

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU
Faculté de Génie de la Construction
Département de Génie Civil



MEMOIRE DE MASTER ACADEMIQUE
Spécialité : Génie Civil
Option : Structure

Thème

**Mortier autoplaçant avec addition de sable de dunes :
propriétés rhéologiques et mécaniques**

Réalisé par :

M^{elle} MAKKEB Randa

Dirigé par :

M^r KHELIL. N (Promoteur)

M^r BOUKAIS. S (Co-promoteur)

Promotion : 2022/2023

Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier, Dieu le tout puissant qui m'as accordé la force, la patience et la volonté d'accomplir ce travail.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon promoteur M^r KHELIL pour sa disponibilité permanente, ses orientations, son savoir, sa modestie et son soutien durant toute la période de réalisation de ce travail.

Je voudrais aussi que mon Co-encadreur M^r BOUKAIS, trouve ici mes meilleures salutations et ma reconnaissance pour son accueil, son soutien et ses conseils.

Mes vifs remerciements vont également aux membre du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner ce travail. Et de l'enrichir par leurs propositions.

Mes remerciements vont également aux responsables et personnels du laboratoire Génie Civil, Université Mouloud MAMMERY de TIZI OUZOU, en particulier à M^{me} FADILA. M ainsi que à M^r BOUHRRAOUA. R.

Mes plus sincères remerciements vont égale à mes parents et tous ceux qui ont contribué de près et de loin à l'aboutissement de ce projet de fin d'étude.



Dédicace

Avec tous mes sentiments de respect, avec l'expérience de ma reconnaissance, je dédie ma remise de diplôme et ma joie

*A mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemin, ma moitié **MAMAN**.*

*A la mémoire de mon **PERE** qui nous a quittés très tôt en laissant un grand vide.*

*A mon frère **YAHIA** et mes sœurs **SABRINA, SYLIA, DJOUHAR** qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager tout au long de ma vie.*

*A mes nièces et mes neveux « **Elena, Aya, Anel, Hocine, Liane, Liane** » qui savent toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille*

*A mes beaux frères « **Wamar, Mokrane et Toufik** »*

*A mes très chères amis « **Imene, Nawal, Brahim** » avec qui j'ai passé mes meilleurs moments de l'université*

*A tous les amis d'étude « **I. Hamadoun, M. Djidji, T. Mariem, A. Yasmine, B. Yanis** »*

*A **Yacine** qui m'a éclairé mon chemin en me tenant la main tout au long de mes études*




Table des matières

<i>Introduction générale</i>	01
Chapitre I : Généralités sur les mortiers autoplaçants	
I.1. Introduction	03
I.2. Les BAP	04
I.2.1. Définition	04
I.2.2. Historique	05
I.2.3. Les avantages des bétons autoplaçants	06
I.2.3.1. Avantages techniques	06
I.2.3.2. Avantages économiques	06
I.2.3.3. Avantages écologiques	06
I.2.4. Caractérisation d'un BAP	06
I.2.4.1. L'essai de l'étalement	06
I.2.4.2. L'essai de la boîte en L	07
I.2.4.3. L'essai V-funnel	07
I.2.4.4. L'essai de stabilité au tamis	08
I.3. Les mortiers	08
I.3.1 Mortier autoplaçant	09
I.3.1.1. Définition	09
I.3.1.2. Exigence des mortier autoplaçant frais	10
I.3.1.3. Méthode de formulation	10
I.3.1.4. Caractérisation	11
• L'essai d'étalement (EFNARC)	11
• L'essai au mini V-funnel	12
I.4. Les composants du mortier autoplaçant	13
I.4.1. Ciment	13
I.4.2. Eau	15
I.4.3. Les adjuvants	15
I.5. Les sables	17
I.5.1. Définition des sables	17

Table des matières

I .5.2. Composition et minéraux du sable	18
I .5.3. Propriétés microstructurales des sables	19
I .5.4. Quelques propriétés supplémentaires des sables	20
I .5.5. Les différents types de sables	22
I .5.5.1. Sable naturels	22
I .5.5.2. Sable artificiels	23
I .5.5.3. Sable de dune	23
a) Définition	23
b) Utilisations	24
c) Les avantages économiques et techniques	24
d) L'effet des sables fin sur les mortiers	25
I .6. Conclusion	26

Chapitre II : Matériaux et procédures

II.1. Introduction	28
II.2. Les matériaux : Propriétés et caractérisation	28
II.2.1. Le sable	28
II.2.1.1. Analyses granulométrique	28
II.2.1.2. La masse volumique du sable	32
• Masse volumique apparente	32
• La masse volumique absolue	34
II.2.1.3. Equivalent de sable	35
II.2.2. Le ciment	38
II.2.3. L'eau de gâchage	39
II.2.4. Superplastifiant	39
II.3. Les mortiers autoplaçants	39
II.3.1. Formulations	39
II.3.2. Préparation des éprouvettes	40

Table des matières

II.3.3. L'essai de caractérisation du mortier autoplaçant	41
II.3.3.1. A l'état frais	41
• Essai d'étalement	41
• Mini V-Funnel	42
II.3.3.2. A l'état durci	42
• Essais de l'ultrasons	42
• Résistance à la traction par flexion	44
• Résistance à la compression	45
II.4. Conclusion	46

Chapitres III : Résultats et analyses

III.1. Introduction	47
III.2. Résultats des essais sur les mortiers autoplaçants a base du sable de rivière	47
III.2.1. À l'état frais	47
III.2.2. À l'état durci	48
III.2.2.1. Vitesses ultrasonores	49
III.2.2.2. Résistance à la compression	49
III.2.2.3. Résistance à la traction	50
III.3. Résultats des essais sur les mortiers autoplaçants a base du sable concassé	51
III.3.1. À l'état frais	51
III.3.2. À l'état durci	52
III.3.2.1. Vitesses ultrasonores	53
III.3.2.2. Résistance à la compression	53
III.3.2.3. Résistance à la traction	54
III.4. Conclusion	55
<i>Conclusion générale</i>	56
<i>Références bibliographique</i>	57

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur les mortiers autoplaçants

Tableau I.1 : Formulation d'un mortier autoplaçant selon Zinnur Celik	10
Tableau I.2 : Formulation d'un mortier autoplaçant pour 1 m ³	10
Tableau I.3 : Formulation d'un mortier autoplaçant	11
Tableau I.4 : Formulation d'un mortier autoplaçant	11
Tableau I.5 : Formulation d'un mortier autoplaçant	11
Tableau I.6 : Les types de ciment employables dans le MAP	14
Tableau I.7 : Résistances mécaniques des ciments prescrites par la norme EN 197-1	14
Tableau I.8 : Quelques exemples d'adjuvants et leurs fonctions	16
Tableau I.9 : Type de sable selon leurs diamètres	20
Tableau I.10 : Caractéristiques physiques générales des sables	21
Tableau I.11 : Propriétés physique des sables étudiés	21
Tableau I.12 : Les types de sables selon leur équivalent de sable	22
Tableau I.14 : résultats les résistances à la compression à différents âges du béton de sable	25

Chapitre II : Matériaux et procédures

Tableau II.1 : Masses volumiques apparentes des sables utilisés	34
Tableau II.2 : Masses volumiques absolues des sables	35
Tableau II.3 : Résultats de l'équivalent de sables pour les trois sables	36
Tableau II .4 : Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable E_{sv} et E_{sp} ..	37
Tableau II.5 : Caractéristiques chimiques et minéralogiques du ciment	38
Tableau II.6 : Compositions du mortier autoplaçants avec sable de rivière	39
Tableau II.7 : Compositions du mortier autoplaçants avec sable de concassé	39
Tableau II.8 : caractérisation de la qualité du béton à partir de la propagation des ondes	43

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les mortiers autoplaçants

Figure I.1 : Formulation qualitative du BAP	05
Figure I.2 : Cône d'Abrams	07
Figure I.3 : Boîte en L	07
Figure I.4 : V-Funnel.....	07
Figure I.5 : tamis utilisé	08
Figure I.6 : Illustrations d'un mini cône d'Abrams et d'un étalement de mortier	12
Figure I.7 : Illustration d'un mini V-funnel	12
Figure I.8 : Illustration des composants d'un MAP	13
Figure I.9 : Action des super plastifiants – Défloculation des grains de ciment par le super plastifiant.....	17
Figure I.10 : influence de la quantité de super plastifiant sur l'étalement et la viscosité d'un mortier	17
Figure I.11 : Exemple de roches : (a) Feldspaths et (b) Quartz	18
Figure I.12 : Microstructure des sols granulaires.....	19
Figure I.13 : Distribution granulométrique des différents sables	21
Figure I.14 : Illustration d'un sable concassé artificiel	23
Figure I.15 : Illustration du sable de dune.....	24

Chapitre II : Matériaux et procédures

Figure II.1 : Illustration de la tamiseuse électrique	29
Figure II.2 : Courbe granulométrique du sable de Touggourt	30
Figure II.3 : Courbe granulométrique du sable concassé	31
Figure II.4 : Courbe granulométrique du sable de rivière	32
Figure II.5 : Essai de la détermination de la masse volumique apparente	33
Figure II.6 : Essai de détermination de la masse volumique absolue	34

Figure II.7 : Principe de l'essai d'équivalent de sable	35
Figure II.8 : Ciment utilisé pour la confection des mortiers	37
Figure II.9 : Détermination de l'étalement du mortier autoplaçant	40
Figure II.10 : Illustration du mini entonnoir (mini V-Funnel).....	41
Figure II. 11 : Appareil de test ultrasonique Pundit-Lab	42
Figure II.12 : Principe de l'essai de flexion 3 points	43
Figure II.13 : Mortier rompu en flexion 3 points.....	44
Figure II.14 : Dispositif de l'essai mécanique de compression	44

Chapitres III : Résultats et analyses

Figure III.1 : Valeurs de l'étalement avec le mini cône	46
Figure III.2 : Evaluation de l'écoulement avec le mini V-Funnel	47
Figure III.3 : Propagation des vitesses ultrasonores dans les MAP	48
Figure III.4 : Résistance à la compression.....	49
Figure III.5 : Résistance à la traction par flexion	50
Figure III.6 : Valeurs de l'étalement avec le mini cône	51
Figure III.7 : Evaluation de l'écoulement avec le mini V-Funnel	52
Figure III.8 : Propagation des vitesses ultrasonores dans les MAP.....	53
Figure III.9 : Résistance à la compression	54
Figure III.10 : Résistance à la traction par flexion	55

Introduction générale

Le sable est l'un des matériaux essentiels du domaine de la construction. Il est utilisé pour de nombreuses applications, notamment dans la fabrication du mortier, qui est un mélange de sable, de liant et d'eau largement utilisé pour la construction et la rénovation des structures en béton. Cependant, ces dernières années, le secteur de la construction est confronté à un défi majeur : la diminution progressive des ressources en sable naturel. Cette situation a poussé les chercheurs et les professionnels du bâtiment à explorer des alternatives plus durables et économiques.

Dans ce contexte, le sable de dune émerge comme une solution prometteuse. Les dunes sont des formations naturelles présentes dans les régions côtières et désertiques. Le sable de dune, souvent considéré comme un matériau non valorisable, présente des caractéristiques particulières qui en font une ressource attrayante pour l'industrie du bâtiment. Contrairement au sable traditionnel, le sable de dune a une granulométrie fine et une forme arrondie, ce qui lui permet d'améliorer l'écoulement des composants du mortier et en conséquence d'améliorer la compacité de ce dernier au final.

Le mortier autoplaçant (MAP) est un matériau innovant qui a révolutionné le processus de construction. Contrairement aux mortiers conventionnels, le MAP est fluide et autonivelant, ce qui lui permet de se répandre facilement dans les espaces les plus étroits sans nécessiter de compactage manuel. L'une des clés du succès du MAP réside dans la qualité du sable utilisé. Le sable traditionnel a tendance à entraîner une ségrégation et un manque de stabilité dans le mortier, ce qui peut compromettre la qualité des structures. C'est là que le sable de dune entre en jeu.

L'utilisation du sable de dune dans le mortier autoplaçant présente plusieurs avantages significatifs. Tout d'abord, le sable de dune est une ressource abondante dans de nombreuses régions du monde, notamment dans les zones côtières. Son utilisation permet donc de réduire la dépendance aux ressources en sable traditionnel, qui deviennent de plus en plus rares. De plus, l'exploitation du sable de dune est souvent moins coûteuse que celle du sable traditionnel extrait des rivières ou des carrières, ce qui peut entraîner des économies financières importantes pour les entreprises de construction.

En outre, l'utilisation du sable de dune dans le mortier autoplaçant peut également avoir un impact positif sur l'environnement. En évitant l'exploitation excessive des ressources en sable naturel, l'industrie de la construction contribue à préserver les écosystèmes fragiles des rivières et des carrières. De plus, le sable de dune est souvent exempt de contaminants et ne

Introduction générale

nécessite pas de traitement supplémentaire, réduisant ainsi l'empreinte environnementale globale du mortier autoplaçant.

Dans ce manuscrit nous nous sommes intéressés d'abord à faire une recherche bibliographique sur les mortiers autoplaçants, les différents types de sable et l'influence de sable dunaire sur le comportement du mortier. Dans un second temps, nous nous sommes intéressés dans le deuxième chapitre à la caractérisation des matériaux que nous avons utilisés et défini la méthode de formulation du mortier autoplaçant à étudier ; Puis enfin dans le troisième chapitre nous avons tenté d'analyser l'effet de l'ajout du sable de dune sur les mortiers autoplaçants pour voir si cela serait intéressant du point de vue rhéologique et mécanique.

I.1 Introduction

Le béton autoplaçant a été développé au Japon en 1988, il représente l'une des plus importantes avancées dans la technologie des bétons de ces dernières décennies.

Le béton autoplaçant (BAP) est un béton capable, sous le seul effet de la pesanteur, de se mettre en place dans les coffrages même les plus complexes et très encombrés sans nécessiter pour autant des moyens de vibration afin de consolider le mélange avec comme résultat un produit très homogène. Ce type de béton doit être apte à passer à travers les armatures les plus serrées avec, cependant, une vitesse dépendante de la viscosité du mélange. Pour remplir cette condition, le béton doit être très fluide, c'est-à-dire très déformable. Or ceci n'est possible que si le rapport eau/ciment est élevé ou si le béton contient un super-plastifiant [1].

Seulement, la fluidité n'est pas la seule propriété recherchée, car il faut bien s'assurer de l'homogénéité de l'ensemble pâte-granulats. De façon corollaire, le mélange du BAP doit être très cohésif et très stable lors de la mise en place et cela jusqu'à son durcissement. Ceci implique que le BAP doit présenter le minimum de tassement et de sédimentation des particules solides possible et éviter de présenter un ressuage trop fort, car cela génère une hétérogénéité des propriétés mécaniques, telle qu'une chute d'adhérence des armatures en partie supérieure des levées par rapport à celles situées en zone inférieure lors du coulage [1].

Une bonne stabilité liée, entre autres, à la viscosité du béton et à son seuil de cisaillement nécessite, soit l'ajout d'un agent de viscosité afin d'améliorer la cohésion de l'ensemble, soit d'augmenter la teneur en matériau cimentaire et de réduire la teneur en eau libre. Aussi une bonne stabilité peut être liée à une optimisation de la compacité granulaire. Or, l'augmentation de la teneur en liant n'est pas sans conséquence sur la durabilité, vu le dégagement de chaleur d'une part, et le risque de nuisance à la capacité de remplissage d'autre part, propriété très recherchée pour ce genre de béton [2].

Cette complexité amène à combiner différents paramètres pour obtenir le niveau désiré en termes de résistance à la compression. Mais avant d'atteindre cette étape, il est indispensable de s'assurer d'une part de la bonne capacité de remplissage de ces bétons, donc une déformabilité supérieure à celle des bétons ordinaires [1]. D'autre part, il faut s'assurer de la stabilité du mélange et éviter, par conséquent, la ségrégation [3]. Très souvent, la satisfaction de ces deux exigences entraîne un compromis. En clair, en plus de garantir un étalement compris entre 500 et 700 mm et d'assurer une très bonne capacité de

remplissage, il faut que l'agent de viscosité introduit pour améliorer la viscosité n'abîme pas la déformabilité du béton [4].

I.2 Les BAP

I.2.1 Définition

Les BAP se distinguent des bétons ordinaires principalement par leurs propriétés à l'état frais, qui sont le résultat d'une formulation spécifique. Cette dernière doit pouvoir concilier deux propriétés à priori contradictoires : une très grande fluidité et une bonne résistance à la ségrégation (stabilité). L'association française de génie civil définit dans ses recommandations provisoires les BAP comme des bétons (très fluides, homogènes et stables) [6].

La mise en place, sous le seul effet de la gravité, nécessite une grande fluidité du matériau, mais il est aussi indispensable que le béton conserve une stabilité satisfaisante et une parfaite homogénéité. Ces deux propriétés contradictoires sont obtenues par l'ajout et le dosage adéquat de super plastifiants et de fines et/ou l'emploi d'agents de viscosité.

Un BAP doit être assez fluide pour pouvoir être mis en place avec un débit suffisant et remplir les coffrages sans apport de vibration sous l'effet de son propre poids tout en restant homogène. Cependant, lors de l'écoulement d'un béton fluide au droit d'un obstacle (par exemple, une armature de ferrailage), les gravillons ont tendance à venir en contact pour former des voûtes solides qui bloquent l'écoulement. C'est ce que l'on appelle le risque de blocage. Ainsi, le béton doit présenter une bonne résistance à la ségrégation en phase d'écoulement y compris au droit des armatures. Un béton auto plaçant doit aussi avoir une bonne résistance à la ségrégation statique (une fois mis en place) jusqu'à sa prise et rester homogène afin de satisfaire aux propriétés mécaniques souhaitées. Ainsi la difficulté du cahier des charges d'un BAP est la recherche d'un compromis satisfaisant entre une grande fluidité et une bonne résistance à la ségrégation aussi bien au repos qu'en écoulement [7].

Au Japon, le nombre d'ouvriers qualifiés dans la construction n'a cessé de diminuer depuis le début des années 1980, engendrant une perte de savoir-faire, notamment dans les techniques de vibration du béton. L'utilisation de bétons très fluides, ne nécessitant pas d'apport d'énergie extérieure pour le serrage, est apparue comme une solution possible à ce problème [8].

Outre leur facilité de mise en œuvre, de tels bétons présentent aussi l'intérêt de réduire le temps de travail sur chantier.

Les bétons autoplaçants (BAP) se distinguent donc des bétons dits ordinaires (BO), ou bétons vibrés, par leurs propriétés à l'état frais [7] [9]. Ils sont capables de s'écouler sous leur propre poids, quel que soit le confinement du milieu, et restent homogènes au cours de l'écoulement (absence de ségrégation dynamique) et une fois en place (absence de ségrégation statique).

Pour respecter le cahier des charges, les BAP sont formulés différemment des BO. Dans leur cas, la pâte, définie comme le mélange du ciment, de l'eau et d'une addition, est privilégiée au détriment des gravillons (figure I-1). En général, les BAP possèdent un même dosage en ciment et en eau que les BO, ainsi qu'un volume de sable assez proche. C'est donc principalement l'ajout d'une addition qui sert de substitut aux gravillons. Les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie.

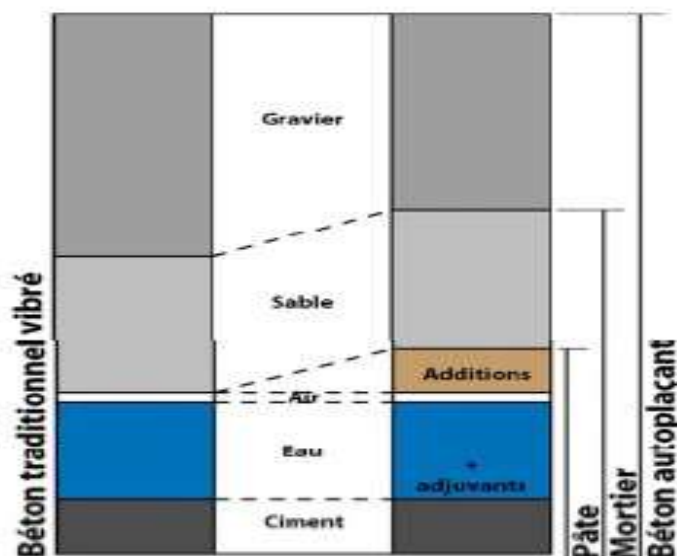


Figure I-1 : Formulation qualitative du BAP[10]

I.2.2 Historique

Afin de suivre les progrès réalisés dans les procédures de construction et les conceptions des ouvrages, et afin de satisfaire aux critères économiques et environnementaux, les ingénieurs et les techniciens qui travaillent directement ou indirectement du béton doivent sans cesse améliorer leurs connaissances sur les propriétés du béton auto plaçant, qui est le plus utilisé dans le monde (1000 kg/habitant/année).

On assiste aujourd'hui à un développement de la recherche dans les universités en étroite collaboration avec l'industrie dans le but de perfectionner et d'industrialiser

toujours plus les procédés de fabrication, pour des raisons de rentabilité à court terme, la pratique courante peut poser des défis à la recherche scientifique.

C'est dans cet ordre d'idées que plusieurs compagnies, centres de recherche et universités dans le monde ont dirigé leur études vers le développement d'une nouvelle gamme de béton qui s'adapte bien à l'état actuel du développement des structures du point de vue théorique et architectural (structures qui se caractérisent par la complexité de leurs modèles, formes variables et courbures multiples et à ferrailages très congestionné), face à une main d'œuvre de moins en moins qualifiée engendrant une perte de savoir-faire, notamment dans les techniques de vibration de béton surtout au Japon [5].

I.2.3 Les avantages des bétons autoplaçants

Les BAP entraînent de nombreux avantages, on cite :

I.2.3.1 Avantages techniques

- Facilité et rapidité de mise en œuvre du béton.
- Réalisation d'éléments de forme complexe.
- Bétonnage en milieux fortement ferraillés.

I.2.3.2 Avantages économiques

- Réduction du coût de la main d'œuvre et du temps de bétonnage
- Absence de systèmes de vibration réduisant ainsi les coûts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.

I.2.3.3 Avantages écologiques

- Valorisation des déchets de construction (récupération de ces déchets au niveau des chantiers, industries, carrières, stations de concassage).
- Diminution de la quantité de CO₂ émise par l'industrie cimentaire (due à la réduction de la quantité de ciment nécessaire au BAP).

I.2.4 Caractérisation d'un BAP

Il existe de nombreux procédés pour caractériser un BAP à l'état frais [11].

I.2.4.1 : L'essai de l'étalement

Cet essai s'effectue comme un essai d'affaissement, pour caractériser l'ouvrabilité de béton à l'aide d'un cône d'Abrams comme la figure suivante le montre, le béton est introduit dans le cône sans compaction. Il reste l'outil de contrôle le plus utilisé sur chantier



Figure I.2 : Cône d'Abrams [11]

I.2.4.2 : L'essai de la boîte en L

Cet essai s'effectue pour caractériser la mobilité en milieu confiné (la ségrégation dynamique), la partie verticale du L est rempli de béton en une seule fois. Après ouverture de la trappe, le béton s'écoule à travers un ferrailage standard (entre 3 barres \varnothing 14 distantes de 50mm) figure I.3.



Figure I.3 : Boîte en L [11]

I.2.4.3 : L'essai V-funnel

Cet essai a été développé par Okamura et al. en 1995 [12]. Il consiste à mesurer le temps d'écoulement d'un échantillon de 10 litres de béton à travers un entonnoir en forme de V, comme le montre la figure I.4



Figure I.4 : V-Funnel [11]

I.2.4.4 : L'essai de stabilité au tamis

On effectue l'essai de stabilité au tamis pour caractériser la ségrégation statique, il consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance (P_{laitance}) d'un échantillon de béton (4.8 ± 0.2 kg) passant à travers un tamis ayant des mailles de 5 mm d'ouverture, comme le montre la figure I.5



Figure I.5 : tamis utilisé [11]

I.3 Les mortiers

Le terme mortier désigne un mélange de liant (ciment ou plâtre ou chaux) et de sable gâché avec une certaine quantité d'eau en proportion convenable, des adjuvants et des colorants peuvent aussi être ajoutés.

Les composants du mortier :

Un mortier est constitué d'un mélange de :

Sable	[-De rivière
		-De mer
		-De carrière
Liant	[-Chaux naturelle
		-Chaux artificielle
		-Ciment portland artificiel
		-Ciment au laitier à la pouzzolane, ... etc.
Eau	[-De mouillage
		-De prise des liants

(Sable + liant) + Eau = Mortier

Malaxage à sec → mouillage → obtention d'une pâte plastique qui durcit progressivement

Le mortier peut jouer plusieurs rôles essentiels [19] :

- Assurer la liaison et la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire assurer la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.
- Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.

- Former des enduits muraux étanches.
- Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton.
- Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux et divers éléments moulés.
- Consolide certains sols de fondations sous forme d'injection.

I.3.1 Mortier autoplaçant

I.3.1.1 Définition

Le mortier autoplaçant est un type de mortier qui peut se déposer dans des sections restreintes sans avoir besoin de vibration.

Le mortier autoplaçant est un mortier qui est très fluide, homogène qui se met en place sous le seul effet de la gravité sans énergie de compactage supplémentaire il est capable de remplir complètement de coffrage.

La propriété d'auto consolidation confère au mortier plusieurs avantages techniques et socio-économiques par rapport au mortier ordinaire :

- Facilité et rapidité dans la mise en œuvre.
- Tous les points de coffrage sont remplis.
- Réalisation de formes complexes et/ou de grandes hauteurs. La fluidité obtenue sans excès d'eau garantit l'homogénéité du mortier et l'obtention d'une forte résistance.
- Bonne qualité de remplissage.
- Suppression de la vibration : amélioration des conditions de travail des ouvriers (sécurité et santé).

Toutefois, certains points restent à contrôler dans l'utilisation des mortiers autoplaçants MAP : la formulation des MAP implique un dosage très délicat des matières premières tel que : le ciment, le sable et les adjuvants. Il faut aussi noter l'augmentation du coût de matières premières, par la présence des nouveaux adjuvants.

I.3.1.2 Exigence des mortiers autoplaçant frais

Le mortier autoplaçant frais doit posséder des propriétés telles que la capacité de remplissage, la capacité de passage et la résistance à la ségrégation aux niveaux requis [13]. Celles-ci sont évaluées sur la base des spécifications EFNARC [45].

I.3.1.3 Méthodes de formulation

Plusieurs études ont été réalisées sur la formulation des mortiers autoplaçants, mais il n'y a pas de consensus sur une méthodologie particulière comme cela peut être le cas pour les bétons. A cet effet, les tableaux I.1 à I.5 présentent quelques-unes des formulations utilisées dans la littérature :

Tableau I.1 : Formulation d'un mortier autoplaçant selon Zinnur Celik [14].

Mixture code	Cement (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Raw Vermiculite (kg/m ³)	Fine agg. (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasticizer (kg/m ³)
Control	600.00			1388	270.00	6.00
FA5	570.00	30.00		1379	270.00	6.00
FA10	540.00	60.00		1372	270.00	6.56
FA15	510.00	90.00		1363	270.00	6.87
FA20	480.00	120.00		1357	270.00	6.87
RV5	570.00		30.00	1379	270.00	6.00
RV10	540.00		60.00	1372	270.00	6.00
RV15	510.00		90.00	1363	270.00	6.87
RV20	480.00		120.00	1357	270.00	6.87

Tableau I.2 : Formulation d'un mortier autoplaçant pour 1 m³ selon Esra Türk et al [15].

Mix codes	PC (kg)	BP (kg)	SP (kg)	Sand (kg)	w/b	SP (kg)
Control	650	0	–	1326.55	0.38	7
B5	617.5	32.5	–	1308.39	0.38	7
B10	585	65	–	1303.37	0.38	7
B15	552.5	97.5	–	1298.36	0.38	7
B20	520	130	–	1306.49	0.38	7
B25	487.5	162.5	–	1301.47	0.38	7
B30	455	195	–	1283.31	0.38	7
B35	422.5	227.5	–	1278.29	0.39	7
B40	390	260	–	1273.28	0.39	7
B5S10	–	32.5	65	1312.0	0.37	7
B10S10	–	65	65	1306.9	0.37	7
B15S10	–	97.5	65	1288.8	0.38	7
B20S10	–	130	65	1283.8	0.38	7

Tableau I.3 : Formulation d'un mortier autoplaçant selon Merve Şahin Yön et al [16].

Mix ID	PC	SP	S	Sand	Water	SP	Water/Binder	Water/Powder
Control	650	0	0	1299.8	279.5	7.0	0.43	0.38
SF5	617.5	32.5	0	1271.4	286	7.0	0.44	0.39
SF10	585	65.0	0	1260.1	286	7.0	0.44	0.39
SF15	552.5	97.5	0	1266	279.5	7.0	0.43	0.38
SF20	520	130	0	1254.7	279.5	7.0	0.43	0.38
S10	585	0	65	1312.7	273	7.0	0.42	0.37
S20	520	0	130	1308.5	273	7.0	0.42	0.37
S30	455	0	195	1304.3	273	7.0	0.42	0.37
SF5S10	546	65	39	1301.4	273	7.0	0.42	0.37
SF5S20	526.5	65	58.5	1314.3	266.5	7.0	0.41	0.36
SF10S10	507	65	78	1341.4	253.5	7.0	0.39	0.34
SF10S20	487.5	65	97.5	1337.2	253.5	7.0	0.39	0.34
SF15S10	481	130	39	1313	260	7.0	0.40	0.35
SF20S10	461.5	130	58.5	1250.5	279.5	7.0	0.43	0.38

Tableau I.4 : Formulation d'un mortier autoplaçant selon Veera Horsakulthai [17]

Mix	Proportion (kg)				w/p by volume	w/p by weight	SP (kg)
	OPC	RCP	Sand	Water			
PC (Control)	500	0	875	175	1.10	0.35	15
20RCP	400	100	875	175	1.06	0.35	16.5
40RCP	300	200	875	175	1.03	0.35	18.5
60RCP	200	300	875	175	1.00	0.35	20

Tableau I.5 : Formulation d'un mortier autoplaçant selon Sihem HAMMAT et al [18]

Mixture	w/b	SP (% by weight of cement)	Pozzolana (%)	Cement (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Pozzolana (kg/m ³)
SCM0	0.38	1.50	-	705.00	1253.80	-
SCM15NP	0.38	1.50	15	603.00	1253.80	98.10
SCM30NP	0.38	1.50	30	500.00	1253.80	196.20

I.3.1.4 Caractérisation

Les mortiers autoplaçants sont caractérisés principalement par leurs propriétés à l'état frais. Par conséquent la caractérisation et le contrôle de ces propriétés sont essentiels pour assurer l'obtention des performances souhaitées.

Le comportement des MAP à l'état frais se différencie notablement de celui du mortier ordinaire vibré (MOV), son ouvrabilité se décline classiquement suivant : sa mobilité en milieu non confiné et sa stabilité (vis-à-vis de la ségrégation et de ressage).

La caractérisation d'un tel mortier est donc plus complexe que celle d'un mortier traditionnel et implique des essais spécifiques :

➤ **L'essai d'étalement (EFNARC)**

C'est l'essai le plus courant, car le plus facile à mettre en œuvre. Il permet de caractériser la mobilité en milieu non confiné. L'essai d'étalement est utilisé pour caractériser la fluidité du mortier. C'est une variante de l'essai d'affaissement mais qui est effectué sur un mini cône d'Abrams (mini slump flow test). Il consiste à mesurer les diamètres d'étalement de la galette de mortier sur deux côtes perpendiculaires, les valeurs d'étalement d'un MAP sont habituellement fixées entre 24 et 26 centimètre.

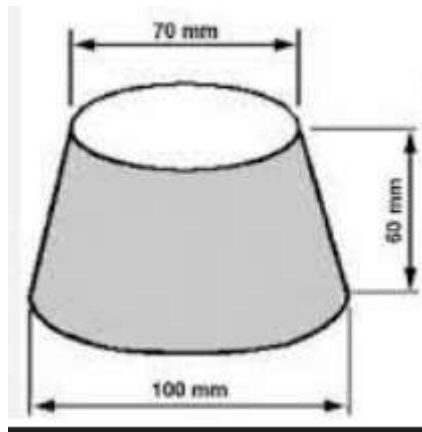


Figure I.6 Illustrations du mini cône [13]

➤ L'essai au mini V-funnel

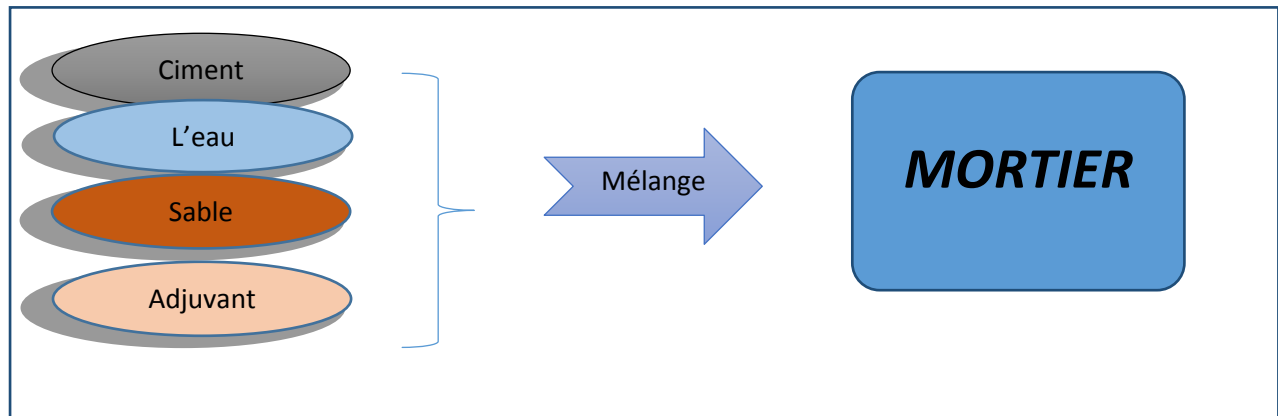
L'essai de l'écoulement au mini v-funnel permet de mesurer le temps d'écoulement d'un échantillon de mortier à travers un entonnoir de dimension spécifié. Le plus souvent, la partie inférieure de l'entonnoir est rectangulaire de dimensions 3*3.5 cm avec une hauteur de 30 cm.



Figure I.7 Illustration d'un mini V-funnel[46]

I.3.1.4 Les composants du mortier autoplaçant

Le mortier est un matériau de construction, qui contient hormis le sable, que nous aborderons en détail en section 5, du ciment, de l'eau, et des adjuvants. On peut les schématiser comme ce suit :



I.4.1 Ciment

Plusieurs travaux ont été menés sur les mortiers autoplaçants dans le sens du choix du type de ciment à utiliser. Ces travaux montrent que la résistance et la durabilité du mortier dépendent principalement du dosage du ciment.

Avec l'augmentation du dosage de ciment dans le mortier, plus de chaleur se produit au cours de l'hydratation du ciment ainsi que plus de déformations différées (retrait et fluage) à long terme. Il est à noter que les effets engendrés par l'ajout excessif du ciment sont propices à l'apparition des fissures pour les éléments en béton ou mortier.

Tous les types de ciment utilisés dans les compositions des mortiers conventionnels peuvent être utilisés pour les mortiers autoplaçants.

Généralement, le ciment le plus utilisé pour la confection du béton autoplaçant est le CEM I 42,5 qui contient au moins 95% de clinker et éventuellement un constituant secondaire, ou bien le ciment portland composé CEM II/A et B 42,5 [20].

En principe tous les ciments conformes à la norme NF EN 197-1 [21] conviennent pour la fabrication des MAP. Le tableau I.6 nous montre les types de ciment que nous pouvons employer dans la confection des mortiers autoplaçants.

Tableau I.6 : Les types de ciment employables dans le MAP [21]

Désignation	Types de ciment	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un des constituants suivant : laitier- pouzzolane – cendre – calcaires – schistes – fumée de silice	Matière secondaire
CPA - CEM I	Ciment portland	95 à 100 %		0 à 5%
CPJ –CEM II /A	Ciment portland composé	80 à 94 %	- de 6 à 20 % de l'un quelconque des constituants, sauf dans le cas de fumée de silice auquel la proportion est limitée à 10 % (*)	0 à 5 %
CPJ –CEM II /B		65 à 79 %	- de 21 à 35 % avec les mêmes restrictions que ci-dessus (*)	0 à 5 %
CHF- CEM III/A	Ciment de haut fourneau	35 à 64 %	35 à 65 % de laitier de haut fourneau	0 à 5 %
CHF- CEM III/B		20 à 34 %	66 à 80 % de laitier de haut fourneau	0 à 5 %
CLK- CEM III/C		5 à 19 %	81 à 95 % de laitier de haut fourneau	0 à 5 %
CPZ –CEM IV/A	Ciment pouzzolanique	65 à 90 %	10 à 35 % de pouzzolane, cendre siliceuse ou fumée de silice. Ces derniers étant limités à 10 %	0 à 5 %
CPZ –CEM IV/B		45 à 64 %	36 à 55 % comme ci-dessus	0 à 5 %
CLC-CEM V/ A	Ciment au laitier et au cendre	40 à 64 %	18 à 30 % de laitier de haut fourneau et 18 à 30 % de cendre siliceuse ou de pouzzolane	0 à 5 %
CLC-CEM V/ B		20 à 39 %	31 à 50 % de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0 à 5 %

Les ciments courants sont classés en fonction de leur résistance mécanique à la compression exprimée en MPa à 28j. La norme EN 197-1 spécifie les limites inférieure et supérieure permettant de classer les ciments en différentes classes :

Tableau I.7: Résistances mécaniques des ciments prescrites par la norme EN 197-1

Désignation de la classe	à 2 jours	à 28 jours	
	Limite inférieure	Limite inférieure	Limite supérieure
32.5 32.5 R	- ≥ 13.5	≥ 32.5	≤ 52.5
42.5 42.5 R	≥ 12.5 ≥ 20	≥ 42.5	≤ 62.5
52.5 52.5 R	≥ 20 ≥ 30	≥ 52.5	

I.4.2 Eau

L'eau joue un rôle dans la composition du mortier, c'est d'elle que dépendent en grande partie la cohésion et la résistance de ce matériau de construction omniprésent.

Associée au ciment, l'eau remplit deux fonctions :

- Elle sert à l'hydratation du ciment
- Elle permet la fluidification de la pâte

Ce constituant peut influencer la qualité du béton, en fonction de sa qualité et quantité, pour cela elle doit être propre et ne doit pas contenir de matières en suspension au-delà des tolérances réglementaires [22] :

- 2 g/l pour les bétons à haute résistance.
- 5 g/l pour les bétons à faible résistance.

I.4.3 Les adjuvants

Depuis plusieurs décennies, dans un environnement en constante mutation, les adjuvants s'imposent comme un composant essentiel et incontournable des bétons modernes. Aujourd'hui, plus de 95% des bétons sont adjuvés. Ils sont un catalyseur essentiel de l'évolution technologique des bétons, que ce soit au niveau des propriétés à l'état frais des bétons (facilité et confort de mise en œuvre), qu'en termes de performances mécaniques et de résistances.

Ils constituent un atout précieux pour la formulation des mortiers et bétons afin de les adapter à leurs multiples usages et pour garantir l'esthétique des parements d'une part et d'assurer la durabilité des ouvrages d'autre part. Ils évoluent en permanence ce qui nous laisse plusieurs perspectives à l'avenir [23].

Tableau I.8 : Quelques exemples d'adjuvants et leurs fonctions [24].

Adjuvant	Plastifiants	Réducteurs d'eau-plastifiants	Superplastifiants
Rôle	Ils déflocculent les grains de ciment et diminuent le frottement interne. La pâte est lubrifiée, la plasticité s'améliore, la mise en œuvre est facilitée	Ils permettent de réduire la teneur en eau et d'obtenir en conséquence une meilleure résistance mécanique	Réduction d'eau Augmente l'ouvrabilité des ouvrages
Dosage	< 0.5%	< 0.5%	0.5 % à 3 %
Introduction	Dans l'eau de gâchage	Dans l'eau de gâchage	Dans le béton avant de sa mise en œuvre
Effets sur la mise en œuvre du béton	A rapport eau/ciment constant, amélioration de la maniabilité	A maniabilité constante, réduction d'eau > 6.5 %	A rapport eau/ciment constant, grande fluidification du béton
Effets secondaires favorables	Possibilité d'accélération du durcissement	Augmentation de compacité, diminution de la perméabilité	On réalise des bétons à hautes performances en utilisant de faibles rapport eau/ciment
Autres effets	Possibilité d'une légère augmentation du retrait		

Les superplastifiants permettent de déflocculer les grains de ciment. Ils agissent par répulsion électrostatique en neutralisant les charges électriques présentes à la surface des grains et/ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à des chaînes moléculaires très longues. L'eau initialement piégée entre les floccs est de nouveau disponible pour l'hydratation ou pour fluidifier le mélange (figure I.9). Il devient donc possible de fabriquer des mortiers très fluides, à faible rapport E/C, faciles à mettre en place [25].

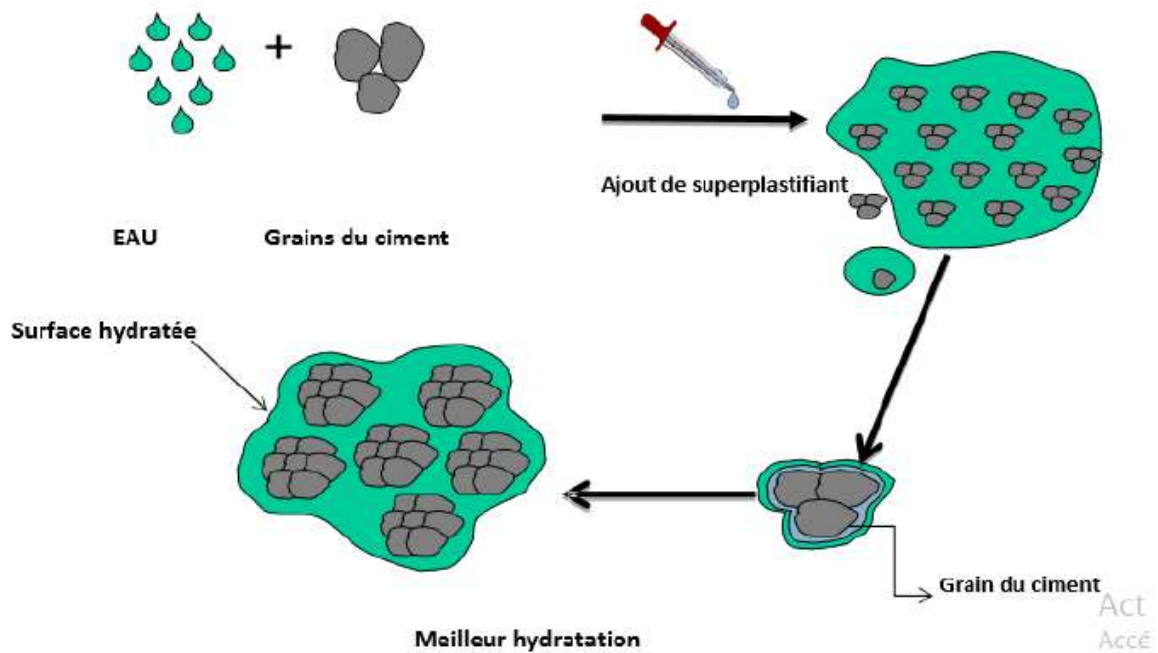


Figure I.9 : Action des superplastifiants – Déglocculation des grains de ciment par le superplastifiant [26].

L'ajout d'un superplastifiant permet ainsi d'augmenter significativement la fluidité des MAP que ce soit du point de vue leur étalement ou du point de vue de leur viscosité, comme le montre la figure I.10.

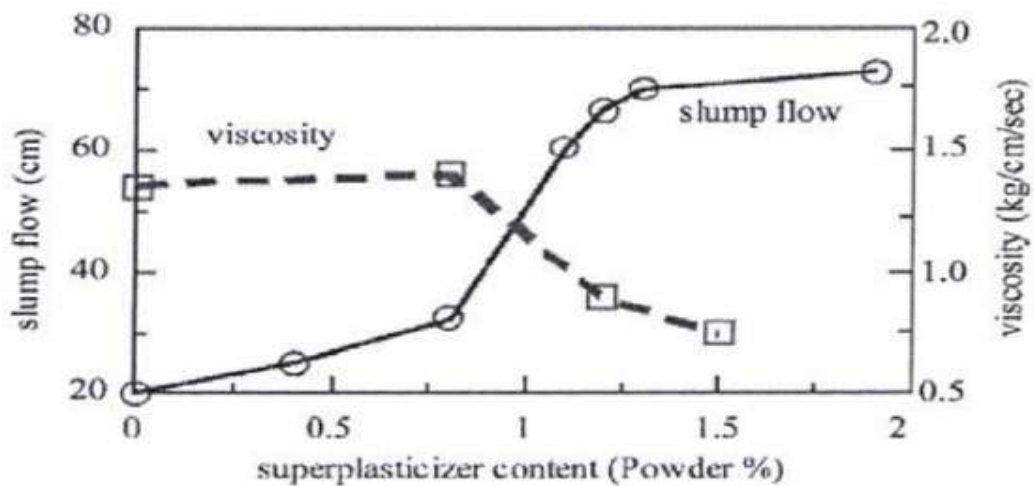


Figure I.10 : Influence de la quantité de superplastifiant sur l'étalement et la viscosité d'un mortier [27]

I.5 Le sable

I.5.1- Définition des sables

Les sables sont des grains de roches ou de minéraux ayant un diamètre compris entre 0,0625 mm (limon) et 3 mm (gravier) ou 4,75 mm et 5 mm, selon la définition des matériaux granulaire en géologie. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths) ainsi que des débris calcaires de coquillage et de corail [28].



a) feldspaths

b) Quartz

Figure I.11: Exemple de roches : (a) Feldspaths et (b) Quartz

Le sable provient de l'altération et la désagrégation naturelle des roches et autres matériaux de la surface terrestre, sous l'effet du climat. Les matériaux fragmentés peuvent ensuite être transportés par l'eau et le vent, ultimement jusque dans les océans qui bordent les continents. Des accumulations exploitables de sable peuvent se former durant leur long transport vers les océans.

I.5.2 Composition du sable

En général, les gros granulats sont constitués de fragments de roches tandis que les sables fins sont plutôt constitués de minéraux détachés de leur roche d'origine. Les grains de sable peuvent aussi être des débris d'origine organique et même synthétique pour les sables récents. En plus de fragments de coquillages, on trouve maintenant sur les plages marines actuelles une certaine proportion de débris d'origine synthétique comme le verre, la terre cuite, la porcelaine et certain plastique.

Cependant, les débris d'origine synthétique ne sont présents que dans les sables de plage et de delta marins actuels en formation et les débris d'origine organique ne sont abondants que dans les sables marins. Un delta marin est une zone d'accumulation alluviale de forme grossièrement triangulaire, édifiée par un courant d'eau à son arrivée dans une mer ou dans

un lac. Les sables d'origine glaciaire ou fluvio- glaciaire ne contiennent jamais de débris synthétiques et très rarement des débris organiques [28].

Les minéraux les plus abondants dans le sable sont les minéraux qui étaient abondants dans la roche à l'origine de ce sable, accompagné de certains minéraux moins abondants au départ, mais qui se sont concentrés par la suite. À l'intérieur des continents, le quartz est normalement le premier minéral en abondance dans la composition du sable. Pour les sables de plages marines et tropicales, là où abondent les mollusques, coraux et autres producteurs de calcite, la calcite est souvent le premier minéral en abondance.

D'autres minéraux comme la magnétite (oxyde naturel de fer Fe_3O_4 , possédant des propriétés magnétiques), à la fois durs et inaltérables, peuvent se concentrer dans le sable, par disparition des minéraux fragiles durant le transport [28].

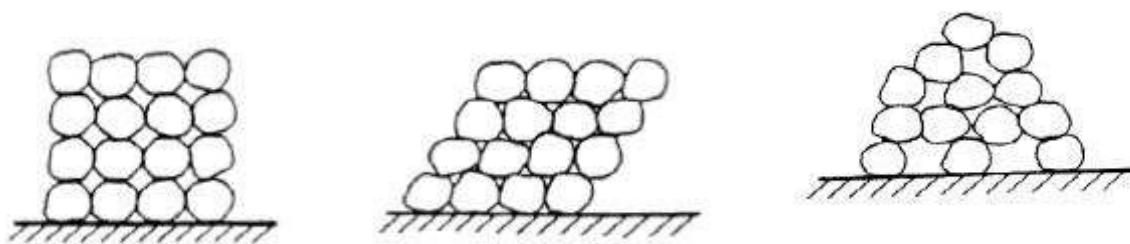
I.5.3 Propriétés microstructurales des sables

La microstructure d'un sol dépend de sa granulométrie. Un sol granulaire n'a pas la même microstructure qu'un sol argileux.

Les sols granulaires sont des matériaux dont les grains ne sont pas de nature argileuse et donc, ne possèdent pas ou presque pas de propriétés colloïdales. Ils sont généralement tridimensionnels et non pas du type feuillet. Les liaisons entre les grains sont extrêmement faibles puisqu'il n'y a pas de couche d'eau adsorbée sur la surface du grain. Toutefois, lorsque le sol est en état non saturé, la succion fournit une certaine cohésion et donc renforce les liaisons entre les grains.

Les interactions entre grains sont principalement dues aux forces de contact. En conséquence, les frottements sont souvent grands dans les sols granulaires (sableux). Les grains composant la structure sont imbriqués les uns dans les autres et de multiples possibilités d'arrangement existent [29].

Quelques structures représentatives des sols granulaires sont schématisées sur la figure I.4



a. Structure lâche

b. Structure dense

c. Structure en "nid d'abeilles"

Figure I.12 : Microstructure des sols granulaires [29].

En raison de la structure granulaire et de l'absence de cohésion, les déformations d'un sol non cohérent (sable) peuvent s'expliquer par trois mécanismes [29], liés à la mobilité plus ou moins importante des grains :

- Réarrangement et compressibilité instantanée des grains ;
- Glissement et rotation des grains ;
- Rupture et écrasement des grains.

Ainsi, toute variation volumique d'un échantillon de sable s'explique par le déplacement relatif des grains : le désenchevêtrement des grains provoque la dilatation et l'enchevêtrement entraîne la compaction. Les résistances des sols ayant une structure lâche ou dense diffèrent fortement. Le comportement hydraulique est également influencé par la structure, en effet, la perméabilité d'un sable lâche est plus grande que celle d'un sable dense.

I.5.4 Quelques propriétés supplémentaires des sables

Les sables sont identifiés grâce à leur granulométrie (la grosseur et distribution des grains). Le sable se caractérise par sa capacité à s'écouler. Plus les grains sont ronds, plus le sable s'écoule facilement. Le sable artificiel, obtenu par concassage ou broyage mécanique de roches, est principalement composé de grains aux aspérités marquées. L'essai d'analyse granulométrique exécuté sur des tamis, nous permet de déterminer le type de sables selon leurs épaisseurs (diamètres) comme montré dans le tableau suivant :

Tableau I.9 : type de sable selon leurs diamètres

Type de sable	Epaisseurs (mm)
Les sables fins	[0.08 – 0.31]
Les sables moyens	[0.31 – 1.25]
Les sables grossiers	[1.25 – 5]

Il peut être également différencié un sable transporté par le vent d'un sable transporté par l'eau. Le premier est de forme plus ronde, sphérique, alors que le deuxième est plus ovoïdal. De plus, le sable éolien (de dune) présente une diaphanéité plus mate que le sable fluviatile (de rivière) ou marin qui est dit "émoussé-luisant". La texture lisse du grain de sable éolien est due aux multiples impacts que subit le sable lors de son déplacement [28].

La masse volumique apparente du sable sec varie selon sa granulométrie et sa composition, de 1700 à 1900 kg/m³, en moyenne 1850 kg/m³. Le sable forme naturellement des pentes stables jusqu'à environ 30°.

Tableau I.10 : Caractéristiques physiques générales des sables.

Caractéristique physique	Notation	Valeur moyenne	Unité
Poids volumique humide	γ ou γ_h	17 à 20	kN/m ³
Poids volumique sec	γ_d	14 à 18	kN/m ³
Poids volumique saturé	γ_{sat}	19 à 22	kN/m ³
Poids volumique déjaugé	γ'	9 à 12	kN/m ³
Densité relative	Gs	2,65 à 2,67	/

Benchaa Benabed et ses collègues, ont réalisé une étude sur les propriétés du mortier autoplaçant sur la base de différents types de sables [30], dont les courbes granulométriques sont montrées en figure I.13. Les propriétés physiques des sables, sont quant à elles, présentées au tableau I.11.

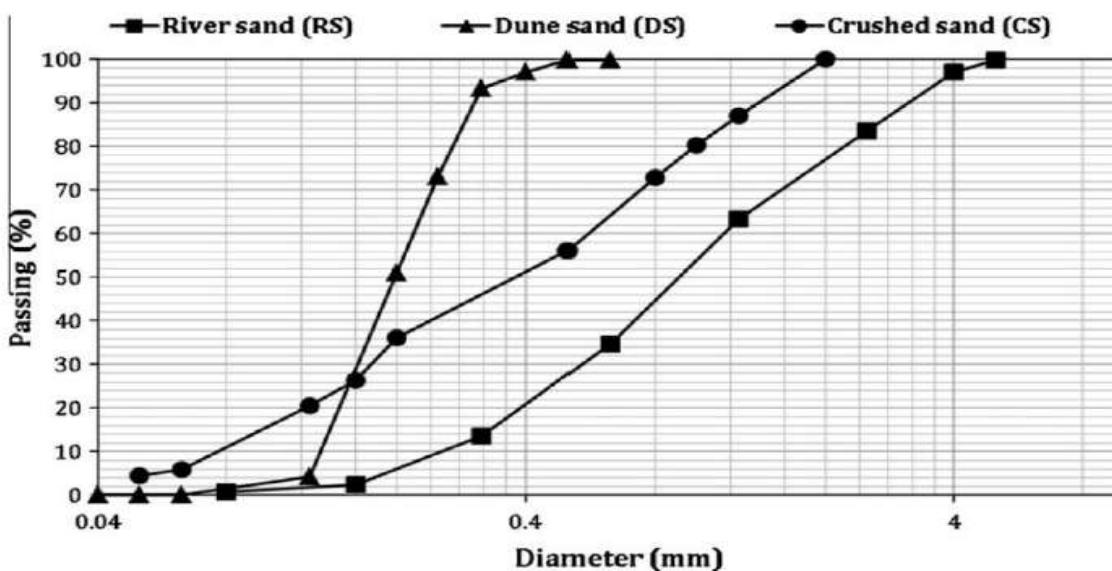


Figure I.13 : Distribution granulométrique des différents sables [30]

Tableau I.11 : Propriétés physiques des sables étudiés [30]

Propriétés	Type de sable		
	Sable concassé (CS)	Sable de rivière (RS)	Sable de dune (DS)
Gravité spécifique	2,68	2,67	2,65
Poids unitaire (kg/m ³) 1541		1758	1520
Module de finesse	2.21	2,45	0,78
Équivalent sable (%) 71		87	83

La propreté et la teneur en fines des sables sont aussi des grandeurs caractérisant les sables. Ils se déterminent par l'essai d'équivalent de sable. Cet essai nous permet de déterminer le degré de pollution du sable par des fines argileuses [31]

Tableau I.12 : Les types de sables selon leur équivalent de sable[22]

Equivalent de sable	Nature et qualité du sable
$E_{sp} < 60$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
$60 < E_{sp} < 70$	Sable légèrement argileux : de propreté admissible pour béton de qualité courante quant on ne craint pas particulièrement le retrait.
$70 < E_{sp} < 80$	Sable propre : à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
$E_{sp} \geq 80$	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en eau.

I.5.5 Les différents types de sables

I.5.5.1 Sables naturels

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

Un autre type de sable naturel est le sable de carrière, extrait des sablonnières et dont la forme est angulaire. Le sable de carrière est soit retiré du sol en masse, soit fabriqué à partir de roches extraites en carrière.

Quant au sable de mer, qui provient de roches sous-marines, il est particulièrement chargé en sel. L'utilisation de ce type de sable nécessite un rinçage minutieux et peut être à l'origine d'éventuelles efflorescences.

En fin, le sable de feuilles est un sable fin, comportant de nombreux vides d'air qui imposent lors de son utilisation une association avec d'autres sables. Ce sable est récupéré sur les reliefs montagneux [32]



Figure I.14 : Illustration d'un sable concassé artificiel [48]

I.5.5.2 Sables artificiels

Le sable concassé (figure I.14) est un type de sable produit en broyant des roches ou des granulats solides pour obtenir des particules de sable de taille spécifique. Il est fabriqué en utilisant des techniques de concassage mécanique, il présente des caractéristiques similaires à celles du sable naturel, mais sa source est différente. Il est souvent utilisé dans l'industrie de la construction et du génie civil pour diverses applications, telles que la fabrication de béton, de mortier, de revêtements de sol, de filtres, de remblais, etc.

Les avantages du sable concassé résident dans sa disponibilité régulière, sa qualité contrôlée et sa conformité aux normes techniques spécifiées. En utilisant du sable concassé, on peut obtenir une granulométrie uniforme, ce qui peut conduire à une meilleure compacité, une meilleure résistance et une meilleure adhérence dans les matériaux de construction.

I.5.5.3 Sable de dune

a) Définition

Le sable de dunes est le résultat d'une érosion et d'une sédimentation de différentes roches, suivi d'un transport fluvial et éolien. La plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz. Il est caractérisé par une granulométrie fine et très serrée.

Le sable de dune est intéressant du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction très faible, et de sa propreté apparente. Il constitue une solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir [24].



Figure I.15 : Illustration du sable de dune

b) Utilisations

Le sable est un produit de la décomposition lente des roches sous l'influence d'agents érosifs tels que l'air, la pluie, etc. Ce matériau se trouve en grande quantité dans le désert du Sahara. Les dunes de sable ont longtemps été utilisées pour la construction de remblais, de fondations et de travaux routiers. Mais l'utilisation de ce matériau sous sa forme actuelle comme composant du béton n'est apparue qu'après l'introduction du béton de sable en 1853 par GOIGNET. F [33]

Les sables jouent également un grand rôle comme réservoirs potentiels pour les nappes d'eau (aquifères) ou les hydrocarbures. Il importe que l'exploitation du sable, souvent anarchique, soit réglementée pour éviter de perturber de fragiles équilibres naturels : érosion des plages dont l'alimentation naturelle en sable via les rivières et fleuves a été coupée par la construction de barrages ; destruction à terre de nappes phréatiques par l'exploitation des couches alluvionnaires filtrantes.

c) Les avantages économique et technique

- Il permet d'économiser le transport des matériaux puisqu'il est localement disponible sur une grande partie du territoire algérien, et en quantité quasi-inépuisable
- Il est facile à mélanger en substitution d'autres sables sur chantier
- Il est facile à extraire, ce qui permet des économies lors de la production des bétons et mortiers.
- Il peut être utilisé pour diminuer la plasticité de la matrice cimentaire.
- Il peut contribuer à la densification des matériaux.
- Améliore les caractéristiques géotechniques des matériaux en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance.

d) L'effet des sables fins sur les mortiers autoplaçants

Plusieurs recherches ont été réalisées traitant de l'effet du sable fin sur l'ouvrabilité des mortiers autoplaçants, parmi elles :

V Krishna Rao Mupparisetty et Faeq Ahmed mohammed ont réalisé une étude sur la poussière de pierre concassée en remplacement du sable de rivière dans les mortiers de réparation autoplaçant qui est une solution durable [13]. Ils ont formulé des mélanges dont la quantité des différents composants a été variée.

Les propriétés à l'état frais ont été déterminées à l'aide de tests du mini cône et du mini entonnoir en V selon les spécifications de EFNARC. En conclusion l'ouvrabilité du mortier diminue avec la diminution de la taille maximale des granulats fins, ce qui entraîne la consommation d'un dosage plus élevé d'adjuvants pour maintenir la fluidité.

Dans la partie suivante nous allons nous intéresser à la résistance mécanique du mortier qui est une propriété principale dans la conception des bâtiments et des structures. Pour cela les résistances mécaniques sont fortement dépendantes du rapport eau/ciment et de l'âge du mortier, du pourcentage d'hydratation, du malaxage.....etc.

➤ Résistance à la compression

Une diminution de résistance à la compression du béton est créée par l'augmentation du dosage en sable de dune dans la composition du béton.

Il est noté aussi que cette résistance est influencée par quelques caractéristiques du sable, à savoir : le module de finesse, l'équivalent de sable, et l'état de surface des grains. BOUAZIZ.A et al [34], ont menés une campagne d'essais de compression sur des compositions de béton de sable alluvionnaire à 100% et un autre dunaire à 100% dont les résultats sont présentés dans le tableau I.13 ci-dessous.

Tableau I.13 : résultats les résistances à la compression à différents âges du béton de sable.

Formulation	100% dunaire (MPa)	100% alluvionnaire (MPa)
Rc (7 jours)	12.7	25
Rc (28 jours)	21.5	28

Ces résultats, ont été trouvés en fixant la valeur du rapport E/C. Les valeurs montrent que le sable alluvionnaire conduit à es résistance meilleure (gain de 30% à 28j) par rapport au sable de dune

➤ Résistance à la traction par flexion

Plusieurs études ont été réalisées concernant la résistance à la traction des bétons de sable, nous citons les travaux réalisés par BENTEBBA.M.T [35], sur des bétons de sable alluvionnaire et dunaire et une troisième composition représentant un mélange des deux (60% SA + 40%SD), les résultats de résistance à la traction dénotent une progression croissante de la résistance à 7, 14 et 28 jours pour le béton de sable alluvionnaire (100% SA), probablement l'augmentation des pourcentages de sable de dunes diminue l'adhérence granulat/matrice, ce qui diminue par la suite la résistance à la flexion, c'est pour cette raison que les bétons avec un grand pourcentage de sable de dunes ont une résistance relativement faible par rapport au béton de type alluvionnaire.

I.6 Conclusion

Les mortiers autoplaçants affirment leur performance au fil des réalisations sur chantier et en usines de préfabrication, ils s'imposent progressivement et remplaceront dans les prochaines années pour un grand nombre d'applications les mortiers mis en œuvre par vibration.

Les MAP permettent ainsi de répondre à :

- Des exigences techniques et esthétiques des maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre et des architectes grâce à leur fluidité améliorée.
- Des contraintes économiques des entreprises (amélioration de la productivité des chantiers et des usines).
- L'amélioration des conditions de travail et de sécurité sur les chantiers et dans les usines. Ces nouveaux mortiers nécessitent moins de matériel de mise en œuvre et n'ont pas besoin de vibrage.

Avant d'accepter une formulation d'un mortier autoplaçant il faut s'assurer que ce mortier possède les qualités souhaitées. Le MAP doit ainsi se caractériser par :

- La fluidité
- La stabilité
- L'aptitude à remplir les coffrages
- La résistance à la ségrégation
- La résistance au ressuage

Comme mentionné dans cette revue bibliographique, les MAP présentent une foule d'avantages aussi bien rhéologique par leur fluidité élevée que par leur résistance mécanique comparable aux mortiers ordinaires. Cependant, la fabrication de ce type de mortiers se focalise principalement sur l'utilisation de sables alluvionnaires ou encore issus de carrière, ce qui réduit leur intérêt environnemental. L'inclusion d'un sable de dune en

remplacement de ces sables ordinaires peut constituer une solution intéressante à plusieurs points de vue. D'une part, le sable de dune est très répandu sur quasiment l'ensemble du territoire algérien, et d'autre part les grains de sable de dune étant réputés sphériques et lisses, ils seraient propices à faire glisser plus facilement non seulement les grains de sables entre eux mais aussi l'ensemble de la matrice cimentaire s'ils étaient inclus dans la formulation de MAP. A cet effet, ce travail expérimental s'intéresse à l'étude de l'influence de l'inclusion des sables de dunes sur les propriétés rhéologiques, physiques et mécaniques des MAP.

II.1 Introduction

Les mortiers autoplaçants sont des matériaux de construction innovants qui exigent la connaissance de leurs diverses propriétés. Dans ce chapitre nous nous intéressons à la présentation des caractéristiques des matériaux utilisés durant ce projet de recherche, ainsi que les différents essais expérimentaux réalisés.

Afin d'étudier les caractéristiques physiques et mécaniques des mortiers autoplaçants, on a effectué plusieurs essais au niveau de laboratoire de Génie Civil de l'Université Mouloud Mammeri.

II.2 Matériaux utilisés : Propriétés et caractérisation

Dans notre étude nous avons utilisé les matériaux locaux suivant :

- Ciment CEM II/A-L 42.5R
- Sable de rivière 0/3
- Sable de carrière 0/3
- Sable de dune originaire de Touggourt 0/1.25
- L'eau
- Superplastifiant

II.2.1 Le sable

Au cours de notre étude, trois types de sables ont été utilisés : un sable de dune originaire de Touggourt, un sable de rivière et un sable de carrière originaire de la région de Tizi Ouzou.

II.2.1.1 Analyses granulométrique

L'analyse granulométrique par tamisage permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle nous permet d'identifier les sols, les classer et même également de les nommer. Les courbes granulométriques des sables ont été déterminées selon les recommandations de la norme NA 2607 [36].

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions des mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon. Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme de tableau ou graphique. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2% du poids total de l'échantillon de départ. On

considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibrations de tamiseuse.

L'opération de tamisage du sable se fait au moyen d'une tamiseuse (figure II.1) dans laquelle on place la série des tamis sur l'anneau inférieur du cadre de l'appareil. Ensuite l'ensemble est serré aux montants par la couronne supérieure, à l'aide de deux jeux de ressorts et vis de blocage. L'arrangement des grains est effectué par la vibration et le choc de la colonne de tamis.



Figure II.1 : Illustration de la tamiseuse électrique

Afin de mener à bien l'analyse granulométrique, il est nécessaire de disposer de :

- Tamiseuse électrique
- Série de tamis en mm (5 – 2.5 – 1.25 – 0.63 – 0.315 – 0.16 – 0.08 – fond de tamis)
- Balance
- Brosse pour nettoyage des tamis
- Etuve

Les résultats obtenus à l'issue du tamisage des sables sont présentés dans les figures II.2, II.3 et II.4.

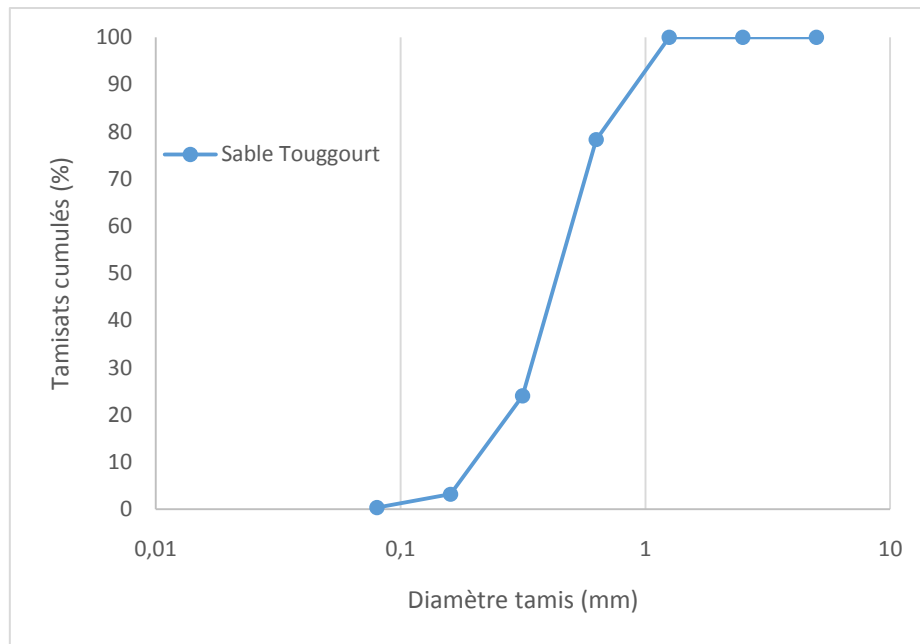


Figure II.2 : Courbe granulométrique du sable de Touggourt

D'après les résultats donnés sur par courbe granulométrique, nous pouvons constater que plus de 75% des grains de sable de dune ont un diamètre inférieur à 0.63 mm. La courbe granulométrique présente par ailleurs une allure très serrée, il s'agit donc d'un sable très fin.

Module de finesse

En appliquant la norme algérienne NA 5113 [37] équivalente à la norme européenne EN 12620 [38] ;

Nous pouvons calculer le module de finesse avec l'équation 1 :

$$M_f = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis} \quad (1)$$

$$M_f = 1.94$$

- $1.8 < M_f < 2.2$: Ce sable de Touggourt est donc à majorité de grains fins.

L'analyse granulométrique du sable de concassé (carrière 0/3) est présentée dans la figure II.3:

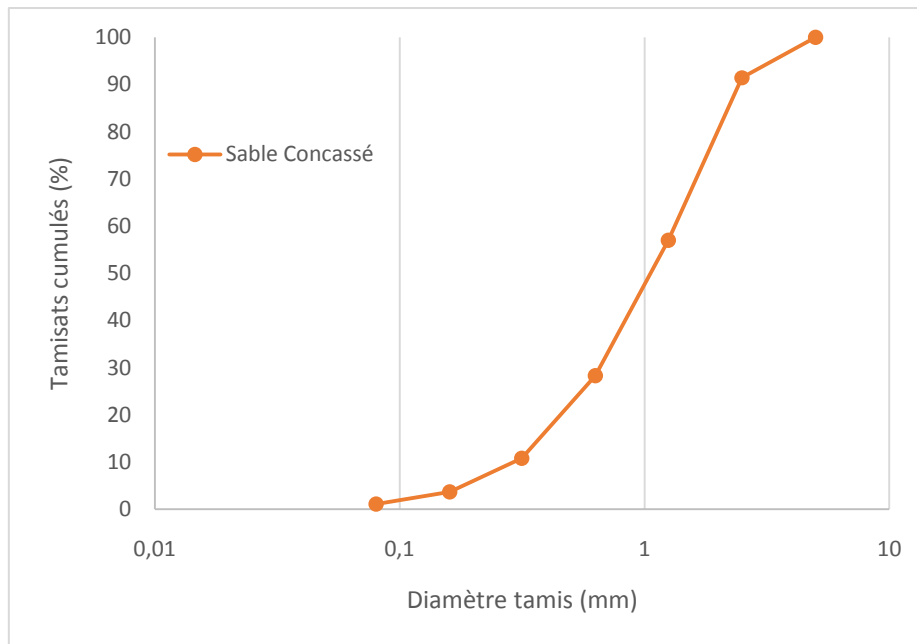


Figure II.3 : Courbe granulométrique du sable concassé

Nous remarquons qu'environ 50% des grains sont inférieurs à 1mm, tandis que plus de 90% des grains du sable de carrière ont un diamètre de 2.5 mm ou moins. La courbe présente une allure plus étalée par rapport à celle de sable de dune.

Module de finesse :

$$M_f = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis} \quad (2)$$

$$M_f = 3.088$$

- $2.8 < M_f < 3.3$: le sable au vu de la valeur de son module de finesse est considéré comme un peu grossier. Il donnera, si utilisé dans le béton, des résistances élevées mais de faibles maniabilités.

L'analyse granulométrique du sable de rivière (0/3) est présentée dans la figure II.4.

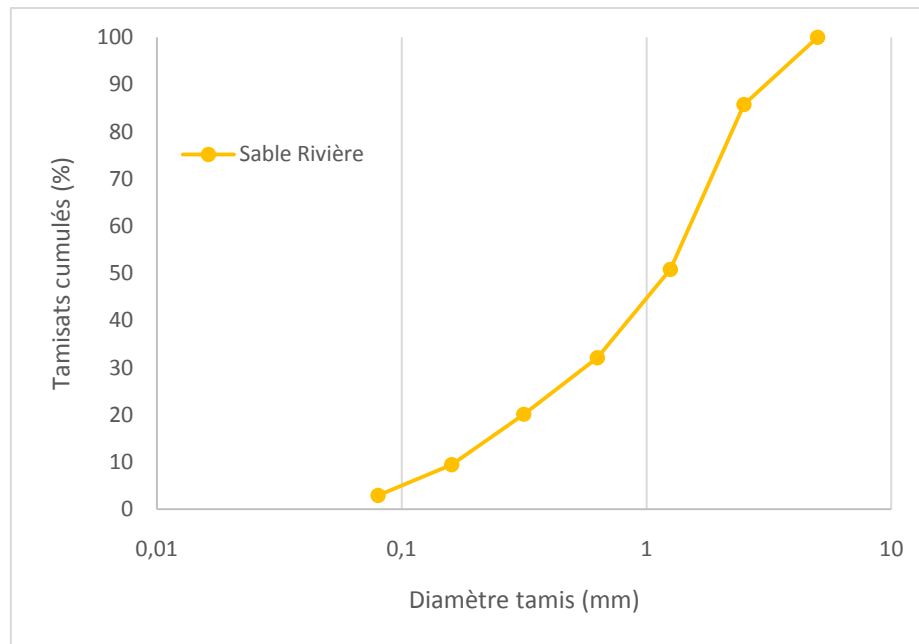


Figure II.4 : Courbe granulométrique du sable de rivière

On remarque que plus de 85% des grains de sable de rivière ont un diamètre de 2.5 mm. L'allure de la courbe aussi est étalée comme dans le cas du sable précédent de carrière

Module de finesse :

$$M_f = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis} \quad (3)$$

$$M_f = 2.98$$

- $2.8 < M_f < 3.3$: Au vu de la valeur obtenue, le sable de rivière peut être considéré comme grossier, et donnera si inclus dans les formulations de bétons, des mélanges résistants mais moins maniables.

II.2.1.2 La masse volumique du sable

a) Masse volumique apparente

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse d'un mètre cube d'un matériau pris en tas en considérant les vides présents entre ses particules.

La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir des valeurs différentes selon qu'elle soit déterminée sur un matériau compacté ou non compacté.

Pour déterminer la masse volumique apparente du sable, nous pouvons suivre les étapes suivant :

- Préparer un récipient de volume connu, illustré en figure II.5.
- Mesurer précisément la masse du récipient vide à l'aide d'une balance et enregistrer la valeur.
- Remplir le récipient avec le sable en le versant doucement et en veillant à ce que le sable se tasse naturellement sans forcer ni le comprimer excessivement.
- Éliminer les éventuelles surcharges ou irrégularités en utilisant une spatule.
- Lorsque le récipient est complètement rempli de sable, niveler la surface supérieure à l'aide d'une spatule pour obtenir une surface plane et uniforme.
- Mesurer la masse totale du récipient rempli de sable à l'aide de la balance et enregistrer cette valeur.
- Calculer la masse du sable en soustrayant la masse du récipient vide de la masse totale du récipient rempli de sable.
- Calculer le volume du récipient rempli de sable en utilisant les dimensions géométriques du récipient.



Figure II.5 : Essai de la détermination de la masse volumique apparente

La masse volumique apparente se détermine comme indiqué par l'équation 4 :

$$\rho_{\text{app}} = \frac{\text{masse des granulats secs}}{\text{volume du récipient}} = \frac{M1-M0}{V} \quad (4)$$

Avec :

ρ_{app} : Masse volumique apparente

$M0$: la masse du récipient

M_1 : la masse des granulats plus le récipient

V : le volume du récipient

Les mesures de masses volumiques effectuées sur des échantillons de nos sables, ont mené aux valeurs données au tableau II.1

Tableau II.1 : Masses volumiques apparentes des sables utilisés

Type de sable	Masse volumique apparente (kg/m^3)
Sable de dune	1650
Sable de concassé	1610
Sable de rivière	1715

b) La masse volumique absolue :

La masse volumique absolue (ρ_{abs}) est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. On le détermine, par les étapes suivantes :

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_0 d'eau.
- Peser un échantillon sec M de sable (environ 100 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Lire le nouveau volume V_1 comme le montre la figure II.6.



Figure II.6 : Essai de détermination de la masse volumique absolue

La masse volumique absolue se détermine par l'équation 5 :

$$\rho_{ab} = \frac{\text{masse des grains}}{\text{volume total} - \text{volume d'eau}} = \frac{M}{V1 - V0} \quad (5)$$

Avec :

ρ_{abs} : la masse volumique absolue

M : masse des grains

V0 : volume de l'eau

V1 : volume de l'eau plus les grains

A l'issue des essais, les masses volumiques absolues sont obtenues, et résumées dans le tableau II.2.

Tableau II.2 : Masses volumiques absolues des sables

Type de sable	Masse volumique absolue (kg/m ³)
Sable de dune	2664
Sable de concassé	2652
Sable de rivière	2440

II.2.1.3 Equivalent de sable

But de l'essai

Cet essai permet d'évaluer l'état de propreté d'un sable. Il est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Selon la norme européenne EN 933-8 [39] globalement, il rend compte de la quantité et de la qualité des éléments fins présents dans le sable, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent comme montre la figure II.7.



Figure II.7 : Principe de l'essai d'équivalent de sable

Mode opératoire

- Remplir l'éprouvette d'une solution lavante, de l'eau principalement, jusqu'au premier repère (10 cm).
- A l'aide d'un entonnoir, verser l'échantillon de sable de (120 ± 1) g dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de libérer les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisse reposer pendant 10 min.
- Boucher l'éprouvette à l'aide d'un bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de secousses horizontales en 30s à la main ou à l'aide de l'agitateur mécanique.
- Retirer le bouchon de l'éprouvette, le rincer avec la solution lavante au-dessus de l'éprouvette et rincer ensuite les parois de 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 tout en imprimant au tube un léger piquage.
- Après 20 min de dépôt,
- Mesurer une première fois, la hauteur de sable propre seulement (h'_2) et la hauteur du sable propre y compris le flocculat (élément fins) (h_1).
- Mesurer ensuite, la hauteur du sable plus précisément avec le piston taré (h_2)
- L'équivalent de sable visuel (E_{sv}) se définit donc par l'équation 6 :

$$E_{sv} = \left(\frac{h'_2}{h_1} \right) 100\% \quad (6)$$

- L'équivalent de sable par piston (E_{sp}) se définit donc par l'équation 7 :

$$E_{sp} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right) 100\% \quad (7)$$

Les valeurs d'équivalent sable obtenues sur les trois sables testés sont montrées dans le tableau II.3

Tableau II.3 : Résultats de l'équivalent de sables pour les trois sables

Type de sable	Equivalent de sable sous piston
Sable de dune	80.58
Sable de concassé	73.26
Sable de rivière	75

En mettant en perspective nos résultats avec ceux présentés dans le tableau II.4 qui permet de classifier l'état de propreté des sables, nous pouvons dire que les 3 sables (dunaire, concassé et de rivière) sont dans le même intervalle $70 < E_{sp} < 80$. Cela nous permet de les considérer comme propres. Il est aussi à noter que le sable de dune, est le plus propre de tous les sables testés, il peut même d'ailleurs être considéré comme propre au vu de la classification du tableau II.4.

Tableau II .4 [22] : Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable E_{sv} et E_{sp}

E_{sv}	E_{sp}	Nature et qualité du sable
$E_{sv} < 65$	$E_{sp} < 60$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
$65 < E_{sv} < 75$	$60 < E_{sp} < 70$	Sable légèrement argileux : de propreté admissible pour béton de qualité courante quant on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75 < E_{sv} < 85$	$70 < E_{sp} < 80$	Sable propre : à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les béton de haute qualité
$E_{sv} \geq 85$	$E_{sp} \geq 80$	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en eau.

II.2.2 Le ciment

Durant notre travail de recherche, on a utilisé un seul ciment durant toute la campagne de coulage des mortiers, qui est le **CEM II/A-L 42.5R**, illustré dans la figure II.8. Il s'agit d'un ciment portland composé recommandé pour les bétons et mortiers à performances élevées avec une prise rapide, destiné à la réalisation des infrastructures ainsi que pour le domaine de préfabrication. Il provient de la région de (Biskra) et est conforme à la norme Algérienne (NA442-2013) [40].



Figure II.8 : Ciment utilisé pour la confection les mortiers

Tableau II.5 : Caractéristiques chimiques et minéralogiques du ciment

Analyses chimiques (%)				
Perte au feu	Teneur en sulfates (SO ₃)	Teneur en oxyde de magnésium (MgO)	Teneur en chlorures (Cl-)	Résidu insoluble
6 - 8	2.5 – 2.9	< 3.5	< 0.08	NA
La composition potentielle du clinker (Selon Bogue) (%)				
C ₃ S		C ₃ A		
60 -65		6 - 10		
Propriétés physiques				
Consistance normale (%)		25.4 - 26		
Expansion à chaud (mm)		< 1 mm		

II.2.3 L'eau de gâchage

Pour mélanger notre mortier, au sein du laboratoire de Génie Civil de l'Université Mouloud Mammeri, nous avons utilisé l'eau du réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Tizi Ouzou.

II.2.4 Superplastifiant

Le superplastifiant utilisé dans l'ensemble des formulations nous a été fourni par la société Granitex sous le nom de Medaplast SP 40. Il s'agit d'un haut réducteur d'eau permettant d'obtenir de hautes résistance mécanique, il permet d'améliorer la fluidité, la maniabilité et aussi évite la ségrégation. Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton ou mortier, et des effets recherchés. Le superplastifiant utilisé est par ailleurs, conforme aux normes NA 774 [41], NA 510 [42] et NA 5075 [43]

II.3 Les mortiers autoplaçants**II.3.1 Formulation**

Formuler un mortier autoplaçant ou un béton consiste à choisir des constituants et à les proportionner en vue d'obtenir des propriétés physiques et mécaniques répondant à des critères techniques et économiques autorisant une meilleure application dans le domaine de la construction.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre I, il n'existe pas de formulation normalisée donnant les proportions du mortier autoplaçant, et encore moins une méthode de formulation à appliquer permettant d'aboutir à une consistance ou résistance mécanique donnée, comme c'est le cas pour les bétons. A cet effet, le mortier autoplaçant que nous avons confectionné est composé de ciment, d'eau, de superplastifiant, et de mélanges des 3 types de sables mentionnés : concassé, de rivière et de dune. Nous avons confectionné deux mortiers témoins avec deux de ces sables (concassé ou de rivière), et tous les mélanges furent dosés en eau de sorte que le rapport E/C soit maintenu à 0.3. Les tableaux II.6 et II.7 nous résument les compositions des mortiers autoplaçants adoptées.

Tableau II.6 : Compositions du mortier autoplaçants avec sable de rivière

	Masse R(g)	Masse T(g)	Ciment (g)	Eau (g)	SP (%)	E/C
Témoin						
R 25T						
R 50T						
R 75T						
R 100T						

Tableau II.7 : Compositions du mortier autoplaçants avec sable de concassé

	Masse R(g)	Masse T(g)	Ciment (g)	Eau (g)	SP (%)	E/C
Témoin						
C 25T						
C 50T						
C 75T						
C 100T						

Sur la base de ces formulations, Nous avons confectionné au total :

- 90 éprouvettes de forme ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$), elles sont utilisées pour les essais de flexion trois points et compression.

II.3.2 Préparation des éprouvettes

La préparation des éprouvettes est réalisée selon la norme NF EN 196-1[44]. Le malaxage est réalisé à l'aide d'un malaxeur à deux vitesses. La durée de malaxage totale est de 3 minutes.

Le protocole de malaxage fut mené ainsi :

- Mettre le ciment dans le malaxeur puis ajouter l'eau et le superplastifiant ;
- Malaxer le tout à vitesse lente pendant 30 s ;
- Ajouter régulièrement le sable durant 30 s ;
- Malaxer le tout pendant 30 s avec la vitesse rapide ;
- Stopper le malaxeur pendant 30 s et nettoyer les parois du récipient ;
- Rallumer le malaxeur avec la vitesse rapide durant 1 min ;

Le malaxage terminé, le mortier est ensuite coulé dans des moules en acier, couverts de sachets en plastique et stockés dans le laboratoire pendant 24h.

Après 24 heures, les échantillons durcis ont été démoulés et conservés dans l'eau à température ambiante jusqu'au jour de l'essai.

II.3.3 L'essai de caractérisation du mortier autoplaçant

II.3.3.1 A l'état frais

Deux principaux tests ont été menés afin de caractériser les mortiers fraîchement confectionnés, il s'agit de tests d'étalement au mini cône, et des mesures de masse volumique à l'état frais.

- **Essai d'étalement**

Cet essai nous a permis de déterminer l'étalement de chaque formulation des mortiers autoplaçants. L'étalement idéal pour un mortier autoplaçant est un diamètre moyen entre 24 à 26 cm, tel que le recommande le guide technique EFNARC 2002 [45].

Le protocole de mesure adopté est le suivant :

1. Humidification du cône et de la plaque ;
2. Remplissage du cône par le MAP préparé ;
3. Mesure de l'étalement selon deux diamètres perpendiculaires, puis calcul de la moyenne $\longrightarrow \text{Ø} = (\text{D1} + \text{D2}) / 2$

Une illustration d'une galette de mortier autoplaçant est présentée figure II.9.

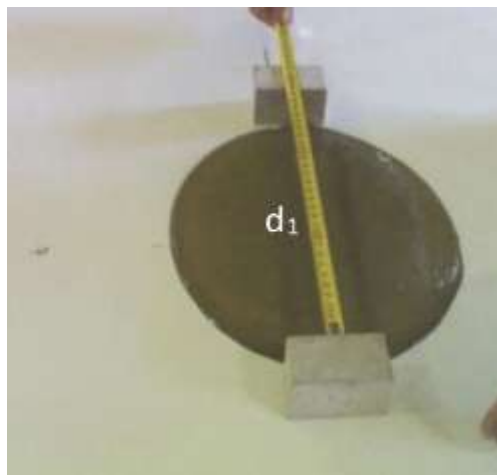


Figure II.9 : Détermination de l'étalement du mortier autoplaçant

- **Mini V-Funnel**

Le mini V-Funnel est un dispositif de mesure utilisé dans l'industrie du béton pour évaluer la fluidité ou la consistance du béton frais. Il est généralement utilisé pour mesurer la capacité d'écoulement d'un mélange de béton autoplaçant (BAP) ou de béton à haute fluidité (BHAF). Le temps d'écoulement est mesuré à partir du moment où le trou du V-Funnel ayant laissé s'écouler le béton, devient visible lorsqu'observé d'en haut. Plus le béton est fluide, plus il s'écoulera rapidement à travers le V-Funnel, ce qui indique une meilleure capacité d'écoulement. Le même principe s'applique au mortiers autoplaçants, si ce n'est que la dimension du V-Funnel est plus petite, d'où le nom de mini V-Funnel, et accueille un volume total de mortier de 1.1 L (figure II.10).



Figure II.10 : Illustration du mini entonnoir (mini V-Funnel)[46]

II.3.3.2 A l'état durci :

Aux deux échéances de mesures sélectionnées, i.e. 7j et 28j, des tests physiques mesures d'absorptions et de vitesses acoustiques non destructifs ont été effectuées. Additionnellement, deux essais mécaniques destructifs permettant la détermination des résistances mécaniques à la traction par flexion, et de compression ont aussi été menés.

- **Essais aux ultrasons**

L'auscultation par ultrason est une méthode non destructive destinée entre autres à tester l'homogénéité du béton, elle consiste à déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) à travers un élément en béton selon la norme NF EN 12504-4 ; ASTM C597 [47]. Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde

à parcourir une distance donnée. La relation entre la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques et la résistance à la compression est affectée par un nombre de variables tels que l'âge du béton, les conditions d'humidité, le rapport entre les granulats et le ciment, le type des granulats, la localisation des aciers et des fissures. Le contrôle par ultrasons permet, sans nuire à l'intégrité d'une structure, de caractériser les défauts qu'elle contient et de porter ainsi un jugement sur l'acceptation des pièces réalisées.

Dans notre essai, nous avons utilisé l'appareil de test ultrasonique Pundit Lab, ce dernier est constitué comme le montre la figure II.11 de :

- a. Un testeur ultrasonique
- b. Deux transducteurs (émetteur et récepteur) ;
- c. Barre de calibrage ;
- d. Deux câbles de connexions de 1.5m ;
- e. Un gel de contact ;
- f. Une centrale d'acquisition des données.



Figure II. 11 : Appareil de test ultrasonique Pundit-Lab

Principe de mesure :

L'appareil ultra-sonique génère des ondes ou des impulsions "ultra-soniques" qui sont transmises au béton par un transducteur mis au contact avec la zone à évaluer. Le temps de propagations des ondes à travers le mortier peut être visualisé sur l'afficheur digital de l'appareil ou sur ordinateur par le biais d'un logiciel spécial.

Le tableau suivant montre le classement d'un béton en termes de qualité en fonction de la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore mesurée.

Tableau II.8 : caractérisation de la qualité du béton à partir de la propagation des ondes

Vitesse de propagation (m/s)	La qualité de béton
> 4575	Excellente
[3660-4575]	Bonne
[3050-3660]	Douteuse
[2135-3050]	Mauvaise
< 2135	Très mauvaise

- **Résistance à la traction par flexion :**

L'essai de flexion 3 points permet de mesurer indirectement la résistance à la rupture d'un matériau en traction. Cet essai est réalisé sur les éprouvettes de mortier qui sont posées sur deux points d'appuis distant de 120mm, tandis qu'on applique un effort sur le point central supérieur avec une force croissante jusqu'à rupture. Un schéma de principe est donné dans la Figure II.12.

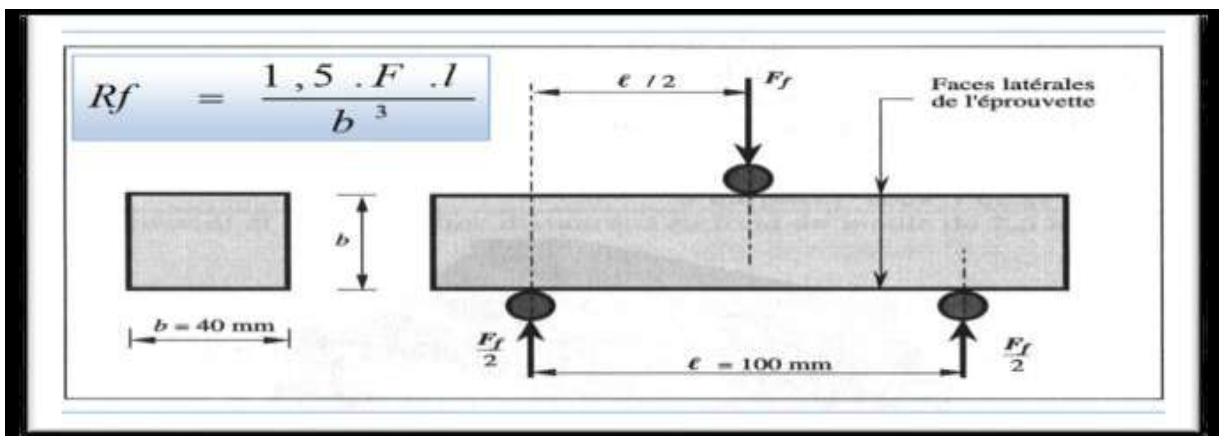


Figure II.12 : Principe de l'essai de flexion 3 points



Figure II.13 : Eprouvettes de mortier : (a) Avant rupture, (b) Après rupture

- **Résistance à la compression**

L'essai de compression est effectué sur les demi-éprouvettes provenant de l'essai de flexion, chaque demi prisme est testé en compression sur ses faces lisses de moulage sous une section $40 \times 40 \text{ mm}^2$, et ce grâce deux plaques de métal dur. Cet essai nous permet de déterminer la résistance à la rupture du mortier.



Figure II.14 : Dispositif de l'essai mécanique de compression

La résistance mécanique est obtenue par l'application de l'équation 8

$$R_c = F_c / B^2 \quad (8)$$

Avec :

R_c : La résistance à la compression

F_c : La force appliquée

B : La section transversale de l'éprouvette de mortier

II.4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté en détails toute la partie expérimentale en commençant par la caractérisation de différents constituants. Ce qui constitue une étape nécessaire afin de comprendre de manière claire le comportement aussi bien au jeune âge qu'à un âge avancé du mortier. Les différents résultats obtenus à l'issue de nos tests en laboratoire sur les mortiers autoplaçants sont illustrés et commentés dans le chapitre suivant.

III.1 Introduction

Dans ce présent chapitre, nous présentons les résultats expérimentaux que nous avons obtenus à partir des différents essais effectués sur les mortiers autoplaçants à l'état frais et à l'état durci.

Durant l'étude nous avons confectionné dix formulations de mortiers autoplaçants. Cinq d'entre elles ont été formulées avec du sable de rivière avec substitution par du sable de dune de Touggourt. Tandis que les cinq autres, sont basés sur du sable concassé substitué lui aussi avec du sable dunaire de Touggourt. Chaque formulation a nécessité la confection de six éprouvettes prismatiques ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$) par essai (trois pour les essais à jeune âge (7 j) et trois autres à 28j).

III.2 Résultats des essais sur les mortiers autoplaçants à base du sable de rivière

III.2.1 A l'état frais

Avant d'arrêter la formulation témoin du mortier autoplaçant, plusieurs essais ont été menés. Ces essais avaient pour visée l'ajustement de la quantité d'eau et de superplastifiant menant à un mortier à caractère autoplaçant. Après avoir fixé les proportions de cette formulation témoin, nous avons investigué l'effet qu'avait la substitution de ce sable de rivière constituant la principale phase granulaire du mortier par différentes proportions, sur le comportement rhéologique du mortier autoplaçant. Les essais rhéologiques de mesures d'étalement au mini cône pour différentes valeurs de substitutions sont présentés dans la figure III.1.

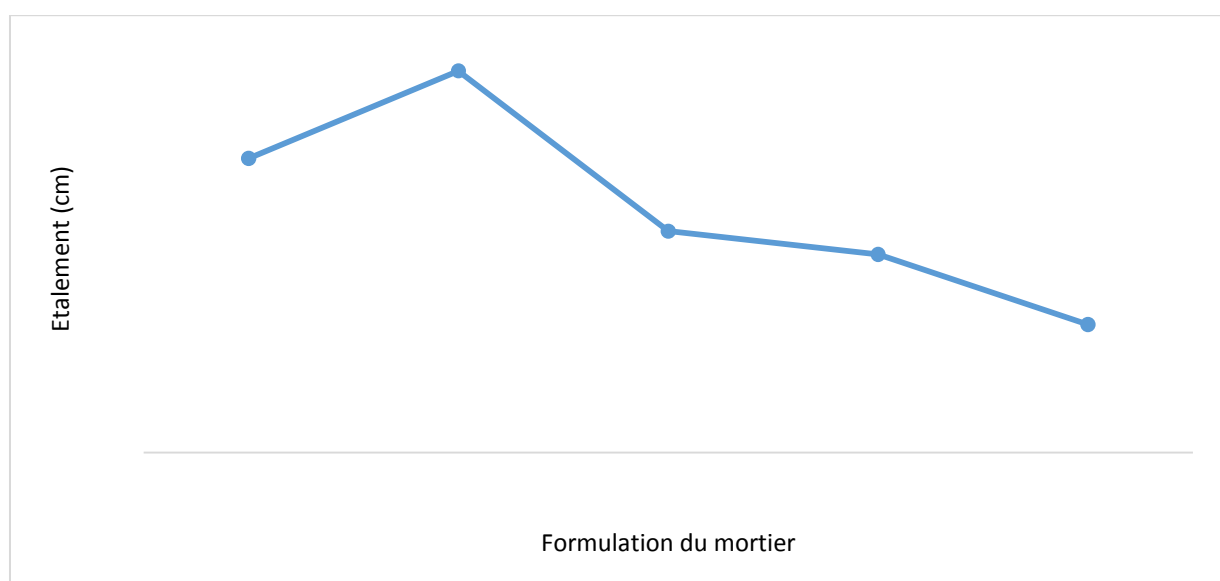


Figure III.1 : Valeurs de l'étalement avec le mini cône

Les résultats du test d'étalement sont donnés à la figure III.1. D'après cette figure il est évident que, à mesure que le pourcentage de sable dunaire dans le mortier augmente, l'écoulement diminue. Cela pourrait s'expliquer par l'augmentation de sable de dune et de la surface spécifique des agrégats fins dû à l'augmentation de teneur en sable dunaire donc plus d'eau est nécessaire pour mouiller la surface des particules, comme l'a également rapporté Benchaa et al [19]. Par contre l'ajout de sable dunaire jusqu'à 25% améliore l'étalement des MAP cela pourrait s'expliquer par le fait que les sables de dune ont une forme ronde ce qui permet l'amélioration d'écoulement en fonction d'un certain dosage spécifique du sable de dune.

Les temps d'écoulement au mini entonnoir en V autrement appelé le V-Funnel des mortiers frais sont donnés à la figure II.2. Cet essai, comme mentionné au chapitre 2, permet via chronomètre, de déterminer le temps que met 1.1 litres de mortier à s'échapper de l'entonnoir en V sous l'effet de gravité. Plus la valeur obtenue est faible, plus le mortier est fluide. On peut voir sur cette figure que tandis que la teneur en sable dunaire du mortier frais augmente, le temps d'écoulement augmente à ce que on affiche aucun écoulement sur les mélange (50%, 75% et 100% de sable de dune). On observe que lorsque le pourcentage de sable de dune est 25% le mortier atteint une meilleure coulabilité.

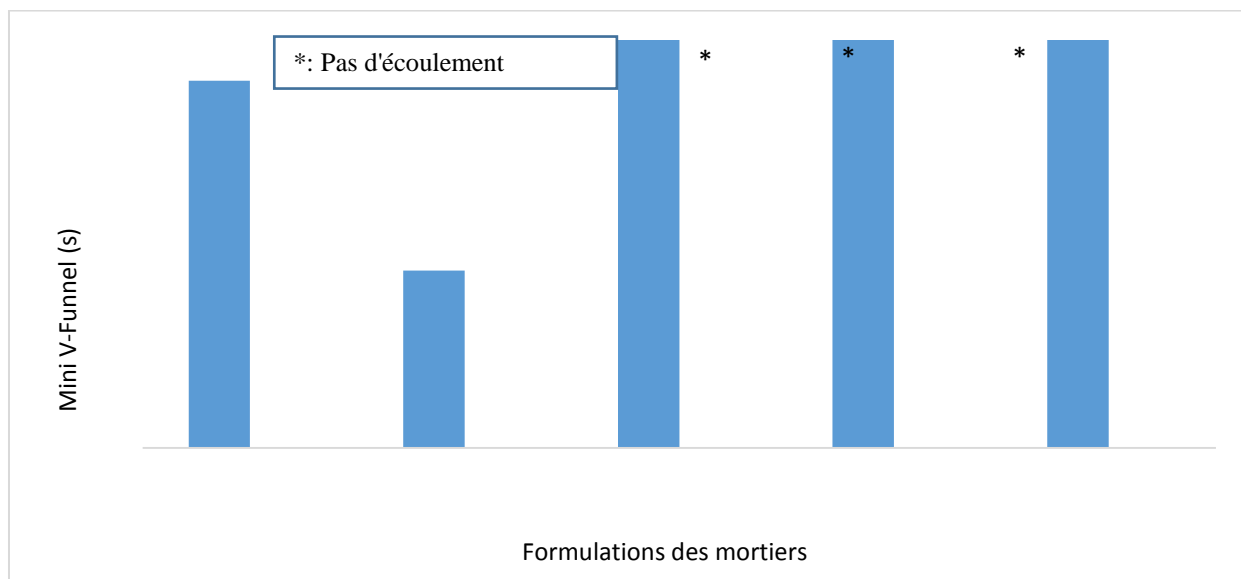


Figure III.2 : Evaluation de l'écoulement avec le mini V-Funnel

III.2.2 L'état durci

Pour cette partie nous avons effectué plusieurs essais pour évaluer les caractéristiques mécaniques des mortiers autoplaçants à l'état durci. Ils sont présentés pour deux échéances de mesures à 7j et 28j. Ces essais sont :

- Essai de mesure des vitesses ultrasonores (ou UPV pour Ultrasonic Pulse Velocity test) effectué avec l'appareil Pundit Lab.
- Essai de résistance à la compression.
- Essai de résistance à la traction par flexion.

III.2.2.1 Vitesses ultrasonores

La figure III.3, montre les résultats de l'utilisation de l'appareil à ultrason pour les différentes formulations. Nous observons que l'ajout du sable de dune a pour effet, une amélioration des vitesses ultrasonores. Globalement, tous les mélanges contenant du sable, semblent améliorer les vitesses ultrasonores.

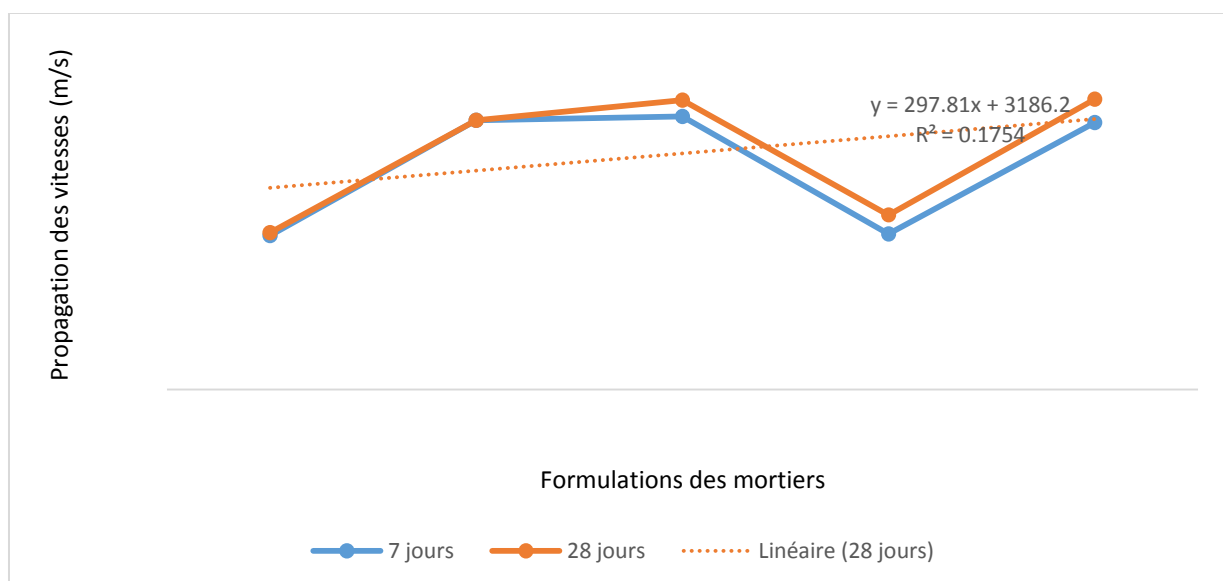


Figure III.3 : Propagation des vitesses ultrasonores dans les MAP

III.2.2.2 Résistance à la compression

La figure III.4 montre les résistances à la compression obtenues à 7 et 28 jours sur nos éprouvettes de mortier. A l'échéance de 7 jours, nous pouvons observer que les valeurs de résistances à la compression sont sensiblement similaires, et ce quel que soient les mélanges testés. Nous remarquons aussi que comparativement au mortier témoin, le sable de dune améliore dans quasiment tous les cas les résistances enregistrées. A 28 jours, nous remarquons une légère baisse des résistances pour les mélanges 25% et 50% de sable de dune par rapport au mortier témoin. Cependant, dans le cas des mélanges à forte teneur en sable dune (75% et 100%), les résultats indiquent une augmentation de résistance à la compression par rapport aux mélanges 25% et 50%. Comparativement au mortier. Il est intéressant par ailleurs de

noter, en comparant les différentes formulations testées, que celle présentant un taux de 75% de sable de dune, présente les meilleures propriétés de résistances à la compression.

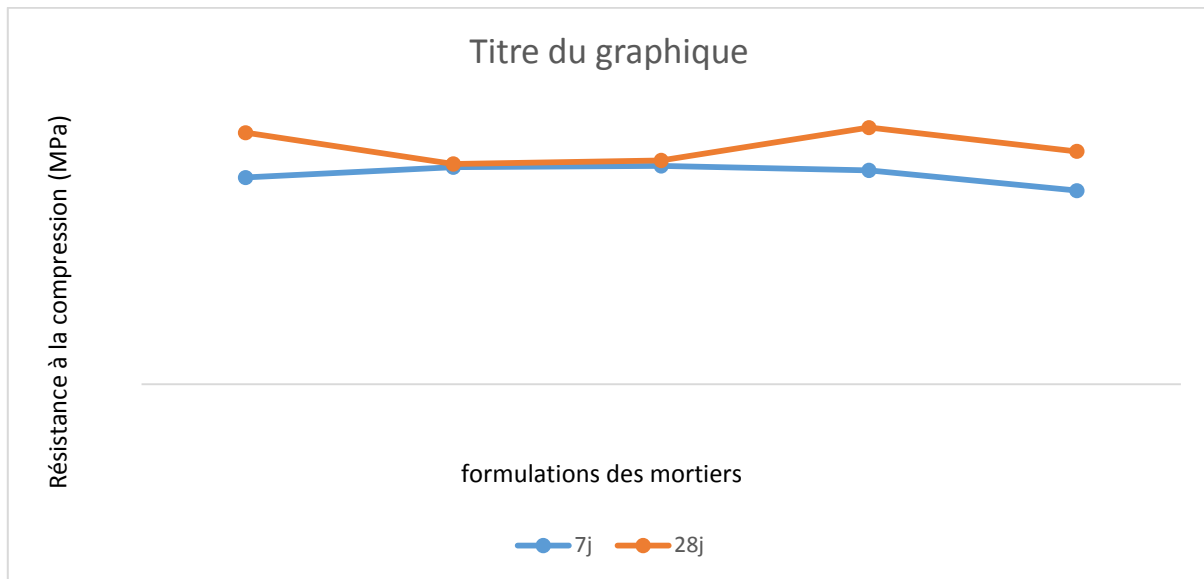


Figure III.4 : Résistance à la compression

III.2.2.3 Résistance à la traction

Les résultats des résistances à la traction des mortiers obtenus à l'issue des tests de flexion 3 points, sont résumés dans la figure III.5.

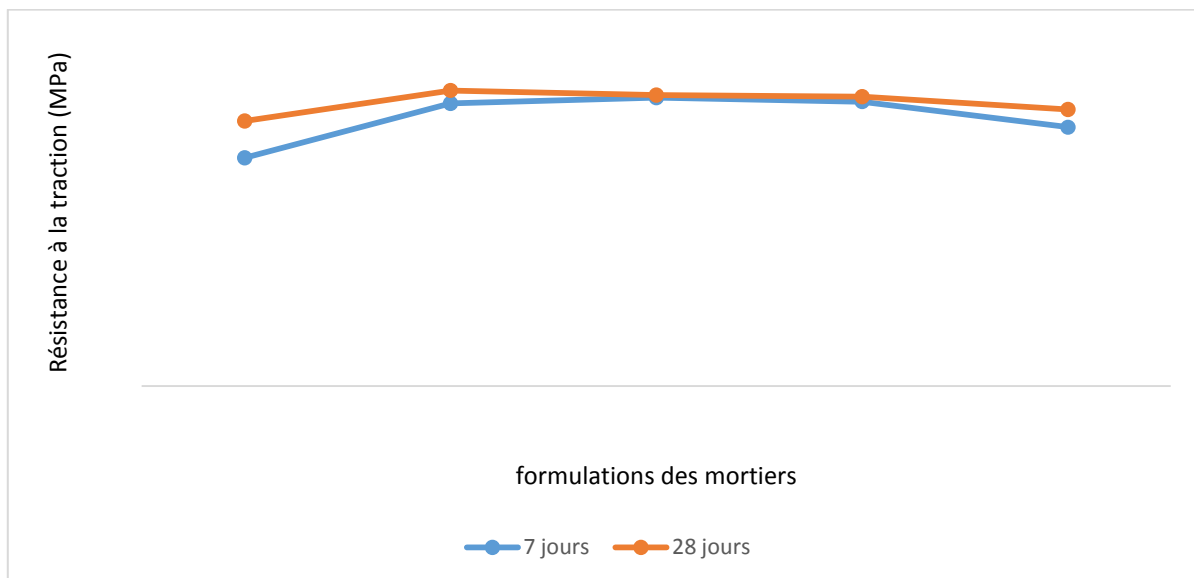


Figure III.5 : Résistance à la traction par flexion

Comme nous pouvons l'observer, l'ajout du sable de dune améliore la résistance à la traction du mortier. Effectivement, comparativement au mortier témoin, Nous remarquons aussi, que

plus l'échéance de test est élevée, plus les valeurs de résistances des différents mélanges semblent se rapprocher.

III.3 Résultats des essais sur les mortiers autoplacants à base du sable de concassé

Nous avons vu précédemment les cas de figure d'un mortier constitué d'un sable de rivière, lequel est substitué par différentes proportions de sables de dune de Touggourt. A présent nous allons aborder le cas de figure où le sable concassé, lui aussi très utilisé dans la confection des mortiers, est substitué par du sable de Touggourt.

III.3.1 A l'état frais

Comme dans le cas du sable de rivière, nous avons effectué plusieurs essais afin de caractériser la rhéologie des mortiers autoplacants à base du sable de concassé avec substitution par du sable dunaire de Touggourt. Les résultats sont illustrés dans les figures III.6 et III.7.

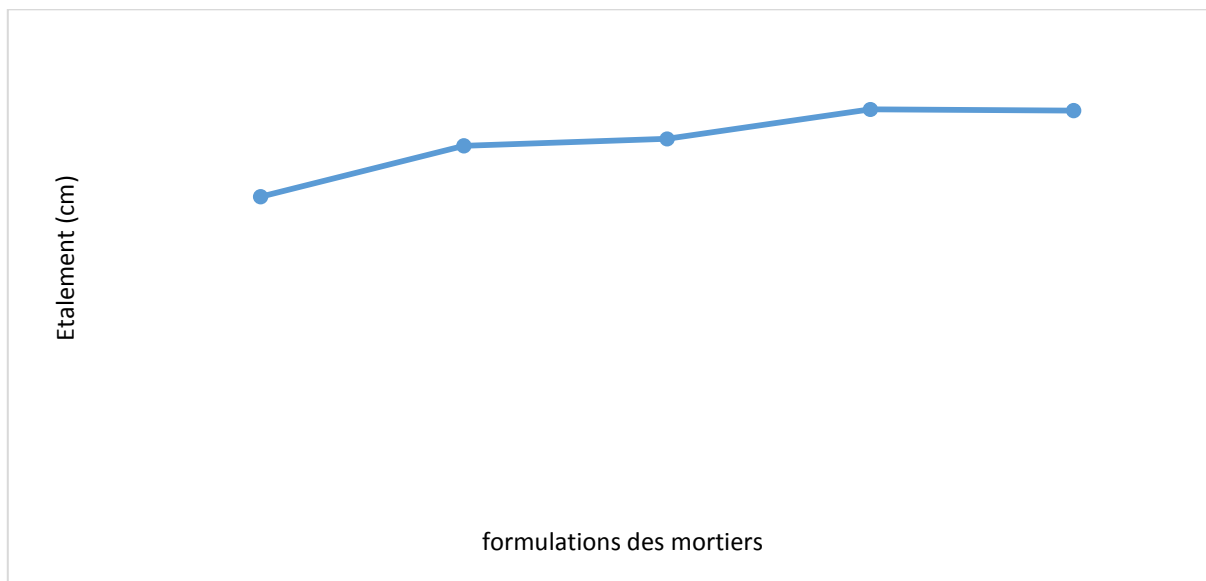


Figure III.6 : Valeurs de l'étalement avec le mini cône

Les résultats d'étalements au mini cône montrés dans cette figure III.6, semblent indiquer une amélioration des caractéristiques rhéologiques du mortier autoplacant, au fur et à mesure que la quantité de sable de dune augmente dans la formulation. Effectivement, nous observons une augmentation des étalements pour le mélange à 100% de sable de dune par rapport au témoin (concassé-0% sable de dune). Le meilleur écoulement constaté avec le mélange 100% de sable de dune.

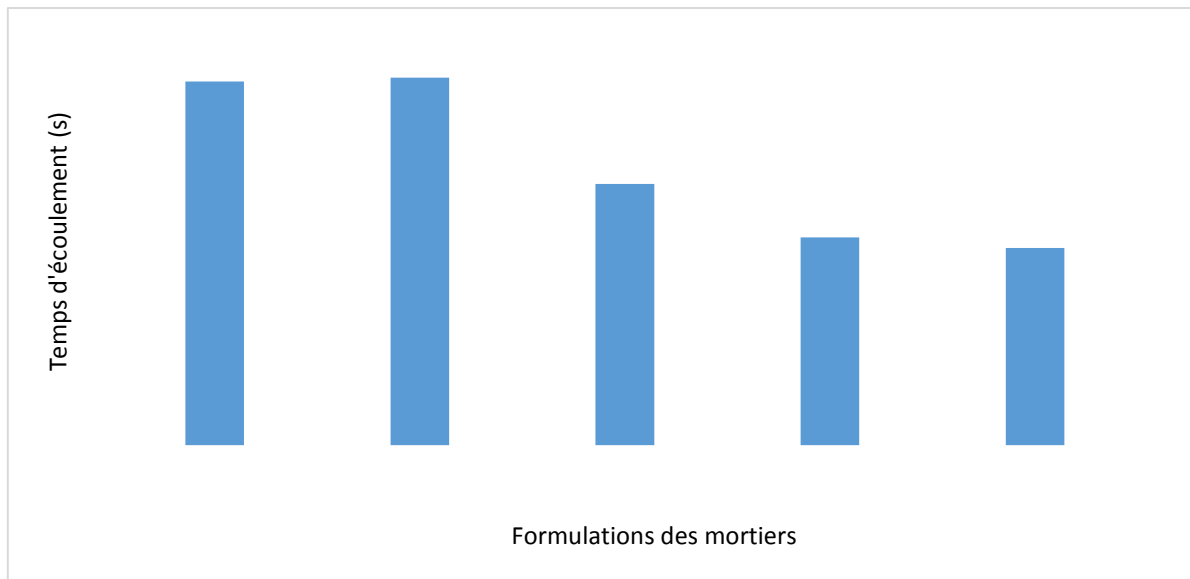


Figure III.7 : Evaluation de l'écoulement avec le mini V-Funnel

La figure III.7 résume les temps d'écoulement au mini V-Funnel observés sur les mortiers frais à base de sable concassé et sable de dune. Nous pouvons voir dans ce graphique une confirmation de l'effet positif du sable de dune sur la vitesse d'écoulement du mortier autoplaçant. Effectivement, au fur et à mesure de l'augmentation du taux de sable de dune dans le mortier, une baisse régulière des temps d'écoulements est observée.

III.3 L'état durci

Dans cette partie nous étudions les caractéristiques mécaniques des MAP, pour cela nous avons effectué des essais suivants :

Les tests menés à l'état durci aux échéances de 7 j et 28 sélectionnées ont consisté en :

- Essai à l'UPV avec l'appareil de test ultrasonique Pundit Lab.
- Essai de résistance à la compression.
- Essai de résistance à la traction par flexion.

III.3.2.1 Vitesses ultrasonores

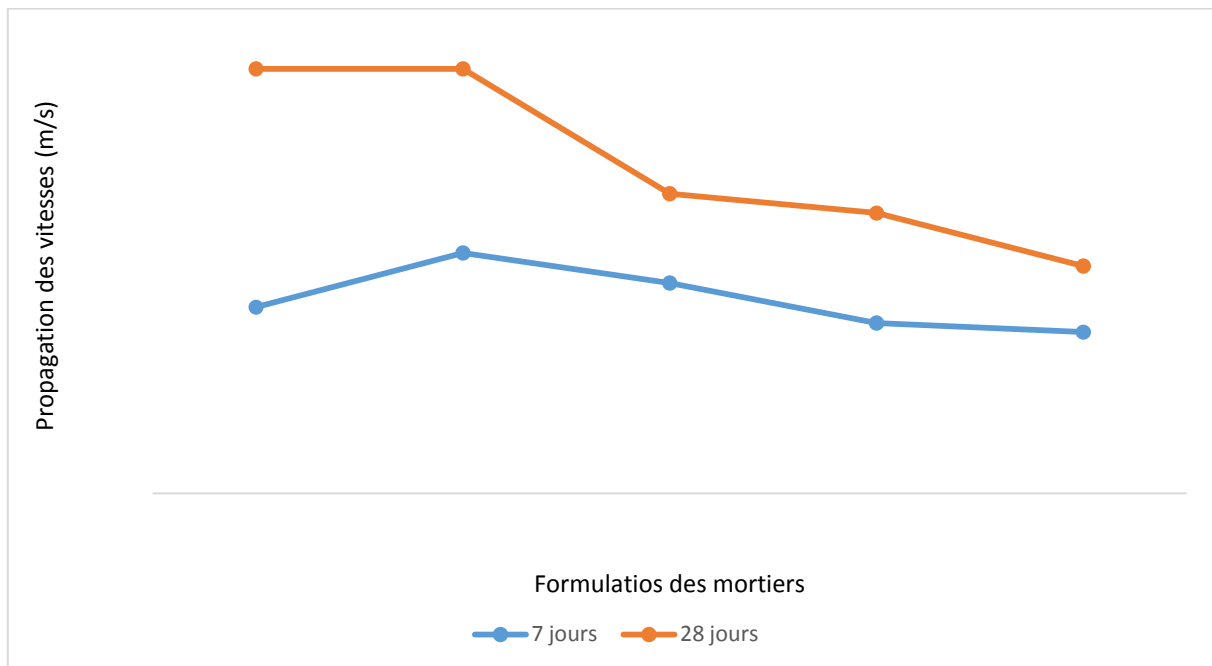


Figure III.8 : Propagation des vitesses ultrasonores dans les MAP

Avec les résultats des vitesses sur la figure III.10 nous montre une augmentation dans la propagation d'onde avec le vieillissement ; une stabilité de vitesse est observée dans les deux premiers mélanges à 28 jours, ainsi une diminution de vitesse est remarquée avec l'augmentation de l'ajout du sable de dune.

III.3.2.2 Résistance à la compression

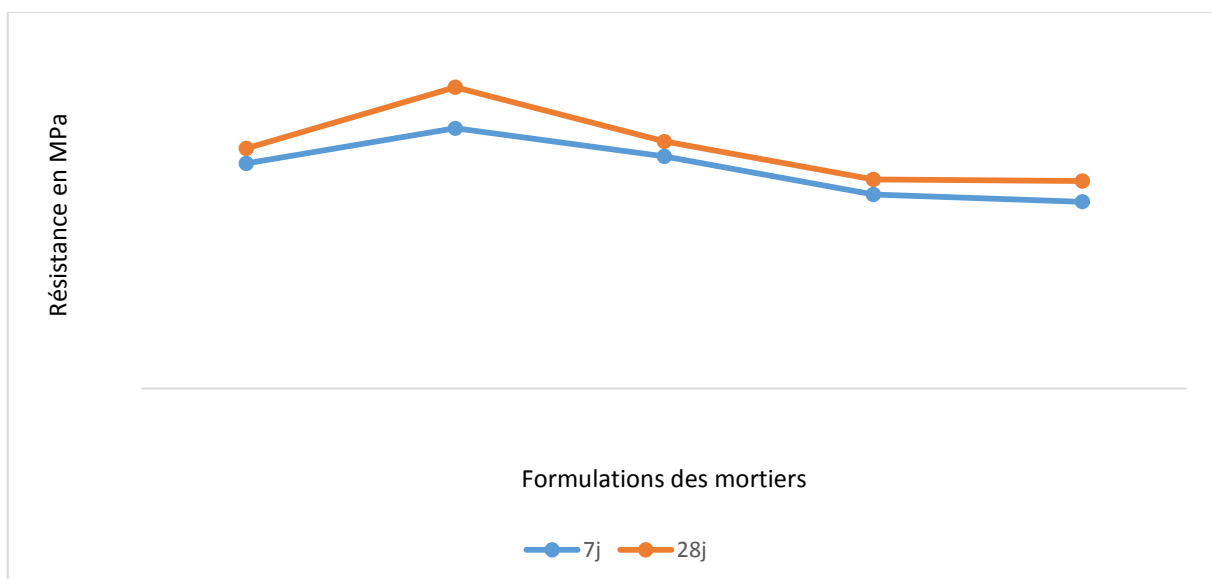


Figure III.9 : Résistance à la compression

Lors de l'essai de compression nous avons constaté que le mortier autoplaçant à base de sable concassé présente une très bonne résistance mécanique à la compression. Le mortier autoplaçant avec l'ajout de 25% de sable dunaire possède une meilleure résistance par rapport au témoin.

Cependant les mélanges (50%, 75% et 100% de sable de dune) subissent une baisse de résistance mécanique par rapport au pic observé dans le mélange à 25% de sable de dune (meilleur mélange).

III.3.2.3 Résistance à la traction par flexion

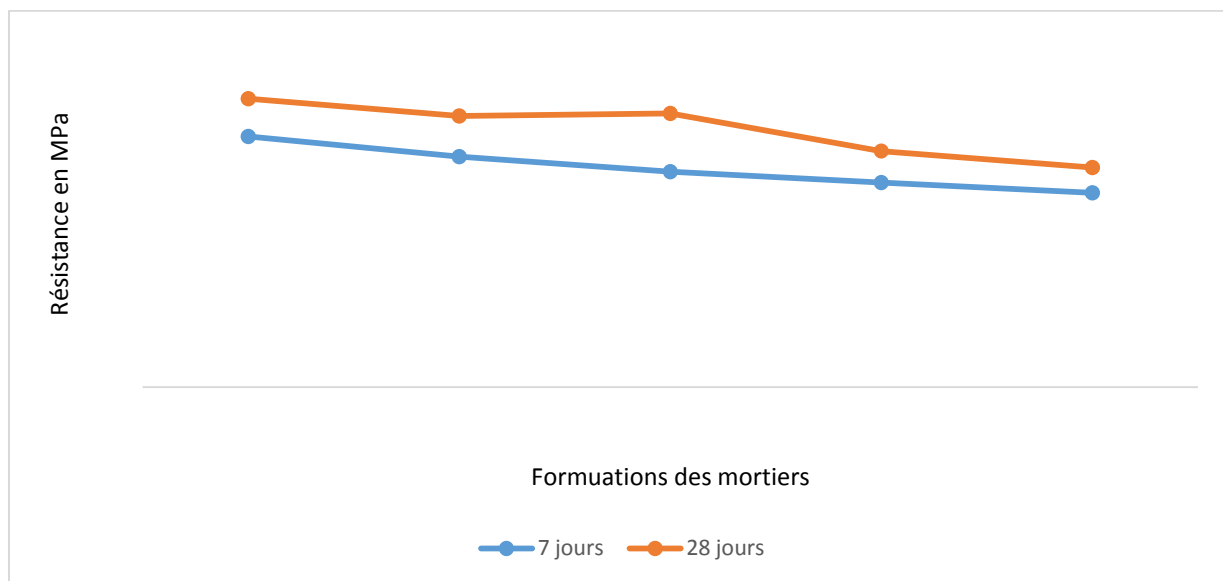


Figure III.10 : Résistance à la traction par flexion

Dans l'essai de la flexion trois points l'éprouvette du mortier autoplaçant est soumise dans sa partie supérieure à des contraintes de compression et dans sa partie inférieure à des contraintes de traction. Selon les résultats montrés dans la figure III.10, nous observons que plus le pourcentage de sable de dune augmente plus la résistance mécanique à la traction diminue indifféremment de l'échéance de mesure.

III.4 Conclusion

En conclusion, il a été constaté que les sables de rivière et concassé, peuvent être remplacés avec succès dans les mélanges de mortiers autoplaçants pour obtenir des performances et résistances meilleures.

Les conclusions suivantes peuvent être émises pour cette étude :

- Un dosage minimum de sable de dune permet d'avoir une bonne ouvrabilité pour les MAP à base du sable de rivière ; tandis qu'un léger ajustement par le SP améliore l'ouvrabilité du MAP à base de sable concassé.
- Tous les mortiers étudiés, présentent des valeurs de vitesse de propagation sonore supérieure à 4575 m/s, ce qui correspond à un mortier compact d'excellente résistance mécanique.
- L'ajout de sable de dune présente l'avantage d'augmenter les performances mécaniques des mortiers autoplaçants.
- Le sable de dune représente une alternative viable, à même de remplacer le sable ordinaire (de rivière ou concassé), tarissable et surexploité.

Conclusion générale

Les mortiers autoplaçants (MAP) sont des mortiers innovants constitués principalement d'une quantité significative en liant, sables et adjuvants. Ils sont largement utilisés pour la construction est la rénovation des structures. Cependant, le secteur de la construction est confronté à une diminution progressive des ressources en sable naturel. Dans ce contexte plusieurs chercheurs ont mené des études sur l'utilisation de sable de dune dans les MAP.

La présente étude, vient en complément des études menées précédemment. Elle nous a permis de mettre en valeur d'une part l'utilisation des sables locaux de dunes disponibles en abondance en Algérie dans l'élaboration et la caractérisation de MAP, connus pour leur comportement mécanique et rhéologique intéressant.

A la lumière des résultats obtenus, nous sommes arrivés aux conclusions générales suivantes :

Un dosage minimum de sable de dune permet d'avoir une bonne ouvrabilité pour les MAP à base du sable de rivière ; tandis qu'un léger ajustement par le SP améliore l'ouvrabilité du MAP à base de sable concassé.

Tous les mortiers étudiés, présentent des valeurs de vitesse de propagation sonore supérieure à 4575 m/s, ce qui correspond à un mortier compact de bonne résistance mécanique.

L'ajout de sable de dune présente l'avantage d'augmenter les performances mécaniques des mortiers autoplaçants.

Le sable de dune représente une alternative viable, à même de remplacer le sable ordinaire (de rivière ou concassé), tarissable et surexploité.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]- Haddad O., 1^{er} congrès international sur la technologie et la durabilité du béton à Alger, les 24,25 et 26 Mai 2004.
- [2]- Abib Z., Thèse de Magistère en Génie Civil, « *Formulation et caractérisation des bétons autoplaçants* », Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, Alger, le 06 Juillet 2006.
- [3]- Association Française de Génie Civil « *AFGC* », Bétons autoplaçants Recommandations provisoires, Juillet 2002, 63 pages.
- [4]- Seddik A, Thèse de magistère en Génie Civil, « *le béton autoplaçant sous conditions locales* », Département de Génie Civil, Université de Sétif (Algérie), Février 2008.
- [5]- Benkachkache Ghofrane, « *Etude de comportement diffère des Bétons Autoplaçants Influence des paramètres de composition et de chargement* », Thèse de Magister Novembre 2007, Université Mentouri Constantine, Novembre 2007.
- [6]- AFGC, « *Bétons Autoplaçants - Recommandations Provisoires* ». Documents Scientifiques et Technique, Page 63, 2000.
- [7]- Hanaa Fares, « *Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons Autoplaçants exposés à une Température élevée* », Thèse de Doctorat de l'Université de Cergy-Pontoise Décembre 2009,
- [8]- Okamura.H, Ozawa.K and ouchi.M, self-compacting concrète, Structural Concrete, Marsh -2000.
- [9]- Sedran.T, Rhéologies et Rhéomètre des Bétons. Application au Béton Autonivlant, Thèse de l'École Nationale des ponts et chaussées ; 1999.
- [10]- Okamura H., Ouchi M., Self-compacting Concrete, Journal of advanced concrete technology, vol 1, p5-15, 2003
- [11] CHIBANI, N., & HOUARI, H. (2014). VALORISATION DES FINES DE DECHETS DE MARBRE RECYCLEES DANS LA FORMULATION D'UN BETON AUTOPLACANT (BAP). Sciences & Technologie, 40(2), 15-21.
- [12] Okamura, H. And Ozawa, K (1995). «Mix-design for self-compacting concrete. » Concrete library of JSCE.
- [13] V Krishna Rao Mupparisetty, Faeq Ahmed Mohammed, Crushed stone dust as a replacement for river sand in self compacting repair mortars – A sustainable solution, Materials Today: Proceedings, Volume 52, Part 3, 2022, Pages 1168-1174, ISSN 2214-7853,

Références bibliographiques

- [14] Zinnur Çelik, Investigation of the use of ground raw vermiculite as a supplementary cement materials in self-compacting mortars: Comparison with class C fly ash, *Journal of Building Engineering*, Volume 65, 2023, 105745, ISSN 2352-7102,
- [15] Esra Türk, Mehmet Karataş, Murat Dener, Rheological, mechanical and durability properties of self-compacting mortars containing basalt powder and silica fume, *Construction and Building Materials*, Volume 356, 2022, 129229, ISSN 0950-0618,
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129229>.
- [16] Merve Şahin Yön, Furkan Arslan, Mehmet Karatas, Ahmet Benli, High-temperature and abrasion resistance of self-compacting mortars incorporating binary and ternary blends of silica fume and slag, *Construction and Building Materials*, Volume, 355, 2022, 129244, ISSN 0950-0618,
- [17] Veera Horsakulthai, Effect of recycled concrete powder on strength, electrical resistivity, and water absorption of self-compacting mortars, *Case Studies in Construction Materials*, Volume 15, 2021, e00725, ISSN 2214-5095,
- [18] Sihem HAMMAT, Belkacem MENADI, Said KENAI, Carlos THOMAS, Mehmet Serkan KIRGIZ, Andre Gustavo de SOUSA GALDINO, The effect of content and fineness of natural pozzolana on the rheological, mechanical, and durability properties of self-compacting mortar, *Journal of Building Engineering*, Volume 44, 2021, 103276, ISSN 2352-7102,
- [19] Salmi sara, «Etude de l'influence du laitier granulé sur le comportement des mortiers à haute température», mémoire de master en génie civil, université de m'sila, juin 2014, p4-5-6.
- [20] AGGAB.A, (2021). Comparaison de la résistance en traction des éprouvettes par différentes techniques de mesure: application aux cas du BAP élaboré avec matériaux locaux sans ajouts, Université Yahia Fares - Media
- [21] norme NF EN 197-1, Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants
- [22] DREUX Gorisse «Le nouveau guide du béton »
- [23] <http://www.infociment.fr/bétons/adjuvants>
- [24] Dad, C. (2019). Etude Comparative De l'utilisation Du Sable De Dune En Substitution Du Sable De Rivière : Cas Des Mortiers Normalisés [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri - Tizi Ouzou].
- [25] Belaribi, O. (2015). « Durabilité Des Bétons Autoplaçants À Base De Vase Et De Pouzzolane » [Thèse de Doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem].

Références bibliographiques

- [26] Dehbi, N. & Chaibet, C. (2019). Comportement Rhéologique Et Physico-mécanique Des Mortiers Autoplaçants Avec Ajouts Minéraux [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri - Tizi Ouzou].
- [27] BILLBERG P., “Influence of filler characteristics on SCC rheology and early hydration”, Nd
Proceedings of 2 International Symposium on Self-Compacting Concrete, Tokyo, Japon, pp. 285294, 23-25 october 2001.
- [29] Davalle E M, 1991.Modèle numérique du comportement d'un sol liquéfiable sou Sollicitations dynamiques.Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne,
- [30] Benchaa Benabed, El-Hadj Kadri, Lakhdar Azzouz, Said Kenai, Properties of self-compacting mortar made with various types of sand, Cement and Concrete Composites, Volume 34, Issue 10, 2012, Pages 1167-1173, ISSN 0958-9465,
- [31] Ahmed, O. & Nafe, A. (2013). Etude Des Caractéristiques Mécaniques Du Béton De Sable De Dunes Sous l'effet d'adjuvant [Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah - Ouergla].
- [32] <http://constructionmaison.ooreka.fr/>
- [33] SABLOCRITE., (1994), Bétons de sable : caractéristiques est pratique d'utilisation, Projet national de recherche et Développement, Presse de l'école National des Ponts et Chaussées, France.
- [34] BOUAZIZ.A, HAMZAOUI.R, REZIGUIS, BENNABIA « valorisation du sable de dune dans les formulation des mortiers et des bétons » université de Biskra, université Paris-Est, institut de recherche en constructibilité, ESTP/31^{ème} Rencontre de l'augc ENS Cachan, 29 au 31 mai 2013.
- [35] BENTEBBA.A.M.T, BEDADI.L, « Etude experimentale d'un béton de sable de dune pour la fabrication des dalles et prédalle armées et faiblement armée », UKMO, LTPS, Annales des Sciences et technologie Vol.3,N°1, juin 2011.
- [36] NA 2607, Granulats - Analyse granulométrique par tamisage.
- [37] NA 5113, Granulats pour béton
- [38] EN 12620, Granulats pour béton
- [39] EN 933-8, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - Équivalent de sable
- [40] NA 442-2013, Ciment - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants

Références bibliographiques

[41] NA 774, Adjuvants pour bétons, mortier et coulis fluidifiants

NA 5102 [42] Essai pour béton frais - Essais d'affrondissement

NA 5075 [43] Essai pour béton durci – Résistance à la compression des éprouvettes

[44] NF EN 196-1, Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : détermination des résistances

[45] EFNARC 2002, Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, Association House, Surrey, UK.

[46] <https://www.proviteq.com/>

[47] NF EN 12504-4 Essais pour béton dans les structures - Partie 4 : détermination de la vitesse de propagation des ultrasons

[47] ASTM C597, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete

[48] <http://www.carrieres-descombes.fr/>



SPA BISKRIA CIMENT



FICHE TECHNIQUE

CEM II/A-L 42.5 R CIMENT PORTLAND AU AJOUTS TYPE II

Ciment portland aux ajouts recommandés pour bétons à performances élevées avec une prise Rapide, destiné à la réalisation des infrastructures, construction dans le bâtiment, le génie civil, ainsi pour le domaine de préfabrication.

CEM II/A-L 42.5R:

Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013).



DOMAINES D'APPLICATION

Un ciment pour tous vos travaux de constructions, nécessitant une résistance initiale élevée, il est aussi recommandé pour les utilisations suivantes :

- ▶ Les grands ouvrages, construction et bétons armés ou non.
- ▶ Béton projeté, pompé et béton pour étanchéité.
- ▶ Article en béton et préfabrication industrielle.
- ▶ Bétonnage par temps froid ou chaud.
- ▶ Voiles en béton.



APPLICATIONS RECOMMANDEES

- ▶ Un produit adéquat qui permet de réaliser toutes les étapes de construction.
- ▶ Béton autoplaçant.



Un produit conforme aux normes et spécifications de l'Union européenne. Le marquage CE est une exigence légale pour certains produits sur le marché de l'UE.



Produit conçu et fabriqué sous un Système de Management de la Qualité certifié ISO 9001 par AFAQ-AFNOR.





FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec) 0/5	Gravillons (sec) 8/15mm 15/25mm	Eau (litres)
Dosage pour béton	50k X1 +	X7	+ X5 + X4 +	25 L
	Ciment	Sable Correcteur 0/1mm	Sable (sec) 0/4mm	Eau (litres)
Mortier de briquetage	50k X1 +	X6	+ X9	+ 35 L
Mortier de finitions	50k X1 +	X9	+ X6	+ 35 L

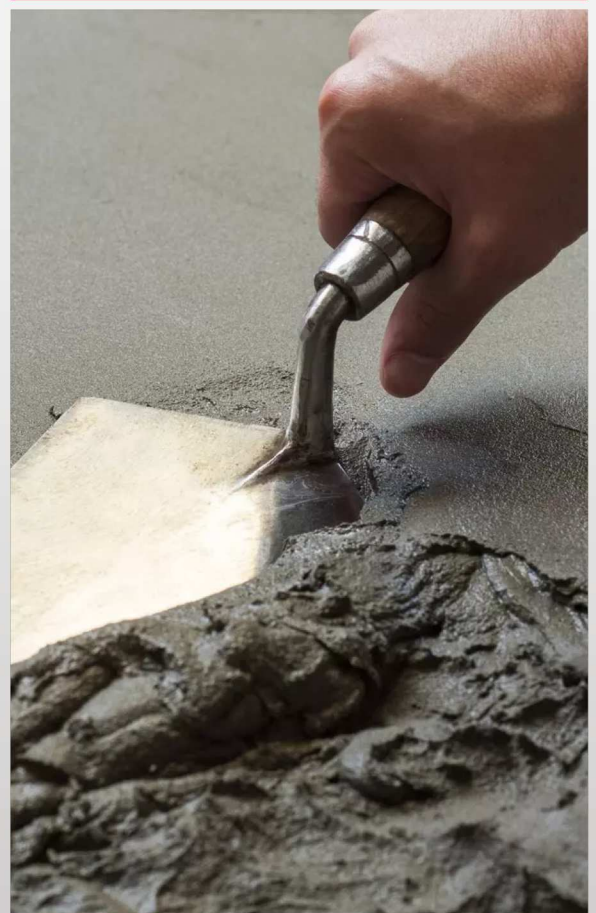
Remarque: un bidon =10 litres



CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Analyses chimiques (%)	Valeur
Perte au feu	6 – 8
Teneur en sulfates (SO3)	2.5 – 2.9
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	< 3.5
Teneur en Chlorures (Cl-)	< 0.08
Résidu insoluble	NA
Composition Potentielle du Clinker (Selon Bogue) (%)	Valeur
C3S	60 – 65
C3A	6 – 10
Propriétés physiques	Valeur
Consistance normale (%)	25.4 – 26
Expansion à chaud (mm)	< 1 mm
Temps de prise (min)	valeur
Début de prise	150 min
Fin de prise	260 min

Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	23 – 26
28 jours (MPa)	45 – 50



CONSIGNES DE SÉCURITÉ

PROTÉGEZ VOTRE PEAU:

Portez les équipements adaptés dans vos chantiers:



casques



lunettes



gants



genouillères



chaussures



vêtements de sécurité

Djar Belahrache, Branis, Biskra, Algerie

Tel: (+213) 0560 753 424

Fax: (+213) 033 62 73 92

www.biskriaciment-dz.com

contact@biskriaciment-dz.com

[f](#) [in](#) [v](#) [@](#) Biskria Ciment



01/2023

MEDAFLOW 30

Conforme à la norme NA 774 , NA 5102 et NA 5075

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 améliore 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 super plastifiant, il permet sans modifier la consistance, de réduire fortement la teneur en eau du béton.

Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet de retard de prise.

Domaines D'application

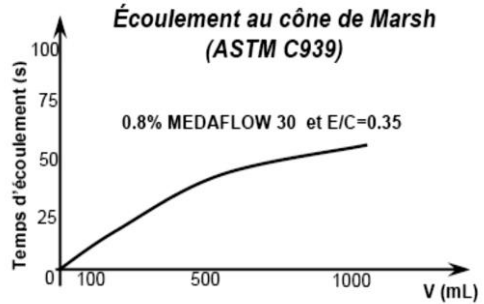
- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferrillés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP, BUHP et BFUP
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.

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



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

Caractéristique

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

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



Granl
فرائينتكس

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 - E-mail: granitex@granitex.dz



MEDAFLOW 30

Conforme à la norme NA 774 , NA 5102 et NA 5075

Super plastifiant-haut réducteur d'eau

Mode D'emploi

Le **MEDAFLOW 30** ne doit pas être ajouté directement dans l'eau de gâchage, mais après un temps préalable de malaxage et après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été ajoutée.

Le **MEDAFLOW 30** peut être aussi ajouté directement dans le camion malaxeur (toupie), et après introduction de la dose convenable, le malaxeur devra tourner à grande vitesse pendant 2 à 3 minutes après l'introduction du super plastifiant ;

Il est conseillé d'ajouter le **MEDAFLOW 30** à un béton qui ne soit pas trop ferme

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

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubique 1100kg.

Délai de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ($5^{\circ}\text{C} < t < 35^{\circ}\text{C}$).

Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

Précautions D'emploi

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

NB : La couleur des produits à base de Polycarboxylates d'Ether (PCE) lors d'une exposition aux UV, est sujette à changer de ton , mais qui n' a aucune incidence sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

PV d'essais conforme aux normes, établi par le

CNERIB en 22 AVR 2012

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



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 - E-mail: granitex@granitex.dz

