en partie dû à un manque de connaissances exhaustives sur le comportement à la rupture des éléments en MAPF, ce qui est souligné par le peu de documents réglementaires spécifiques à ce sujet. Le coût des MAPF et la nécessité d'une mise en œuvre soignée sont d'autres facteurs qui limitent pour le moment sa diffusion.

Le sujet de recherche s'articule autour de la formulation et la caractérisation des mortiers auto-plaçant MAP avec et sans fibres confectionnés à partir d'une gamme de constituants disponibles localement (contexte algérien) et qui répondent à un certain nombre d'exigences. L'Algérie dispose d'immenses quantités de sous-produits industriels, tels que la poudre de marbre, dont sa valorisation dans les matériaux cimentaires pourrait constituer une alternative écologique et économique intéressante, permettant d'élargir le champ d'emploi de la poudre de marbre et l'élimination de décharges encombrantes. Le but de ce travail est d'étudier l'influence de l'introduction des fibres polypropylène et des métalliques avec un pourcentage volumique de 0.5, 0.75, 1, 1.25, 0.3, 0.5% et 0.3, 0.5% successivement sur le comportement des mortiers auto-plaçant à l'état frais et à l'état durci et d'améliorer ainsi, la compréhension du comportement de ce type de mortiers du point de vue caractéristiques mécaniques (essais à l'ultrason, essai de résistance la flexion) et les propriétés à l'état frais

Les résultats trouvés confirment que l'utilisation de deux types de fibres ou plus avec des dosages appropriés peut potentiellement améliorer les propriétés intrinsèques du mortier auto-plaçant.

Mots clés : mortier auto-plaçant, poudre de verre, fibres métalliques, fibres synthétiques, propriétés rhéologiques, propriétés mécaniques.

ملخص

إلى يومنا هذا، توجد أعمال تطبيقية قليلة التي تستغل بشكل كامل الخواص الريولوجية والميكانيكية للهاون الذاتية القولية المسلحة بالألياف. الاستخدامات الأكثر شيوعا هي المتعلقة بمتانة هياكل. يرجع هذا إلى عدم وجود معرفة شاملة حول سلوك الكسر وغيرها من العوامل التي تحد من انتشاره حاليا. إن هذا البحث العلمي يتمحور حول تصميم ودراسة تجريبية للخرسانة الذاتية القولية المسلحة والغير المسلحة بالألياف والمكونة من مواد مصنعة محليا وتلبي بعض

المتطلبات. تتميز الجزائر بنمو تصاعدي، ما نتج عنه كميات كبيرة من المنتجات الثانوية مثل مسحوق الزجاج، حيث ان استغلاله في الصناعة الإسمنتية يمكن أن يكون بديل للاهتمام البيئي والاقتصادية، مثل مسحوق الرخام، الذي يمكن أن يكون تقييمه في مواد الإسمنت بديلاً بيئياً واقتصادياً مثيراً للاهتمام، وهذا سيساعد على توسيع مجال استخدام مسحوق الرخام والقضاء على النفايات المرهقة. الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير إدخال ألياف البولي بروبيلين والمعدن بنسبة كثافة قدرها 0.3, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 0.3, 0.5% و 0.3, 0.5% على سلوك مدافع الهاون ذاتية الربط في الحالة الطازجة والمتصلبة وتحسين فهم سلوك هذا النوع من قذائف الهاون من وجهة نظر الخصائص الميكانيكية (اختبارات الموجات فوق الصوتية واختبارات قوة الانحناء) والخصائص في الحالة الجديدة

تؤكد النتائج التي تم العثور عليها أن استخدام نوعين أو أكثر من الألياف مع المقاييس المناسبة يمكن أن يحسن الخصائص الجوهرية لقذائف الهاون ذاتية الربط.

الكلمات المفتاحية : ملاط مضغوط ذاتياً ، مسحوق زجاجي ، ألياف معدنية ، ألياف تركيبية ، خواص ريولوجية ، خواص ميكانيكية

Summary

To date, few practical applications have been carried out that fully exploit the rheological and mechanical properties of fibrous self-placement mortars. The most common uses are for the sustainability of structures. This is in part due to a lack of comprehensive knowledge on the breaking behavior of MAPF elements, which is highlighted by the lack of specific regulatory documents on this subject. The cost of MAPF and the need for careful implementation are other factors that currently limit its dissemination.

The research topic focuses on the formulation and characterization of MAP self-lacing mortars with and without fibers made from a range of locally available constituents (Algerian context) that meet a number of requirements. Algeria has huge

quantities of industrial by-products, such as marble powder, whose valorization in cement materials could be an interesting ecological and economic alternative. This will help to broaden the field of use of marble powder and eliminate cumbersome waste. The aim of this work is to study the influence of the introduction of polypropylene fibers and metal with a density percentage of 0.5 ,0.75 ,1,1.25,0.3,0.5% and 0.3.0.5% on the behavior of self-placement mortars in fresh and hardened condition and to improve, understanding of the behavior of this type of mortar from the point of view of mechanical characteristics (ultrasonic tests, bending strength tests) and properties in the fresh state

The results found confirm that the use of two or more types of fibers with appropriate assays can potentially improve the intrinsic properties of the self-placement mortar.

Keywords: self-placement mortar, glass powder, metal fibers, synthetic fibers, rheological properties, mechanical properties

Liste des abréviations

P% :	Porosité
BAN :	Béton auto plaçant nivelant
ρ abs:	Masse volumique absolue
ρ app:	Masse volumique apparent
BAP	Béton auto plaçant
BAPF:	Béton auto plaçant fibré
MAP :	Mortier auto plaçant
MAPF:	Mortier auto plaçant fibré
E/C:	Rapport eau sur ciment
E/M:	Rapport eau sur mortier
E/L:	Rapport eau sur liant
ESV:	Equivalent de sable visuel
ESP :	Equivalent de sable au piston
E% :	Indice de vide
C%:	Compacité
V:	Volume
Mf :	module de finesse
RC:	Résistance à la compression
Rt:	Résistance à la traction
RF:	Résistance à la flexion
Rf:	refus cumulé
C3S:	Tricalcique
C2S:	bi calcique
Rp:	étalement relatif
W%:	teneur en eau
M:	La masse
SiO₂:	La silice
CaO:	La chaux
FeCO₃:	La ferrite
D:	le diamètre

Table des matières

Résumé	
Introduction Générale.....	- 1 -
1. Chapitre 01 : Mortier auto plaçant.....	- 4 -
Introduction	- 4 -
1.1. Mortiers auto-plaçant.....	- 4 -
1.2. La composition des mortiers auto plaçant	- 6 -
1.2.1. Le sable.....	- 6 -
1.2.1.1. Définition.....	- 6 -
1.2.1.2. Choix du sable	- 6 -
1.2.1.3. Caractéristiques des sables	- 7 -
1.2.1.4. Classification des sables	- 7 -
1.2.1.5. Types de sable	- 9 -
1.2.1.6. Module de finesse (M f)	- 10 -
1.2.2. Le rapport sable/mortier	- 11 -
1.2.3. Le ciment.....	- 11 -
1.2.4. Eau de gâchage	- 14 -
1.2.5. Les adjuvants	- 15 -
1.2.5.1. Mode d'action	- 15 -
1.2.6. Les ajouts.....	- 16 -
1.2.6.1. Définition des ajouts cimentaires :	- 16 -
1.2.6.2. Classification des ajouts minéraux :	- 16 -
1.2.6.3. Principaux ajouts minéraux inertes (N F P 18- 305) :	- 17 -
1.2.6.4. Les ajouts minéraux actifs :	- 17 -
1.2.7. Le verre :	- 18 -
1.2.7.1. Définition la poudre de verre.....	- 19 -
1.2.7.2. La composition des verres les plus courants en détail :	- 19 -
1.2.7.3. Les propriétés du verre :	- 20 -
1.2.7.3.1. Propriétés physiques :	- 20 -
1.2.7.3.2. Propriétés thermiques:	- 21 -
1.2.7.3.3. Propriétés chimiques.....	- 21 -
1.2.7.4. Caractéristique du verre dans le mortier :	- 22 -
1.2.7.5. Comportement du verre dans un milieu cimentaire:.....	- 22 -
1.2.7.6. Comportement à l'état frais du mortier	- 22 -
1.2.7.6.1. Maniabilité du mortier	- 22 -
1.2.7.6.2. Effet du taux de verre :	- 22 -
1.2.7.6.3. Effet du verre broyé sur le temps de prise :	- 23 -
1.2.7.6.4. Effet de la poudre de verre sur l'état durci :	- 23 -
1.2.7.6.5. Verre comme matériau pouzzolanique :	- 24 -
1.2.7.6.6. Avantages d'utilisation de la poudre de verre dans le mortier :	- 25 -
1.2.7.6.7. Bénéfices et performance de l'intégration de la poudre de verre comme ajout cimentaire :	- 25 -

1.2.7.6.8. Rôle des ajouts minéraux actifs	- 25 -
1.2.7.6.9. Utilisation des ajouts en Algérie	- 26 -
1.3. Classification des mortiers :	- 26 -
1.3.1. Classification selon leur domaine d'utilisation :	- 26 -
1.3.2. Classification selon la nature du liant :	- 27 -
1.3.3. Classification selon le mode de fabrication :	- 27 -
1.4. Différents types des mortiers	- 27 -
1.4.1. Mortier pour chape :	- 27 -
1.4.2. Le coulis	- 28 -
1.4.3. Enduits :	- 29 -
1.4.4. Jointe de maçonnerie	- 29 -
1.4.5. Mortiers de calage et de scellement	- 30 -
1.4.6. Mortier de bourrage	- 31 -
1.5. Structure de MAP	- 31 -
1.5.1. Un volume de pâte élevé	- 32 -
1.5.2. Une quantité importante de fines	- 32 -
1.5.3. Un fort dosage de super plastifiant	- 32 -
1.5.4. Une utilisation éventuelle d'agent colloïdal	- 33 -
1.6. Méthodes de formulation	- 33 -
1.6.1. Méthode d'Okamura	- 33 -
1.6.1.1. Choix du dosage en ciment :	- 33 -
1.6.1.2. Désignation du volume d'air :	- 33 -
1.6.1.3. Détermination du dosage du sable :	- 33 -
1.6.1.4. Détermination du dosage minimal en eau :	- 34 -
1.7. Caractérisation de MAP à l'état frais	- 34 -
1.7.1. Fluidité et déformabilité de MAP	- 34 -
1.7.2. Étalement au Mini cône de la pâte	- 35 -
1.7.3. Essais de déformabilité de l'entonnoir en V (V-Funnel) :	- 35 -
1.8. Caractérisation de MAP à l'état durci	- 36 -
1.8.1. Objectif de l'essai	- 36 -
1.8.2. Mesure De La Résistance A La Traction Par Flexion	- 37 -
1.8.3. Mesure De La Résistance A La Compression	- 38 -
1.8.4. Essais non destructif	- 39 -
1.8.4.1. Ultrasons :	- 39 -
1.8.4.2. Avantages	- 40 -
1.8.4.3. Inconvénients	- 40 -
Conclusion	- 41 -
2. Chapitre 02 : Effet des fibres sur le comportement des mortiers auto plaçant ...	- 43 -
Introduction	- 43 -

2.1.	Définition de mortier de fibres	- 43 -
2.2.	Historique du béton de fibres	- 44 -
2.3.	Les fibres	- 45 -
2.4.	Les types des fibres	- 46 -
2.4.1.	Fibres naturelles.....	- 46 -
2.4.2.	Végétale.....	- 47 -
2.4.3.	Métallique :.....	- 47 -
2.4.3.1.	Les Fibres d'acier:.....	- 48 -
2.4.4.	Fibres synthétiques	- 49 -
2.4.4.1.	Fibres de polypropylène	- 49 -
2.4.4.1.1.	Avantage :.....	- 50 -
2.4.4.1.2.	Inconvénients :.....	- 50 -
2.4.4.1.3.	Propriétés chimiques :.....	- 50 -
2.4.4.1.4.	Tests d'identification :.....	- 51 -
2.4.4.1.5.	Utilisation :.....	- 51 -
2.5.	Rôle des fibres	- 51 -
2.6.	Propriétés des fibres	- 52 -
2.7.	Domaines d'application des mortiers fibrés	- 53 -
2.8.	Rôles des fibres dans le mortier.....	- 54 -
2.9.	Fabrication de mortier de fibres	- 54 -
2.10.	Les avantage du mortier de fibres.....	- 54 -
2.11.	Bétons auto plaçants fibrés	- 55 -
2.12.	Caractéristique des bétons autoplaçants fibrés.	- 55 -
2.13.	Influence des fibres sur les propriétés à l'état frais	- 56 -
2.14.	Effet sur l'étalement	- 56 -
2.15.	Comportement mécanique des bétons autoplaçant fibrés.....	- 57 -
2.16.	Comportement à la flexion	- 57 -
2.17.	Comportement à la compression et à la traction.....	- 58 -
2.18.	Propriétés et Comportement du béton fibré dans les structures	- 59 -
	Conclusion.....	- 61 -
3.	Chapitre 03 : Programme expérimental	- 63 -
	Introduction	- 63 -
3.1.	Ciment : CEM II /A-) P-L(42.5N)(Ciment Portland NA 442/2013)	- 63 -
3.2.	Sable	- 65 -
3.2.1.	Caractéristiques physiques des sables utilisés	- 65 -
3.2.1.1.	Masse spécifique (absolue) :NFP18-555	- 65 -
3.2.1.2.	Masse volumique apparent (NF P 18-554).....	- 65 -
3.2.1.3.	Porosité : NFP18-554	- 66 -
3.2.1.4.	Compacité.....	- 66 -
3.2.1.5.	L'indice des vides.....	- 66 -

3.2.1.6.	Equivalent de sable [NF EN 933-8]	- 67 -
3.2.1.7.	Equivalent de sable visuel (ESV)	- 68 -
3.2.1.8.	Equivalent de sable au piston(ESP)	- 69 -
3.2.1.9.	Analyse granulométrique : NFP18-304.NFP18-560	- 70 -
3.2.1.9.1.	But de l'essai	- 70 -
3.2.1.9.2.	Principe de l'essai	- 70 -
3.2.1.9.3.	Matériel nécessaire:	- 70 -
3.2.1.9.4.	Mode opératoire:	- 71 -
3.2.1.9.5.	Module de finesse :	- 73 -
3.2.1.9.6.	Teneur en eau [NF P 18-555]	- 74 -
3.3.	L'adjuvant :	- 74 -
3.3.1.	Propriétés	- 75 -
3.3.2.	Domaine d'application :	- 76 -
3.4.	Poudre de verre	- 76 -
3.5.	Eau de gâchage :	- 78 -
3.6.	Les fibres :	- 79 -
3.6.1.	Les fibres de polypropylènes :	- 79 -
3.6.1.1.	Domaines d'application :	- 79 -
3.6.1.2.	Caractéristiques techniques :	- 80 -
3.6.2.	Fibres d'acier :	- 80 -
3.6.2.1.	Propriétés des fibres métalliques :	- 82 -
3.6.2.2.	Applications :	- 82 -
3.7.	Fabrication et conditionnement des éprouvettes :	- 82 -
3.8.	Composition de mortier auto plaçant:	- 83 -
3.9.	Dénomination des différents mélanges :	- 84 -
3.10.	Séquence de malaxage du mortier:	- 85 -
3.11.	Démoulage et conservation des éprouvettes :	- 86 -
3.12.	Essais Sur Mortier Auto Plaçant Frais:	- 87 -
3.12.1.	Essai Au Mini Cône D'étalement:	- 87 -
3.12.2.	Essais De l'Entonnoir En V (V- Tunnel) :EN123450-9 :	- 88 -
3.13.	La masse volumique a L'état frais :	- 89 -
3.14.	Essais Sur Mortier Auto Plaçant Durci:	- 89 -
3.14.1.	Cure appliquée [NF P 18-404] :	- 89 -
3.14.2.	La masse volumique a L'état durci :	- 89 -
3.15.	Essais non destructifs :	- 90 -
3.15.1.	Contrôle par ultrasons :	- 90 -
3.15.2.	Résistance à la traction par flexion :	- 91 -
3.15.3.	La Résistance à la compression (essais d'écrasement) [N P18-406] :	- 91 -
3.15.4.	Porosité ASTM - C642 :	- 92 -
	Conclusion	- 93 -

4. Chapitre 04 : Résultats et discussions	- 95 -
Introduction	- 95 -
4.1. Les résultats des essais à l'état frais.....	- 95 -
4.1.1. Essai de l'étalement.....	- 95 -
4.1.2. Influence des fibres sur temps d'écoulement (V-Funnel test).....	- 97 -
4.1.3. La masse volumique à l'état frais.....	- 98 -
4.2. Les résultats des essais à l'état durci.....	- 99 -
4.2.1. La masse volumique.....	- 99 -
4.2.1.1. Effet des fibres sur les propriétés mécaniques des MAP.....	- 100 -
4.2.1.2. Résistance à la compression (RC).....	- 100 -
4.2.1.2.1. Résistance à la traction (Rt).....	- 101 -
4.2.1.3. Les essais non destructifs	- 101 -
4.2.1.3.1. La porosité (%)	- 101 -
4.2.1.3.2. La vitesse d'ultrason (V)	- 102 -
4.3. Étude de corrélation.....	- 103 -
4.3.1. Étude de corrélation entre (ρ) et (V).....	- 103 -
4.3.2. Étude de corrélation entre (RC) et (V)	- 104 -
4.3.3. Étude de corrélation entre (Rt) et (V).....	- 105 -
4.3.4. La corrélation porosité (P) en fonction de (V) pour mortier	- 106 -
Conclusion.....	- 107 -
Conclusion Générale	- 109 -
Perspectives	- 110 -
References	- 111 -
ANNEXES	- 113 -
Annexe 01 :	- 113 -
Annexe 02 :	- 114 -
Annexe 03 :	- 115 -

Table des figures

Figure 1-1 : La différence entre les constituants des mortiers ordinaires et des mortiers auto-plaçant.	- 5 -
Figure 1-2 : Constituants des mortiers.....	- 5 -
Figure 1-3 : Courbe granulométrique des différents cas.	- 11 -
Figure 1-4 : Nature chimique des différents types de ciment.....	- 12 -
Figure 1-5 : Différents types d'ajouts cimentaires.	- 17 -
Figure 1-6 : Poudre de verre.....	- 19 -
Figure 1-7 : Effet du taux de substitution sur l'ouvrabilité du béton au laitier pour deux taux de verre. [6]	- 23 -
Figure 1-8 : Les mortiers pour chapes.	- 28 -
Figure 1-9 : Les mortiers et coulis de réparation.....	- 28 -
Figure 1-10 : Les enduits	- 29 -
Figure 1-11 : Le mortier joint de maçonnerie.....	- 30 -
Figure 1-12 : Mortier de bourrage.	- 31 -
Figure 1-13 : Étalement au Mini cône de mortier auto-plaçant.....	- 34 -
Figure 1-14 : Dimensions de Mini cône à mortier.	- 35 -
Figure 1-15 : Déroulement de l'essai d'entonnoir en mini v (v-funnel).	- 36 -
Figure 1-16 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion	- 37 -
Figure 1-17 : L'appareil de résistance à la flexion par traction.....	- 38 -
Figure 1-18 : Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.....	- 38 -
Figure 1-19 : L'appareil de compression.....	- 39 -
Figure 1-20 : Principe du contrôle par ultrasons	- 40 -
Figure 2-1 : Des fibres plastiques utilisées.....	- 45 -
Figure 2-2 : Différentes formes de fibres.	- 46 -
Figure 2-3 : Fibre noix de coco	- 47 -
Figure 2-4 : Fibre métallique.....	- 48 -
Figure 2-5 : Fibre d'acier	- 48 -
Figure 2-6 : Fibre de polypropylène.....	- 50 -
Figure 2-7 (a, b) : Illustration de l'apport du renfort par des fibres.	- 52 -
Figure 2-8 : Effets des fibres sur l'étalement des BAP	- 56 -
Figure 2-9 : L'évolution de l'étalement en fonction du facteur de fibre	- 57 -
Figure 2-10 : Courbe effort-flèche pour différentes compositions.....	- 58 -
Figure 2-11 : Comportement à la traction de différentes compositions	- 59 -
Figure 2-12 : Palplanches précontraintes à base de : mortier auto-plaçant fibré (a), béton armé ordinaire (b).....	- 60 -
Figure 3-1 : Le ciment utilisé	- 64 -
Figure 3-2 : Mesure de l'équivalent de sable.....	- 68 -
Figure 3-3 : Mesurée de L'équivalent de sable.....	- 69 -
Figure 3-4 : Une machine à tamiser.	- 71 -
Figure 3-5 : Colonne de tamis	- 72 -
Figure 3-6 : La courbe granulométrique du sable	- 73 -
Figure 3-7 : Evolution du temps d'écoulement en fonction du volume du MEDAFLOW .	- 75 -
Figure 3-8 : Super plastifiant utilisé dans notre étude.....	- 76 -
Figure 3-9 : Poudre de verre.....	- 77 -
Figure 3-10 : Distribution granulométrique de la poudre de verre.....	- 78 -
Figure 3-11 : Les fibres de polypropylènes.....	- 79 -

Figure 3-12: Fibres métalliques.....	- 82 -
Figure 3-13: Des éprouvettes	- 83 -
Figure 3-14: Malaxage	- 84 -
Figure 3-15: Séquence de malaxage du mortier auto plaçant.....	- 86 -
Figure 3-16: Eprouvettes conservées dans le bac.....	- 87 -
Figure 3-17: Essai d'Étalement pour Mortier	- 87 -
Figure 3-18: Essai à l'Entonnoir en V pour Mortier.....	- 88 -
Figure 3-19 : Mesures en transparence (directe).	- 90 -
Figure 3-20 : Essai de traction par flexion	- 91 -
Figure 3-21: Essai de compression.....	- 92 -
Figure 3-22 : Essai de mesure dans l'eau	- 93 -
Figure 3-23: Essai de Chauffage	- 93 -
Figure 4-1 : Essais d'étalement sur le mortier auto plaçant frais.....	- 96 -
Figure 4-2 : L'étalement en fonction du type de mortier (MAP).....	- 96 -
Figure 4-3: Le temps d'écoulement en fonction du type de mortier (MAP).....	- 97 -
Figure 4-4: Masse volumique en fonction des différents mortiers auto plaçant étudiés	- 98 -
Figure 4-5 : Masse volumique en fonction des différents mortiers auto plaçant étudiés ...	- 99 -
Figure 4-6: Résistance à la compression des (MAP) à différent pourcentage de fibre. ...	- 100 -
Figure 4-7: Résistance à la traction en fonction de type de mortier (MAP).....	- 101 -
Figure 4-8: La porosité en fonction de type de mortier (MAP).....	- 102 -
Figure 4-9: L'évolution de la vitesse ultrasonique en fonction type de mortier (MAP) .	- 103 -
Figure 4-10: Corrélation entre (ρ) et (v) pour mortiers à 28 jours.....	- 104 -
Figure 4-11: La corrélation (R_c) en fonction de (V) pour mortier à 28 jours.....	- 105 -
Figure 4-12: La corrélation (R_t) en fonction de (V) pour mortier à 28 jours.	- 106 -
Figure 4-13: La corrélation porosité (P) en fonction de (V) mortier à 28 jours.	- 107 -

Liste des tableaux

Tableau 1-1: Classification de sables en fonction de sa composition (teneurs en % massique).	- 8 -
Tableau 1-2 : Classification des ciments selon la norme EN 206.	- 13 -
Tableau 1-3 : Les ajouts utilisés dans les cimenteries algériennes.	- 26 -
Tableau 2-1: Caractéristiques mécaniques des fibres d'acier.	- 49 -
Tableau 2-2 : Caractéristiques des fibres de polypropylène	- 51 -
Tableau 3-1 : Analyse chimique ciment.	- 63 -
Tableau 3-2 : caractéristiques physico-mécaniques	- 64 -
Tableau 3-3: Les constituants de ciment en %.	- 64 -
Tableau 3-4: Résultats de la masse volumique absolue	- 65 -
Tableau 3-5: La masse volumique apparente a l'état l'ache	- 66 -
Tableau 3-6: La masse volumique apparente a l'état compact	- 66 -
Tableau 3-7: Porosité, compacité et l'indice des vides.	- 67 -
Tableau 3-8 : Les résultats d'équivalent du sable de Boussaâda	- 69 -
Tableau 3-9: Les résultats d'analyse granulométrique du sable de Boussaâda	- 72 -
Tableau 3-10: Teneur en eau de sable utilisé	- 74 -
Tableau 3-11: Caractéristiques du MEDAFLOW 30.	- 75 -
Tableau 3-12 : Masse mole claire du super plastifiant	- 75 -
Tableau 3-13: Composition chimique de la poudre de verre.	- 77 -
Tableau 3-14: Caractéristique physique de la poudre de verre.	- 77 -
Tableau 3-15: Caractéristiques chimiques de l'eau.	- 78 -
Tableau 3-16: Les compositions de mortier auto-plaçant.	- 85 -
Tableau 4-1: les notations des différentes compositions utilisées.	- 95 -
Tableau 4-2: Résultats de l'essai d'étalement pour mortiers étudiés	- 96 -

Introduction

Générale

Introduction Générale

Les fibres sont utilisées dans le mortier pour diverses applications où elles servent principalement à contrôler la densité et la largeur de la fissuration du mortier plastique, la fissuration de retrait par séchage ainsi qu'à augmenter la ténacité et à accroître la résistance mécanique du mortier. Cependant les coûts supplémentaires qu'engendrent l'achat et la mise en place des mortiers fibrés, font d'eux des matériaux qui sont utilisés pour des applications où l'augmentation de performance relativement à l'entretien ou à la durabilité du produit fini permet de justifier les coûts supplémentaires. L'utilisation de mortiers fibrés plus facile à manipuler et à mettre en place pourrait faire bénéficier à de nouvelles applications les nombreux avantages qu'offrent les fibres.

La mise en place des mortiers fibres ordinaires nécessite beaucoup de vibration pour assurer une bonne compacité du mortier. Ceci entraîne des coûts de main-d'œuvre plus élevés et une nuisance sonore qui, par exemple, peut empêcher certains travaux de s'effectuer de nuit en région urbaine. De plus, dans certains cas où la densité des armatures est grande, il peut s'avérer difficile d'assurer un bon remplissage des coffrages car les armatures interfèrent avec l'écoulement de béton

Le mortier auto nivelant (MAN), comme son nom l'indique, est un mortier qui se met en place sans aucune vibration même dans des endroits très encombrés par les armatures et cela tout en préservant une bonne homogénéité jusqu'au durcissement. La confection d'un MAP avec fibres (MAPF) pourrait faciliter grandement la mise en place avec tous les avantages que cela comporte. Entre autres, il est raisonnable de penser que la main d'œuvre nécessaire serait moindre et qu'une mise en place plus rapide serait possible pour les mortiers fibrés. En conséquence, les coûts de confection pourraient ainsi diminuer.

En plus, la grande maniabilité des MAP et MAPF assure la fabrication d'ouvrages dont la finition est toujours d'une qualité acceptable. Ainsi, les cas où la durabilité à long terme serait affectée par les défauts dus à la mise en place

seraient peut nombreux. Du point de vue de la durabilité du matériau, des ouvrages récents montrent que la durabilité des MAP peut être au moins égale à celle des bétons conventionnels.

Le champ d'application des MAPF serait au moins égal à celui des bétons conventionnels avec fibres. De plus, il est que les applications deviennent plus nombreuses pour deux raisons. La première, d'ordre technique, repose sur le fait que la grande maniabilité des MAPF peut les rendre capables de nouvelles applications. La deuxième, d'ordre économique, est que la baisse du coût de mise en place peut rendre l'utilisation de fibres plus adorable. Par exemple, les fibres sont déjà bien connues pour leur effet bénéfique en tant qu'une armature secondaire. Cette propriété pourrait être plus exploitée pour des ouvrages peu renforcés tels que les murs des constructions résidentielles.

Dans cette étude, deux types de fibres ont été utilisés : une fibre de polypropylène et une fibre métallique. Notre travail a consisté à mettre en évidence les effets de ces fibres sur le comportement à l'état frais (étalement, taux de remplissage) et le comportement à l'état durci (essai de traction par flexion, de compression et de l'absorption) des MAP.

Afin d'exploiter d'une façon rationnelle, le plan de travail prédéfini, nous avons adopté la démarche suivante :

Dans le **premier chapitre** nous présenterons une synthèse des connaissances actuelles sur les mortiers Auto plaçants en mettant en évidence les méthodes de formulations existantes, leurs propriétés rhéologiques et mécaniques.

Le **deuxième chapitre**, nous devions réaliser des bétons auto plaçants fibrés

Le **troisième chapitre** présente les différentes formulations des matériaux utilisés et leurs caractérisations (ciment, sable, eau, super plastifiant, fibres, fillers) ainsi que la formulation des mortiers fibrés et non fibrés.

Le **quatrième chapitre** regroupe les résultats et interprétation des différents essais effectués sur les mortiers autoplaçants avec mélange de fibres, l'ensemble des résultats obtenus sont comparés au mortier sans fibres

Enfin, nous terminerons ce travail par une conclusion générale et d'éventuelles perspectives.

Chapitre 01 :

Mortier auto

plaçant

1. Mortier auto plaçant

Introduction

Le mortier auto plaçant est le matériau de construction le plus courant aujourd'hui de sa résistance, donnant à la construction le monolithisme qu'elle cherche à atteindre. Éléments de construction dans le domaine du génie civil et structurel.

Cela consiste en Quelques composants de base, le mortier de sable présente de nombreux avantages tels que : Petite taille de particule, bonne résistance, belle surface, non Séparation, facilité de mise en œuvre, etc.

Le premier chapitre Connaissance du mortier (définition, types de caractéristiques, méthodes de formulation, application, champ d'application, etc.).

1.1. Mortiers auto-plaçant

Le mortier auto plaçant MAP se caractérise par une grande fluidité et une grande capacité de remplissage. Il garantit aussi de bonnes performances mécaniques et de durabilités. De telles caractéristiques sont directement liées à leurs compositions. 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, ils doivent comporter au moins une addition minérale, et un dosage élevé en super plastifiant.[1]

Le mortier auto-plaçant est une alternative économique au coulis de ciment en plus d'offrir une stabilité volumétrique supérieure. Il est composé de ciment, d'eau de sable, et d'adjuvant spécialisé. Ce produit peut être pompé pour être mis en place. [1]

Les Figure.1 et Figure.2 montrent les constituants des mortiers et la différence entre les mortiers ordinaires et les mortiers auto-plaçant.

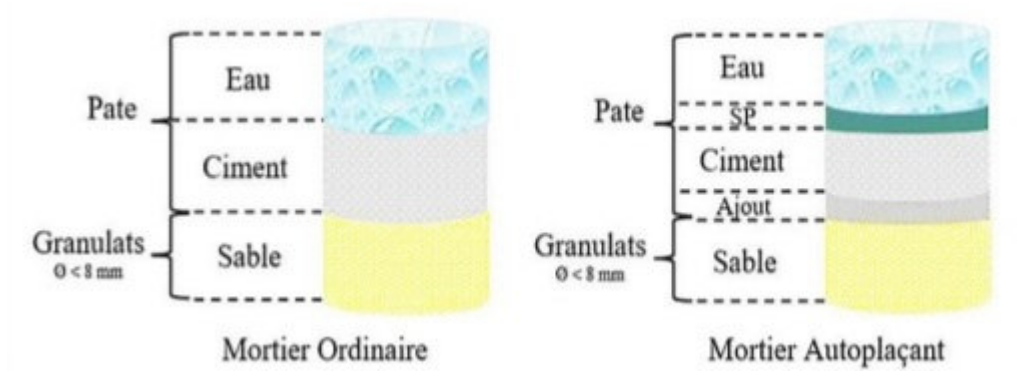


Figure 1-1 : La différence entre les constituants des mortiers ordinaires et des mortiers auto-plaçant. [1]

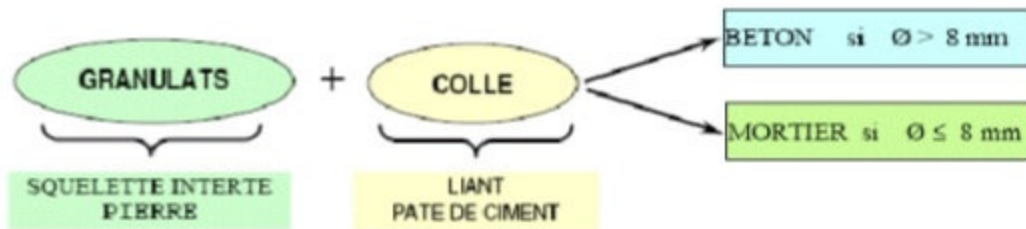


Figure 1-2 : Constituants des mortiers. [1]

Les frottements entre les gravillons limitent l'écoulement des bétons. C'est pourquoi, le MAP contient un volume de pâte important dont le rôle est d'écartier les gravillons les uns des autres. [1]

Pour leur assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les MAP contiennent une quantité de fines supérieures à celle des mortiers. Toutefois, pour éviter des problèmes d'élévation excessive de la température lors de l'hydratation ainsi que pour abaisser leur coût global, le liant est souvent un composé binaire, voire ternaire ; ciment portland mélangé avec cendres volantes, laitier, fillers calcaires, pouzzolanes naturelles, ou fumée de silice. [1]

L'introduction de dosage relativement important de super plastifiant dans les BAP permet en premier lieu de réduire la teneur en eau tout en conservant leur grande maniabilité. Toutefois, un dosage trop élevé (proche ou supérieur au dosage saturation) peut augmenter la sensibilité du béton à des variations de teneur en eau vis-à-vis du problème de la ségrégation et du ressuage. [1]

1.2. La composition des mortiers auto plaçant

La formulation d'une pâte et mortier cimentaire auto plaçant qui offrira un comportement optimal vis-à-vis de la stabilité et de l'écoulement en utilisant les matériaux de notre région avec les pourcentages adéquats de chaque constituant. Il est composé : ciment, eau, de sable, et adjuvants spécialisés.

Ce produit peut être pompé pour être mis en place. Le mortier auto plaçant est habituellement utilisé pour remplir des conduites, des tunnels, des réservoirs souterrains, des espaces vides ou des chambres désaffectées.[1]

1.2.1. Le sable

1.2.1.1. Définition

Le sable forme le squelette inerte du mortier durci. Il doit présenter une bonne répartition granulométrique et être propre, c'est-à-dire ne contenir ni matériau organique ni particules argileuses. Bien que le maçon choisisse traditionnellement un sable fin, il est également possible de confectionner du mortier correctement ouvrable avec du sable moyen agros ($D_{max} = 2 \text{ mm}$). Un tel mortier exigera moins de liant et donnera néanmoins de bons résultats sur le plan de la résistance mécanique.[2]

1.2.1.2. Choix du sable

Le choix du sable constitue un élément particulièrement important car il a une influence fondamentale sur les caractéristiques du mortier, donc sur l'ouvrabilité du mortier frais et sur la résistance du mortier durci. Tout comme pour le squelette pierreux, il faut s'efforcer d'avoir une granularité continue du squelette du mortier.

Les sables naturels gros (0/2 à 0/4) ont une granularité continue et étalée ; les sables naturels fins (0/1) ont par contre une granularité plus serrée.

Les sables gros favorisent la résistance du mortier car ils permettent de travailler à des teneurs en eau plus faibles que les sables fins ; ceci permet en outre de réduire le retrait hygrométrique du mortier et le risque de fissuration tant du mortier frais que du mortier durci.

Les sables gros sont également favorables à la micro texture des revêtements et donc à leur rugosité. En revanche, une certaine quantité de sable fin peut permettre d'améliorer la continuité de la granularité du squelette d'un mortier qui ne serait

composé que d'un sable gros manquant de fines. Il faut dans ce cas trouver le meilleur compromis.

L'ajout d'une proportion limitée de sable moyen ou fin est donc parfois conseillé; il améliorera la cohésion du mélange frais sans influencer défavorablement les propriétés finales du mortier.[2]

1.2.1.3. *Caractéristiques Des Sables*

Ils doivent être conformes aux normes NF EN 12-620 et NF EN 13-139. Le sable doit être sain, siliceux, silico-calcaire ou même calcaire à condition que les grains ne soient pas friables. Il doit être propre, c'est-à-dire dépourvu d'impuretés susceptibles de compromettre la qualité du mortier en œuvre (argile, vase, terre végétale, plâtre, sels minéraux).

Le degré de propreté du sable est mesuré par l'essai d'équivalent de sable, il est préférable d'utiliser des sables roulés de rivière. Les sables de carrière conviennent s'ils ne renferment pas d'impuretés nocives. Les sables de mer doivent être lavés (sinon ils sèchent mal et peuvent donner lieu à des efflorescences en raison des sels qu'ils contiennent). La granulométrie des sables doit être limitée à 4mm.

En général, les dosages du mortier sont exprimés en poids de liant par m³ de sable sec. Or, le plus souvent, sur le chantier, le sable renferme un certain pourcentage d'eau (pouvant varier de 0 à 20 %) et il suffit de très peu d'eau pour que le poids du m³ de sable soit modifié c'est le phénomène bien connu du « foisonnement » du sable.

Pour éviter des surdosages en liant pouvant conduire à des enduits plus fissurés, il est utile de déterminer la teneur en eau du sable par un essai facile à pratiquer sur chantier (séchage et pesée du sable). À défaut, on prendra un coefficient de foisonnement forfaitaire de 25 %.[2]

1.2.1.4. *Classification des sables*

◆ *Selon son origine*

Le sable, en fonction de son origine, peut être classé en trois catégories :

- **Naturel**: d'origine minérale, issus de roches meubles (alluvions des fleuves ou des rivières), de roches massives (sédimentaire, éruptives, métamorphique, etc.) ou de

dunes. Le sable naturel n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).

- **Artificiel** : d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres.

- **Recyclé** : obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition.

♦ *Selon sa composition*

En fonction de sa composition minéralogique (teneurs en silice, alumine et chaux). Le sable peut être classé en quatre catégories.

Tableau 1-1: Classification de sables en fonction de sa composition (teneurs en % massique).

Composition	SiO₂ (%)	CaO (%)	Al₂O₃ (%)
Siliceux	70 à 90	0,1 à 1	1 à 10
Silico-alumineux	50 à 70	1 à 5	10 à 25
Silico-calcaires	15 à 20	15 à 30	3 à 10
Calcaires	2 à 10	30 à 50	0,5 à 2

♦ *Selon sa densité*

Selon la densité de sable, on distingue trois types :

- **Léger** : de masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m³, et le plus usuel est à base d'argile expansée, de schiste expansés ou de laitier expansé

- **Courant** : de masse volumique entre 2000 et 3000 kg/m³, et il est généralement les basaltes, quartzites, grès, porphyre, diorite, granites, schistes, laitier

- **Lourd** : de masse volumique varie de 4000 à 8000 kg/m³, et le plus utilisé est la barytine (d'une densité absolue de 4,2 à 4,7), la magnétite (d'une densité absolue de 4,5 à 5,1), les riblons (d'une densité absolue de 7,6 à 7,8) et la grenaille (d'une densité absolue de 7,6 à 7,8).

♦ *Selon sa forme*

Selon la forme de sable, on peut désigner deux grands types

- **Roulé** : dont la forme a été acquise par l'érosion de roches meubles (alluvions des fleuves ou des rivières) ou des dunes.

- **Angulaire ou Concassé** : dont la forme a été obtenue par abattage et concassage de roches massives et dures

1.2.1.5. *Types de sable*

■ **Sable alluvionnaire** :

Le sable alluvionnaire, dit aussi roulé, dont la forme a été acquise par l'érosion. Il est issu de roches meubles des dépôts des alluvions trouvés dans les lits des fleuves ou des rivières. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, le sable utilisé pour le béton est le plus souvent siliceux.

Ce sable, plus recommandé à la confection des bétons, doit présenter une granularité 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. Cette granularité est caractérisée par le module de finesse (Mf). Plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin.

$1.8 \leq Mf \leq 2.2$: le sable convient bien pour obtenir une bonne ouvrabilité et une résistance satisfaisante.

$2.2 \leq Mf \leq 2.8$: le sable convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégations limités.

$2.8 \leq Mf \leq 3.2$: le sable convient bien pour obtenir une moins bonne ouvrabilité et une résistance élevée avec des risques de ségrégations.[2]

■ **Sable de dune** :

Le sable de dune est un produit de la désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie etc. Les déserts de sable, ou ergs, se localisent dans les vastes cuvettes d'épandage ou des puissantes accumulations alluviales se sont concentrées par de grands écoulements liés aux périodes pluviales du début du quaternaire. Les grands ergs coïncident avec des zones où des vents saisonniers de directions variées se compensent.

Chapitre 01 : Mortier auto plaçant

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation). Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposé.

Le sable de dune qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, forme la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir.[2]

1.2.1.6. *Module de finesse (Mf)*

Est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse M_f compris entre 2,2 et 2,8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité.

- **Pour $1,8 < M_f < 2,2$** : le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- **Pour $2,2 < M_f < 2,8$** : le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.
- **Pour $2,8 < M_f < 3,2$** : le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.

Pour $M_f > 3,2$: le sable est à rejeter.

Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons (NF P18-540).[2]

$$M_f = \Sigma R_c / 100$$

R_c : refus cumulé en (%) sous les tamis.

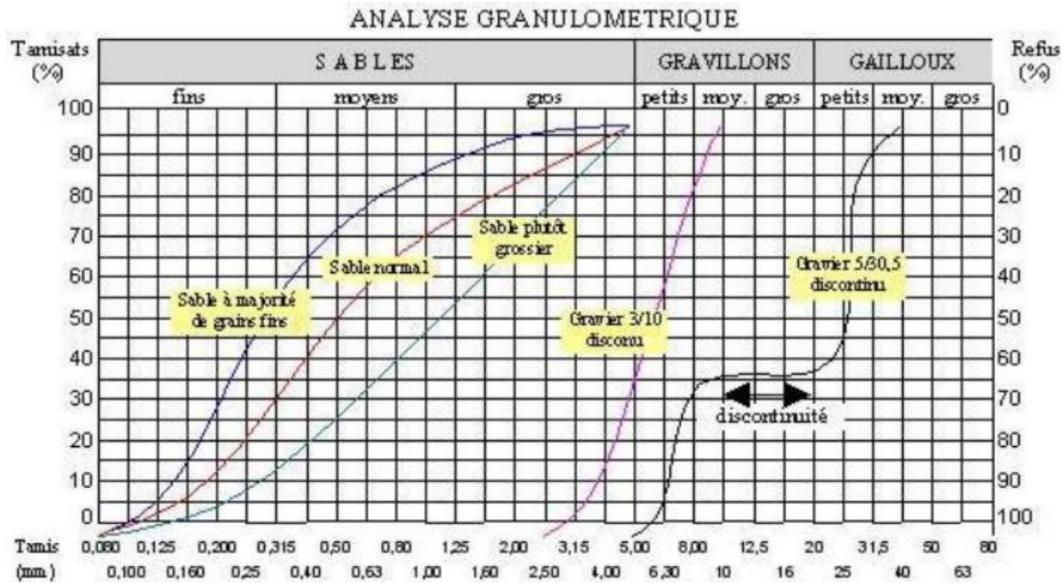


Figure 1-3 : Courbe granulométrique des différents cas. [2]

1.2.2. Le rapport sable/mortier

Le taux de sable sur mortier est le premier choix avant la formulation des MAP, une grande quantité de sable dans le mélange de mortier influe sur sa rhéologie, ce taux augmente le seuil de cisaillement ainsi que la viscosité plastique, Ce taux varie d'un chercheur à un autre selon les matériaux utilisés et les critères principales demandées.

Selon OKAMURA le volume du sable est fixé à 40% du volume total de mortier par contre Fang et al. ont trouvé que, pour la fabrication d'un mortier auto plaçant d'une bonne caractéristique, il est préférable de prendre le rapport Sable/Mortier entre 45 et 48%, quant à BOUKENDAKDJI a constaté que le mortier avec un rapport S/M de 0.50 a donné une meilleure fluidité par rapport aux autres mortiers, allant plus loin Khayat et al. ont déterminé les quantités optimales en sable capables d'améliorer la fluidité des mélanges de béton en présence d'un agent colloïdal et de super plastifiant. Cette quantité de sable, elle correspondait à un rapport volumique Sable/Pâte de 0,6. [2]

1.2.3. Le ciment

Le ciment se présente sous la forme d'une poudre fine de couleur grise ou blanche.

Chapitre 01 : Mortier auto plaçant

La dimension des grains de ciment est caractérisée par la valeur de la finesse Blaine qui mesure la surface totale des grains contenus dans un gramme ; la finesse Blaine des ciments est de l'ordre de 3 500 à 4 500 cm^2/g . La dimension caractéristique des grains de ciment est d'environ 30 à 50 μm . Le clinker, issu de ce procédé, est employé pour la préparation d'une majorité des ciments. Les clinkers peuvent avoir des compositions variables mais les oxydes principaux sont toujours les mêmes : la chaux (CaO), la silice (SiO_2), l'alumine (Al_2O_3) et la ferrite (Fe_2O_3).

Le clinker est un matériau de base auquel on peut trouver nombre d'ajouts pour la préparation des ciments, qui sont disponibles sur le marché. On peut ainsi ajouter, des cendres volantes, des laitiers de hauts fourneaux, ou encore des fumées de silice. On modifie ainsi la composition du ciment et par voie de conséquence ses propriétés (**figure 1.4**). Les compositions sont normalisées en fonction des compositions et des mélanges (**tableau 1.2**).

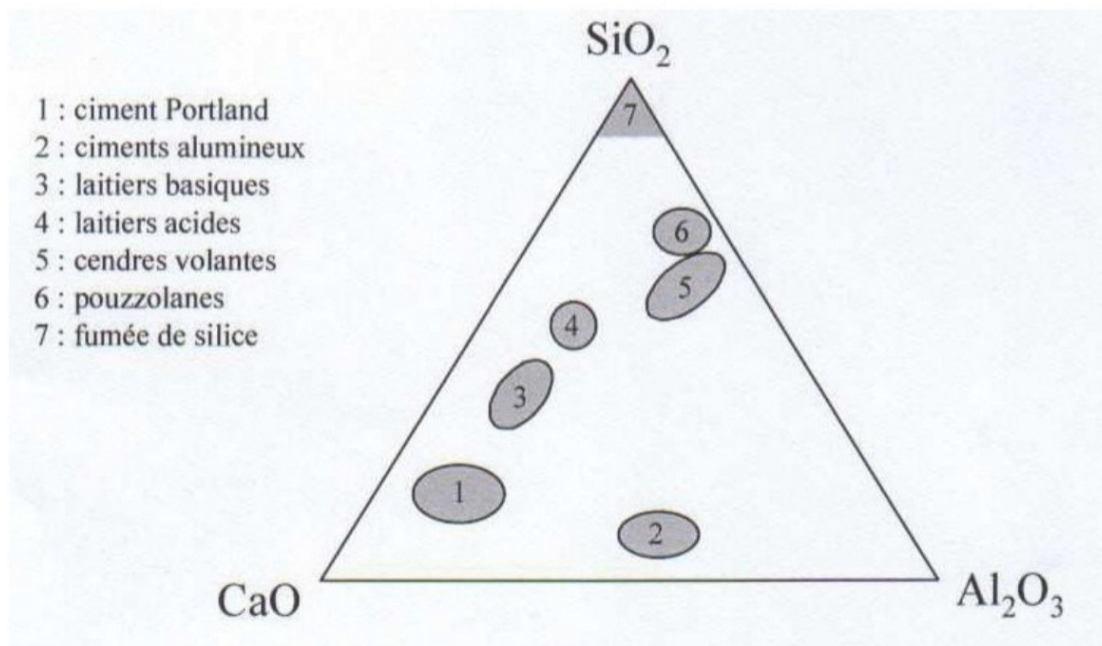


Figure 1-4 : Nature chimique des différents types de ciment. [2]

Un ciment est constitué de phases anhydres qui vont s'hydrater en présence d'eau. C'est l'ensemble de ces réactions que l'on définit comme l'hydratation du ciment. Le clinker, constitutif de l'essentiel de ce que l'on nomme un ciment Portland,

Chapitre 01 : Mortier auto plaçant

peut être pris en exemple pour décrire le processus d'hydratation. Dans le cas de ciments dits « mélangés », les réactions sont identiques, seules vont changer les proportions ou certaines stœchiométries des hydrates formés.

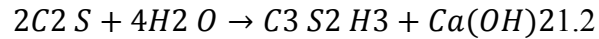
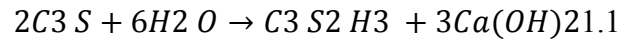
Au contact avec l'eau, les phases anhydres du clinker, notamment les silicates Tricalciques (C3S) et bi calciques (C2S), se dispersent en solution aqueuse pour donner différents ions tels que Ca^{+2} , OH^- , SiO_4 , SiO_3 , SiO_2 . Une fois que leur seuil de solubilité est atteint, ces anhydres se combinent en molécules hydratées par précipitation puis nucléation. Ce sont des réactions exothermiques car elles mettent en jeu beaucoup d'énergie.[3]

Tableau 1-2 : Classification des ciments selon la norme EN 206. [3]

	Ciment Portland	Ciment Portland composé		Ciment de haut fourneau			Ciment pouzzolanique		Ciment au Laitier et aux cendres				
	CEMI	CEM II/A	CEM II/B	CEM III/A	CEM III/B	CEM III/C	CEM IV/A	CEM IV/B	CEM V/A	CEM V/B			
Clinker(K)	95%	80% ≤94%	65% ≤79%	35% ≤64%	20% ≤34%	5% ≤19%	65% ≤90%	45% ≤64%	40% ≤64%	20% ≤39%			
Laitier(S)	*	6%≤ total ≤20% (fumée de silice ≤10%)	21%≤ total ≤35% (fumée de silice ≤10%)	36% ≤65%	66% ≤80%	81% ≤9%	10%≤ total ≤35% (fumée de silice ≤10%)	36%≤ total ≤55% (fumée de silice ≤10%)	18% ≤30%	31% ≤50%			
Pouzzolanes (Z)	*			*	*	*			*	*	*	18% ≤ total ≤ 30%	31%≤ total ≤50%
Cendres siliceuses(V)	*			*	*	*			*	*	*		
Fumée de Silice (D)	*			*	*	*			*	*	*		
Cendres calciques (W)	*			*	*	*			*	*	*		
Schistes(T)	*			*	*	*			*	*	*		
Calcaires (L)	*			*	*	*			*	*	*		
Fillers(F)	*			*	*	*			*	*	*		

Chapitre 01 : Mortier auto plaçant

La pâte fraîche obtenue se présente comme un système dispersé de grains de silicates. Les équations (1) et (2) représentent les réactions chimiques produites durant l'hydratation et donnant les composés hydratés du matériau selon :



Les deux hydrates principalement formés sont les silicates de calcium hydratés de la forme $C_3S_2H_3$, notés « CSH » et la portlandite $Ca(OH)_2$ symbolisée CH . D'autres composés mineurs sont également formés durant l'hydratation, tels que des hydroxydes d'aluminium, des aluminates de calcium hydratés ou de l'ettringite.

La quantité d'eau apportée durant la fabrication du matériau est généralement supérieure à la quantité utile à l'hydratation complète du ciment, pour favoriser la maniabilité à l'état frais. Cependant, avec l'avancée de l'hydratation, le cheminement de l'eau jusqu'aux phases anhydres est gêné par les hydrates déjà formés. Ainsi, même si elle ralentit considérablement, l'hydratation se poursuit dans la microstructure du matériau par diffusion de l'eau. La quantité d'eau est généralement rapportée à la quantité de ciment et cela est noté rapport eau sur ciment (E/C). Plus le matériau présente un E/C faible, plus sa matrice cimentaire est dense. De ce fait, le rapport E/C est un paramètre qui influence la microstructure se formant durant l'hydratation. [3]

1.2.4. Eau de gâchage

L'eau est un des ingrédients essentiels du mortier, elle intervient à toutes les étapes de la vie du matériau par ses propriétés physico-chimiques et mécaniques. L'eau introduite dans le béton lors de sa fabrication va remplir deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère au mortier frais des propriétés rhéologiques permettant son écoulement et son moulage et une fonction chimique qui contribue au développement de la réaction d'hydratation.

L'eau de gâchage peut avoir plusieurs origines, mais seule l'eau potable est présumée conforme aux exigences de la norme NF EN 1008, les autres comme l'eau récupérée de la fabrication de bétons, eaux d'origine souterraine, eaux naturelles de surface et eaux de rejet industriel, eau de mer, doivent être soumises à des essais de contrôle préliminaire ainsi que les essais chimiques. [3]

1.2.5. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés en faibles quantités au béton frais afin d'en améliorer certaines propriétés. Ils représentent entre 1 et 5 % du poids

Du ciment. Leur rôle et leur efficacité dépendent de la nature du produit chimique et de l'homogénéité de leur répartition dans la masse du béton frais. [3]

1.2.5.1. Mode d'action

Leur action est différente d'un adjuvant à un autre en contact des grains de ciment. D'une manière générale, les adjuvants enrobent le grain de ciment pendant l'hydratation pour augmenter une charge négative sur la surface de la particule de ciment. Nous détaillerons plus bas, certaines réactions des différents adjuvants avec le ciment.

La norme NF EN 934-2 classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, suivant leur fonction principale :

- **Adjuvants modificateurs de prise du béton :**

- **Accélérateurs de prise** : permettent d'accélérer les réactions de dissolution et le développement des hydrates, donc la cinétique de prise. Leurs effets sur le béton sont : accélération de la prise, augmentation des résistances à court terme et augmentation de la chaleur d'hydratation.

- **Retardateurs de prise** : permettent de ralentir les réactions de dissolution et le développement des hydrates. Leurs effets sur le béton sont : décale le temps de prise, diminue les résistances initiales et améliore les longues ouvrabilités.

Autres catégories normalisées d'adjuvants

- **Hydrofuges** : agissent par précipitation dans les pores des bétons (réaction avec la chaux libre naturellement issue de l'hydratation du ciment) ce qui forme des bouchons qui bloquent la pénétration des liquides dans le béton.

- **Entraîneurs d'air** : permettent d'entraîner des bulles d'air calibrées, réparties de manière homogène dans le béton et de façon durable. Leurs effets sur le béton sont : les bulles stabilisent les grains (correcteur granulaire), amélioration de la cohésion et de l'ouvrabilité (effet de réduction d'eau) et amélioration de l'aspect au décoffrage.

• ***Adjuvants modificateurs de la rhéologie du béton :***

La fonction principale de ce type d'adjuvant est de réduire la teneur en eau du béton sans modifier la consistance. Cet effet est plus ou moins fort selon le niveau de réduction d'eau recherchée :

- Plastifiants réducteurs d'eau : 5 à 10 %
- Super plastifiants haut réducteurs d'eau : 10 à 30%

1.2.6. Les ajouts

1.2.6.1. ***Définition des ajouts cimentaires :***

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 actives.[4]

1.2.6.2. ***Classification des ajouts minéraux :***

Selon la norme NF EN 197 1, les ajouts minéraux sont classés par deux types :

- Ajouts minéraux inertes ;
- Ajouts minéraux actifs (naturels ou artificiels).

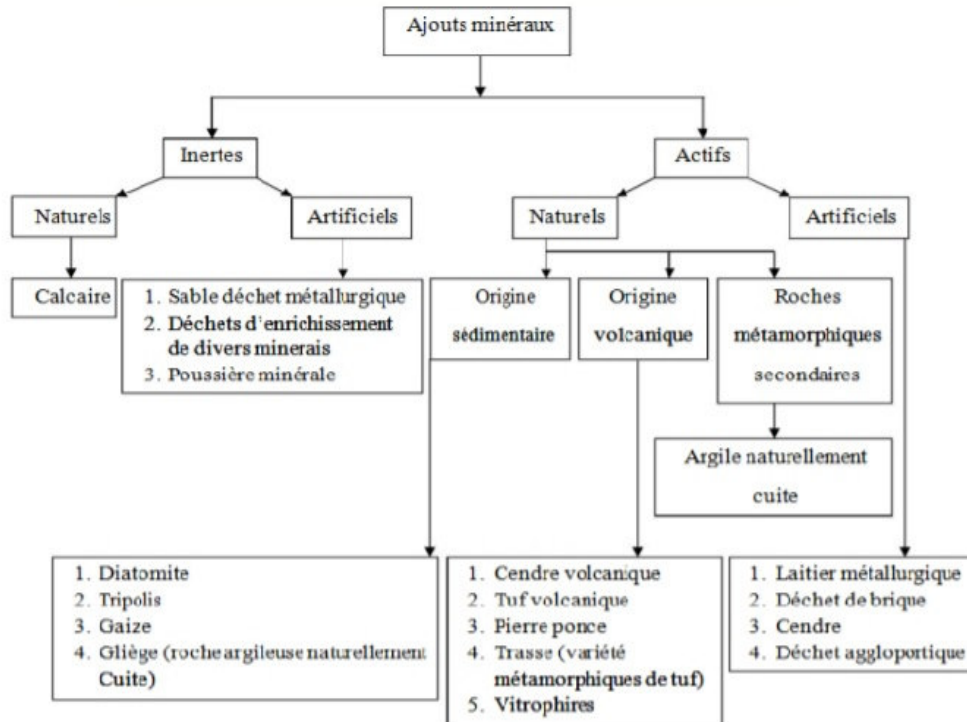


Figure 1-5 : Différents types d'ajouts cimentaires. [4]

1.2.6.3. Principaux ajouts minéraux inertes (N F P 18- 305) :

Ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés qui, par leur composition granulométrique, améliorent les propriétés physiques du ciment Portland (ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau).

Parmi ces additifs on distingue les fillers calcaires et la poussière. En outre, les particules les plus fines d'un ajout inerte servent à remplir les pores de la pâte de ciment, ils jouent le rôle de micro agrégat. [4]

1.2.6.4. Les ajouts minéraux actifs :

•**La pouzzolane** : Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels, capables de réagir en présence d'eau avec l'hydroxyde de chaux pour donner naissance à des composés nouveaux, stables, peu solubles dans l'eau et possédant des propriétés liantes. [4]

Les Normes françaises donnent les définitions suivantes des pouzzolanes entrant dans la fabrication des ciments :

Chapitre 01 : Mortier auto plaçant

•**Pouzzolane naturelle** : Est un produit d'origine volcanique essentiellement composé de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolaniques.

Elle peut être d'origine volcanique : verre volcanique, ponce, rhyolite, tufs, zéolite ou d'origine sédimentaire : terre à diatomées, diatomites.

•**Pouzzolane artificielle** : C'est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques. Les roches traitées thermiquement : argiles, schistes, latérite, bauxite et mouler.

On classe les pouzzolanes en trois catégories : [4]

- **Les constituants actifs** : phase vitreuse plus au moins altérée, opale, terre de diatomées, zéolites cristallisées.
- **Les constituants inertes** : phase cristallisée autre que les zéolites.
- **Les constituants nocifs** : substances organiques et argiles gonflante

1.2.7. Le verre :

Il n'existe pas une, mais plusieurs définitions du verre. Ainsi, on peut le définir différemment suivant que l'on considère :

- Les objets que l'on peut fabriquer à partir de cette matière (aspect fonctionnel) : par Analogie avec le verre utilisé pour boire ou le verre à vitre. Le verre est un matériau solide transparent, homogène et cassant. Il résiste bien au feu et au contact de pratiquement tous les liquides et solides connus.
- Que ce matériau à une structure particulière (aspect structural) le verre est un solide non cristallin (amorphe). Il ne présente pas comme pour les structures cristallines d'ordre à longue distance (ordonnancement des atomes et existence d'une maille cristalline). C'est un état particulier de la matière : l'état vitreux.
- Que c'est un état particulier de la matière (aspect opérationnel): le verre est un solide obtenu par trempe d'un liquide surfondu. [5]

1.2.7.1. *Définition la poudre de verre*

La poudre de verre est obtenue en broyant à une certaine finesse le verre récupéré. Lorsqu'il est incorporé au béton en remplacement d'une portion de ciment, le verre ainsi réduit en poussière se lie avec les éléments de chaud en vertu de ses propriétés pouzzolaniques. [5]

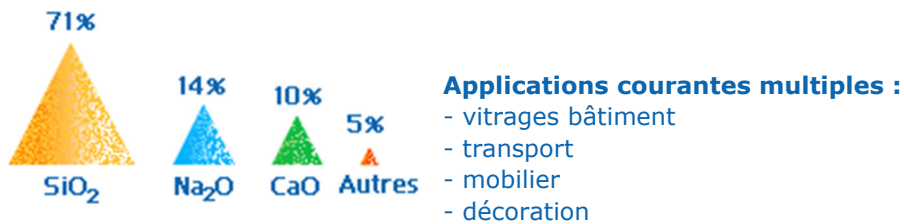


Figure 1-6 : Poudre de verre

1.2.7.2. *La composition des verres les plus courants en détail :*

Généralement on trouve les compositions suivantes [5]:

Verre silico-sodo-calcique



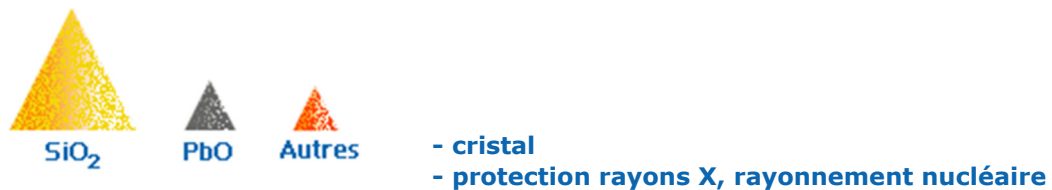
↳ Verre céramique



↳ Verre borosilicate



↳ Verre au plomb



1.2.7.3. *Les propriétés du verre :*

Le verre est la seule matière minérale solide que l'on puisse produire à des dimensions et sous des formes quelconques tout en conservant sa transparence. [5]

1.2.7.3.1. *Propriétés physiques :*

- **La transparence** : mais il peut être opaque ou opalescent.
- **La dureté** : seuls les diamants et le carbure de tungstène le rayent. Le verre le plus dur est le verre de Bohême et le cristal est le plus tendre.
- **La densité** : elle dépend des composants ; elle est d'environ 2,5. Cela signifie qu'un mètre cube pèse environ deux tonnes et demie ou qu'une feuille d'un mètre carré et d'un millimètre d'épaisseur pèse 2,5 kg.

Chapitre 01 : Mortier auto plaçant

- **La résistance et l'élasticité** : la cassure du verre est liée à sa flexion et à sa résistance au choc. Il casse là où le métal se tord. Contrairement, sa résistance à la compression est importante : il faut une pression de 10 tonnes pour briser un centimètre cube de verre.

- **L'imperméabilité** : elle est extrêmement grande mais le verre reste poreux pour certains liquides comme le kérosène ; on dit « qu'il sue ».

1.2.7.3.2. Propriétés thermiques :

- **La dilatation** : c'est un très mauvais conducteur de chaleur. Il se brise s'il subit un brusque changement de température car les différentes parties du verre ne se réchauffent pas en même temps. Son coefficient de dilatation est faible, ce qui lui confère de nombreuses applications : il sert d'isolant thermique (laine de verre). On retrouve presque les mêmes coefficients que certains métaux d'où l'exécution de soudures verre-métal. Ce coefficient varie selon la composition.

- **La conductivité** : il est mauvais conducteur (environ 500 fois moins que le cuivre); on l'utilise comme isolant électrique. C'est aussi un bon isolant acoustique suivant l'épaisseur de la feuille. Ceci n'est pas le cas à chaud car il devient conducteur à partir de 250 °C.

- **Il est ininflammable et incombustible.**

1.2.7.3.3. Propriétés chimiques

L'action de l'eau : l'eau agit sur les silicates qui, en se décomposant, forment un dépôt en surface qui devient peu à peu opaque ; le verre perd de sa transparence.

- **L'action de l'air** : les silicates alcalins se combinent avec l'acide carbonique contenu dans l'air ce que donne un dépôt blanchâtre à la surface du verre.

- **L'action de la lumière** : exposés aux ultraviolets, certains verres se colorent ou se décolorent.

- **L'action des acides** : ils décomposent la silice, le plus rapide est l'acide fluorhydrique qui permet de graver en profondeur le verre plaqué. Le verre peut donc être dissout. [5]

1.2.7.4. *Caractéristique du verre dans le mortier :*

Le comportement des ajouts cimentaires dans le mortier est différent par rapport à celui du ciment Portland tout seul. L'incorporation de l'ajout minéral par remplacement de ciment a des effets sur la cinétique d'hydratation, de durcissement et de durabilité. Une description des différentes phases du processus d'hydratation du ciment Portland est nécessaire pour introduire la réaction pouzzolanique de la poudre de verre dans le mortier.

1.2.7.5. *Comportement du verre dans un milieu cimentaire :*

Le verre incorporé dans les bétons peut manifester plusieurs types de comportement, essentiellement en fonction de sa granularité : une granularité grossière tend à provoquer un phénomène d'alcali-réaction générateur de désordres, alors qu'un verre fin développe une action bénéfique identifiable à une réaction pouzzolanique. [5]

1.2.7.6. *Comportement à l'état frais du mortier*

1.2.7.6.1. *Maniabilité du mortier*

Le pourcentage utilisé et la finesse du matériau ont une très grande influence sur le comportement du mortier frais. Il convient de choisir le pourcentage adéquat d'un cas à l'autre.

Les travaux montrent une diminution de 18 % de l'affaissement dans un mortier binaire contenant 30 % de la poudre de verre dont la finesse est élevée (diamètre inférieure à 38 μ m).

Autres études confirment l'effet négatif de la finesse et de pourcentage de remplacement de ciment par une poudre de verre très fine sur la maniabilité du mortier. Contrairement aux études précédentes, indiquent que l'ajout de la poudre de verre dans des mortiers de faible rapport E/L améliore l'ouvrabilité. [6]

1.2.7.6.2. *Effet du taux de verre :*

Ont étudié l'ouvrabilité du béton au laitier des hauts fourneaux en modifiant sa teneur en verre par un procédé de traitement et observent que l'ouvrabilité augmente avec le taux de substitution et d'autant plus avec celui ayant une plus grande phase

vitreuse comme le montre la (figure 1.7). Bien que les particules fines d'une addition minérale soient moins réactives que les grains de ciment, elles génèrent une multitude de sites de nucléation pour la précipitation des hydrates. La pâte devient plus homogène et plus dense avec des pores plus fins. [6]

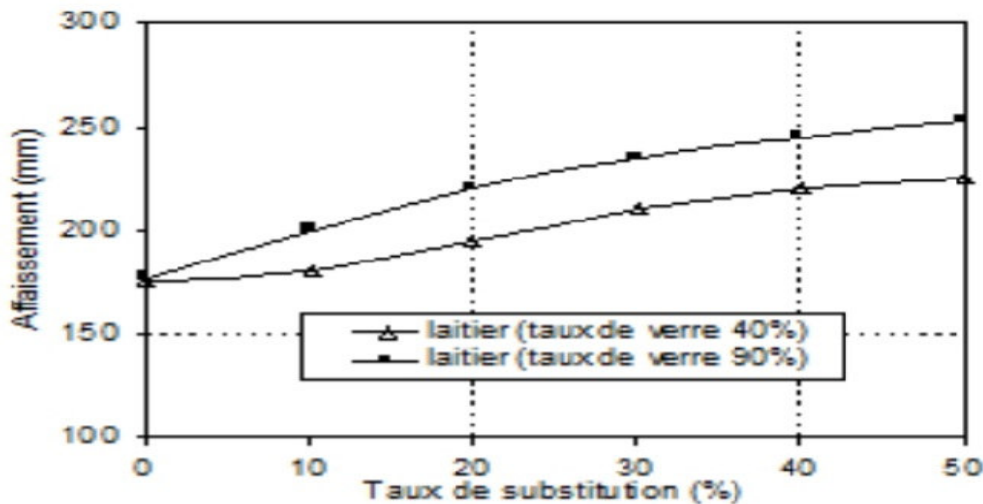


Figure 1-7 : Effet du taux de substitution sur l'ouvrabilité du béton au laitier pour deux taux de verre. [6]

1.2.7.6.3. Effet du verre broyé sur le temps de prise :

La prise de mortier est gouvernée par la réaction d'hydratation et la longueur de la période dormante. Selon l'activité pouzzolanique de l'ajout cimentaire, le temps de prise peut être prolongé, comme il peut être raccourci.

Des études montrent que le temps de la prise initiale d'un mortier de 30 % de poudre de verre en substitution de ciment augmente la durée de la prise initiale.

1.2.7.6.4. Effet de la poudre de verre sur l'état durci :

La résistance en compression d'un mortier dépend de la qualité du calcium hydraté (C-S-H) développé. L'ajout d'un matériau cimentaire en remplacement partiel de ciment réagira avec la portlandite, ce qui résultera en la formation d'un nouveau C-S-H qui comblera ainsi plus de vide, ce qui diminue la porosité et améliore la résistance en compression.

Chapitre 01 : Mortier auto plaçant

La substitution de 30 % de ciment par une poudre dont le diamètre maximum des particules est de 38 μm (finesse de 800 m^2/kg) a donné lieu à une activité pouzzolanique aussi la substitution de 20 % de ciment par la poudre de verre à une activité pouzzolanique après 7 jours.

L'amélioration de la résistance en compression à différent pourcentage est alors en fonction de la finesse de la poudre de verre. [6]

1.2.7.6.5. Verre comme matériau pouzzolanique :

Pour obtenir du verre comme un matériau pouzzolanique dans le mortier et le béton, les conditions suivantes sont nécessaires :

- Teneur en silice

La teneur minimale proposée de silice dans le verre pouzzolanique doit être de 68%.

- Teneur en chlorure

La teneur maximale de chlorure de verre utilisée ne devrait pas être plus de 0.1%. Cette valeur peut assurer que la poudre de verre n'a pas un effet néfaste sur la durabilité du mortier renforcé par les barres d'aciers.

- Teneur de sulfure

Le dosage maximal de SO_3 est 3%.

- Surface spécifique

La surface spécifique du verre ne doit pas être moins de 300 m^2/kg . Cette finesse minimale requise d'un verre pouzzolanique pour avoir l'activité équivalente de celle de la cendre volante selon la norme européenne de BSEN 450.

- Teneur en plomb

La teneur maximale en plomb est de 0.1% pour éviter le retard de la prise.

- Temps de prise

Le temps de prise initial, quand on le mesure selon la norme BSEN196-3, peut être au plus de 2 heures plus tard que celui du ciment portland. Cette valeur est peu plus élevée que celles trouvées dans les cas de plus de 30 variétés de verre. [6]

1.2.7.6.6. Avantages d'utilisation de la poudre de verre dans le mortier :

- Mortier plus performant, moins perméable et plus durable.
- Substitution de matière polluante par du verre recyclé.
- Coûts de transformation et de transport réduits.
- Empreinte écologique réduite.
- Nouvelle filière pour le recyclage du verre. [6]

1.2.7.6.7. Bénéfices et performance de l'intégration de la poudre de verre comme ajout cimentaire :

- Meilleure imperméabilité.
- Durabilité accrue à long terme.
- Matière de couleur blanche à l'état naturel.
- Amélioration du bilan de carbone en favorisant la valorisation de matériaux recyclables ;
- Proximité de la source d'approvisionnement ;
- Accroissement de la résistance en compression à moyen terme ;

1.2.7.6.8. Rôle des ajouts minéraux actifs

Le rôle des ajouts minéraux actifs consiste à fixer la portlandite Ca(OH)_2 du ciment qui se dégage lors de l'hydratation de C3S pour former des compositions difficilement solubles (stables) qui contribuent à la résistance du ciment. [7] Les ajouts minéraux actifs améliorent la compacité du mortier et du béton, cette compacité donne une meilleure protection du ciment à l'agressivité des eaux douces et des sels

1.2.7.6.9. Utilisation des ajouts en Algérie

L'industrie cimentaire est d'importance primordiale pour l'Algérie comme tous pays en voie de développement. Cependant, parmi les moyens efficaces qui existent pour augmenter la production du ciment est celui d'utiliser des ajouts qui sont très peu coûteux et disponibles en grandes quantités en Algérie, comme le laitier d'El – Hadjar, le calcaire et la pouzzolane naturelle de Beni-Saf. Le tableau ; (donne une idée sur les ajouts utilisés dans les cimenteries algériennes).

Tableau 1-3 : Les ajouts utilisés dans les cimenteries algériennes

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

1.3. Classification des mortiers :

La classification des mortiers est comme suit : [8]

1.3.1. Classification selon leur domaine d'utilisation :

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, et ce dernier qu'est très vaste et leurs domaines permet de citer les catégories suivantes :

- Mortier de pose.
- Mortier de joints.
- Mortier pour les crépis
- Mortier pour le sol.

- Mortier pour les stucs
- Pierres artificielles.
- Support pour les peintures murales
- Mortier d'injection.
- Mortier pour les mosaïques.

1.3.2. Classification selon la nature du liant :

On peut classer les mortiers selon la nature du liant en :

- Mortier de ciment portland.
- Mortier de chaux
- Mortiers bâtards

1.3.3. Classification selon le mode de fabrication :

Les mortiers peuvent être :

- préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants, adjuvants compris.
- Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs prédosés (il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire).
- Livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi, dont les derniers nés, les mortiers retardés stabilisés, ont un temps d'emploi supérieur à 24 heures.

1.4. Différents types des mortiers

1.4.1. Mortier pour chape :

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Ils peuvent constituer la finition on y incorpore alors souvent des produits spécifiques. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. Les chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels).

Adhérente ou flottante, la chape peut également avoir une fonction thermique ou acoustique. Ces ouvrages sont décrits dans le DTU 26.2.[9]



Figure 1-8 : Les mortiers pour chapes.[10]

1.4.2. Le coulis

Le coulis est un mélange fluide, à base de charges fines inférieures à 0,3 mm, de liants hydrauliques et d'adjuvants. Outre les liants classiques, il existe aussi des liants spéciaux pour coulis d'injection.

Les charges sont constituées par des suspensions d'argile, de bentonite (argile colloïdale). Les domaines d'utilisation des coulis sont les remplissages de cavités et fissures dans les roches, les sols ou les ouvrages béton ou maçonneries, le reprofilage du béton, la reconstitution de la protection des armatures, et le rétablissement de l'étanchéité. [9]

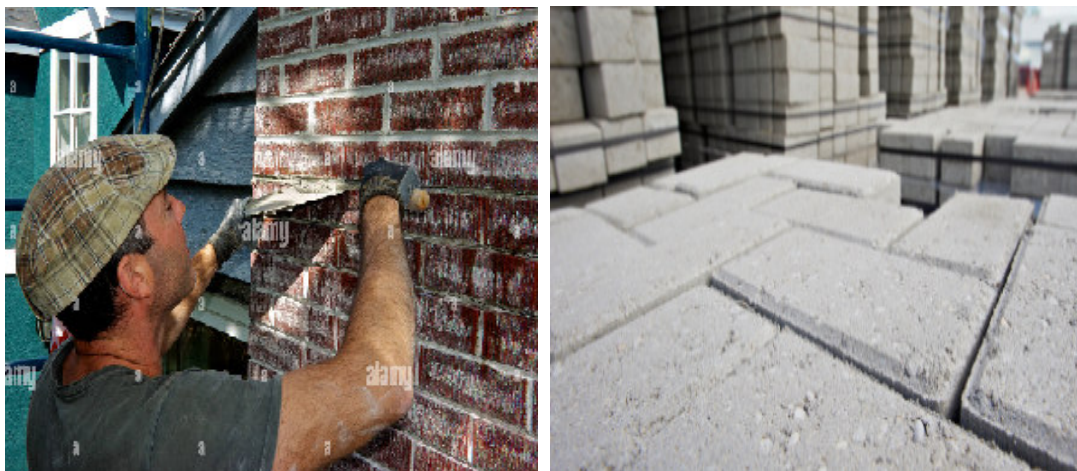


Figure 1-9 : Les mortiers et coulis de réparation.[10]

1.4.3. Enduits :

Ce domaine d'application, qui constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers, Rappelons simplement qu'à côté des enduits traditionnels en trois couches décrits dans la norme NF P 15-201(DTU 26.1), se développent aujourd'hui les enduits monocouches épais, ainsi que les enduits isolants considéré encore comme non traditionnels. Ces produits font l'objet d'une procédure d'avis technique par le CSTB. [9]



Figure 1-10: Les enduits[11]

1.4.4. Jointe de maçonnerie

La construction réalisée en éléments (blocs de béton, pierres de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche.

Les mortiers de joints constituent donc un maillon important de la maçonnerie, qui doit être bien étudiée et bien mise en œuvre pour assurer la fonction qui lui est dévolue. C'est notamment le cas de la maçonnerie apparente.

La norme XP P 10-202-1 « DTU 20.1. Ouvrage en maçonnerie de petite éléments. Parois et murs. » Fournit des indications sur les dosages préconisés pour les mortiers de jointolement, ainsi que les préconisations pour leur mise en œuvre. [9]



Figure 1-11: Le mortier joint de maçonnerie.[12]

1.4.5. Mortiers de calage et de scellement

Mortier en consistance fluide pour le remplissage des vides situées à l'intérieur ou entre des éléments d'ouvrage ou entre des machines et leur structure portante.

Le mortier de calage est à base de ciment, qui a pour effet de transférer les charges de la structure ou de la machine à la fondation, Il assure le remplissage des vides entre la base de la machine ou de la structure et le contact avec les surfaces adjacentes doit être assuré intégralement. La résistance mécanique de ce mortier après durcissement doit être suffisante pour assurer la continuité mécanique entre éléments, La compensation du retrait se fait à la fois sur le plan vertical (pour compenser l'effet de la gravité) et sur le plan horizontal.

Les mortiers de scellement définis par la norme EN 1504-6 [46] sont Principalement des coulis à base de ciment avec une force et un contrôle adéquat du retrait, grâce à des résistances à l'arrachement très élevées et la compensation du retrait se fait uniquement sur le plan horizontal ; Ces mortiers permettent de fixer des barres d'ancrage dans des ouvrages en béton fortement sollicités. Ces mortiers sont utilisés généralement pour remplir les vides entre les différents éléments en béton sans transfert de charge structurale, ancrage d'équipements légers (des barres, des boulons et des goujons), combler les vides autour des fenêtres et des portes.[9]



Figure 1-12 : Les mortiers pour scellements et calages[13]

1.4.6. Mortier de bourrage

Mortier en consistance semi-plastique pour le remplissage d'ouvertures qui ne sont pas totalement confinées latéralement, pour ce type de mortier, le contact avec les éléments adjacents est essentiel et les propriétés d'expansion contrôlée doivent être présentes, ce type de mortiers peut être utilisé où les mortiers de calage ne peuvent être utilisés pour remplir les cavités sous pylônes, rails, profils... (PTV 556). [9]



Figure 1-12 : Mortier de bourrage.[13]

1.5. Structure de MAP

La formulation d'une pâte et mortier cimentaire auto-plaçant qui offrira un comportement optimal vis-à-vis de la stabilité et de l'écoulement en utilisant les matériaux de notre région avec les pourcentages adéquats de chaque constituant.

Nous mettrons en œuvre un programme expérimental où nous étudierons le rôle de chaque paramètre sur le comportement de la pâte cimentaire et nous délimiterons par la suite un domaine expérimental qui offrira un ensemble de mélanges homogènes et stables, aux propriétés d'écoulement mesurables.

Cependant, pour avoir le mélange de constituants possédant les réponses optimales, nous élaborerons un plan de mélanges qui permet d'avoir un nombre important d'informations (rôle des constituants, interactivité) avec un minimum d'essais.

Le rôle de l'expérimentateur ainsi que la démarche expérimentale de l'élaboration de la pâte de ciment sont deux éléments importants, compte tenu de la sensibilité du comportement de cette dernière. La pâte de ciment est confectionnée à partir des quatre composantes (ciment, filler, plastifiant, eau). [14]

1.5.1. Un volume de pâte élevé

Les frottements entre les gravillons limitent l'écoulement des bétons. C'est pourquoi, le MAP contient un volume de pâte important dont le rôle est d'écarter les gravillons les uns des autres. [14]

1.5.2. Une quantité importante de fines

Pour leur assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les MAP contiennent une quantité de fines supérieures à celle des mortiers. Toutefois, pour éviter des problèmes d'élévation excessive de la température lors de l'hydratation ainsi que pour abaisser leur coût global, le liant est souvent un composé binaire, voire ternaire ; ciment portland mélangé avec cendres volantes, laitier, fillers calcaires, pouzzolanes naturelles, ou fumée de silice. [14]

1.5.3. Un fort dosage de super plastifiant

L'introduction de dosage relativement important de super plastifiant dans les BAP permet en premier lieu de réduire la teneur en eau tout en conservant leur grande maniabilité. Toutefois, un dosage trop élevé (proche ou supérieur au dosage de saturation) peut augmenter la sensibilité du béton à des variations de teneur en eau vis-à-vis du problème de la ségrégation et du ressuage. [14]

1.5.4. Une utilisation éventuelle d'agent colloïdal

Bien que ce ne soit pas systématique, les BAP contiennent la plus part du temps un agent colloïdal. Ce produit, comme les fines, a pour rôle d'empêcher le ressuage et de limiter les risques de ségrégation des granulats en rendant la pâte plus épaisse.

De façon schématique l'utilisation de ce produit semble se justifier dans le cas des bétons ayant des rapports eau/liant élevés car les fines ne sont pas toujours suffisantes pour fixer l'eau dans le béton. Il semble par contre inutile dans le cas de MAP ayant des rapports massique eau/liant faible qui donne des résistances supérieures à 50 MPa.

Pour la gamme des bétons intermédiaire, leur utilité est à étudier au cas par cas. L'agent colloïdal a la réputation de rendre les BAP moins sensibles à des variations d'eau vis-à-vis aux problèmes ségrégation et ressuage. [14]

1.6. Méthodes de formulation

1.6.1. Méthode d'Okamura

La formulation des MAP par l'approche développée à l'université de Kochi au Japon se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats.

Cette méthode de formulation est à la fois forfaitaire pour les dosages des granulats et expérimentale pour le dosage en eau et en adjuvant.

Pour formuler un BAP par cette méthode baptisée « méthode japonaise », on doit passer par les étapes suivantes :

1.6.1.1. Choix du dosage en ciment :

La quantité du ciment dépend du cahier des charges et des performances désirées (résistance, durabilité...).

1.6.1.2. Désignation du volume d'air :

Le volume d'air occlus est pris égal à 2 %.

1.6.1.3. Détermination du dosage du sable :

Le volume de sable est posé forfaitairement égal à 40% du volume du mortier.

1.6.1.4. *Détermination du dosage minimal en eau :*

La demande en eau passe par la conception de la composition de la pâte. En effet des essais d'étalement au mini- cône sont réalisés en faisant varier le rapport Eau/Liant avec le dosage choisi en liant.

En traçant la courbe d'Eau/Liant en fonction de l'étalement relatif « R p », on détermine le point d'intersection avec l'axe des ordonnées « β P» qui permet de déterminer le besoin en eau minimale nécessaire pour le ciment et les additions minérales. [15]

$$R p = \frac{d^2 - 100^2}{100^2} = \left(\frac{d}{100}\right)^2 - 1 \quad 1.3$$

Avec :

(R p): L'étalement relatif.

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



Figure 1-13 : Étalement au Mini cône de mortier autoplaçant

1.7. Caractérisation de MAP à l'état frais

1.7.1. 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.

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. [16]

1.7.2. Étalement au Mini cône de la pâte

Dans la méthode japonaise et hollandaise la demande en eau passe par des essais d'étalement au mini cône sur pâte en faisant varier le rapport Eau/poudre (Figure 1.14). La poudre étant le ciment ou l'addition minérale (filler...etc) mesurer l'étalement relatif « équation R p » (équation détermine les paramètres correspondant aux droites obtenus pour chaque liant (ciment et filler calcaire). [16]

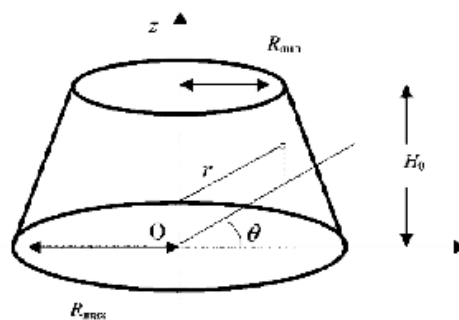


Figure 1-14 : Dimensions de Mini cône à mortier.

1.7.3. Essais de déformabilité de l'entonnoir en V (V-Funnel) :

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

Chapitre 01 : Mortier auto plaçant

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. [16]

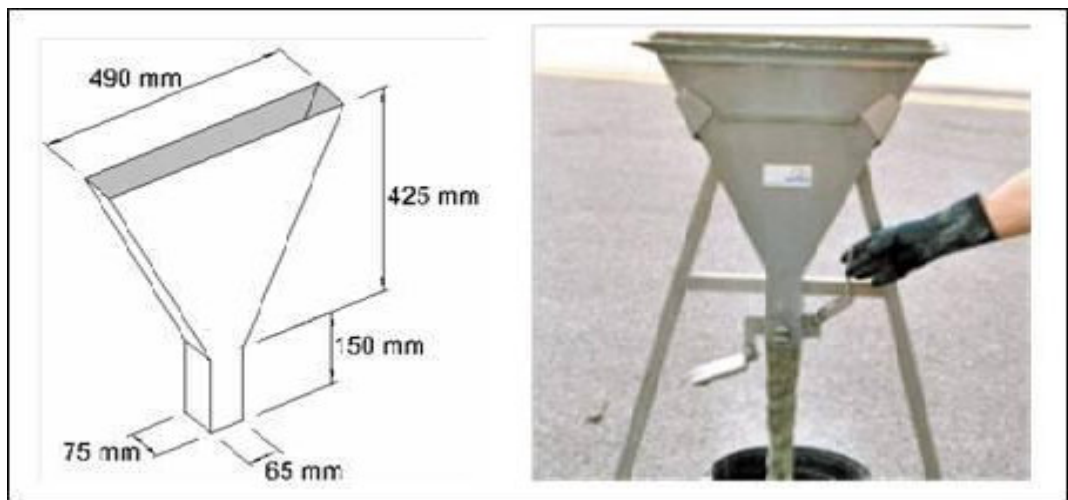


Figure 1-15 : Déroulement de l'essai d'entonnoir en mini v (v-funnel).

1.8. Caractérisation de MAP à l'état durci

Les essais mécaniques (compression et traction) sont régis par la norme EN 196-1.[16]

1.8.1. Objectif de l'essai

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression et à la traction du mortier, qui peut être mesurée en laboratoire sur des éprouvettes.

1.8.2. Mesure De La Résistance A La Traction Par Flexion

Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci.

Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter de $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$, jusqu'à rupture.

Conserver les demi-prismes humides jusqu'au moment des essais en compression. La résistance en flexion R_f (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

Avec :

Rf: Résistance à la compression en (MPa).

Fc : Charge de rupture en (N).

b2 : Cote de l'éprouvette est égale à 40 mm.

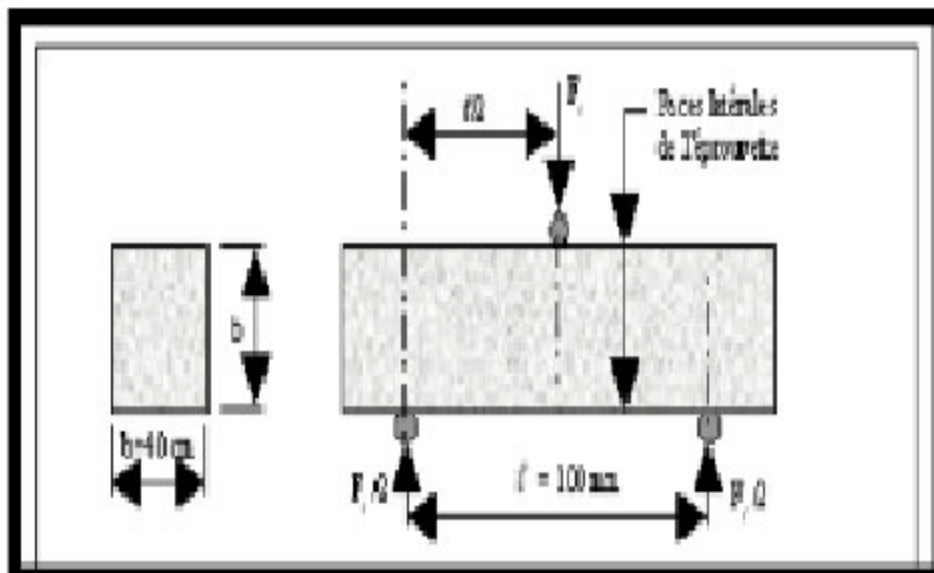


Figure 1-16 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion



Figure 1-17 : L'appareil de résistance à la flexion par traction.

1.8.3. Mesure De La Résistance A La Compression

Pour toutes les caractérisations physico-mécaniques, des spécimens prismatiques de (4x4x16 cm³) mûries à l'eau. Les résultats de la résistance à la compression obtenus à 7 et 14 et 28 jours représentent la moyenne de trois échantillons.

La machine utilisée pour l'écrasement uni axial des cylindres est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 1500 kN en compression (figure 1-18). La machine utilisée pour l'écrasement uni axial des spécimens prismatiques est une presse hydraulique Figure (1-19).

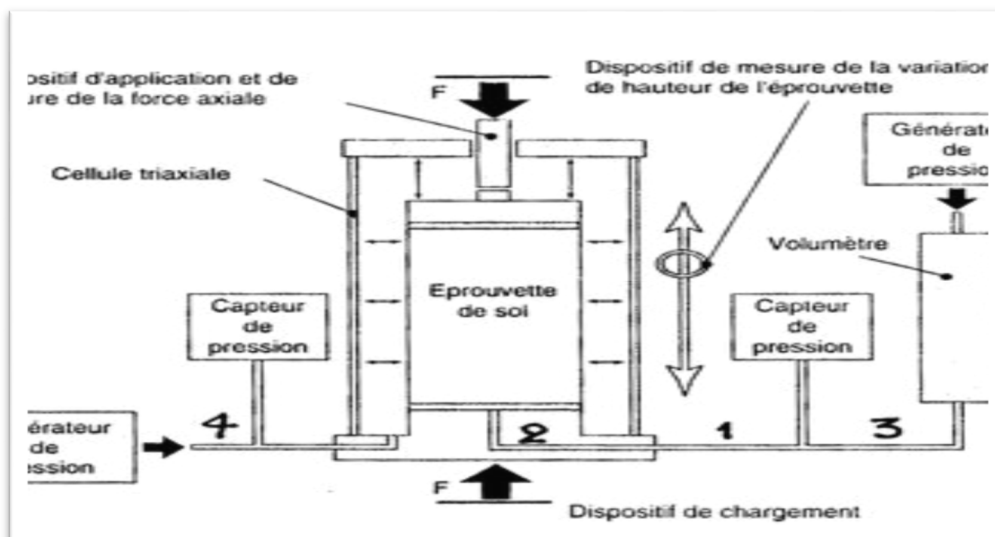


Figure 1-18 : Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.



Figure 1-19 : L'appareil de compression.

1.8.4. Essais non destructif

1.8.4.1. *Ultrasons* :

Le contrôle par ultrasons est basé sur la transmission, la réflexion et l'absorption d'une onde ultrasonore se propageant dans la pièce à contrôler. Le train d'onde émis se réfléchit dans le fond de la pièce et sur les défauts puis revient vers le transducteur (qui joue souvent le rôle d'émetteur et de récepteur).

L'interprétation des signaux permet de positionner le défaut. Cette méthode présente une résolution spatiale élevée et la possibilité de trouver simple, du moins pour les pièces géométriquement et matériellement simples.

Par contre, c'est une méthode lente car il faut faire un balayage mécanique exhaustif de la pièce. Il est d'ailleurs souvent nécessaire de contrôler plusieurs surfaces de la pièce pour pouvoir faire une représentation tridimensionnelle des défauts. Des défauts en profondeur.

L'étape d'inversion est une onde ultrasons est émise par un palpeur placé sur la surface du matériau à contrôler et se propage dans le matériau. Il existe des méthodes par contact (le palpeur est en contact avec la pièce) ou par immersion (la pièce et le palpeur sont immergés dans de l'eau). Dans le cas de la méthode par contact, il est nécessaire d'ajouter un couplant (eau ou gel) entre le palpeur et la pièce pour assurer la transmission des ondes. Lorsque ces ultrasons rencontrent une interface délimitant deux milieux ayant des impédances acoustiques différentes, il y a réflexion. Les

ultrasons réfléchis sont captés par un palpeur (qui peut être le même que l'émetteur). Il y a création d'un « écho ».

Dans le cas d'une pièce comportant deux surfaces, la détection de défaut se fait en comparant le temps mis pour faire un aller-retour dans l'épaisseur de la pièce et le temps mis pour la réflexion sur un défaut.

D'un point de vue pratique, on utilise un écran d'oscilloscope. Les échos sont représentés par des pics sur l'écran (figure 1.20). [17]

1.8.4.2. *Avantages*

- Épaisseurs contrôlables trop importantes,
- Détection, localisation et dimensionnement des défauts,
- Contrôle sur métaux, plastiques, matériaux divers,
- Inspection et détection en temps réel,
- Elle peut être utilisée indifféremment sur chantier ou en atelier et se prête bien à l'automatisation.

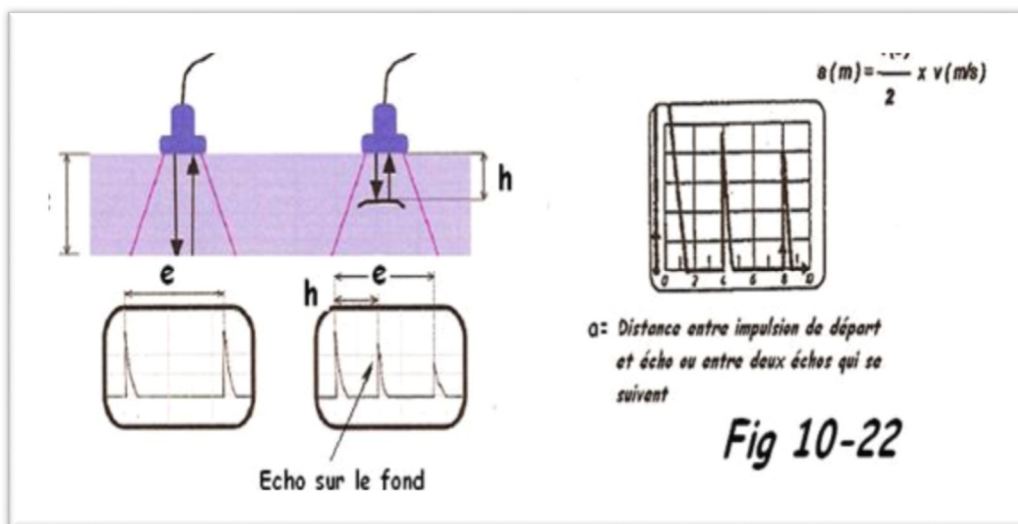


Figure 1-20 : Principe du contrôle par ultrasons

1.8.4.3. *Inconvénients*

- Sensible à la nature et à l'orientation des défauts,
- Technique souvent très coûteuse (investissement, temps de contrôle),

- La mise en œuvre est difficile sur certains matériaux

Conclusion

Cette partie théorique conduit à la conclusion que le MAP est un matériau hétérogène dont les composants sont sélectionnés sur la base de critères de recherche. Ces critères sont essentiellement la résistance mécanique, la coulabilité et l'étalement.

Chapitre 02 :
Effet des fibres
sur le
comportement des
mortiers auto
plaçants

2. Effet des fibres sur le comportement des mortiers auto plaçant

Dans ce chapitre nous allons décrire ou faire connaître, historiquement, ce nouveau constituant (fibres), son influence sur la matrice cimentaire, le nouveau comportement mécanique, thermique et d'autres propriétés du mortier auto plaçant contenant les fibres ; sans oublier dimensionner les avantages des fibres dans le mortier auto plaçant , et leurs domaines d'utilisations.[1]

Introduction

Les fibres sont ajoutées dans la matrice, non pour améliorer la résistance à la traction par flexion du mortier, mais surtout dans le but de contrôler la fissuration, d'empêcher la coalescence des fissures et de changer le comportement du matériau renforcé de fibres en cousant les fissures. Cependant, le mortier renforcé de fibres pneumatiques, en tant que matériau dans les applications industrielles. Il était produit en utilisant du ciment hydraulique classique, des granulats (sable), de l'eau et des fibres. Afin d'améliorer la maniabilité et la stabilité du béton renforcé de fibres, un super plastifiant peut également être ajouté dans le mélange. Ce mortier n'est pas considéré comme un substitut du mortier ordinaire, mais comme un matériau de type différent.[18]

2.1. Définition de mortier de fibres

Les mortiers en fibre offrent de nombreux avantages techniques qui prolongent la durée de vie. Il réduit les coûts de maintenance et augmente considérablement la résistance mécanique du mortier, des mortiers et des revêtements. Traitement du ciment et du gypse. Le mortier en fibre est facile à manipuler et améliore les propriétés du mélange. Il est distribué comme ceci En réduisant la fissuration, il égalise les contraintes dues au rétrécissement plastique et hydraulique.

Chapitre 2 : Effet des fibres sur le comportement des mortiers auto plaçant

Le mortier en fibre améliore la résistance aux intempéries et aux cycles gel-dégel. Le mortier en béton fibre élimine les microfissures en améliorant l'imperméabilité des mélanges à base de ciment.

Élimine le besoin de renfort métallique non structurel et réduit le temps de décapage initial. Le mortier en fibre améliore la qualité du mélange en empêchant la ségrégation des composants. [18]

2.2. Historique du béton de fibres

Le béton, depuis son origine, a été réalisé à partir des composants de base qui sont: le ciment, l'eau et les granulats. Le ciment, avec une taille de grains comprise entre 1 et 100 micromètres, constitue la phase liante des éléments du béton. Ces éléments sont le sable, avec une taille de grains comprise entre 1 et 5 mm et les granulats ou graviers de grosseur comprise entre 5 et 25 mm. Les romains le confectionnaient à partir de la chaux, de céramique écrasée et de sable volcanique.

En 1910, s'inspirant du concept de l'utilisation des fibres pour améliorer le comportement des matériaux fragiles (briques en terre armées de paille, plâtre armé de filasse, ciment renforcé de fibres d'amiante, etc. [MEH. 86, ANT. 85, COM. 84, BRA. 80]), H.F. Porter a suggéré pour la première fois l'utilisation de fibres métalliques dans le béton dans l'optique d'améliorer les performances mécaniques du béton [NAA. 85, FRI. 09]. Par la suite une série de brevets ont été établis par J. Graham (1910), Weakly (1912), Fickley (1914).

Les fibres sont ajoutées dans la matrice dans le but de contrôler la fissuration, d'empêcher la coalescence des fissures et de changer le comportement du matériau renforcé de fibres en cousant les fissures [AYD. 07]. Cependant, le béton renforcé de fibres métalliques (BFM), en tant que matériau dans les applications industrielles, a vu le jour aux Etats-Unis au début des années 60 suite aux travaux de [ROM. 63]. Il était produit en utilisant du ciment hydraulique classique, des granulats (sable et gravier), de l'eau et des fibres. Afin d'améliorer la maniabilité et la stabilité du béton renforcé de fibres, un super plastifiant peut également être ajouté dans le mélange. Ce béton n'est pas considéré comme un substitut du béton ordinaire, mais comme un matériau de type différent.

A partir de l'année 1970, il s'est produit une sorte de réveil dans le domaine de la technologie des bétons renforcés de fibres. L'amélioration de certaines propriétés spécifiques des bétons renforcés de fibres a permis leur utilisation de façon

Chapitre 2 : Effet des fibres sur le comportement des mortiers auto plaçant

permanente dans des applications industrielles. Mais aujourd'hui, avec le développement des moyens expérimentaux, l'utilisation de ce type de matériaux s'est orientée vers les structures présentant des phénomènes de fissuration avec des bétons traditionnels. Le premier article dans ce concept peut être attribué à Lankard et Sheets [LAN. 71]. Dans cet article, ces auteurs confirment que l'ajout de 1% à 2% de fibres au béton réfractaire entraîne une amélioration significative de sa résistance, de sa ténacité et de sa durabilité.[19]

2.3. Les fibres

Les fibres sont définies comme des éléments discontinus, de nature variable, des formes sensiblement cylindriques, d'un diamètre et longueur variable. Elles sont réparties dans la matrice soit d'une façon aléatoire ou orientation préférentielle.

Généralement les fibres sont aussi utilisées pour définir le constituant élémentaire des structures textiles. Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm, et la fibre de grande longueur ou filament continu.

Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur origine (naturelles, artificielles et synthétiques), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leur dimension (macro ou micro - fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour des applications, il est nécessaire de tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et le mode de performance du composite. [20]

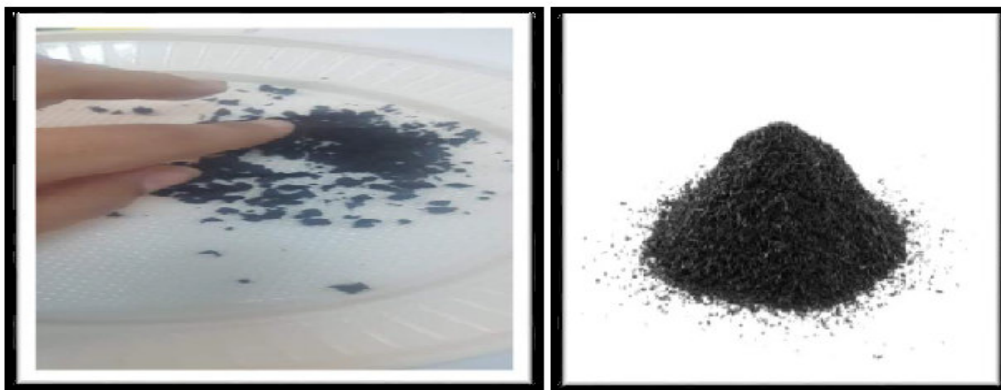


Figure 2-1: Des fibres plastiques utilisées.

2.4. Les types des fibres

On trouve sur le marché plusieurs types de fibres, elles peuvent être classées par familles, un choix approprié du type de fibre à utiliser est essentiel. Chaque type de fibre possède des caractéristiques particulières qui les rendent apte à servir à une utilisation plutôt qu'à une autre.

Ainsi l'adoption d'une fibre influencera les facteurs suivants :

- ✚ Densité.
- ✚ Résistance tension et en compression.
- ✚ Résistance aux impacts et à la fatigue.
- ✚ Module d'élasticité.
- ✚ Conductivités thermique et électrique.
- ✚ Stabilité dimensionnelle.
- ✚ Résistance aux conditions environnementales.
- ✚ Coût. [21]

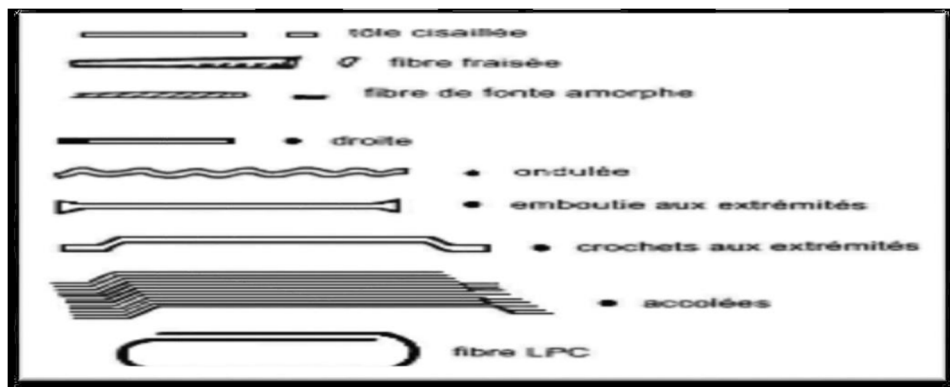


Figure 2-2: Différentes formes de fibres.

Les différentes fibres actuellement disponibles peuvent être classées selon leur origine en :

2.4.1. Fibres naturelles

Les fibres naturelles sont classées généralement en fonction de leurs origines : Animale, végétale et minérale. Les fibres d'origine végétale sont constituées majoritairement de cellulose et possèdent des propriétés mécaniques supérieures à celles d'origine animale. Ces dernières, telles que la laine et la soie, sont largement

Chapitre 2 : Effet des fibres sur le comportement des mortiers auto plaçant

utilisées dans le domaine du textile Les fibres d'origines végétales peuvent être classées en sous familles selon d'où elles ont été extraites ; graines, fruits, écorce, feuilles, bois, tiges ou canne. [21]

2.4.2. Végétale

Les fibres végétales sont extraites des plantes, soit de la tige comme le lin et le chanvre, soit de la feuille comme les fibres de palmier dattier voir même du fruit lui-même comme la noix de coco. Elles font partie de la biomasse. Elles sont caractérisées par une faible densité, un pouvoir d'isolation thermique, des résistances élevée sen traction, et une biodégradabilité qui constitue un avantage majeur pour l'écologie. Leurs principaux composants sont la cellulose, 27 l'hémicellulose, la lignine et les pectines. Leurs proportions déterminent l'ensemble des propriétés de fibre. [21]



Figure 2-3 : Fibre noix de coco

2.4.3. Métallique :

Ce type de fibre, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été et reste encore l'objet de recherches très importantes dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie civil. En effet, les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interfaçage entre fibre et matrice. [21]



Figure 2-4: Fibre métallique

2.4.3.1. *Les Fibres d'acier :*

Les fibres d'acier restent parmi les fibres les plus utilisées dans le renforcement des bétons ou mortiers. En effet, ces fibres présentent une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité très élevé.

Parmi les fibres les plus utilisées nous citons :

- Les fibres Euro-Stell (F.E.S.)
- Les fibres Bekaert (F.B.)
- Les fibres Harex (F.H.)
- Les fibres de ruban en Fonte de Pont-à-Mousson (F.R.F.A.)
- Les fibres à têtes d'ancrage en Acier trillé (F.T.A.). [20]

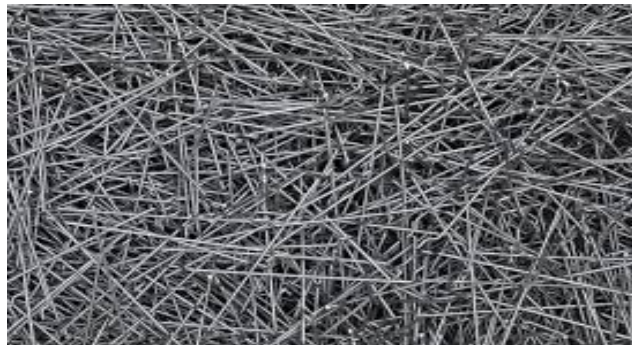


Figure 2-5 : Fibre d'acier

Le tableau 2.1 présente les caractéristiques mécaniques de ces fibres, reproduit selon.

Chapitre 2 : Effet des fibres sur le comportement des mortiers auto plaçant

Tableau 2-1: Caractéristiques mécaniques des fibres d'acier

Type de fibre	F.E.S.	F.B.	F.H.	F.R.F.A
Résistance a la traction (Mpa)	1400	1100	700	200
Longueur L (mm)		25-60		15-60
Diamètre (mm)		0.4-0.8		

2.4.4. Fibres synthétiques

Cette catégorie est apparue à la fin des années 30. Certaines de ces fibres furent découvertes, par accident, lors de recherches sur les explosifs (plastiques). Les polyamides ont été les premières fibres synthétiques à prendre d'assaut le marché et les magasins. L'effort de guerre donna un élan aux fibres synthétiques puisque certaines fibres naturelles devaient être remplacées. Par exemple, la soie servant à faire des parachutes se faisait plus rare puisque les routes. D'approvisionnement étaient bloquées. Le polyester arriva rapidement sur le marché, suivi par plusieurs autres fibres. [20]

2.4.4.1. *Fibres de polypropylène*

Les fibres de polypropylène sont fabriquées depuis 1954 par l'industrie textile. Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfinés des produits chimiques. Il a connu une extension croissante dans ce domaine où il apporte les avantages suivants : déformabilité élevée, imputrescibilité et bonne résistance en traction qui peut atteindre 800 MPa.

Ces fibres sont utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de revêtement de façades dans plusieurs constructions (Londonderry House Hôtel), ainsi que l'élaboration de panneaux décoratifs de 33cm d'épaisseur et aussi dans la réalisation des canalisations et des pieux. Les fibres de polypropylène sont en général assez longues (30 à 60 mm), légères et ne sont pas attaquées par le ciment. Leur module d'élasticité plus faible que la pâte durcie. Il convient de les utiliser de préférence pour les pièces minces devant résister, soit à l'action corrosive de certaines ambiances dans lesquelles l'acier pourrait se corroder rapidement, soit aux chocs mécaniques. [22]



Figure 2-6 : Fibre de polypropylène

2.4.4.1.1. *Avantage :*

- Grande résistance tant aux frottements qu'à l'abrasion, tant à sec qu'au mouillé
- Bonne résistance aux agents chimiques
- Infroissable
- Très bon isolant thermique
- Pas d'attaque par les insectes et les moisissures
- Légèreté (ce sont les plus légères : densité)
- Très bon marché

2.4.4.1.2. *Inconvénients :*

- Pouvoir absorbant nul (séchage rapide)
- Affinité tinctoriale nulle. C'est une fibre impossible à teindre sauf dans la masse
- Sensible à la chaleur sèche
- Toucher gras comme la paraffine – Salissures grasses difficiles à enlever

2.4.4.1.3. *Propriétés chimiques :*

- La fibre absorbe les corps gras
- Les solvants chlorés détériorent un peu la fibre
- Les acides, bases, oxydants, réducteurs, enzymes et autres solvants sont sans action

Chapitre 2 : Effet des fibres sur le comportement des mortiers auto plaçant

2.4.4.1.4. Tests d'identification :

- Brûle en fondant, odeur de paraffine, forme une boule.
- Se dissout à ébullition dans de la tétraline, le paradichlorobenzène

2.4.4.1.5. Utilisation :

- Pur : Tapis, corderie, sacs, vêtements de travail, sièges de voitures
- En mélange : survêtements, tee-shirt, chaussettes (laine), sous-vêtements (coton)
- Industrielles : Il met en évidence la nature très variée de ces fibres. [23]

Tableau 2-2 : Caractéristiques des fibres de polypropylène

Fibres	Polypropylène
Diamètre (μm)	10- 200
Longueur (mm)	25- 75
Rt (MPa)	400- 750
Densité	0.9
E 10^3 MPa	5- 10
Allongement à la rupture en %	15- 25
R_{Feu} Temps Max C°	150
Coefficient de dilatation (μ/m)	90
Résistance à la traction en (GPa)	0.4 - 0.71

2.5. Rôle des fibres

Au début, les chercheurs ont essayé, par l'addition de fibres, d'augmenter les caractéristiques mécaniques de mortier comme la résistance à la compression et la résistance à la flexion, mais le résultat obtenu était limité. Ils n'ont constaté que le rôle principal des fibres dans un matériau cimentaire peut-être apprécié sous deux volets :

- Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures, comme schématiquement illustré par la Figure (a).

Chapitre 2 : Effet des fibres sur le comportement des mortiers auto plaçant

- La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes Figure(b).[20]

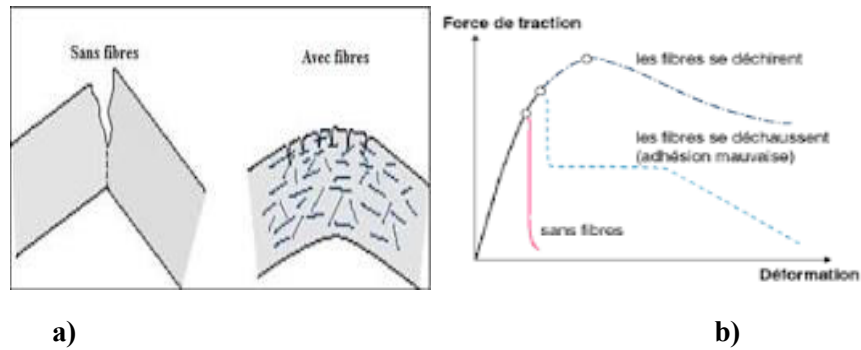


Figure 2-7 (a, b): Illustration de l'apport du renfort par des fibres.

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer la structure en s'opposant au développement des fissures et à leur propagation. Selon le type, le dosage et les éléments en béton dans lesquels elles sont insérées, les fibres permettent :

- L'augmentation de la ductilité et le comportement post-fissuration.
- La réduction de la microfissuration due aux variations dimensionnelles notamment au jeune âge.
- La réduction de la fissuration d'origine mécanique (chargement extérieur).
- L'augmentation de la résistance à la traction par flexion.
- L'amélioration de la tenue au feu et de la résistance aux chocs, à la fatigue, à l'usure, et à l'abrasion. [20]

2.6. Propriétés des fibres

Le choix des fibres dépend de l'usage recherché (pièces mince ou massives, renforcement de pâte pure, de mortier ou de béton, réparation de structure...), de leurs propriétés (résistance et module plus ou moins élevés, adhérence plus ou moins bonne...) de leur disponibilité et de leurs prix.

Pour faciliter leur utilisation, les fibres doivent :

- ✓ Être faciles à incorporer dans le béton et ne pas perturber le malaxage (leur dispersion dans le béton doit être rapide) ;

Chapitre 2 : Effet des fibres sur le comportement des mortiers auto plaçant

- ✓ Se répartir de manière homogène lors du malaxage au sein du béton (pas d'agglomération de fibres) et lors du bétonnage.

Pour améliorer les performances mécaniques des bétons (ductilité, résistance en flexion, résistance aux chocs, etc.), elles doivent :

- ✓ Être déformables sans être fragiles ;
- ✓ Être relativement longues et fines et présenter une grande surface spécifique ;
- ✓ Offrir une bonne capacité de déformation ;
- ✓ Posséder un module d'élasticité plus élevé que celui de la matrice cimentaire ;
- ✓ Présenter une bonne adhérence avec la pâte de ciment.

En fonction de leur nature, ces fibres ont des caractéristiques différentes et ne réagissent pas de la même façon. De ce fait, leur impact sur le béton peut varier. [24]

2.7. Domaines d'application des mortiers fibrés

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, on peut citer les catégories suivantes :

- Mortier de pose.
- Mortier de joints.
- Mortier pour les crépis.
- Mortier pour le sol.
- Mortier pour les stucs.
- Pierres artificielles.
- Support pour les peintures murales.
- Mortier d'injection.
- Mortier de réparation pour pierres.

Selon la nature du liant :

On peut classer les mortiers selon la nature du liant en:

- Mortier de ciment portland.
- Mortier de chaux.
- Mortiers bâtards.
- Mortier à base de ciment de maçonnerie. [25]

2.8. Rôles des fibres dans le mortier

L'ajout des fibres dans le mortier permet d'augmenter la densité du matériau. Le mortier fibré est plus compact et plus résistant. Ainsi :

- Il bénéficie d'une meilleure résistance à la compression.
- Il est moins sujet aux risques de fissuration lors de la phase de retrait.
- Il endure mieux les chocs et les agressions extérieures (pluies acides, pollution). [22]

2.9. Fabrication de mortier de fibres

Vérifier la longueur des fibres, la quantité et la composition du mortier avant de mélanger le mortier. Le mélange est choisi pour éviter la formation de boules de fibres. Dans le mélange. Lorsqu'il est renforcé, le mortier occupe généralement environ 70 % du volume, contre 50 % pour le mortier. Mélange de béton commun non renforcé de fibres.

Le panneau de ciment renforcé de fibres ne contient pas d'agrégat grossier. Ces produits sont généralement fabriqués en pulvérisant simultanément du mortier et des fibres Haché. L'utilisation d'un mortier à fort rapport eau-ciment facilite la projection. Ça existe D'autres méthodes de fabrication, telles que le moulage, sont moins polyvalentes que la projection. Le moulage sous pression produit un produit avec un faible rapport eau/ciment plus résilient.

Un additif chimique est ajouté au mélange de mortier fibré, Surtout pour augmenter la maniabilité. En Amérique du Nord, les entraîneurs de vol et Les réducteurs d'eau sont généralement ajoutés aux mélanges contenant :

Contient plus de 50 % d'agrégats ultrafins. L'agent réducteur d'eau ajouté au mortier renforcé de fibres peut abaisser la température Améliore le rapport eau/ciment, augmente la résistance, la stabilité du volume et la capacité de traitement mélange frais[25]

2.10. Les avantages du mortier de fibres

- Permet de réaliser des mortiers fluides.
- Diminuer le retrait.
- Améliorant les résistances mécaniques à court terme.
- Accélère le temps de prise.

Chapitre 2 : Effet des fibres sur le comportement des mortiers auto plaçant

- Accélère la prise et le durcissement des mortiers.
- Permet un décoffrage rapide .[26]

2.11. Bétons auto plaçants fibrés

Malgré les améliorations appréciables obtenues au niveau du comportement mécanique des bétons, l'incorporation des fibres dans le béton reste problématique du point de vue de l'ouvrabilité et de la répartition homogène des fibres. Pour remédier à ces problèmes, l'association des fibres avec le béton autoplaçant (BAP) paraît prometteuse. L'addition des fibres influe directement sur la rhéologie des bétons à l'état frais et donc de manière similaire sur l'ouvrabilité des BAP. Cette influence est fonction du dosage en fibres et de leurs caractéristiques géométriques notamment l'élanement. Ces propriétés ont été mises en évidence par différents essais à l'état frais, par exemple l'essai d'étalement « SLUMP FLOW » et l'essai d'étalement modifié dit « J-RING » qui permet d'évaluer notamment le risque de blocage. Pour bien déterminer l'effet des fibres, ces essais ont également été effectués avec un béton autoplaçant de référence (non fibré).

Les bétons autoplaçants fibrés doivent avoir les mêmes propriétés de base que les BAP non fibrés : étalement maximal, non ségrégation, non ressuage, non blocage etc. Et ce malgré l'addition de particules supplémentaires que sont les fines. [27]

2.12. Caractéristique des bétons auto plaçants fibrés.

Le béton possède deux comportements : **l'état frais et l'état durci**. Parmi tous les constituants du béton, l'eau reste l'ingrédient qui peut nuire le plus même si c'est à grâce à l'eau que le béton peut être manipulé. Réduire son dosage permet :

- ❖ D'augmenter la résistance en compression et en flexion.
- ❖ Réduire la perméabilité.
- ❖ Réduire la contraction volumique (retrait de séchage) .
- ❖ Moins de risques d'attaques d'agents agressifs extérieurs.

La réduction d'eau rend par contre le béton moins plastique. Avec l'incorporation des adjuvants chimiques, cela devient possible.[28]

2.13. Influence des fibres sur les propriétés à l'état frais

Une étude réalisée par Grünewald réalisé un programme dédié aux propriétés des BAP fibrés en fonction de la teneur en fibres, du type de fibres (métallique et polypropylène avec différentes géométries) et du rapport massique sable/granulat.

Pour la composition de référence, le rapport sable/granulats de 40% était utilisé car considéré comme optimal pour la compacité du béton, après les différents essais d'ouvrabilité réalisés sur les différentes compositions des bétons à l'état frais, les conclusions ci-après ont été tirées. [28]

2.14. Effet sur l'étalement

L'analyse de ces résultats montre que l'étalement diminue lorsque la teneur en fibres augmente, le degré de diminution dépend de la teneur en sable dans composition de référence, on remarque aussi sur la (Figure 2.8-a) une ovalisation de la galette pour les compositions renforcées de fibres métalliques ayant une grande surface spécifique (ex : Dramix 80/30 PB).

Ce qui indique que l'étalement est contrecarré par les fibres dans une ou plusieurs directions, en outre, pour certaines compositions (voir Figure 2.8-b) avec des fibres plus longues (ex : Dramix 80/60 BN), une ségrégation des granulats et des fibres au centre de la galette a été remarquée, la (Figure 2.8-c) illustre l'aspect de la galette dans le cas intermédiaire, provoquant ainsi une ovalisation de la galette et une accumulation des particules au milieu (ex : Dramix 65/40 BN). [28]

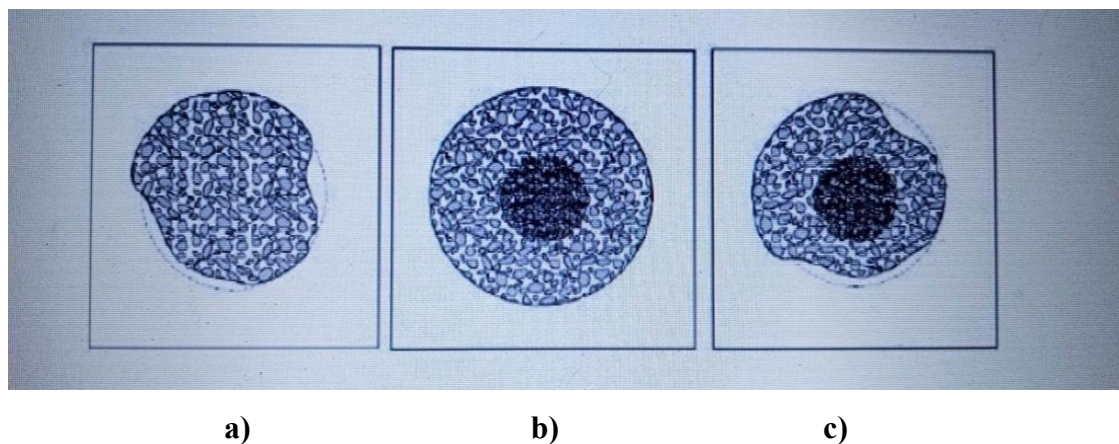


Figure 2-8: Effets des fibres sur l'étalement des BAP

Chapitre 2 : Effet des fibres sur le comportement des mortiers auto plaçant

Sachant que l'élançement (L_f/D_f) et le dosage en fibres sont les facteurs majeurs influençant l'ouvrabilité, [24] se sont appuyés sur le facteur fibre défini comme le produit entre la teneur volumique en fibres V_f et l'élançement, la (Figure 2.9) décrit l'évolution de l'étalement en fonction du facteur de fibres, aucune différence n'a été observée entre l'étalement mesuré directement après malaxage et 1 heure après malaxage, en revanche, une augmentation du facteur de fibre réduit sensiblement l'étalement.

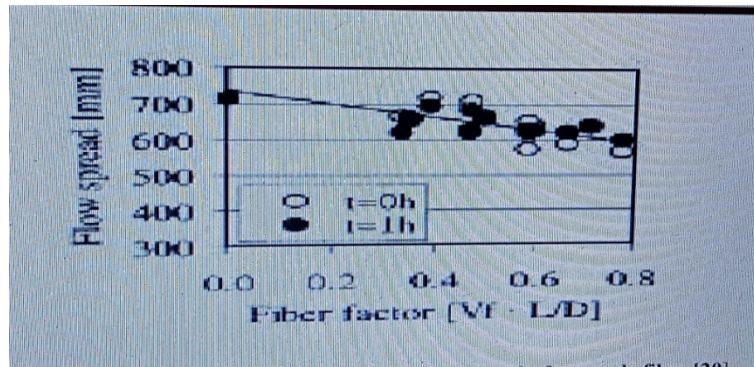


Figure 2-9: L'évolution de l'étalement en fonction du facteur de fibre

2.15. Comportement mécanique des bétons autoplaçant fibrés

Les propriétés mécaniques permettant de caractériser un BAP fibré à l'état durci sont les résistances à la compression, à la traction, et à la flexion, les fibres influent directement sur l'ouverture de la fissure et donc sur la rigidité et la ductilité après fissuration, dans cette partie, nous nous limiterons au comportement instantané.

Le retrait et le fluage peuvent être, considérés comme similaires à ceux des compositions ordinaires, même si cela reste à confirmer compte tenu du peu de recherches menées sur ce sujet. [28]

2.16. Comportement à la flexion

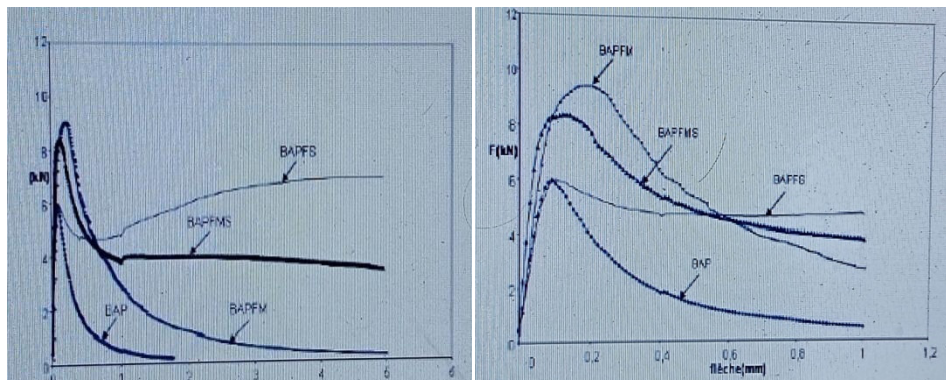
Une augmentation de la quantité de fibres conduit à une amélioration de la rigidité, et du comportement en flexion des bétons autoplaçants renforcés de fibres. Les études effectuées sur le comportement mécanique en flexion sous l'influence de deux types de fibres (métalliques de type Fibraflex (FM) 30x1, 6x0, 03 mm et synthétiques de type polypropylène (FS) 50x1, 6x0, 4 mm), les dosages utilisés étaient de 20 kg/m³ pour FM, 9 kg/m³ pour FS et (10 FM + 4,5 FS) kg/m³ pour un

Chapitre 2 : Effet des fibres sur le comportement des mortiers auto plaçant

fibrage mixte (compositions qui seront plus tard utilisées dans nos essais), les résultats obtenus sont détaillés ci-après. Les fibres métalliques « FM » qui sont réputées très adhérentes à la matrice ont conduit à une augmentation de la capacité portante néanmoins la résistance résiduelle chute rapidement pour des flèches imposées plus élevées.

Les fibres synthétiques « FS » n'ont pas permis d'augmenter la capacité portante, elles confèrent tout de même au système une résistance résiduelle post-pic maintenue jusqu'à des ouvertures des fissures très larges. -L'association des deux types de fibres peut donc constituer un compromis efficace pour améliorer la résistance à la flexion des BAP et prolonger le plateau de la capacité portante résiduelle des structures jusqu'aux larges ouvertures des fissures.

Les BAP semblent conférer une adhérence fibre-matrice supérieure par rapport au béton vibré, que ce soit avec des fibres métalliques ou synthétiques, les (Figures 2.10) illustrent la différence des comportements entre les différents bétons en flexion en termes de courbe force-flèche. [28]



a) détail jusqu'à une flèche de 6mm b) détail jusqu'à une flèche de 1mm

Figure 2-10: Courbe effort-flèche pour différentes compositions

2.17. Comportement à la compression et à la traction

La résistance à la compression n'était pas significativement sensible à l'adjonction de fibres dans un BAP, la résistance au jeune âge est quelque peu faible, probablement due à un effet retard de l'hydratation des mélanges et/ou des fillers, lié aux adjuvants. Néanmoins, à long terme, la résistance correspond à celle d'un béton ordinaire avec un même rapport E/L. Les résistances à la compression visées à 28

Chapitre 2 : Effet des fibres sur le comportement des mortiers auto plaçant

jours ont été atteintes pour tous les types de bétons, avec une très légère diminution des rapports R_{comp}/R_{trac} entre 7 et 28 jours. Cette réduction modérée est probablement due à l'amélioration de l'adhérence des fibres avec le béton dans le temps, mécanisme dont dépend fortement la résistance à la traction, les auteurs en ont tiré les principales conclusions ci-après. Les fibres métalliques réputées très adhérentes agissent dès les plus faibles ouvertures de fissures ; elles confèrent au matériau une résistance apparente en traction améliorée en agissant dès la microfissuration.

- Les fibres synthétiques, glissantes, seront mises en tension plus progressivement et vont ponter les macrofissures en faveur d'une résistance résiduelle à la traction maintenue ; les deux types de fibres ont des effets complémentaires en agissant sur des niveaux d'ouvertures de fissure différents. [28]

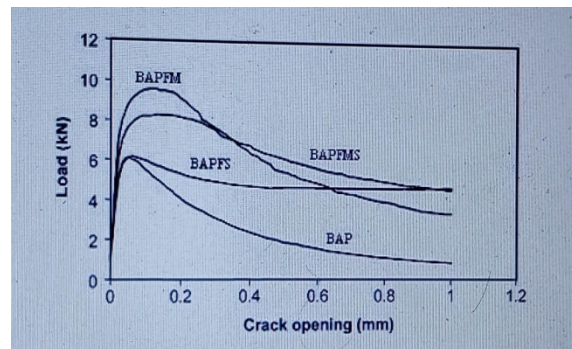


Figure 2-11: Comportement à la traction de différentes compositions

2.18. Propriétés et Comportement du béton fibré dans les structures

Nous allons présenter quelques exemples d'applications des BAP fibrés dans les éléments de structure.

- Palplanches:

A l'origine, les palplanches étaient réalisées en bois (maintenant en acier), il s'agissait de pieux faits de planches qu'on enfonçait dans la terre pour former un encaissement dans l'eau. 'Spa béton', un producteur hollandais d'éléments en béton préfabriqués propose aujourd'hui des palplanches en béton, ces éléments sont précontraints et renforcés avec des barres en acier. Comparés à ceux en acier, les éléments en béton sont plus durables et peuvent être employés comme partie portante de la charge d'une

Chapitre 2 : Effet des fibres sur le comportement des mortiers auto plaçant

structure, des études ont été réalisées à l'université de technologie de Delft avec pour objectif la production de palplanches précontraintes sans armatures classiques, le programme était composé de quatre parties :

- Étude préliminaire sur les caractéristiques d'un mortier de haute résistance avec les fibres métalliques ;
- Optimisation d'une géométrie de palplanches, en combinant les aspects structural et économique, (le calcul a montré que les palplanches en bétons autoplaçants fibrés seraient économiques si le prix de la composition était inférieur à 450 euros/m³) ;
- Optimisation d'une composition basée sur l'étude de [Sato et al 2000], développée par [Grünewald et al 2002], satisfaisant tous les critères de conception, (plusieurs essais ont été effectués sur les caractéristiques du mélange optimisé à l'état durci) ;
- Faisabilité de la nouvelle palplanche ;

(La Figure 2-12) permet de comparer les palplanches élaborées à base de béton autoplaçant renforcé de fibres (Dramix OL 13/0,16, $V_f=125$ kg/m³) à celles à base de béton ordinaire : on remarquera une diminution significative de l'épaisseur des éléments fibrés.



Figure 2-12: Palplanches précontraintes à base de : mortier autoplaçant fibré (a), béton armé ordinaire (b)

Les palplanches précontraintes en béton autoplaçant renforcé de fibres présentent plusieurs avantages par rapport celles avec un béton standard : le coulage et le remplissage sont facilités, le stockage exige moins d'espace, et un nombre plus élevé d'éléments peut être transporté avec un camion (plus légers et moins encombrants).

Chapitre 2 : Effet des fibres sur le comportement des mortiers auto plaçant

Enfin, la mise en place dans la terre est plus aisée (moins de résistance à l'enfoncement dans le sol), (AGGOUNE Abdallah thème: Evaluation de la qualité des bétons autoplaçant (BAP) fibré exposés à haute température aux moyens des essais non-destructifs (NDT) et essai direct); [28]

Conclusion

Dans ce chapitre, le comportement du (MAPF) concernant les propriétés mécaniques et de durabilité a été étudié. Les principales conclusions tirées de cette étude sont :

- ✓ Tous les mélanges contenant des fibres ont atteint une fluidité, une capacité de remplissage et une résistance à la ségrégation adéquates. Néanmoins, les fibres synthétiques réduisent la capacité de passage du MAP que la fibre d'acier. Ceci est attribué à la surface et au rapport d'aspect plus élevés des fibres synthétiques par rapport aux fibres d'acier à un rapport volumétrique similaire ;
- ✓ Les fibres ont un effet négligeable sur la résistance à la compression et le module d'élasticité du MAP ;
- ✓ L'utilisation des fibres dans le domaine du génie civil a connu un développement rapide durant les dernières années. Dans de nombreuses applications, l'utilisation des fibres peut augmenter le facteur de sécurité, et réduire les coûts en comparaison avec les matériaux classiques. [18]

Chapitre 03 :

Programme

expérimental

3. Programme expérimental

Introduction

Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux utilisés dans cette étude, ainsi que leurs caractéristiques et on présente les calculs de formulation de notre mortier et d'écrit les différents modes opératoires des essais destructives (compression, flexion) et non destructives (l'ultrason).

Les matériaux utilisés sont :

- Le ciment
- Les adjuvants : « MEDAFLOW 30 » super plastifiant)
- Les ajouts : poudre de verre
- Eau de gâchage
- Le sable de Boussaâda
- Fibres métalliques
- Fibres synthétiques

Les matériaux utilisés dans notre étude sont des matériaux locaux, nous avons effectué des études expérimentales sur leurs caractéristiques au niveau du laboratoire de Génie Civil à l'Université Mohamed Boudiaf - M'sila.

3.1. Ciment : CEM II /A-) P-L(42.5N)(Ciment Portland NA 442/2013)

Un ciment portland, contenant 95% clinker et 5% de gypse en tant que régulateur de prise. (Fiche tech ciment Gica).

Tableau 3-1 : Analyse chimique ciment

Analyse chimique	Min	Max
SiO ₂	22.80	32.00
AL ₂ O ₃	5.20	6.20
Fe ₂ O ₃	3.20	3.60
CaO	52.00	62.00
MgO	1.02	1.20
K ₂ O	0.35	0.45
Na ₂ O	0.40	0.50

SO3	1.80	2.20
PF	2.00	2.80
CL	0.03	0.45
Ri	6.00	12.00
Caol	0.40	1.54

Tableau 3-2 : caractéristiques physico-mécaniques

Essai physico-Mécanique	Min	Max	Norme
Ss Blaine cm/g	2960	4200	-
Consistance %	25.5	26.8	-
Début de prise	80	160	≥60mn
Compression 02j	12.5	23	>10.0
Compression 07j	25	36	-
Compression 28j	43	52	≥42.5
Expansion	0	8.5	>10mn

Tableau 3-3: Les constituants de ciment en %

Les Constituants de Ciment en%	
Clinker	80-88
Pouzzolane + Calcaire	12-20
Régulateur de prise(Gypse)	00-05



Figure 3-1: Le ciment utilisé

3.2. Sable

Le sable de base de notre recherche provient de sabords d'Oued MAITAR (BOUSAADA).

3.2.1. Caractéristiques physiques des sables utilisés

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises AFNOR.

3.2.1.1. Masse spécifique (absolue) : NFP18-555

La masse volumique absolue du sable est calculé d'après la formule :

$$\rho \text{ abs} = M / (V2 - V1)$$

Tableau 3-4: Résultats de la masse volumique absolue

Matériaux	Sable de dune (M = 120g)		
V1 (cm ³)	150	150	150
V2 (cm ³)	195	198	198
V2-V1 (cm ³)	45	48	48
ρ (g/cm ³)	2.666	2.5	2.5
Moyenne	2.555		

- ✓ M: masse du sable.
- ✓ V1: volume d'eau.
- ✓ V2: volume d'eau + sable.

3.2.1.2. Masse volumique apparent (NF P 18-554)

C'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire de la Volume constitué par la matière du corps et le vide qu'elle contient. Il est donné par la relation suivant :

$$P_{app} = (M2 - M1) / V$$

- ✓ V = 900cm³ = 0.9 L.
- ✓ M1: Masse du récipient à vide.

✓ M2 : Le poids de l'ensemble (sable+ récipient).

Tableau 3-5: La masse volumique apparente a l'état l'ache

Matériaux	V=900 (cm ³)		
M1	115	115	115
M2	1296	1309.3	1300.9
M2-M1	1181	1194.3	1185.9
ρ (kg/m ³)	1.312	1.327	1.317
Moyenne	1.318		

Tableau 3-6: La masse volumique apparente a l'état compact

Matériaux	V=900 (cm ³)		
M1	115	115	115
M2	1351	1357	1368
M2-M1	1236	1242	1253
ρ (kg/m ³)	1.373	1.380	1.392
Moyenne	1.381		

3.2.1.3. Porosité : NFPI8-554

C'est le volume du vide s'entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P(\%) = 1 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) * 100$$

$$P\% = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] * 100$$

3.2.1.4. Compacité

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide que le constitue, c'est dire le rapport du volume absolue des gains au volume apparent du matériau.

$$C = (\rho_{app} / \rho_{abs}) = 100 - P$$

3.2.1.5. L'indice des vides

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide en pourcent (%).

$$E (\%) = \frac{V_v}{V_s} = \frac{P}{(100-P)}$$

V_v : volume du vide

V_s : volume du solide

Tableau 3-7: Porosité, compacité et l'indice des vides

Porosité P(%)		Compacité C(%)		L'indice des vides E(%)	
lâche	compact	lâche	compact	lâche	compact
48.41	45.94	51.59	54.06	0.93	0.84

3.2.1.6. *Equivalent de sable [NF EN 933-8]*

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité des bétons et mortiers.

Mode opératoire :

- ✓ Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g)
- ✓ Prendre une pesée de 120 g
- ✓ Remplir l'éprouvette de solution lavant jusqu'au premier repère (10cm)
- ✓ A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- ✓ Laisser reposer pendant 10 minutes
- ✓ Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontale en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique
- ✓ Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution lavante au-dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci
- ✓ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de

faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution ne parvienne plus à atteindre le 2ème repère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

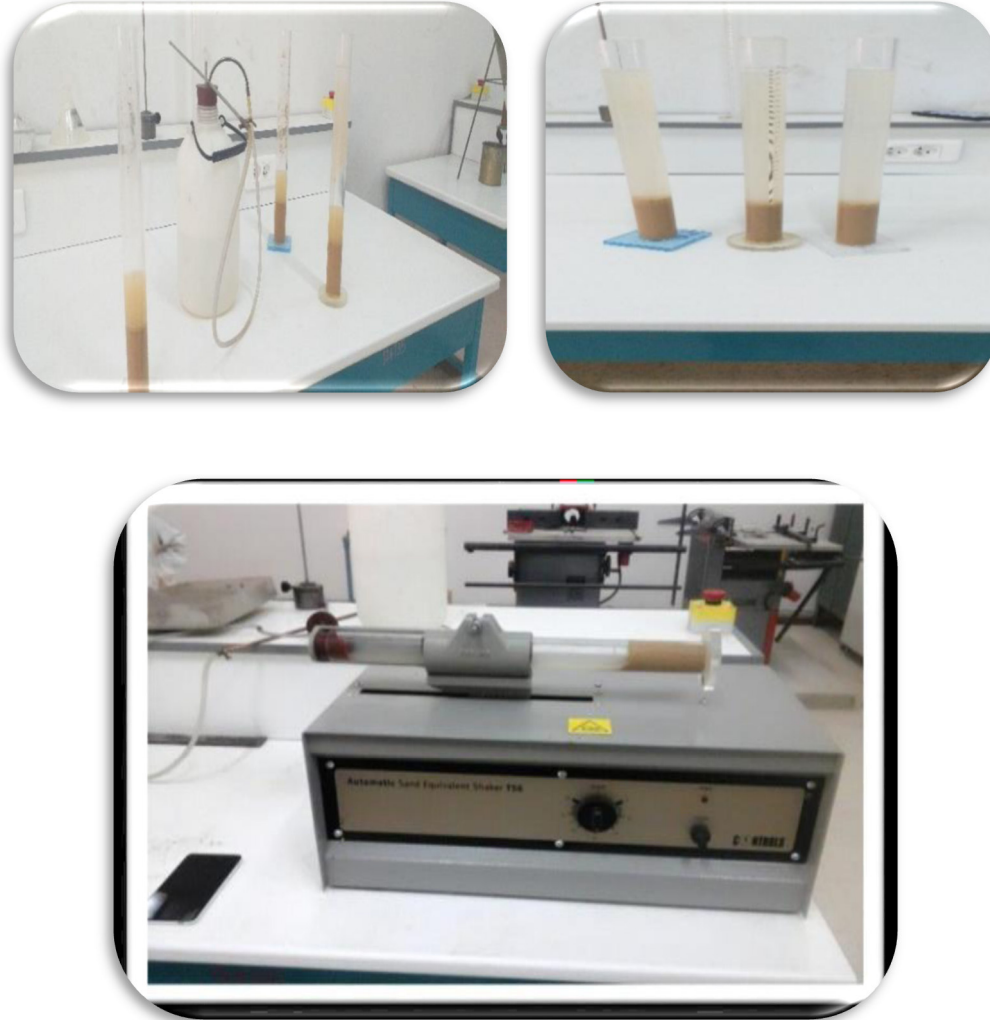


Figure 3-2: Mesure de l'équivalent de sable

3.2.1.7. *Equivalent de sable visuel (ESV) :*

Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieur du Flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle. Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$E.S.V = \frac{h_2}{h_1} * 100(\%)$$

- $h_2' < h_1$
- h_1 : sable propre + éléments fins

3.2.1.8. *Equivalent ide sable au piston(ESP)*

Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette. Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$E.S.P = \frac{h_2'}{h_1} * 100(\%)$$

- h_2 : La hauteur du sable ($h_2 < h_1$)



Figure 3-3: Mesurée de L'équivalent de sable..

Les résultats sont regroupés sur le tableau suivant :

Tableau 3-8: Les résultats d'équivalent du sable de Boussaâda

Essais	h_1 (cm)	h_2 (cm)	E.S.V (%)	h_2' (cm)	E.S.P (%)
1	11.5	8.2	73.91	8.1	70.43
2	12.5	8.9	71.2	7.8	62.4
3	12.7	9	70.86	8.3	66.06

- h_1 : hauteur du sable plus tube.
- h_2 : hauteur du sable.

- h_2' : hauteur du sable avec piston.

$$E. S. V_{moy} = 71.99\% \quad Et E. S. P_{moy} = 66.29\%$$

Pour le sable de Boussaâda : C'est une **Sable propre** **propriété acceptable**

3.2.1.9. Analyse granulométrique : NFP18-304.NFP18-560

3.2.1.9.1. But de l'essai

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm, à l'exclusion des fillers.

3.2.1.9.2. Principe de l'essai

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon 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 graines s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

3.2.1.9.3. Matériel nécessaire:

- ✓ Prélever (2kg) de matériau (sable sec).
- ✓ Une machine à tamiser
- ✓ Une série de tamis normalisé
- ✓ Un couver clé qui évite la perte de matériau pendant le tamis ageet un réceptacle de fond
- ✓ Pour recueillir le dernier tamisât
- ✓ Des récipients sen plastique
- ✓ Une main écope pour le remplissage
- ✓ Une balance de portée de 5kg, précision 1g



Figure 3-4: Une machine à tamiser.

3.2.1.9.4. Mode opératoire :

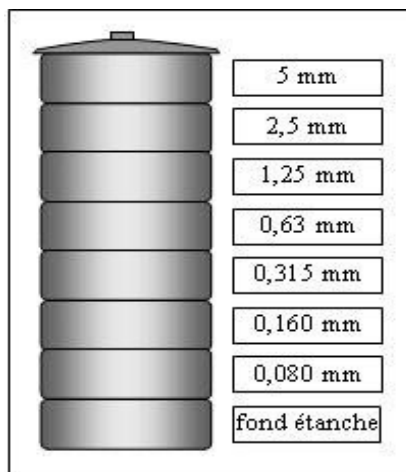
- Prélever (2kg) de matériau (sable sec)
- Peser chaque tamis à vide à 1g près, soit M_i la masse du tamis
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : 5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125 et éventuellement 0,08mm. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.
- Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique. Agiter pendant 5 minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.
- Peser chaque tamis séparément à 1g près. Soit (M_i) la masse du tamis (I) le sable. La différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel R_1 du tamis 1.
- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
- Ajouter le refus obtenu sur les i ème tamis à R , soit R_2 la masse du refus cumulé du tamis 2 ($R_2 = R_1 + \text{refus partiel sur tamis}$)
- Pour suivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des

- Différents Refus cumulés R3, R4, ...

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante : $T=100-Rc$

Où:

T : Tamisât en %



Rc: Refus cumulé sen%

Figure 3-5:Colonne de tamis.

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau 3-9: Les résultats d'analyse granulométrique du sable de Boussaâda

Sable Roulé		Masse Initiale(g)=				1000
N°	Module	Tamis (mm)	Refus (g)	Refus Cumulés (g)	Refus (%)	Tamisas (%)
3	39	5	0	0	0.0	100.0
4	38	2.50	36	36	3.6	96.4
5	36	1.25	63	99	9.9	90.1
6		0.630	52	151	15.1	84.9
7		0.315	247	398	39.8	60.2
8		0.160	536	934	93.4	6.6
9		0.080	53	987	98.7	1.3
13	Fond de tamis		9	996	99.6	0.4
			996			

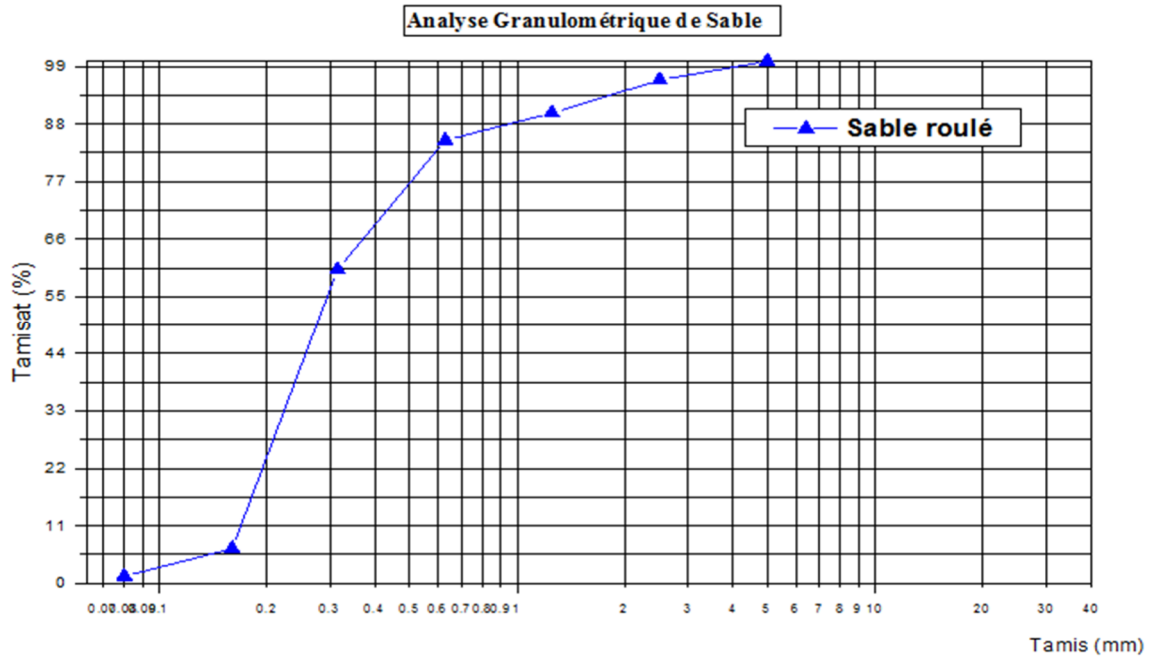


Figure 3-6: La courbe granulométrique du sable

3.2.1.9.5. *Module de finesse :*

Le module de finesse (MF) est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable (qualité du sable), il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles : [0.16 0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm)] sur 100. Il est donné par la relation suivante :

Le module de finesse d'un granulat est donné par la relation suivante :

$$MF = \frac{\sum \text{refus cumulée } \%}{100}$$

Où:

Rc: Refus cumulé.

Selon la norme AFNOR :

- Le sable préférentiel ($2,20 < MF < 2,80$)
- Le sable un peu trop fin ($1,80 < MF < 2,20$)

- Le sable un peu trop grossier ($2,80 < MF < 3,20$).

Pour le sable de Boussaâda : MF= 1.618

Donc, c'est un peu trop fin

3.2.1.9.6. Teneur en eau [NF P 18-555]

L'essai de teneur en eau permet de déterminer quel est le pourcentage massique (W%) d'eau dans le sable étudié, c'est-à-dire quelle est la masse d'eau présente par rapport à 300 grammes de sable sec.

Les résultats obtenus en (Tableau 9) que : $W = \frac{(M_h - M_s)}{M_s} * 100$ (%)

- M_h : Masse des granulats humides.
- M_s : Masse des granulats secs.

Tableau 3-10: Teneur en eau de sable utilisé

Essais	M _h (g)	M _s (g)	W(%)	W _{moy} (%)
1	300	299.8	0.0667	4.3907
2	300	293.9	2.075	
3	300	293.4	2.249	

3.3. L'adjuvant :

- Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de poly carboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons. Plage de dosage recommandé : 0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre pour 100 Kg de ciment. Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés. Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

- Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de supe plastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.

- Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet retardateur.

Tableau 3-11: Caractéristiques du MEDAFLOW 30

Forme	Couleur	P-H	Densité	Teneur en chlore.	Extrait sec
Liquide	Jaunâtre	6 – 6,5	1,07 ± 0,01	< 1g/l	30%

Tableau 3-12 : Masse mole claire du super plastifiant

Super plastifiant	Masse moléculaire Moyenne en nombre	Masse moléculaire Moyenne en masse	Indice de polydispersité
MEDAFLOW 30	44700	58714	1,31

3.3.1. Propriétés

- Grâce à ses propriétés le MEDAFLOW 30 permet :

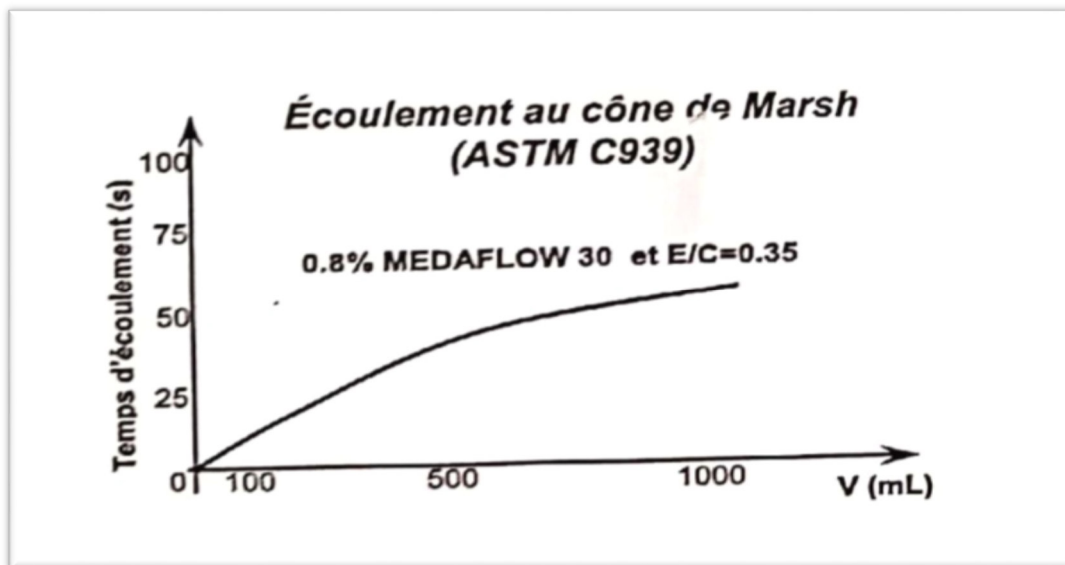


Figure 3-7: Evolution du temps d'écoulement en fonction du volume du MEDAFLOW

- Sur le béton frais il permet :

- ❖ L'obtention d'un E/C très faible
- ❖ L'amélioration considérable de la fluidité
- ❖ Une très bonne maniabilité
- ❖ Un long maintien d'ouvrabilité
- ❖ D'éviter la ségrégation
- ❖ De faciliter la mise en œuvre du béton.

- Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau)
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

3.3.2. Domaine d'application :

- Béton à haute performance.
- Béton auto plaçant.
- Béton pompé.
- Béton précontraint.
- Béton architecturant.



Figure 3-8: Super plastifiant utilisé dans notre étude.

3.4. Poudre de verre

La poudre de verre est obtenue après broyage de débris de verre transparent et après passage au tamis de 80 μ m pour aboutir à la finesse voulue. Les caractéristiques physico-chimiques de la poudre de verre sont illustrées dans les tableaux (3-13 et 3-14).

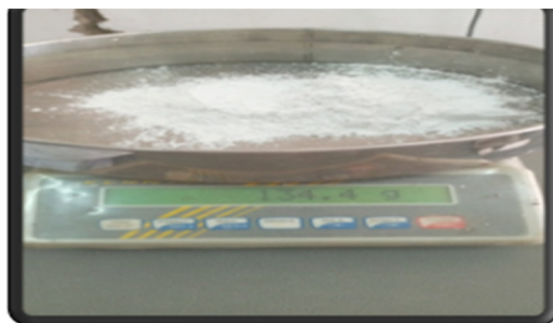


Figure 3-9 : Poudre de verre

Les analyses granulométriques sont réalisées par tamisage à sec sur les fractions supérieures à 80 μ m (NFP 94-040) et par sédimentométrie sur les fractions inférieures à 80 μ m(NF P 94-057). L'analyse granulométrique est illustrée par la figure (...)

Tableau 3-13:Composition chimique de la poudre de verre.

Oxide	SiO ₂	Al ₂ O	Fe ₂ O	Ca	Mg	SO	K ₂	Na ₂	P ₂ O	TiO	PA
s		3	3	O	O	3	O	O	5	2	F
%	72.8	0.98	0.55	9.66	1.76	0.2	0.43	12.6	0.01	0.04	0.79
	4					5		9			

Tableau 3-14: Caractéristique physique de la poudre de verre.[3]

Caractéristiques	Poudre de verre
Densité absolu (Kg/l)	2.7
Surface spécifique (cm ² /g)	8530
Couleur	Blanc
Activité pouzzolanique	28,5 g (Ca(OH) 2/g (PV)

La composition chimique globale de la poudre de verre tableau (IV.9) montre que le matériau contient principalement du silicium (72.84 % exprimé en SiO₂), des alcalins (12.69% Na₂O) et du calcium (9.66 % exprimé en CaO). Le dosage en chlorure montre une faible teneur (0,11 %).

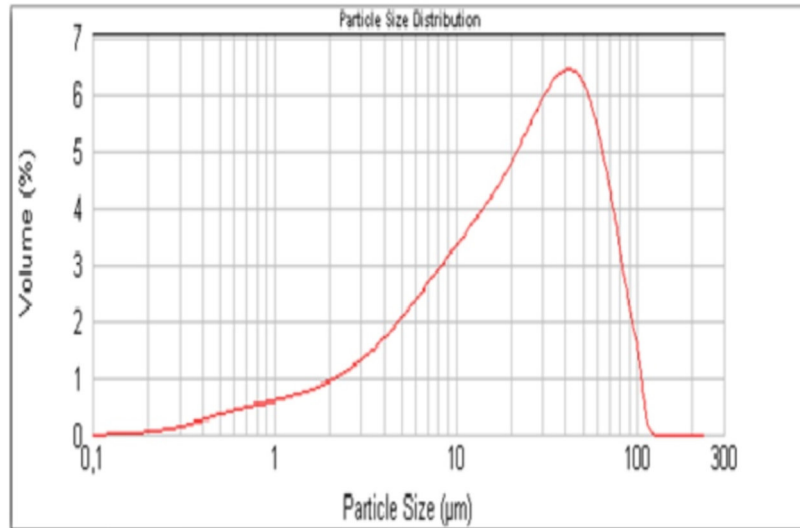


Figure 3-10: Distribution granulométrique de la poudre de verre

3.5. Eau de gâchage :

Tous les mortiers sont mixés avec l'eau du robinet au Laboratoire de l'Université de M'sila. L'eau de gâchage utilisé est une eau potable pure et limpide apportée du laboratoire de l'université de M'sila. On a effectué les analyses chimiques au laboratoire de chimie (M'sila). Elle est donnée par:

Tableau 3-15: Caractéristiques chimiques de l'eau.

La mesure	Teneur en (mg/l)
Le temps de prise d'échantillon	10/05/2005 (9 :25)
Degré de température	24.7
PH	7.78
Conductibilité	1799
Chlore Cl-	234.3
Sulfate So-4	351.6
Magnésium Mg ²⁺	110.8
Sodium Na ⁺	/
Calcium Ca ²⁺	267.2
Sédiment sec	1412
Rééligibilité d'oxydation en eau	1024

3.6. Les fibres :

3.6.1. Les fibres de polypropylènes :

Fibres synthétiques de polypropylène modifié pour une utilisation dans le béton et les mortiers renforcés de fibres. Les fibres de polypropylène réduisent la formation de fissures de retrait plastique sur le béton et augmentent l'impact et la résistance aux chocs. Les fibres synthétiques augmentent également la résistance à l'abrasion dans les planchers en béton et réduisent le saignement. De plus, ils améliorent l'élasticité et la cohésion des mortiers et des chapes lors de la mise en place. Certifié avec le marquage CE, selon la norme EN 14889-2.



Figure 3-11:Les fibres de polypropylènes

3.6.1.1. Domaines d'application :

Les fibres de polypropylène sont spécialement conçues afin d'être utilisées dans les cas où des fissures sont créées en raison du retrait ou des déformations plastiques, par exemple en cas de grandes dalles de béton, des éléments préfabriqués en béton, des planchers chauffants, etc. Ils sont utilisés là où la cohésion des chapes ou du béton est nécessaire lors de la mise en place, par exemple en cas de dalles inclinées, etc. Les fibres de polypropylène sont également utilisées dans des applications de béton projeté (gunite) afin d'augmenter le compactage et la densité du béton projeté.

3.6.1.2. *Caractéristiques techniques :*

Matériel	Polypropylène modifié
Couleur	Blanc
Diamètre	25 ($\pm 10\%$) μ m
Longueur	12 ($\pm 10\%$) mm
Densité	0.91 g/cm ³
Point de fusion	160-170°C
Point d'ignition	570°C
Nombre de fibres par kg	120 $\times 10^6$
Module d'élasticité:	1.6 GPa
Résistance à la traction:	400 ($\pm 10\%$) N/mm ²
Allongement à la traction:	25 ($\pm 10\%$)

- **Mode d'emploi :**

Les fibres de polypropylène sont directement ajoutées au béton ou au mélange de mortier, en maintenant le dosage des ingrédients

- **Consommation :**

600-1200 gr/m³ de béton ou de mortier de ciment.

- **Conditionnement :**

- 900gr Sac en papier dispensable
- 600gr Sac plastique

- **Stockage :**

Au moins 5 ans de la date de production, dans des emballages fermés, stockés en conditions sèches.

Remarque :

Les fibres de polypropylène ne remplacent pas le renforcement statique du mortier.

3.6.2. Fibres d'acier :

Les fibres d'acier, qui sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie

civil, ont fait l'objet de plusieurs recherches. En effet, les propriétés mécaniques du mortier renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interfaciale entre fibre et matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre. Il existe de nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leur section (ronde, carrée, rectangulaire), leur diamètre, leur longueur et leurs modes d'élaboration. Elles peuvent être rectilignes, ondulées, ou présenter des élargissements aux extrémités, soit en crochets pour améliorer l'accrochage dans le même but, elles peuvent présenter des aspérités, des crans surfaces

Les fibres métalliques notamment d'acier ont donné lieu à de nombreuses recherches pour développer leur emploi dans le béton. A recherche de l'adhérence au mortier a donné naissance à une grande variété de fibres susceptibles, par leur forme ou leur état de surface, de mieux s'ancrer dans le mortier :

- fils étirés et coupés, ondulés crantes, torsadés, avec crochets
- fibres usinées à surface rugueuse
- fibre de fonderie la fibre de fonte se présente sous forme d'un mince ruban de 30 μm d'épaisseur.

Les fibres métalliques sont de types et de formes variées et présentent une très bonne compatibilité avec le béton. Les fibres sont composées d'acier au carbone, d'acier inoxydable ou d'acier galvanisé contre la corrosion. En général, la longueur des fibres varie de 25 à 60 mm et le diamètre varie de 0,5 à 1,3 mm. La fabrication des fibres métalliques s'effectue selon plusieurs méthodes en relation avec leurs formes géométriques multiples (ASTM A 820).

La résistance en traction de ces fibres varie généralement entre 1000 et 3000MPa, mais cette résistance est rarement utilisée dans le composite dû au phénomène de pull – out des fibres.



Figure 3-12: Fibres métalliques

3.6.2.1. Propriétés des fibres métalliques :

Elles présentent une très bonne compatibilité avec le mortier, certaines fibres sont inoxydables ou traitées contre la corrosion, en vue de certains usages particuliers

3.6.2.2. Applications :

Du fait de leurs propriétés, les fibres trouvent un vaste domaine d'applications là où on veut réduire les risques de fissuration, espacer les joints de retrait, augmenter la résistance aux chocs et tirer parti de l'amélioration de la résistance en traction pour diminuer le dimensionnement des pièces :

- Dallages, parkings, pistes
- Mortier projetés en galeries, tunnels, talus
- Eléments préfabriqués divers : tuyaux, caniveaux, garages
- Pieux de fondation

3.7. Fabrication et conditionnement des éprouvettes :

Mortier auto-plaçant a été coulé dans les moules cubiques sans vibrée .Pour réaliser les essais, nous utiliserons des moules cubiques de dimensions 4 cm x 4 cm x 4cm et des moules prismatiques de dimensions 4 cm x 4cm x 16cmLes éprouvettes cubiques sont destinées aux essais de la porosité. Les éprouvettes prismatiques sont réservées à la compression, essai de traction et de flexion, essais à l'ultrason.



Figure 3-13:Des éprouvettes

3.8. Composition de mortier auto plaçant :

Le but de formulation du mortier est en gardant le pourcentage du super plastifiant et les rapports E/C et constants ($E/C=0,40$, $sp=1.6\%$). Les quantités des constituants du mélange (ciment, sable, eau, poudre de verre et super plastifiant) ont été calculées à l'aide d'un programme Excel. La séquence de malaxage est la même pour tous les mélanges du mortier.

- Malaxer à sec le ciment, poudre de verre et le sable pendant environ une (1) minute afin d'homogénéiser le mélange (on a utilisé un malaxeur à mortier de 5 litres de capacité)
- Malaxer pendant une (1) minute avec la première quantité d'eau ($Eau1 = 70\%$ Eau)
- Malaxer pendant une (1) minute avec le restant de l'eau de gâchage ($Eau2 = 30\%$ Eau) mélangé avec le super plastifiant
- Malaxer le mélange pendant 3 minutes



Figure 3-14: Malaxage

3.9. Dénomination des différents mélanges :

Les compositions de mortier auto-plaçant :

Avec :

PN : Adjuvant ; Les ajouts ; Poudre de verre ; Fibre.

M₀ : Témoin.

M₁ : Témoin + 0.5% fibres de polypropylènes.

M₂ : Témoin + 0.75% fibre de polypropylènes.

M₃ : Témoin + 1% fibre de polypropylènes.

M₄ : Témoin + 1.25% fibre de polypropylènes.

M₅ : Témoin + 0.3% fibre de polypropylènes + 0.3% fibre métallique.

M₆ : Témoin + 0.5% fibre de polypropylènes + 0.5% fibre métallique.

Tableau 3-16: Les compositions de mortier auto-plaçant.

	Ciment Kg/m ³	Sable Kg/m ³	Eau Kg /m ³	Adjuvant %	Ajouts: poudre de verre	Fibre de polypropylènes	Fibre métallique	E/C
M₀	700	1266	280	1.6%	10%	0	0	0.4
M₁	700	1266	280	1.6%	10%	0.5%	0	0.4
M₂	700	1266	280	1.6%	10%	0.75%	0	0.4
M₃	700	1266	280	1.6%	10%	1%	0	0.4
M₄	700	1266	280	1.6%	10%	1.25%	0	0.4
M₅	700	1266	280	1.6%	10%	0.3%	0.3%	0.4
M₆	700	1266	280	1.6%	10%	0.5%	0.5%	0.4

3.10. Séquence de malaxage du mortier :

Pour la confection du mortier fluide, la séquence de malaxage décrite dans la Figure 3.15 suit les étapes suivantes :

- ✓ Vérifier en premier le nombre et l'état des moules prismatique et cubique nécessaires pour les essais, ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage.
- ✓ Réunir tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.
- ✓ Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, si non les sécher préalablement dans l'étuve.

- ✓ Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée, le super plastifiant est ajouté à un quart de l'eau de gâchage.
- ✓ Peser les matériaux secs (sable, ciment, et poudre de verre).
- ✓ Malaxer pendant 1min et 30 secs dans le malaxeur.
- ✓ L'eau de gâchage est ajoutée à un tiers du volume de super plastifiant et de malaxage se poursuit pendant 2.5 mn.
- ✓ Le super plastifiant restant est ajouté avec un malaxage final d'une minute.
- ✓ Malaxer pendant 3min et ajouter l'eau tout attentivement.
- ✓ Mesurer l'affaissement à chaque fois par Mini cône jusqu'à la valeur désirée [d(20,26)].
- ✓ On remplit les moules de mortier.
- ✓ Maintenir les éprouvettes à l'air libre au laboratoire pendant 24 h et faire la cure et marquer par peinture et conserver dans un bac d'eau jusqu'au jour d'essais (7,14 et 28).

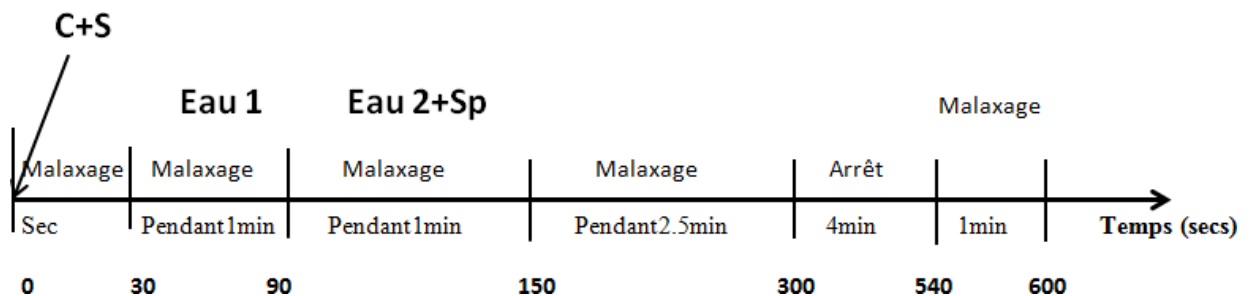


Figure 3-15: Séquence de malaxage du mortier autoplaçant.

3.11. Démoulage et conservation des éprouvettes :

Après malaxage, on prélève un échantillon du béton afin de remplir des éprouvettes cubiques de (4x4x4) cm et prismatiques de (4x4x16) cm. On conserve les éprouvettes dans la salle pendant 24 heures. Après 24 heures, on démoule les éprouvettes et on les place dans un bac de conservation, avec 100% d'humidité et d'une température de 20 °C.



Figure 3-16: Eprouvettes conservées dans le bac

3.12. Essais Sur Mortier Auto Plaçant Frais :

3.12.1. Essai Au Mini Cône D'étalement :

L'essai d'étalement consiste à remplir le mini cône placé sur une surface horizontale lisse, une fois le cône est soulevé, le diamètre d'étalement du mortier est mesuré suivant deux directions perpendiculaire pour retenir la moyenne. Le diamètre de la galette du mortier doit être compris entre 20 et 27cm pour avoir un mortier auto plaçant.

- Introduire le béton dans le moule légèrement humidifié et huilé
- Démouler le cône et mesurer l'affaissement à l'aide d'un portique et arrondi au centimètre



Figure 3-17: Essai d'Etalement pour Mortier

3.12.2. Essais De l'Entonnoir En V (V- Tunnel) : EN123450-9 :

L'objectif de cet essai est de mesurer le temps d'écoulement entre l'instant de l'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.

- Le béton frais est coulé dans un moule ayant la forme d'un entonnoir en « V », équipé dans sa partie basse d'une trappe qui peut être ouverte ou fermée. Le temps nécessaire pour permettre au béton de s'écouler à travers la trappe ouverte est une mesure de la consistance du béton.

Le dispositif complet est composé des éléments suivants :

- Entonnoir en forme de « V » fabriqué en acier inox disposant d'une vanne d'obturation en partie inférieure (dimensions approximatives : 640 x 340 x 1050 mm).
- Trémie d'alimentation pour remplissage en une seule opération de l'entonnoir comme requis dans la norme EN 12530-9
- Support pour l'entonnoir.
- Bac en polythène pour récupérer le béton après écoulement de l'entonnoir.
- Grande règle à araser de longueur 460 mm.

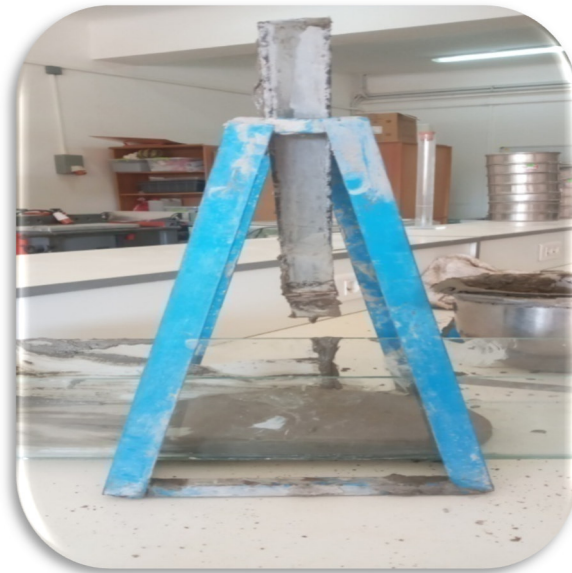


Figure 3-18: Essai à l'Entonnoir en V pour Mortier.

3.13. La masse volumique à l'état frais :

Pour mesurer la masse volumique à l'état frais un récipient d'un litre **connaissant** sa masse (m_1) à vide, on pèse, la masse (m_2) du récipient rempli d'un échantillon de mortier frais [38]. La masse volumique est calculée selon la formule suivante :

$$p = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

- p : masse volumique du mortier frais (kg/l),
- m_1 : masse du récipient (kg),
- m_2 : masse du moule plus la masse de béton contenu dans le récipient (kg),
- V : volume du récipient.

3.14. Essais Sur Mortier Auto Plaçant Durci :

3.14.1. Cure appliquée [NF P 18-404] :

Toutes les éprouvettes utilisées dans cette campagne expérimentale ont suivi la même cure et le même conditionnement suivant la norme NF P 18-404. Après démoulage, les éprouvettes ont été conservées pendant 24 heures dans leur moule à température ambiante (20 ± 2) °C. A l'issue de ce temps de conservation initiale, elles ont été démoulées, puis plongées dans l'eau à 20 °C pendant (07, 14, 21, 28) jours. Ce mode de conservation permet d'assurer l'hydratation du béton et d'éviter toute fissuration due à la dessiccation. Il permet également de maintenir les bétons saturés et de se rapprocher ainsi des conditions réelles es qu'on peut rencontrer dans certains ouvrages souterrains.

3.14.2. La masse volumique à l'état durci :

La masse volumique du béton durci est définie pour 3 états différents

- à l'état reçu,
- à l'état saturé en eau,
- à l'état sec.

Le volume de l'échantillon de béton durci et la masse dans différentes conditions sont déterminés ; on calcule ensuite la masse volumique par le biais du

rapport entre la masse et le volume. Cette norme s'applique au béton léger, au béton de masse volumique normale et au béton lourd.

$$P = \frac{m - m_{sec}}{V}$$

p : masse volumique du mortier durci (kg/1),

M : Masse de l'échantillon dans son état au moment de l'essai, en kg

V : Volume des éprouvettes en m³.

3.15. Essais non destructifs :

3.15.1. Contrôle par ultrasons :

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps de propagation d'une onde entre deux points. Le temps de propagation des ondes dans le béton est mesuré par des circuits de mesure électroniques.

Les mesures doivent être effectuées sur des surfaces parfaitement lisses, il est recommandé d'employer un matériau intermédiaire entre le béton et les transducteurs. Les matériaux d'interposition sont la vaseline de commerce, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de Glycérol Lorsque la surface de béton est très rugueuse, il est nécessaire de Poncer et égaliser la partie de la surface de l'éprouvette ou le transducteur sera fixé. [76] Pour le cas d'une éprouvette prismatique (4x4x16) cm il est recommandé de mesuré en transparence (direct) donc les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester



Figure 3-19: Mesures en transparence (directe).

3.15.2. Résistance à la traction par flexion :

Cette norme (NF P 18-102) a été homologuée par arrêté du 21.1.69 - JO du 24.1.69. L'objet est de définir le sens des termes utilisés dans les essais sur éprouvettes de béton, réalisés jusqu'à la rupture, pour déterminer les propriétés mécaniques suivantes de l'univers : résistance à la compression (NF PIST 18-406) P 18-407), résistance au clivage en traction (NF P 18-408), résistance à la traction directe (NF P 18-409), que les essais soient dans la catégorie : recherche (NF P 18-403), étude, repos ou contrôle (NF P 18-404), information ou détection (pp 18-405) (en préparation). Fournit des définitions relatives aux laboratoires, aux bâtiments du site et aux catégories de tests (test d'étude - test d'adéquation - test d'inspection - test d'information et de détection). Elle donne des indications sur les éprouvettes, les défauts et tolérances morphologiques, et la résistance (à la compression NF P 18-406), à la traction flexion (NF P 18-407), à la traction par fendage (NF P 18-408), à la traction directe P 18 -409). **Source Agence : Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR).**



Figure 3-20 : Essai de traction par flexion

3.15.3. La Résistance à la compression (essais d'écrasement) [N P18-406] :

L'essai de compression est l'un des tests les plus importants pour déterminer le comportement des matériaux composites. En effet, il est primordial dans certains

contextes industriels, de connaître la résistance à la compression et la capacité à supporter les charges d'un matériau ou d'une structure.



Figure 3-21: Essai de compression.

3.15.4. Porosité ASTM - C642 :

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la porosité du mortier. Parmi ces méthodes, la norme ASTM désignation C642. [27] Le but de cette méthode est de déterminer le pourcentage en volume des pores contenus dans l'éprouvette, afin de connaître l'influence de la structure interne du béton sur l'interconnexion des pores. [27]

- Chauffage jusqu'à évaporation pendant 5 heures, puis pesage de l'échantillon à l'air (soit C ce point) puis pesage à l'eau (pesée hydrostatique, soit D ce point)

Calcul de la porosité :

Calculer par la formule

$$P\% = \frac{C-D}{C} * 100$$



Figure 3-22 : Essai de mesure dans l'eau

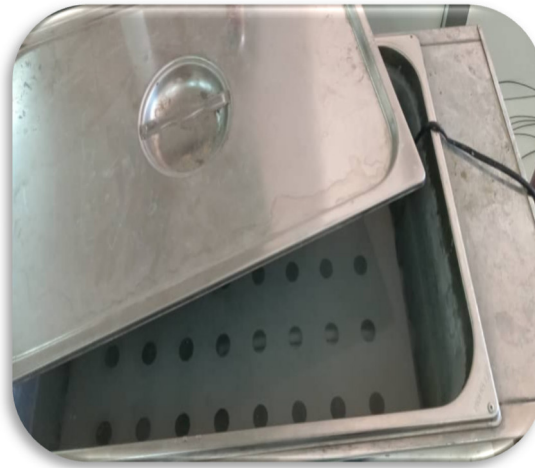


Figure 3-23: Essai de Chauffage

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé la définition des matériaux de construction et additifs utilisés et mentionné leurs propriétés physiques, mécaniques et chimiques. La recherche expérimentale des résultats obtenus du programme d'essais ainsi la discussion des résultats a été présentée dans ce chapitre.

Chapitre 04 :

Résultats et

discussions

4. Résultats et discussions

Introduction

Dans ce chapitre nous allons entamer l'étude de l'effet d'ajout des fibres polypropylène et métalliques sur le comportement mécanique des mortiers auto plaçant, la formulation du mortier auto plaçant à base de poudre du verre avec ajout de fibres polypropylène ont été réalisés afin d'étudiées différentes compositions utilisées du mortier auto plaçant dans le tableau (4-1) suivant :

Tableau 4-1: les notations des différentes compositions utilisées

Notation	Pourcentage (%) Fibre de polypropylène	Pourcentage (%) Fibre métallique
M0	0% Témoin	0% Témoin
M1	0.5%	0%
M2	0.75%	0%
M3	1%	0%
M4	1.25%	0%
M5	0.3%	0.3%
M6	0.5%	0.5%

4.1. Les résultats des essais à l'état frais

4.1.1. Essai de l'étalement

Tous les mélanges des mortiers étudiés ont été élaborés avec un étalement de la galette variant entre 180 à 250 mm.

Tableau 4-2: Résultats de l'essai d'étalement pour mortiers étudiés

Taux de substitution [%]	Etalement Diamètre [cm]	Mise en œuvre
M0	20.81	Bonne
M1	20.96	Bonne
M2	21.18	Bonne
M3	22.05	Bonne
M4	23.04	Très bonne
M5	24.96	Très bonne
M6	26.4	Très bonne



Figure 4-1 : Essais d'étalement sur le mortier auto plaçant frais.

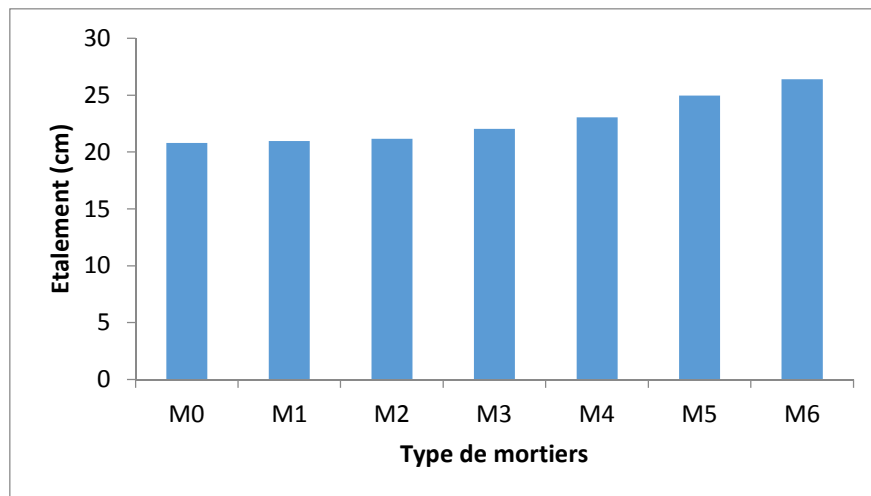


Figure 4-2 : L'étalement en fonction du type de mortier (MAP)

D'après les résultats présentés sur la figure 4.2, on remarque que l'étalement relative augmente avec l'augmentation du pourcentage de fibre polypropylène et de fibre métallique ; cette augmentation est de l'ordre de 20%, 25% et 35% respectivement avec le rapport de G/S DE 0.4. Le mortier auto plaçant M6 est le mélange le plus approprié grâce à un bon étalement.

L'ajout de fibres synthétiques a considérablement réduit la capacité de passage du mortier auto plaçant.

Quel que soit le type de fibre, tous les mélanges avaient un affaissement compris entre 200 et 270 mm en 4 à 15 s.

4.1.2. Influence des fibres sur temps d'écoulement (V-Funnel test)

D'après les résultats de la masse volumique des différents MAP, qui sont présentés sur la figure (4-3)

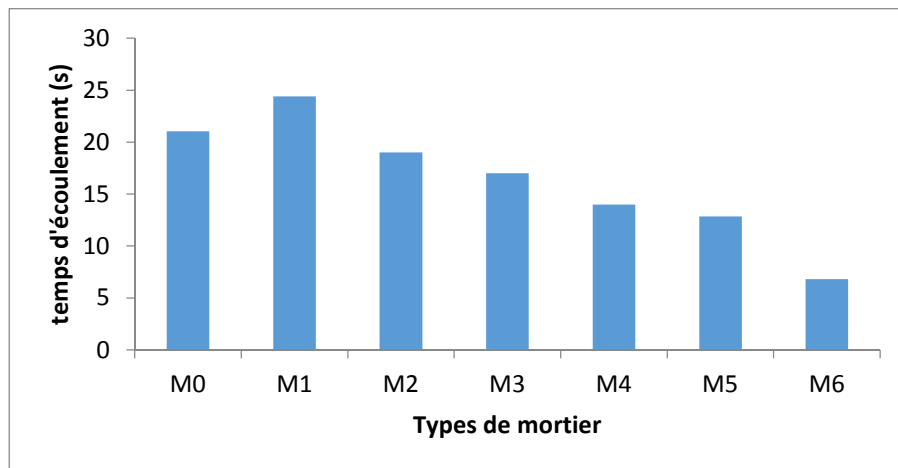


Figure 4-3: Le temps d'écoulement en fonction du type de mortier (MAP)

L'aptitude à l'écoulement du MAP a été évaluée au moyen d'un entonnoir mini-v. Tous les autres MAP ont donné des valeurs de temps d'écoulement recommandés de 2-25 s. Les temps d'écoulement mesurés dépendent principalement du type de fibre. Les résultats montrent que l'ajout de fibres synthétiques nécessite beaucoup d'eau par rapport aux autres fibres métalliques pour donner un mortier avec une bonne ouvrabilité. D'autre part, nous remarquons que plus le temps d'écoulement est diminué, l'étalement est réduit.

D'autre part l'addition de poudre de verre comme substituant de ciment et les fibres améliore les propriétés à l'état frais. Les résultats montrent que l'étalement varie en fonction du taux de fibre. Le dosage optimal est de 0.5% de fibre métallique et fibre polypropylène (M6)

D'après les figures les mortiers qui contiennent des ajouts minéraux et les fibres métalliques ont montré une meilleure maniabilité que les mortiers sans fibre.

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

4.1.3. La masse volumique à l'état frais

Les résultats obtenus de cet essai pour les différents mélanges des mortiers auto plaçant formulés sont représentés sur la figure (4. 4)

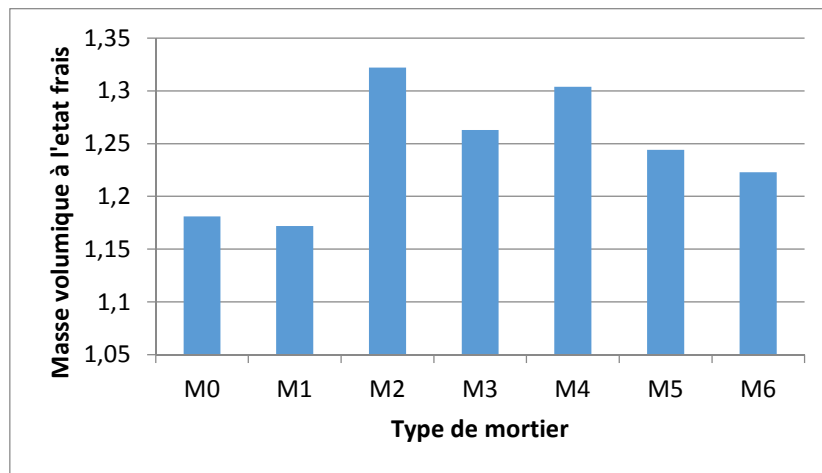


Figure 4-4: Masse volumique en fonction des différents mortiers auto plaçant étudiés

À partir des résultats obtenus figure (4.4) on constate que la masse volumique des MAP fibrés (avec des fibres de polypropylène et fibre métallique) est légèrement supérieure à la masse volumique du mortier témoin ceci est dû à la présence des fibres dans le mortier et à leurs masses volumiques qui se sont proches de celles des autres composants du mortier.

Comme la montre la figure (4.4) la masse volumique de M2 est supérieure à des autres mortiers ceci est dû à la présence des fibres polypropylènes de pourcentage 0.75 % dans le mortier.

4.2. Les résultats des essais à l'état durci

4.2.1. La masse volumique

Les résultats obtenus sont représentés sur la figure (4.5).

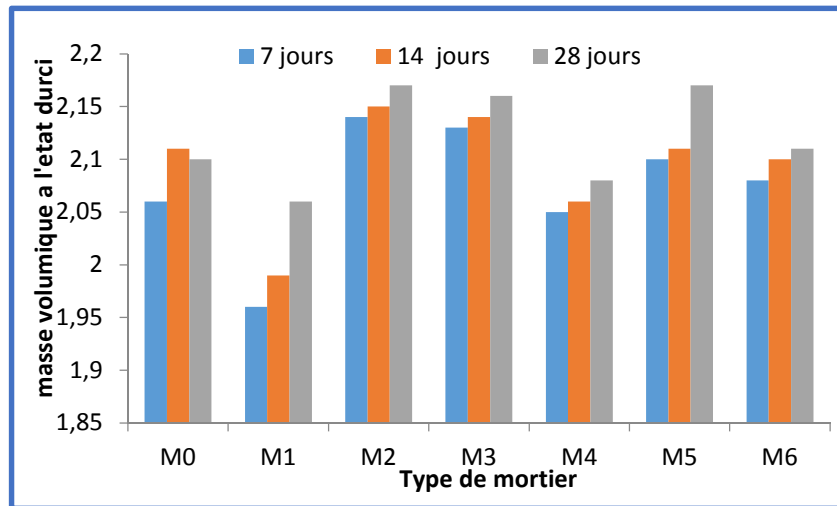


Figure 4-5 : Masse volumique en fonction des différents mortiers auto plaçant étudiés

La Figure (4.5) représente la variation de la masse volumique à l'état durci en fonction du pourcentage des fibres par une valeur fixée de l'adjuvant pour les différents types des mortiers.

En remarque que la masse volumique augmente dans le temps, quel que soit le pourcentage de fibre.

Lorsqu'on diminue le dosage de fibre métallique et augmente le dosage de fibre polypropylène la masse volumique augmente.

On constate que les mortiers avec les fibres polypropylène (de pourcentage 0,75%, 1%) et les fibres métalliques de (0,3 %) dans les 28 jours sont des meilleurs mortiers par rapport les autres mortiers, donc on conclue lorsqu'il diminue le dosage de fibre métallique dans le mortier la masse volumique est augmenté.

4.2.1.1. *Effet des fibres sur les propriétés mécaniques des MAP*

La caractérisation de l'état durcis des différentes compositions s'est limitée aux essais suivants : essai de compression, essai de traction et par flexion et l'essai non destructif.

4.2.1.2. *Résistance à la compression (RC)*

Les résultats d'essai de la résistance à la compression pour les éprouvettes confectionnées avec les différents types et pourcentage de fibres sont représentés sur la figure (4.6).

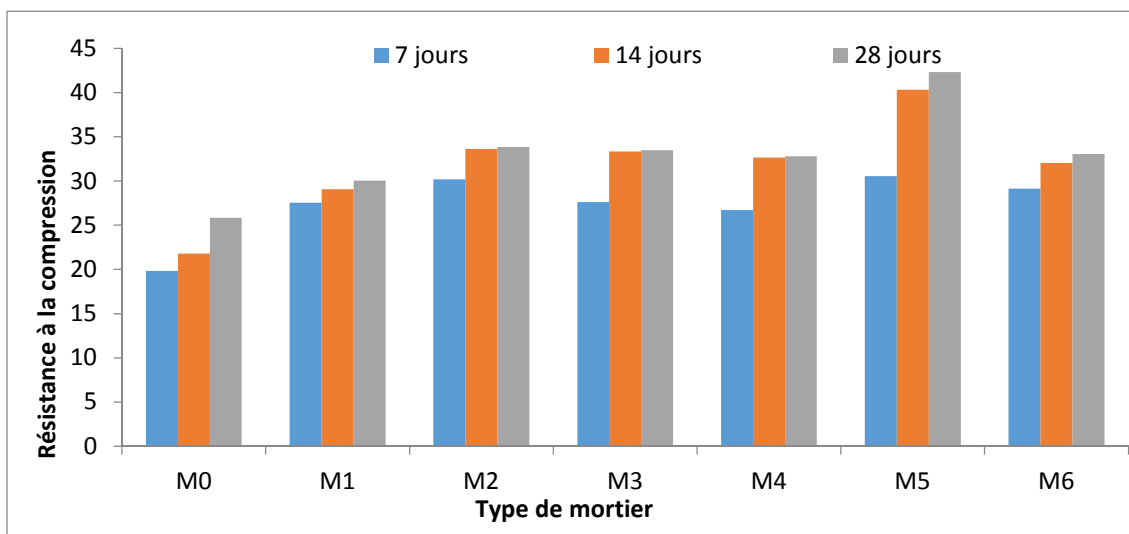


Figure 4-6: Résistance à la compression des (MAP) à différents pourcentages de fibre.

La figure(4.6) représente l'évolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage des fibres pour les différents types des mortiers à 7, 14 et 28 jours.

En remarque que la résistance augmente dans le temps d'une façon analogue et uniforme pour tous les mortiers. Cette augmentation est due au développement de l'hydratation du ciment dans le temps ce qui accélère le durcissement des mortiers.

On observe que la concentration en fibres métalliques et fibres polypropylènes de 0,3% augmentait la résistance à la compression du MAP parce que les fibres métalliques assuraient un retardement de l'apparition de la première fissure et son efficacité dans la restriction et le degré de grâce dans leur bonne adhérence.

Les fibres métalliques ont la propriété d'améliorer la résistance mécanique.

4.2.1.2.1. Résistance à la traction (R_t)

Les résultats obtenus sont représentés sur la figure (4.7)

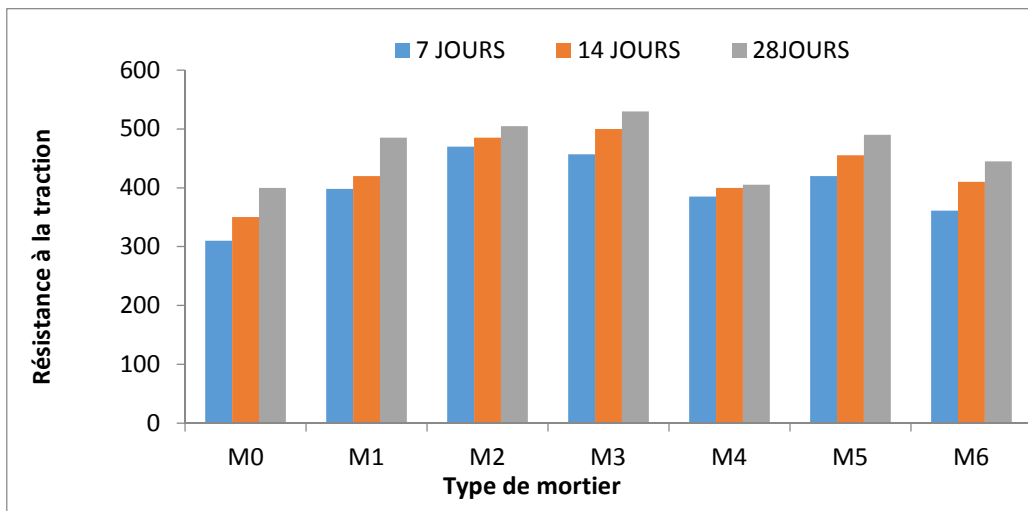


Figure 4-7: Résistance à la traction en fonction de type de mortier (MAP)

On observe que pour tous les MAP la résistance à la traction augmente avec l'âge de ces derniers grâce à leurs bonnes adhérences améliorée la résistance.

En remarque que les fibres polypropylènes de pourcentage (0,75 %, 1 %) augmentée la résistance à la traction des mortiers par apport les autres pourcentages et les autres fibres parce que parmi les avantages de cette fibre une bonne résistance en traction qui peut atteindre 800 MPa.

Le mélange des fibres améliore la résistance à la traction des MAP.

4.2.1.3. Les essais non destructifs

4.2.1.3.1. La porosité (%)

Les paramètres essentiels de la durabilité dans le mortier sont la porosité ces paramètres traduisent la capacité des substances agressives à endommager le mortier,

La figure suivante représente les différents résultats obtenus de la porosité des différents mortiers auto plaçant

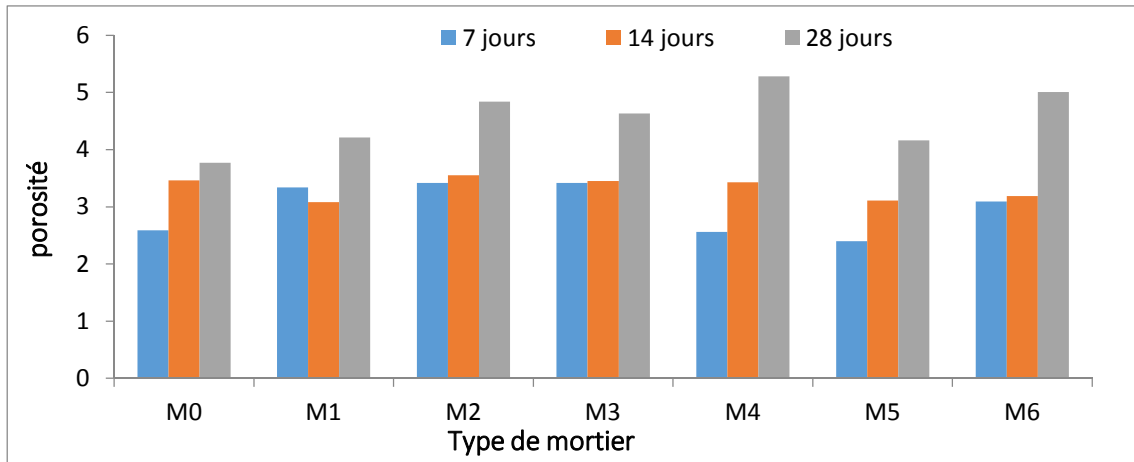


Figure 4-8: La porosité en fonction de type de mortier (MAP)

On observe que pour tous les MAP la porosité augmente avec l'âge de ces derniers. D'après la figure (4.8) on remarque que les meilleurs résultats de la porosité sont le mortier de fibre polypropylène de pourcentage 0,3% et de fibre métallique de pourcentage 0,3%.(M5)

4.2.1.3.2. La vitesse d'ultrason (V)

La Figure (4.9) représente la variation de la vitesse de propagation de son en fonction de pourcentage de fibre polypropylène et fibre métallique pour le mortier(MPA) Figure (4.9).

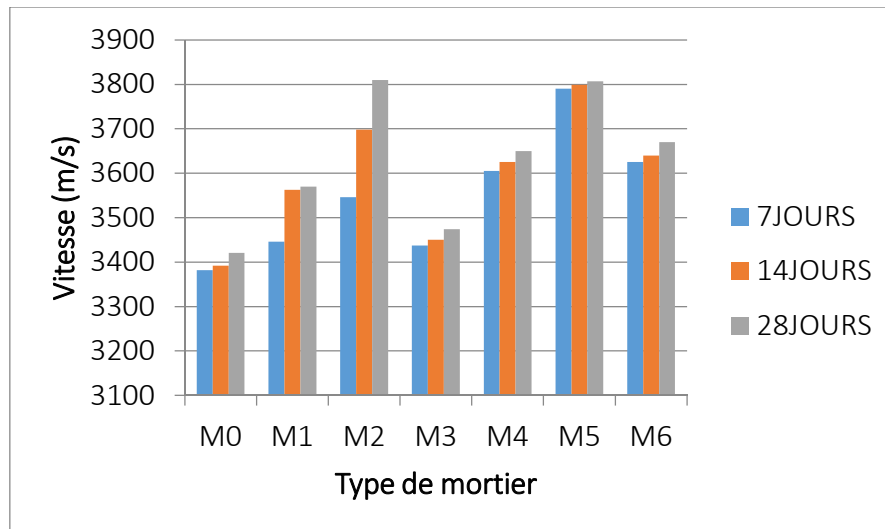


Figure 4-9: L'évolution de la vitesse ultrasonique en fonction type de mortier (MAP)

Dans la figure (4.9), on a indiqué les valeurs obtenues de la vitesse de l'ultrason en fonction des pourcentages des fibres et (l'adjuvant, poudre de verre) fixée pour voir l'effet de l'introduction des différents types de fibre sur le comportement mécanique de chaque type de mortier. On a remarqué une augmentation absolue de la vitesse de l'ultrason à 28j.

D'où les mortiers auto plaçant qui ont des vitesses élevées ont logiquement des résistances élevées. Les meilleurs résultats sont obtenus avec M2 (fibre polypropylène de 0,75 %) et M5 (fibre métallique de 0,3%).

D'après les résultats de cette étude, on constate que la vitesse de propagation d'onde ne semble pas être affectée par le volume et l'élanement des fibres. Il est clair d'après la figure (4.9) que le phénomène d'hydratation continu avec l'âge.

L'augmentation de la vitesse de propagation d'onde des MAPF peut être justifiée par la masse volumique des fibres qui est importante.

4.3. Étude de corrélation

4.3.1. Étude de corrélation entre (ρ) et (V)

A partir de la figure suivante, nous concluons à une corrélation entre les mesures de la masse volumique apparente (ρ) et les vitesses d'ultrason (V). Par une formule de forme linéaire, présentée par l'équation (4.1) ayant un coefficient de corrélation R .

Cette figure montre qu'il existe une bonne corrélation ($R = 0.755$) entre la masse volumique durci et les vitesses d'ultrason correspondants à l'ensemble des mortiers.

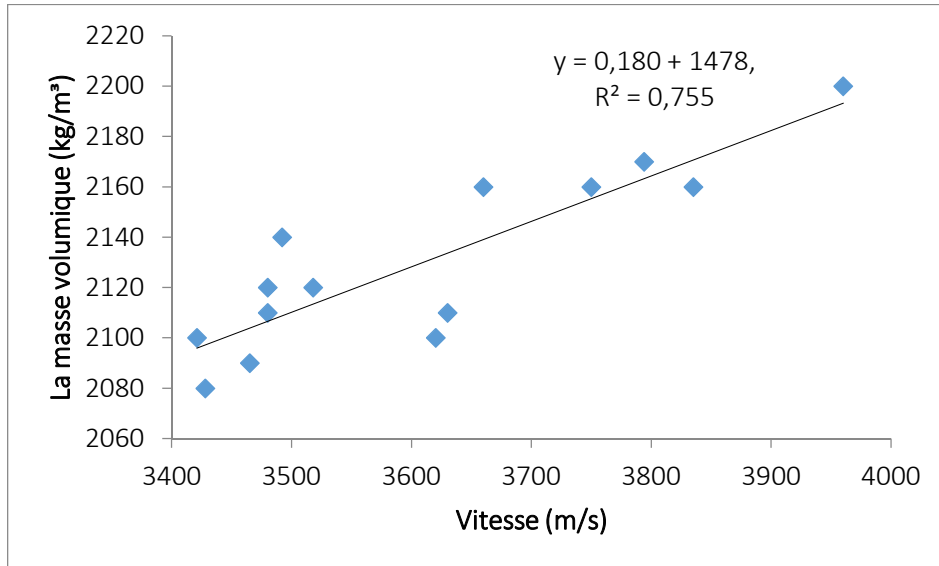


Figure 4-10: Corrélation entre (ρ) et (v) pour mortiers à 28 jours.

4.3.2. Étude de corrélation entre (RC) et (V)

A partir de cette figure, nous concluons à une corrélation entre les mesures de la vitesse ultrason et la Résistance à la compression Par une formule de forme linéaire, présentée par l'équation (4.2) ayant un coefficient de corrélation R.

$$P = 0.024 (V) + 54.38 \quad (4.1)$$

$$R^2 = 0.665$$

Aussi, de cette figure on conclue que si les mesures de la vitesse ultrason et la Résistance à la compression on obtient un bon coefficient de corrélation ($R^2 = 0.665$).

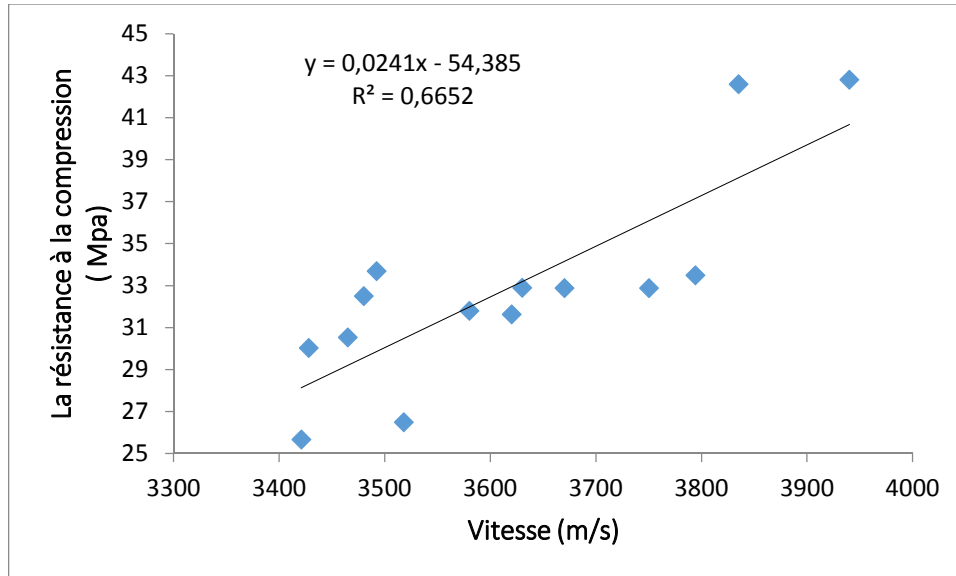


Figure 4-11: La corrélation (RC) en fonction de (V) pour mortier à 28 jours.

4.3.3. Étude de corrélation entre (Rt) et (V)

A partir de cette figure, nous concluons à une corrélation entre les mesures de la vitesse ultrason et la Résistance à la traction Par une formule de forme linéaire, présentée par l'équation (4.3) ayant un coefficient de corrélation R.

$$P = 0.24 (V) - 457.1 \quad (4.2)$$

$$R^2 = 0.725$$

Aussi, de cette figure on conclue que si les mesures de la vitesse ultrason et la Résistance à la traction on obtient un très bon coefficient de corrélation ($R^2 = 0,725$).

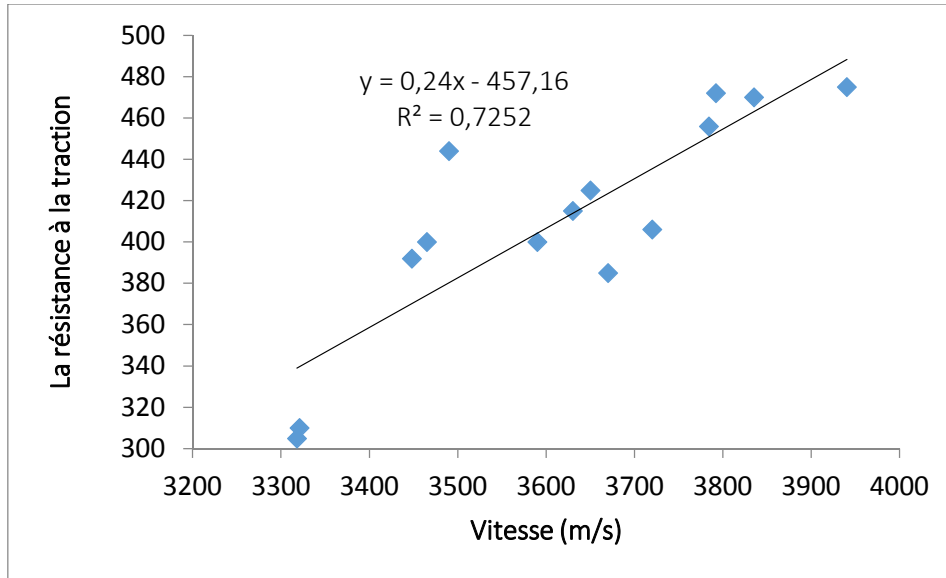


Figure 4-12: La corrélation (R_t) en fonction de (V) pour mortier à 28 jours.

4.3.4. La corrélation porosité (P) en fonction de (V) pour mortier

La Figure (4.13) présente la corrélation établie entre les mesures de porosité (%) et la vitesse ultrason pour mortier. L'expression proposée à cette corrélation est une relation de forme linéaire présentée par l'équation (4.4) avec un coefficient de corrélation R .

$$P = -0.001 (V) - 6.769 \quad (4.3)$$

$$R^2 = 0.752$$

On peut conclure qu'il existe une bonne corrélation ($R^2 = 0,752$) entre la porosité et la vitesse ultrason pour les mortiers.

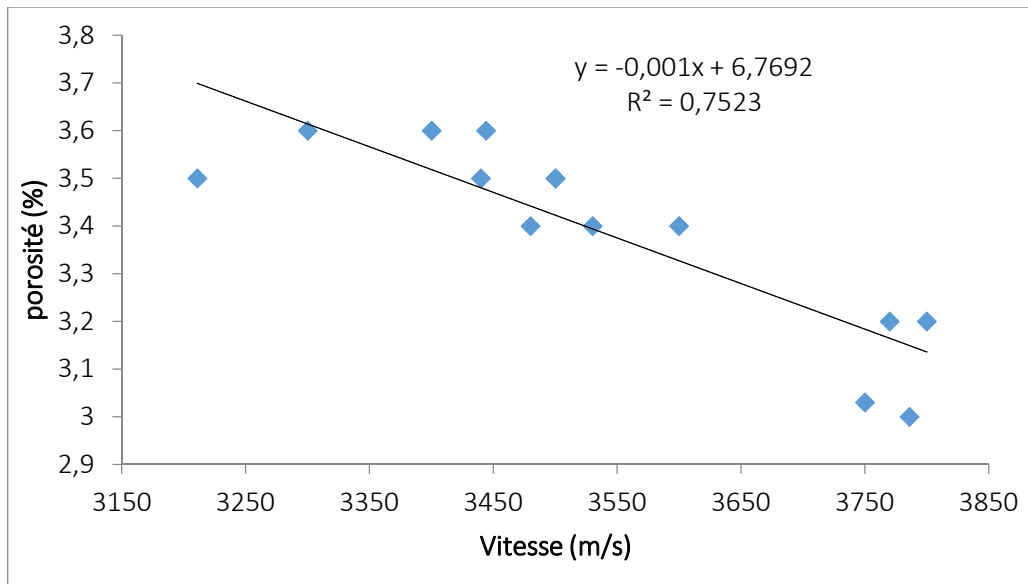


Figure 4-13: La corrélation porosité (P) en fonction de (V) mortier à 28 jours.

Conclusion

Par conséquent, on conclue dans ce chapitre que les mortiers auto plaçant avec des ajouts (fibres métalliques et des fibres polypropylènes) des différents pourcentages développe des caractéristiques physiques et mécaniques encore plus élevées par rapport aux mortiers témoins préparés avec les additions seulement cette amélioration des résistances est liée des additions améliore le développement des caractéristiques à l'état frais ou bien durci du mortier auto plaçant.

Ainsi, l'étude de corrélation effectuée permet de mettre en évidence les corrélations entre les propriétés mécaniques et physiques avec les résultats des essais non destructifs.

Enfin, à partir des résultats des études effectuées, nous pouvons prouver que la corrélation entre la résistance à la compression et la mesure d'essai non destructif, pour les mortiers confectionnés est correctement établie, illustrée précédemment dans les courbes, on obtient une évaluation fiable de la résistance.

Conclusion

Générale et

Perspectives

Conclusion Générale

La problématique traitée dans ce travail concerne l'influence d'utilisation des fibres polypropylène et fibres métalliques sur la résistance mécanique des mortiers auto plaçants à l'état frais et l'état durci et optimiser une formulation des mortiers auto plaçants à base de poudre de verre.

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

- ✓ Plus le dosage de fibres augment plus la fluidité de mortier diminue.
- ✓ A chaque fois le dosage des fibres augmente la vitesse de propagation diminue ce qui donne la compacité des enchançons confectionnés est excellente.
- ✓ Les résultats des essais mécaniques de résistance à la traction par flexion ont montrés que la résistance augmente en fonction de l'augmentation du dosage des fibres le mortier a 0.75% et 1% de fibre polypropylène. Les fibres polypropylènes améliorent la résistance à la traction par flexion
- ✓ La résistance à la flexion du mortier auto plaçant augmente en fonction du temps, et l'ajout de fibres d'acier engendre une nette amélioration de cette résistance qui double de valeur en présence de 1% de fibre polypropylène.
- ✓ L'amélioration apportée par l'ajout des fibres sur le comportement mécanique en traction par flexion est due à la participation de la fibre à la couture de fissures.
- ✓ La résistance à la compression sur des éprouvettes prismatiques évolue en fonction du temps quel que soit le dosage de fibres utilisées. Ce gain dépend de la concentration et de la géométrie de ces fibres, et atteint sa valeur maximale à 7 jours et se stabilise au-delà de 28 jours autour d'une valeur plus faible située entre 10 et 20%.
- ✓ Les éprouvettes confectionnées avec les bétons renforcés par les fibres métalliques sont restées juste fissurées après écrasement.
- ✓ Les propriétés mécaniques et rhéologiques sont plus favorables, avec les fibres métalliques en combinaison avec les fibres polypropylène relativement courtes.
- ✓ Les résultats obtenus sur les mortiers bi-fibrés confirment l'intérêt de la substitution des fibres métalliques par des fibres synthétiques tout en améliorant les propriétés rhéologiques et mécaniques.

- ✓ La résistance résiduelle en compression augmente avec l'ajout de fibres de polypropylène ainsi que les fibres métalliques. Avec les fibres de polypropylène, pour des dosages de 0.5, 1 et 1.5 kg/m³, nous remarquons que le dosage de 1.5 kg/m³ conduit à de meilleures performances mécaniques résiduelles.

Perspectives

- ✓ Dans les travaux futurs, il serait utile d'étudier d'autres caractéristiques mécaniques des mortiers auto plaçants, tel que le module de Young, ou le comportement à long terme, dans le but de mettre en évidence la contribution des additions minérales à l'amélioration des propriétés mécaniques de ces mélanges.
- ✓ Etudier le potentiel d'utilisation des pourcentages plus élevés avec la présence des additions et différentes longueurs des fibres
- ✓ Elargir la recherche sur les compositions de mélange de fibres.
- ✓ Simulation numérique des bétons de mélange de fibres.
- ✓ Etudier le comportement dans un milieu agressif pour évaluer la durabilité.

References

- [1] F. Bektas, K. Wang, and H. Ceylan, “Effects of crushed clay brick aggregate on mortar durability,” *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 5, pp. 1909–1914, 2009.
- [2] F. De Larrard, F. Bosc, C. Catherine, and F. Deflorenne, “La nouvelle méthode des coulis de l’AFREM pour la formulation des bétons à hautes performances,” *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées*, vol. 202, pp. 61–69, 1996.
- [3] M. Belouadah, Z. E. A. Rahmouni, and N. Tebbal, “Influence of the addition of glass powder and marble powder on the physical and mechanical behavior of composite cement,” *Procedia Computer Science*, vol. 158, pp. 366–375, 2019.
- [4] “Code de bonne pratique - pour l’exécution des revêtements en béton”.
- [5] “Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre - CT G11,” *Infociments*. <https://www.infociments.fr/fiches-techniques-2-les-betons-formulation-fabrication-et-mise-en-oeuvre> (accessed Jun. 10, 2023).
- [6] E. BOUDANA and M. A. BEN FETTACHA, “Compacité des bétons Autoplaçants aux différents Types de sables,” 2016.
- [7] J.-P. O. JAQUES BARON, “Les bétons bases et données pour leur formulation,” *Editions Eyrolles, troisième tirage*, 1999.
- [8] M. Westerholm, B. Lagerblad, J. Silfwerbrand, and E. Forsberg, “Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 30, no. 4, pp. 274–282, 2008.
- [9] H. Okamura and M. Ouchi, “Self-compacting concrete,” *Journal of advanced concrete technology*, vol. 1, no. 1, pp. 5–15, 2003.
- [10] “Quel mortier choisir pour quel usage ? - SAMSE.” <https://www.samse.fr/guide-de-construction/quel-mortier-choisir-pour-quel-usage> (accessed Jun. 10, 2023).
- [11] “Enduits extérieurs - Energie Plus Le Site.” <https://energieplus-lesite.be/techniques/enveloppe7/composants-de-l-enveloppe/composants-divers/enduits-exterieurs/> (accessed Jun. 10, 2023).
- [12] P. Lemay and G. R. L’Heureux, “Les types de mortiers pour joints de briques | Conseils d’experts,” *Maçonnerie et Briquetage à Montréal*, Oct. 16, 2017. <https://www.constructionlabrique.com/differences-qualite-mortier-joints-briques/> (accessed Jun. 10, 2023).
- [13] “Restauration Mortiers & Coulis.” <https://can.sika.com/fr/construction/finition-des-batiments/restauration-mortierscoulis.html> (accessed Jun. 10, 2023).
- [14] W. FANG, C. JIANXIONG, and Y. CHANGHUI, “Studies on self-compacting high performance concrete with high volume mineral additives,” in *Self-compacting concrete (Stockholm, 13-14 September 1999)*, 1999, pp. 569–578.
- [15] M. Soufienne, “Evaluation de la qualité des bétons autoplaçant (BAP) fibrés aux moyens des Essais Non-Destructifs (END) et essai direct,” UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M’SILA, 2019.
- [16] K. H. Khayat, “Workability, testing, and performance of self-consolidating concrete,” *Materials Journal*, vol. 96, no. 3, pp. 346–353, 1999.
- [17] M. Belouadah, Z. E. Rahmouni, N. Tebbal, and M. E. H. Hicham, “Evaluation of concretes made with marble waste using destructive and non-destructive testing,” in *Annales de Chimie-Science des Matériaux*, 2021, pp. 361–368.
- [18] A. Benyahia, A. Redjem, Z. E. A. Rahmouni, and A. Merrouche, “Study of the mechanical properties of a composite material: Alfa fibers/unsaturated polyester,” *REVISTA ROMANA DE MATERIALE-ROMANIAN JOURNAL OF MATERIALS*, vol. 46, no. 1, pp. 25–33, 2016.
- [19] A. Hamri, “Influence des fibres sur la résistance et la rupture à l’effort tranchant des éléments de structures,” Université Mouloud Mammeri, 2015.

- [20] S. DANI and A. MISSAOUI, "Etude physico-chimique de mortier de plâtre à base sable Renforcé de fibres synthétique et végétale," université Akli Mouhend-Oulhadj de Bouira, 2017.
- [21] A. Mokhtari, "Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier," 2006.
- [22] A. Benyahia, A. Merrouche, Z. E. A. Rahmouni, M. Rokbi, W. Serge, and Z. Kouadri, "Study of the alkali treatment effect on the mechanical behavior of the composite unsaturated polyester-Alfa fibers," *Mechanics & Industry*, vol. 15, no. 1, pp. 69–73, 2014.
- [23] D. Nassah, "Influence de la quantité de fibres naturelles (alfa) et commerciales (polypropylène) sur les propriétés physicomécaniques des mortiers fibrés," 2017.
- [24] R. Mansour, R. Z. El Abidine, and B. Brahim, "Performance of polymer concrete incorporating waste marble and alfa fibers," *Advances in concrete construction*, vol. 5, no. 4, p. 331, 2017.
- [25] B. Herizi and M. Achour, "Effet combiné des déchets de brique et de céramique sur le comportement du mortier," Univ M'sila, 2020.
- [26] S. Nouari and I. Bakouche, "Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des mortiers fibrés," university of M'sila, 2022.
- [27] L. Belagraa and A. Bouzid, "Performance study of low environmental impact mortars based on mineral additions and cement resistant to sulfate (crs)," *Mining Science*, vol. 23, pp. 65--76, 2016.
- [28] Y. Fritih, "Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton autoplaçant armé," Toulouse, INSA, 2009.

ANNEXES

Annexe 01 :



UN DEMI SIÈCLE AU SERVICE DE LA CONSTRUCTION.

NA 442/2013

CEM II/A-L 42.5 N

Ciment Portland au Calcaire

Produit disponible chez nos filiales

Société des Ciments de Hadjar Soud
(SCHS, SKIKDA)

Société des Ciments de Ain El Kebira
(SCAEK, Sétif)

Société des Ciments de Ain touta
(SCIMAT, Batna)

Société des Ciments de Sour El Ghozlene
(SCSEG, Bouira)

Société des Ciments de Béni Saf
(SCIBS, Ain Temouchent)

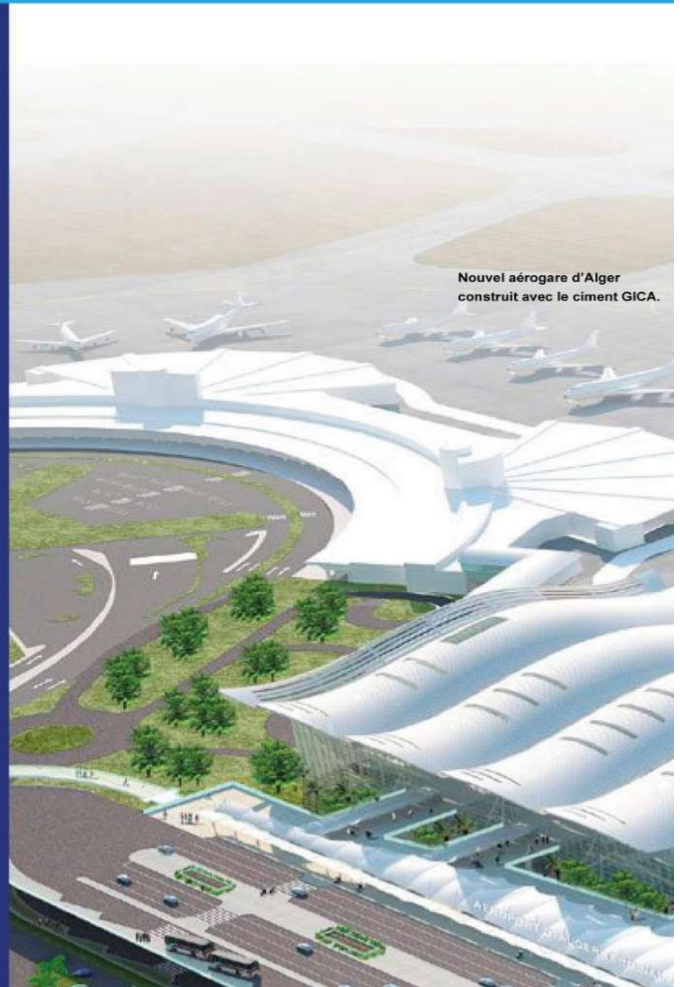
Société des Ciments de Hamma Bouziane
(SCHB, Constantine)

Société des Ciments de l'Algérois
(SCAL, Alger)

Société des Ciments de Saida
(SCIS, Saida)

Société des Ciments de la Mitidja
(SCMI, Blida)

Entreprise des Ciments et Dérivés d'Ech-Cheliff
(ECDE, Chlef)



Nouvel aéroport d'Alger
construit avec le ciment GICA.

www.gica.dz

Annexe 02 :

CEM II/A-L 42.5 N Ciment Portland au Calcaire

CEM II

Présentation

Le **CEM II/A-L 42.5 N** est un Ciment Portland au Calcaire (**CPC**), certifié selon exigences et les normes en vigueur.

Domaine d'emploi

Le ciment **CEM II/A-L 42.5 N** de GICA est adapté pour les usages suivants :

- Travaux de fondation, souterrains, d'assainissement ;
- Génie civil (ouvrage et routes) ;
- Les bétons armés et non armés, préfabriqués ou précontraints, étuvés et auto étuvés ;
- Travaux de construction (logements, locaux commerciaux et industriels);
- Produits dérivés du ciments.

Recommandations spécifiques et générales

- Pour les travaux sous la pluie, par temps chaud, par grand vent ou par temps de gel utilisé des adjuvants normalisés et appropriés ;
- Les coulées doivent être régulières et continues par couches de faible épaisseur ;
- La hauteur de chute du béton ne peut pas dépasser 1 mètre de hauteur, de façon à éviter toute ségrégation. Au delà de cette hauteur, il est indispensable de prévoir l'utilisation d'une goulotte amenée à hauteur convenable, ou d'une cheminée d'alimentation ;
- Adapter la vibration du béton à sa consistance pour obtenir une compacité optimal sans ségrégation ;
- Veiller au respect des temps de prise lors de la livraison du béton frais.

COMPOSITION

	Clinker	Ajout calcaire	Constituant secondaire
Taux %	(80 à 94) %	Catégorie A (06 à 20) %	(De 0 à 5) %

PACKAGING

Sacs 50kg / Disponible en Vrac

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

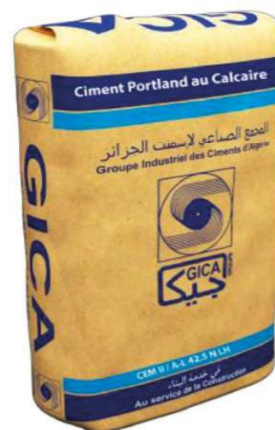
	TEMPS DE PRISE	STABILITÉ
TEMPS	≥ 60 minutes	≤ 10 minutes

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

Résistance à la compression à 02 J	Résistance à la compression à 28 J
≥10.0 N/mm ²	≥ 42.5(N/mm ²) & ≤ 62.5(N/mm ²)

CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

Teneur en sulfates (SO3)	Teneur en chlorures (Cl)
≤ 3.5 %	≤ 0.10 %



Groupes Industriels des Ciments d'Algérie (GICA) 2019

Certification



Retrouvez nous sur



Groupes Industriels des Ciments d'Algérie (GICA)
Siège social : Route de Dar El Beida Meftah (W. de Blida), Algérie
Tél/Fax : +213(0) 25 45 61 98 / 213(0) 25 45 62 61
site web : www.gica.dz

Annexe 03 :

NOTICE TECHNIQUE

2 1 1 9

MEDAFLOW 30

Conforme à la norme EN 934-2: TAB 1, TAB 3.1
ET TAB 3.2 NA 774.

**Super plastifiant
Haut réducteur d'eau**

DESCRIPTION

Le MEDAFLOW 30 est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.

Le MEDAFLOW 30 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.

Le MEDAFLOW 30 ne présente pas d'effet retardateur.

DOMAINES D'APPLICATION

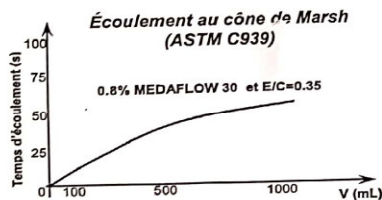
- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux.

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le MEDAFLOW 30 permet :

Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton



Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Granitex

Zone industrielle Oued Smar - BP85 Oued Smar - 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com



Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect Liquide
- Couleur Brun clair
- pH 6 - 6,5
- Densité 1,07 ± 0,01
- Teneur en chlore < 0,1 g/l
- Extrait sec 30%

MODE D'EMPLOI

Le MEDAFLOW 30 est introduit dans l'eau de gâchage.

Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE