

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GENIE CIVIL

N° :



DOMAINE : GENIE CIVIL
FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : MATERIAUX

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: Ziazia Khaled

Benselama Mohamed Larbi

Intitulé

Influence du fluidifiant Medafluid 40 sur les
caractéristiques mécanique et physique d'un
mortier auto plaçant

Dr : Salim Zitouni

Dr : Mekki Maza

Université de M'sila

Université de M'sila

Encadreur

Co-encadreur

Soutenu devant le jury composé de:

.....

.....

Année universitaire : 2021 /2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Nous dédions ce travail

*À nos parents, nos frères et sœur ainsi qu'à nos amis qui
nous ont aidés.*

*Ce travail est aussi dédié à tous nos professeurs qui nous
ont accompagnés durant tout le parcours.*

...

Remerciements

*Nous tenons à remercier en premier lieu ALLAH le
miséricordieux qui nous a donné la volonté et la force
d'achever ce modeste travail.*

*Nous exprimons tout d'abord nos respectueux
remerciements à notre encadreur Monsieur SALIM
ZITOUNI docteur en génie civil de l'Université de M'sila
Mohamed Boudiaf, de nous avoir guidés et suivis, sans
oublier son aide lors de la réalisation de la partie
expérimentale, sa grande disponibilité, ses encouragements
et ses conseils.*

*Nos sincères remerciements également à notre Co-
encadreur Monsieur MEKKI MAZA docteur en génie civil
pour Ses orientations lors de la finalisation de ce travail.*

Merci à tous.

Résumé :

Afin d'obtenir un mortier innovants par l'utilisation des matériaux de construction locaux tels que : ciment, sable, les ajouts et les autres on doit garder les trois axes principaux à respecter : l'aspect environnemental, l'aspect économique, l'aspect technologique.

Cette étude a pour objectif de voir l'influence du fluidifiant (**Medafluid 40**) sur les caractéristiques mécaniques et physiques d'un mortier auto plaçant auto nivelant utilisé dans la pose dalle de sols, la chape, plateforme....etc.

Dans cette recherche on a utilisé trois combinaisons, et pour chaque combinaison on a utilisé quatre formulations.

Dans toutes les combinaisons il y a un pourcentage fixe de 5% de poudre de marbre en poids de ciment, nous avons utilisé les pourcentages d'adjuvant (**MEDAFLUID 40**) : (0,0.5, 1 et 1.5 %) en poids du ciment, ces pourcentages sont utilisés dans toutes les combinaisons.

Pour chaque combinaison, nous avons utilisé des proportions différentes de ciment et de sable.

La première combinaison (**C1**) on a utilisé 50% ciment 50% sable mixte (40% sable alluvionnaire, 60% sable de dune).

La deuxième combinaison (**C2**) nous avons utilisé 60% ciment 40% sable mixte

La troisième combinaison (**C3**) nous avons utilisé 70% ciment 30% sable mixte

Pour chaque formulation nous avons quatre essais que nous devons effectuer à l'état frais (avant durcissement) et qui sont :

1. Essai de l'Entonnoir En V (V-Funnel).
2. Essai de l'étalement au Mini-Cône.
3. Essai de ressuage.
4. Essai au bac en plexiglas.

Pour chaque formulation nous avons coulé 12 éprouvettes, après durcissement on a deux essais que nous devons faire et qui sont :

1. Essai de résistance à traction par flexion.
 2. Essai de résistance à la compression.
-

Abstract:

In order to obtain an innovative mortar by the use of local construction materials such as: cement, sand, additions and others, we must keep the three main axes to be respected: the environmental aspect, the economic aspect, and the technological aspect.

The objective of this study is to see the influence of the fluidifier (Medafluid 40) on the mechanical and physical characteristics of a self-placing, self-leveling mortar used in laying floor slabs, screeds, platforms, etc.

In this research three combinations were used, and for each combination four formulations were used.

In all combinations there is a fixed percentage of 5% marble powder by weight of cement, we used the percentages of adjuvant (MEDAFLUID 40): (0.0.5, 1 and 1.5%) by weight of cement, these percentages are used in all combinations.

For each combination, we used different proportions of cement and sand.

The first combination (C1) used 50% cement 50% mixed sand (40% alluvial sand, 60% dune sand).

The second combination (C2) we used 60% cement 40% mixed sand

The third combination (C3) we used 70% cement 30% mixed sand

For each formulation we have four tests that we must carry out in the fresh state (before hardening) and which are:

V-Funnel Trial.

Mini-Cone spreading test.

Penetrate testing.

Plexiglas tray test.

For each formulation we cast 12 specimens, after hardening we have two tests that we must do and which are:

Tensile strength test by bending.

Compressive strength test.

ملخص :

من أجل الحصول على ملاط مبتكر من خلال استخدام مواد البناء المحلية مثل: الأسمنت والرمل والإضافات وغيرها ، يجب علينا الأخذ بعين الاعتبار المحاور الرئيسية الثلاثة: الجانب البيئي ، الجانب الاقتصادي ، الجانب التكنولوجي.

تهدف هذه الدراسة إلى دراسة تأثير المميع (Medafluid 40) على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لملاط ذاتي التوضع يستخدم في وضع بلاطات الأرضية و انجاز أرضيات مستوية و غير ذلك من الاستعمالات الاخرى.

تم استخدام ثلاث مجموعات من الخلانط في هذا البحث ، وتم استخدام أربع تركيبات لكل مجموعة.

في جميع التركيبات توجد نسبة ثابتة من مسحوق الرخام 5٪ بوزن الأسمنت ، استخدمنا النسب المئوية للمادة المساعدة (MEDAFLUID 40) : (0, 0.5, 1, 1.5%) من وزن الأسمنت ، وتستخدم هذه النسب في كل المجموعات.

لكل مجموعة ، استخدمنا نسب مختلفة من الأسمنت والرمل.

المجموعة الأولى (C1) استخدمت 50٪ أسمنت و 50٪ رمل مختلط (40٪ رمل طمي، 60٪ رمل كثيب).

المجموعة الثانية (C2) استخدمنا 60٪ أسمنت و 40٪ رمل مختلط

المجموعة الثالثة (C3) استخدمنا 70٪ أسمنت 30٪ رمل مختلط

لكل صيغة لدينا أربعة اختبارات يجب أن نجريها في الحالة الطازجة (قبل التصلب) وهي:

1. V-Funnel Trial.

2. اختبار انتشار الملاط في المخروط الصغير.

3. اختبار صعود المياه فوق السطح الحر للملاط .Ressuage.

4. اختبار الصندوق الزجاجي (Essai au bac en plexiglas).

لكل صيغة نضع 12 عينة، بعد التصلب لدينا اختبارين يجب علينا القيام بهما وهما:

1. اختبار قوة الشد عن طريق الانحناء.

2. اختبار قوة الانضغاط.

Table des matières

Dédicaces	i
Remerciements	ii
Résumé :	iii
Abstract:	iv
ملخص:	v
Table des matières	i
Liste des Figures	iii
Liste des Tableaux	v
Introduction générale	1
Introduction générale	2
Chapitre I. Recherche Bibliographique	3
Chapitre I. Recherche Bibliographique	4
I.1 Introduction	4
I.2 Les mortiers.....	4
I.2.1 Définition	4
I.2.2 Type de mortier :	5
I.2.3 Caractéristiques des mortiers :	8
I.2.4 Emploi des mortiers :	9
I.3 Mortier autoplaçants :	11
I.3.1 Définition de MAP :	11
I.3.2 Structure de MAP :	12
I.3.3 Méthodes de formulation :	13
I.3.4 Caractérisation de MAP à l'état frais :	14
I.3.5 Caractérisation de MAP à l'état durci :	16
I.4 Sable :	19
I.4.1 Définition :	19
I.4.2 Choix du sable :	19
I.4.3 Caractéristiques des sables :	20
I.4.4 Classification des sables :	20
I.4.5 Types De Sable :	22
I.4.6 Module De Finesse (Mf) :	23
I.5 Le Ciment :	24
I.5.1 Définition :	24
I.5.2 Les constituants du Ciment :	24
I.5.3 Les différents types de ciment :	25
I.6 L'eau De Gâchage :	25
I.7 Adjuvants :	26
I.8 L'ajout (La poudre de marbre) :	27
I.9 Résumé des articles :	27

I.9.1	1 ^{ère} étude bibliographique :.....	27
I.9.2	2 ^{ème} étude bibliographique :.....	30
I.10	Conclusion :.....	37
Chapitre II.	Caractéristiques des matériaux.....	38
Chapitre II.	Caractéristiques des matériaux.....	39
II.1	Introduction	39
II.2	Matériaux utilisés :	39
II.3	Caractéristiques des matériaux:.....	39
II.3.1	Sable :	39
II.3.2	Le ciment :	48
II.3.3	L'eau De Gâchage :.....	50
II.3.4	Les Adjuvants :	51
II.3.5	La poudre de marbre :.....	51
Chapitre III.	Résultats Et Discussions	53
Chapitre III.	Résultats Et Discussions.....	54
III.1	Dénomination des différents mélanges :.....	54
III.2	Composition de mortier auto plaçant pour 1m ³ :	55
III.3	Essais Sur Mortier Auto Plaçant Frais :.....	56
III.3.1	Essai Au Mini Cône D'étalement :	56
III.3.2	Essai Au Mini V-Funnel :.....	59
III.3.3	Essai Au Bac En Plexiglas :.....	62
III.3.4	Essai de ressuage :.....	62
III.4	Essais sur mortier auto plaçant durci :	63
III.4.1	Résistance à la traction par flexion :.....	63
III.4.2	Résistance à la compression :.....	66
III.5	Influence du pourcentage d'adjuvant sur la résistance mécanique :	69
Conclusion générale	71	
Conclusion générale	72	
Références bibliographiques.....	74	
Références bibliographiques.....	75	
Annexes.....	A-1	

Liste des Figures

Figure I-1– Constituants des mortiers [1].	4
Figure I-2– Schéma du cycle.	7
Figure I-3– Étalement au Mini cône de mortier auto placent.	14
Figure I-4– Dimensions de Mini cône à mortier.	15
Figure I-5– Essai de l’entonnoir en V.	16
Figure I-6– Déroulement de l’essai d’entonnoir en mini v (v-funnel).	16
Figure I-7– Dispositif pour l’essai de résistance à la flexion.	17
Figure I-8– L’appareil de résistance à la flexion par traction.	17
Figure I-9– Dispositif pour l’essai de résistance à la compression.	18
Figure I-10– L’appareil de compression.	18
Figure I-11– courbe granulométrique des différents cas. [25].	24
Figure I-12 L’essai V-funnel	31
Figure I-13 Essai d’étalement au cône (slump flow)	32
Figure I-14 Action des super plastifiants - Défloculation des grains de ciment [20].	34
Figure I-15 La valeur limite conseillée est inférieure ou égale 3 ‰ en volum.	36
Figure II-1– Les tamis de l’analyse granulométrique.	41
Figure II-2– Courbe granulométrique dans différents cas.	41
Figure II-3– Courbe d’analyse granulométrique des sables.	42
Figure II-4– Détermination de la masse volumique absolue d’un matériau.	43
Figure II-5– Essai de la masse volumique absolue exécuté au laboratoire.	44
Figure II-6– Essai d’équivalent de sable.	47
Figure II-7– Essai équivalent de sable exécuté au laboratoire.	47
Figure II-8– La poudre de marbre	51
Figure III-1– Variation de l’étalement au mini cône pour C1.	57
Figure III-2– Variation de l’étalement au mini cône pour C2.	57
Figure III-3– Variation de l’étalement au mini cône pour C3.	58
Figure III-4– L’étalement au mini cône en fonction du pourcentage d’adjuvant	58
Figure III-5– Temps d’écoulement au mini V- Funnel pour C1	59
Figure III-6– Temps d’écoulement au mini V - Funnel pour C2	60
Figure III-7– Temps d’écoulement au mini V- Funnel pour C3 (E/L=0.5).	61
Figure III-8– Temps d’écoulement au mini V- Funnel en fonction du pourcentage d’adjuvant	61
Figure III-9– Photos montrant la planéité de la surface libre des différentes combinaisons.	62
Figure III-10– Ressuage en fonction du pourcentage d’adjuvant	63
Figure III-11– Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différents combinaison (0% d’adjuvant).	64

Figure III-12– Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différents combinaison (0.5% d’adjuvant).....	64
Figure III-13– Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différents combinaison (1% d’adjuvant).....	65
Figure III-14– Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différents combinaison (1.5% d’adjuvant).....	66
Figure III-15– Variation de la résistance à la compression en fonction de temps pour différents combinaison (0% d’adjuvant).....	67
Figure III-16– Variation de la résistance à la compression en fonction de temps pour différents combinaison (0.5% d’adjuvant).....	67
Figure III-17– Variation de la résistance à la compression en fonction de temps pour différents combinaison (1% d’adjuvant).....	68
Figure III-18– Variation de la résistance à la compression en fonction du temps pour différents combinaison (1.5% d’adjuvant).....	69
Figure III-19– Résistance à la traction par flexion à 28J en fonction du pourcentage d’Adjuvant (%).....	70
Figure III-20– Résistance à la Compression à 28J en fonction du pourcentage d’adjuvant (%).....	70

Liste des Tableaux

Tableau I-1 Classification de sables en fonction de sa composition (teneurs en % massique).	21
Tableau II-1 L'analyse granulométrique des sables.	42
Tableau II-2 Classement de sable.	43
Tableau II-3 Masse volumique absolue du sable de dune.	44
Tableau II-4 Masse volumique absolue du sable alluvionnaire.	45
Tableau II-5 Masse volumique absolue du sable mixte.	45
Tableau II-6 Masse volumique apparente du sable de dune.	45
Tableau II-7 Masse volumique apparente du sable alluvionnaire.	46
Tableau II-8 Masse volumique apparente du sable mixte.	46
Tableau II-9 Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable [29].	48
Tableau II-10 Résultats obtenus pour l'équivalent de sable de dune.	48
Tableau II-11 Résultats obtenus pour l'équivalent de sable alluvionnaire.	48
Tableau II-12 Caractéristiques Physico - Mécaniques	49
Tableau II-13 Caractéristiques chimiques du CPJ.	50
Tableau II-14 Caractéristiques chimiques de l'eau de gâchage.	50
Tableau II-15 Caractéristique de l'adjuvant «MEDAFLUID 40».	51
Tableau II-16 Propriétés de «MEDAFLUID 40» à l'état frais et durci.	51
Tableau II-17 Caractéristiques physiques du marbre	52
Tableau II-18 Caractéristiques chimiques du marbre	52
Tableau III-1 pourcentage des matériaux pour les combinaisons C₁, C₂, C₃.	55
Tableau III-2 Composition des mortiers pour les différentes combinaisons	56
Tableau III-3 L'étalement relatif au mini cône pour C₁ (E/L=0.5).	56
Tableau III-4 L'étalement relatif au mini cône pour C₂ (E/L=0.5).	57
Tableau III-5 L'étalement relatif au mini cône pour C₃ (E/L=0.5).	58
Tableau III-6 Temps d'écoulement au mini V - Funnel pour C₁ (E/L=0.5).	59
Tableau III-7 Temps d'écoulement au mini V - Funnel pour C₂ (E/L=0.5).	60
Tableau III-8 Temps d'écoulement au mini V - Funnel pour C₃ (E/L=0.5).	60
Tableau III-9 Ressuage pour différents combinaison (0% d'adjuvant)	62
Tableau III-10 Résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différents combinaison (0% d'adjuvant)	63
Tableau III-11 Résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différents combinaison (0.5% d'adjuvant)	64
Tableau III-12 Résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différents combinaison (1% d'adjuvant)	65
Tableau III-13 Résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différents combinaison (1.5% d'adjuvant)	65

Tableau III–14 Résistance à la compression en fonction de temps pour différents combinaison (0% d’adjuvant)	66
Tableau III–15 Résistance à la compression en fonction de temps pour différents combinaison (0.5% d’adjuvant)	67
Tableau III–16 Résistance à la compression en fonction de temps pour différents combinaison (1% d’adjuvant)	68
Tableau III–17 Résistance à la compression en fonction du temps pour différents combinaison (1.5%d’adjuvant)	68
Tableau III–18 Résistance à la traction par flexion à 28J en fonction du pourcentage d’Adjuvant	69
Tableau III–19 Résistance à la compression à 28J en fonction du pourcentage d’Adjuvant.	70

Introduction générale

Introduction générale

Le mortier est le mélange à consistance de pâte du ciment, d'un liant et d'agréats avec de l'eau, il est indispensable à presque tous les travaux de maçonnerie, notamment pour monter un mur de brique ou de pierres, pour lequel il jouera le rôle essentiel de colle, permettant de solidariser les éléments entre eux. Il assure ainsi la cohésion et la bonne répartition des charges du mur.

L'optimisation du mortier avec le temps, consiste à lui ajoute un produit (adjuvant) incorporé en faible dose dans le mortier pour modifie leurs propriété (Caractéristique mécanique, temps de prise et maniabilité ...etc.)

Pour rendre un mortier auto plaçant aussi fluide. L'opération de l'ajout de l'adjuvant qui a le rôle d'augmenter la fluidité du mortier auto plaçant a permis une bonne maniabilité et une incursion élevée.

Les mortiers auto plaçant sont des mortiers très fluides, qui se mettent en place sans vibration. Ce qui nous a permis de facilite la mise en œuvre.

Pour obtenir un mortier auto plaçant, l'adjuvant est un élément axial dans la formulation du mortier, c'est ce que nous avons appliqué dans notre expérience avec l'utilisation de l'adjuvant plastifiant **MEDAFLUID 40**.

Le présent travail consiste à :

- formuler un mortier fluide auto plaçant (MAP).
- Analyser les caractéristiques physique et mécanique du MAP après ajout de l'adjuvant (**Medafluid 40**) dans le mélange de mortier.
- Etudier L'effet de l'adjuvant sur le ressuage, l'étalement, la planéité du mortier et le temps d'écoulement au V-funnel
- Etudier les caractéristiques mécanique et physique du MAP
- Améliorer la qualité du mortier auto-plaçant.

Chapitre I. Recherche Bibliographique

Chapitre I. Recherche Bibliographique

I.1 Introduction

Le mortier est le matériau de construction le plus répandu à l'époque actuelle, à cause de sa résistance en donnant un monolithisme à la construction, il est destiné à réaliser des éléments structuraux dans le domaine du bâtiment et du génie civil. Il est composé de plusieurs constituants élémentaires, le mortier de sable présente beaucoup d'avantages tels que : la petite granularité, la bonne résistance, le bel aspect de surface, l'absence de ségrégation, la facilité de mise en œuvre, etc. Le premier chapitre est consacré à la connaissance des mortiers (définition, types caractéristiques, méthode de formulation, utilisations, domaine d'application ...).

I.2 Les mortiers

Les mortiers sont très utilisés pour des travaux de tous types, ces derniers se déclinent en divers produits, qu'ils soient de ciment, de chaux ou de résine, tous ne s'utilisent pas de la même façon [1].

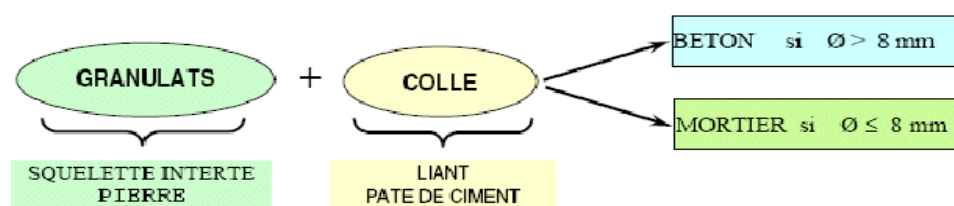


Figure I-1– Constituants des mortiers [1].

I.2.1 Définition

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

d'adjuvant.

Dans ce chapitre, nous présenterons les différents types ainsi que les caractéristiques principales. [1]

I.2.2 Type de mortier :

Selon la nature de liant, on classe les mortiers de construction en deux catégories, les premiers se durcissent uniquement à l'air libre et les seconds sous l'eau et à l'air libre.

I.2.2.1 Mortiers hydrauliques :

Depuis l'antiquité, les mortiers ont fait l'objet de recherches dans l'amélioration de leurs caractéristiques. Soit dans la nature du liant, le mode de préparation, le type d'agrégats et la nature des adjuvants, on vise souvent à améliorer leur résistance mécanique à la compression.

Ces types de mortiers font leurs durcissements à l'air libre ou même sous l'eau, une fois qu'ils sont durcis, ils résistent à l'action destructrice de l'eau et même salée. Cette double fonction permet leurs vastes utilisations.

I.2.2.2 Mortiers de chaux :

La chaux ne peut former le mortier hydraulique que par réaction avec la silice ou l'alumine. Cette réaction n'est possible qu'à haute température (ciment moderne) ou à température ambiante, si on utilise des formes de silice ou d'alumine très réactive (béton romain antique) [2].

Pour faire augmenter la résistance de mortier, on lui fait subir une cuisson, cela est confirmé par Torrac G. [2] : « ... si l'on mélange énergiquement, ce qui entraîne une meilleure introduction d'air, on obtient aussi un matériau plus facile à travailler sans qu'il soit nécessaire d'ajouter trop d'eau. Ce type de mortier a un inconvénient principal, il s'agit de son durcissement très lent et peut même ne pas durcir du tout en atmosphère très humide ».

I.2.2.3 Mortier en terre :

Les argiles non cuites sont les principaux liants de la terre. Ce principe est ancré dans la culture de la construction dans maintes régions du monde [3]. Ces cristaux sont dispersés irrégulièrement dans une forme flocculée qui n'est pas très plastique, mais si on la laisse immergée pendant un certain temps et sous l'effet biologique, la disposition des cristaux

change et passe à une forme dispersée qui permet aux argiles d'être plus plastique. Dans ce cas, l'argile prend et retrouve ses propriétés cohésives et peut alors lier la terre.

La plupart des terres sont constituées d'argile, d'une proportion de limon, du sable et des graviers. Les particules les plus grandes donnent à la terre sa structure, alors que l'argile la lient lui donne sa cohésion.

Pour fabriquer un mortier en terre, l'ajout d'un liant (chaux, plâtre) garantit une meilleure cohésion, une meilleure compacité et une durabilité de la construction, objet d'agression et d'attaque des agents climatiques extérieurs. Ainsi, l'ajout des matériaux fibreux (paille de belou de riz et poil animal, etc.) lui confère une augmentation de sa résistance à la traction de mortier. Aussi, l'ajout de certain additif fait améliorer les performances des mortiers. Les nombreuses recherches effectuées au moyen âge sur l'amélioration des performances de mortier, ont montré que plus on utilise un mortier chauffé plus on augmente ses performances mécaniques à savoir la résistance à la compression.

Quant au chaînage, les édifices peuvent être ou pas du tout chaîné. On réalise le chaînage d'une façon efficace en encastrant horizontalement des bois de 15 cm de diamètre environ assemblés aux angles.

Les rondins sont encastrés dans l'épaisseur du mur, noyés dans un bain de mortier de chaux et de sable s'ils sont en sapin, et dans du plâtre ou de la terre s'ils sont en chêne.

A travers les différentes études effectuées dans ce domaine, il a été démontré que le rapport entre la hauteur et l'épaisseur du mur est légèrement supérieur à 10. Ainsi les murs de 50 cm d'épaisseur permettent de monter jusqu'à 7m de hauteur. Quant à la construction plus basse, il ne sert à rien de diminuer l'épaisseur en dessous de 40 cm, est cela pour des raisons pratiques.

I.2.2.4 Mortiers aériens :

Leurs noms indiquent la nature du liant utilisé c'est-à-dire à base du liant aérien qui fait leur durcissement uniquement à l'air libre.

I.2.2.5 Mortier de chaux aérienne :

Dans ce type de mortier, on utilise la chaux aérienne en pâte mélangée avec les différents agrégats. La réaction entre les différents constituants nous amène souvent à la formation des mortiers hydrauliques.

La Figure (1.2) explique les différentes étapes de transformation de la chaux aérienne avec l'ajout du sable et d'autres agrégats. L'ajout de cendre, de silice et de la terre contenant des agrégats, etc. conduit à l'hydraulicité des mortiers dans une opération dite : pouzzolanique.

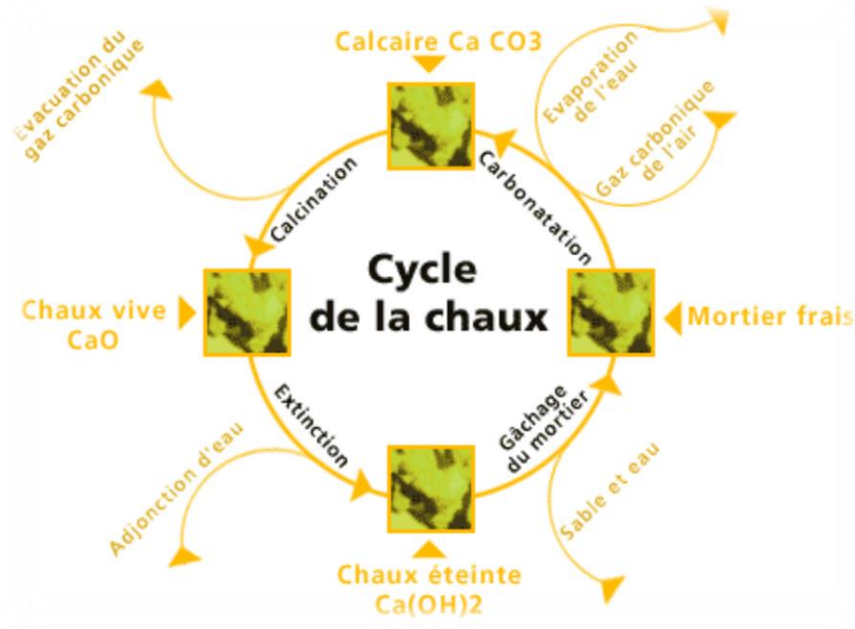


Figure I-2– Schéma du cycle.

I.2.2.6 Mortier de plâtre :

On ne peut obtenir du mortier avec le plâtre ordinaire, néanmoins on peut l'obtenir avec le plâtre à plancher et le plâtre aluné (pierres reconstituées). Il peut être utilisé pour ouvrage léger, bien protégé de l'humidité avec l'emploi de gravillons et de sable, un rapport eau/plâtre ne dépasse pas 0,80, et un dosage en plâtre ne dépasse pas 300 à 350 kg de plâtre par mètre cube [4].

Avec ce liant, les résultats obtenus du point de vue mécanique n'en seraient pas améliorés, ce qui le distingue avec les bétons de ciment. On peut escompter une résistance à la compression, à 28j de prise, de l'ordre de 50 à 100 kg/cm², suivant la qualité du plâtre utilisé.

Ces valeurs s'entendent pour des bétons de plâtres bien secs car l'effet de l'humidité fait réduire leur résistance à des valeurs assez basses.

Dans certaines régions d'Algérie, par exemple dans les maisons mozabites, on trouve certains enduits de revêtement à base du plâtre et du sable, ce mortier est appelé timchent.

I.2.3 Caractéristiques des mortiers :

Depuis des années, les mortiers font l'objet de développement spectaculaire dans l'amélioration de leurs caractéristiques intrinsèques et extrinsèques qui sont dues une grande part aux meilleurs choix de composition.

I.2.3.1 Mortiers de chaux hydrauliques :

Prise des chaux hydrauliques [5]. Avec l'eau, la chaux et d'autres éléments de silice, d'alumine de fer et de calcium forment des hydrates insolubles qui confèrent au liant un caractère hydraulique.

Par la suite, au contact de l'air humide, la chaux et les hydrates ainsi formés vont se carbonater (avec le gaz carbonique de l'air) pour redonner le carbonate de calcium et la silice d'origine.

Cette réaction prend plusieurs mois : c'est la partie aérienne de prise.

I.2.3.2 Mortier du plâtre :

Les mortiers du plâtre sont destinés généralement comme enduit de revêtement des maçonneries à l'intérieur des constructions. Parmi ces caractéristiques :

- Isolant acoustique,
- Régulateur d'hygrométrie (anti-condensation),
- Isolant thermique, le coefficient de conductivité thermique est de 0.87
- Corrode le fer et l'acier
- En raison de sa solubilité, le plâtre ordinaire ne peut être utilisé pour les extérieurs, sauf s'il est revêtu d'un enduit imperméable, une solubilité de 6.3 g/l.
- Son PH est dans les environs de 6 à 6.5
- Un enduit de plâtre, par sa structure monolithique, s'oppose à toute transmission de micro beset autres.
- La résistance à la compression peut varier entre 50 et 100 Kg/cm², suivant la qualité du plâtre employée. La résistance à la traction est de 5 à 10 kg/ cm².

I.2.3.3 Mortier de terre :

Ce type de matériau possède une certaine déformabilité en compression et cisaillement. Ce qui le qualifie comme un matériau intéressant pour le parasismique. Si l'on veut construire en terre dans les régions séismiques, il est possible de l'associer avec un autre matériau, résistant à la tension, le bois par exemple. C'est ce qui se fait à Armenia en Colombie ou le bâtiment ancien est constitué essentiellement de murs en treillis de bambou remplis de terre. Mais l'on peut aussi construire en utilisant des formes adaptées et validées par l'histoire, et c'est le cas en Italie, avec des murs en pierres bâties à la terre, comme sur la plupart des côtes méditerranéennes, plus épais en bas qu'en haut, ou en construisant en terre damée (pisé) avec des contreforts comme dans l'Alentejo portugais [6].

Il n'existe pas à l'heure actuelle de normalisation pour tous les modes d'utilisation de la terre dans la construction. Seuls, les pays industrialisés ont mis au point des essais précis sur les performances minimales de matériau. Cette procédure permet aux entrepreneurs et aux compagnies une assurance d'apporter les garanties nécessaires dans un cadre de production contrôlée.

La résistance mécanique à la compression qui est une propriété importante dans ce genre de construction. Elle est de 50 à 100 bars, dans le cas de la stabilisation au ciment par contre, elle est moins quand il s'agit de la stabilisation à la chaux : 30 à 80 bars. Ainsi, dans ce genre de construction n'exclut pas l'effet de l'humidité, car la résistance à la compression du matériau humide réduit environ la moitié de sa résistance à sec. Sa résistance à la traction est de 1/5 de la résistance à la compression. Le module d'Young est : 700 à 70 000 bars.

I.2.3.4 Mortiers bâtards :

Ce sont des mortiers qui se constituent de plusieurs liants avec éventuellement d'ajout d'agrégats et d'autres additifs.

I.2.4 Emploi des mortiers :

Selon la composition et la résistance recherchée, on distingue plusieurs sortes de mortiers employés dans divers ouvrages, mais on se limite dans notre travail à présenter les mortiers d'hourdages et les enduits de revêtements.

I.2.4.1 Les mortiers de maçonnerie ou d'hourdage :

C'est sous la forme de liant que la chaux est utilisée en maçonnerie, c'est-à-dire mélangé à des proportions variables des matériaux divers, soit des agrégats comme : le sable, la brique pilée, etc. ou l'argile. Sans les agrégats la chaux très épaisse se fissure en séchant à cause de la perte de volume.

La confection du mélange se fait avec un apport progressif d'eau et un brassage long et méthodique jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène, cette opération dite gâchage.

I.2.4.2 Les enduits :

C'est une mince couche de mortier appliqué sur les parements d'un ouvrage.

Au moyen âge, Viollet-le-Duc posait le problème du rapport entre structure et décor : Une conception architectonique comporte-t-elle sa décoration ou bien la décoration est-elle appelée par l'architecte lorsque la composition de l'édifice est arrêtée, Plusieurs réponses ont été adoptées, dans l'ensemble pour masquer la structure, régulariser les surfaces et les protéger des agressions extérieures [7].

Dans le bâtiment, un enduit désigne le plus souvent une ou plusieurs fines couches contenues d'un matériau plastique (plâtre, chaux, ciment ou mortier, terre, ...), dont on revêt un support en vue de son unité, et/ou de sa protection [1].

➤ Rôle

Les enduits ont plusieurs rôles dans les édifices, on cite :

- ✓ La protection et l'isolation contre l'humidité due aux intempéries ou remontées capillaires,
- ✓ Isolation thermique et acoustique,
- ✓ Adhère aux matériaux, pour mieux transmettre les charges ou créer un écran durable contre les agressions externes, gaz, humidité, etc.
- ✓ La présentation, pour dresser les surfaces inégales.

I.2.4.3 Les chapes :

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition : on y incorpore alors souvent des produits spécifiques. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. Les

chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels).

Adhérente ou flottante, la chape peut également avoir une fonction thermique ou acoustique. Ces ouvrages sont décrits dans la norme NF P 14-201 « DTU 26.2. Travaux de bâtiment. Chapes et dalles à base de liants hydrauliques. ».

I.3 Mortier autoplaçants :

I.3.1 Définition de MAP :

Les mortiers autoplaçants sont des mortiers très fluides, qui se mettent en place sans vibration.

Lors du coulage dans un coffrage, le serrage d'un BAP est assuré sous le simple effet de la gravité, grâce à leur formulation, et homogènes et stables, Il épouse ainsi des formes de coffrage les plus complexes [8]. En général, les MAP possèdent les mêmes constituants que les MO, à savoir, le ciment, l'eau, le sable. À ces trois constituants viennent s'ajouter les fines et les adjuvants selon la propriété demandée. Les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie.

Les MAP se développent aujourd'hui partout dans le monde. Cependant, les données disponibles à leur sujet montrent que leur formulation est encore différente d'un pays à un autre. Par ailleurs, les chercheurs se trouvent confrontés à une autre difficulté lorsqu'ils s'intéressent à ce sujet. En effet, il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode de formulation généralisée permettant d'arranger les divers constituants de MAP, au nombre minimal de six, en fonction d'un cahier des charges donné. Par conséquent, les formulateurs ont actuellement conçu leurs BAP de manière empirique.

En effet, la manière de formulation formulé de ce matériau composite, béton, a une incidence directe sur ces propriétés intrinsèques. À ce titre, une bonne composition est conditionné par plusieurs paramètres et notamment par le choix judicieux de la phase inerte car elle occupe plus de 70% du volume total du béton ce qui constitue par conséquent le squelette résistant de ce matériau.

I.3.2 Structure de MAP :

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

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

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

Le rôle de l'expérimentateur ainsi que la démarche expérimentale de l'élaboration de la pâte de ciment sont deux éléments importants, compte tenu de la sensibilité du comportement de cette dernière. La pâte de ciment est confectionnée à partir des quatre composantes (ciment, filler, plastifiant, eau). [9]

a. Un volume de pâte élevé :

Les frottements entre les gravillons limitent l'écoulement des bétons. C'est pourquoi, le MAP contient un volume de pâte important dont le rôle est d'écarter les gravillons les uns des autres [10].

b. Une quantité importante de fines :

Pour leur assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les MAP contiennent une quantité de fines supérieures à celle des mortiers. Toutefois, pour éviter des problèmes d'élévation excessive de la température lors de l'hydratation ainsi que pour abaisser leur coût global, le liant est souvent un composé binaire [11], voire ternaire [12] ; ciment portland mélangé avec cendres volantes, laitier, fillers calcaires, pouzzolanes naturelles, ou fumée de silice.

c. Un fort dosage de super plastifiant :

L'introduction de dosage relativement important de super plastifiant dans les BAP permet en premier lieu de réduire la teneur en eau tout en conservant leur grande maniabilité. Toutefois, un dosage trop élevé (proche ou supérieur au dosage de saturation [13]) peut

augmenter la sensibilité du béton à des variations de teneur en eau vis-à-vis du problème de la ségrégation et du ressuage.

d. Une utilisation éventuelle d'agent colloïdal :

Bien que ce ne soit pas systématique, les BAP contiennent la plus part du temps un agent colloïdal [14]. Ce produit, comme les fines, a pour rôle d'empêcher le ressuage et de limiter les risques de ségrégation des granulats en rendant la pâte plus épaisse. De façon schématique l'utilisation de ce produit semble se justifier dans le cas des bétons ayant des rapports eau/liant élevés car les fines ne sont pas toujours suffisantes pour fixer l'eau dans le béton. Il semble par contre inutile dans le cas de MAP ayant des rapports massique eau/liant faible qui donne des résistances supérieures à 50 MPa. Pour la gamme des bétons intermédiaire, leur utilité est à étudier au cas par cas. L'agent colloïdal a la réputation de rendre les BAP moins sensibles à des variations d'eau vis-à-vis aux problèmes ségrégation et ressuage. [15][16]

I.3.3 Méthodes de formulation :

I.3.3.1 Méthode d'Okamura :

La formulation des MAP par l'approche développée à l'université de Kochi au Japon [17] [18] [19] se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Cette méthode de formulation est à la fois forfaitaire pour les dosages des granulats et expérimentale pour le dosage en eau et en adjuvant. Pour formuler un BAP par cette méthode baptisée « **méthode japonaise** », on doit passer par les étapes suivantes :

- a- Choix du dosage en ciment : La quantité du ciment dépend du cahier des charges et des performances désirées (résistance, durabilité...).
- b- Désignation du volume d'air : Le volume d'air occlus est pris égal à 2 %.
- c- Détermination du dosage du sable : Le volume de sable est posé forfaitairement égal à 40% du volume du mortier.
- d- Détermination du dosage minimal en eau : La demande en eau passe par la conception de la composition de la pâte. En effet des essais d'étalement au mini- cône sont réalisés en faisant varier le rapport Eau/Liant avec le dosage choisi en liant.

En traçant la courbe d'Eau/Liant en fonction de l'étalement relatif « Rp » , on détermine le point d'intersection avec l'axe des ordonnées « βP » qui permet de déterminer le besoin en eau minimale nécessaire pour le ciment et les additions minérales [18] [19].

$$Rp = \frac{d^2 - 100^2}{100^2} = \left(\frac{d}{100}\right)^2 - 1$$

Avec :

(Rp): L'étalement relatif.

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

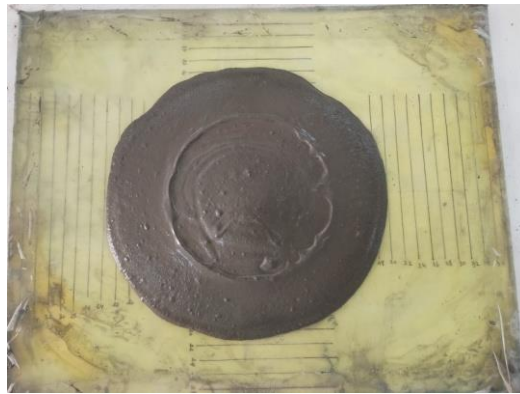


Figure I-3– Étalement au Mini cône de mortier auto placent.

I.3.4 Caractérisation de MAP à l'état frais :

I.3.4.1 Fluidité et déformabilité de MAP :

La déformabilité du mortier est définie comme étant la capacité de mortier de subir un changement de forme sous son propre poids.

Afin d'obtenir une déformabilité adéquate, il est important de réduire au minimum le frottement inter sable du mélange. La réduction de la quantité du gros sable et l'augmentation du volume de pâte sont exigées pour obtenir la déformabilité désirée des MAP. Une autre manière de réduire le frottement inter sable est obtenu avec l'incorporation d'additions minérales telles que les fillers [20]. La déformabilité du béton est directement liée à la déformabilité de la pâte.

Pour augmenter la déformabilité de la pâte et réduire le frottement inter sable, des superplastifiants haut- réducteur d'eau (SPRE) sont incorporés dans les mélanges MPA. Ces SPRE permettent de maintenir un rapport eau- matières cimentaires relativement bas tandis que la fluidité reste élevée. La déformabilité de la pâte est augmentée aussi en réduisant la viscosité. Un mortier fortement fluide peut être obtenu sans réduction significative de sa cohésion en améliorant sa résistance à la ségrégation [20]. En général, le critère de fluidité- stabilité est assez difficile à résoudre, mais, au moyen d'agents colloïdaux, de teneurs élevées en ajouts minéraux ou de teneurs appropriés en sable, la stabilité et la déformabilité peuvent être assurées. [21]

I.3.4.2 Étalement au Mini cône de la pâte :

Dans la méthode japonaise et hollandaise la demande en eau passe par des essais d'étalement au mini cône sur pâte en faisant varier le rapport Eau/poudre (Fig.I.4). La poudre étant le ciment ou l'addition minérale (filler...etc) mesurer l'étalement relatif «équation Rp» (équation détermine les paramètres correspondant aux droites obtenus pour chaque liant (ciment et filler calcaire)). [8]

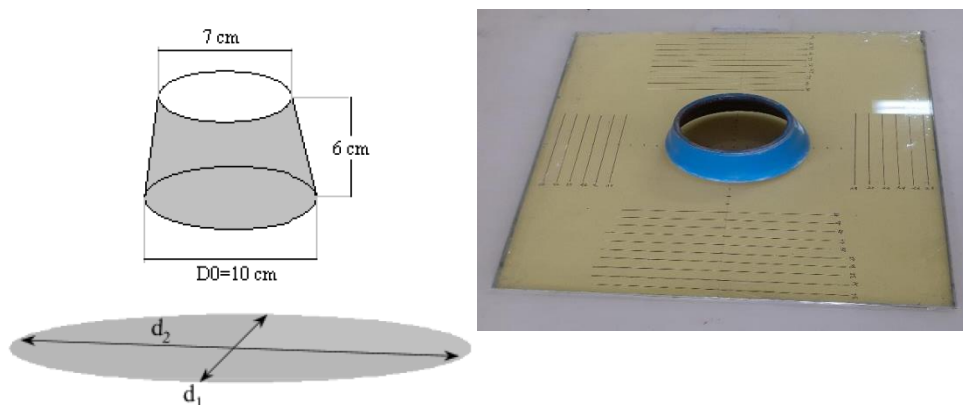


Figure I-4– Dimensions de Mini cône à mortier.

I.3.4.3 Essais De Déformabilité De l'Entonnoir En V (V-Funnel) :

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

Un entonnoir de dimensions définies est rempli de mortier jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, on mesure le temps (T_v) que met le mortier à

sortir de l'entonnoir jusqu'à ce que cet entonnoir soit entièrement vide. Ce temps d'écoulement, qui doit être compris entre 8 et 14 secondes, caractérise la viscosité du mortier. Si le mortier s'écoule plus rapidement, c'est que sa viscosité est trop faible.

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

Définit deux classes de viscosité selon le temps d'écoulement mesuré à l'entonnoir (V-funnel) : $T_v \leq 6$ secondes, pour une bonne capacité de remplissage même avec des renforts denses et $9 \leq T_v \leq 25$ pour les autres cas. [8]



Figure I-6– Déroulement de l'essai d'entonnoir en mini v (v-funnel).

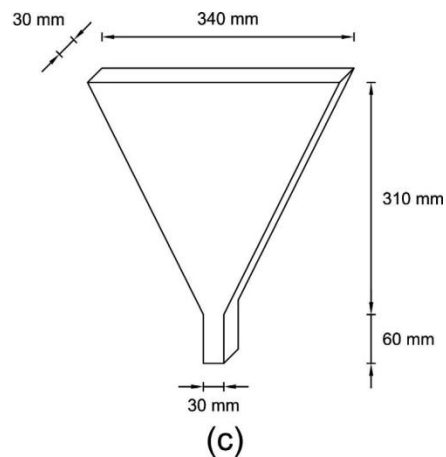


Figure I-5– Essai de l'entonnoir en V.

I.3.5 Caractérisation de MAP à l'état durci :

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

➤ **Objectif de l'essai :**

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

I.3.5.1 Mesure De La Résistance A La Traction Par Flexion :

Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci. Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et l'augmenter de $50 \text{ N/s} \pm 10 \text{ N/s}$, jusqu'à rupture.

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

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

Avec :

R_f : Résistance à la compression en (MPa).

F_c : Charge de rupture en (N).

b^2 : Cote de l'éprouvette est égale à 40 mm.

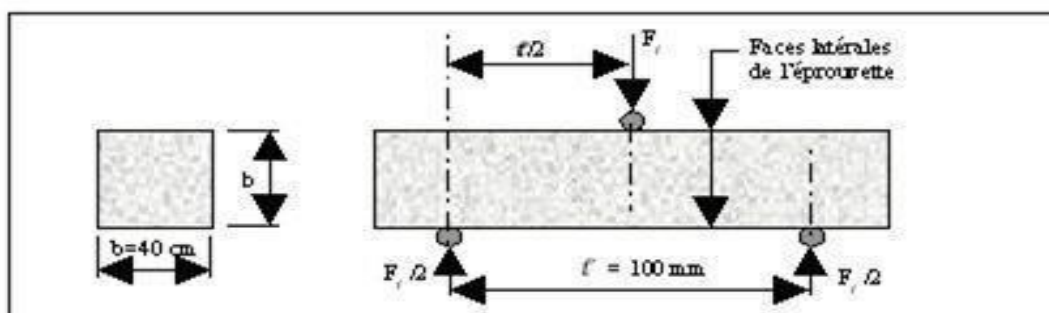


Figure I-7– Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.



Figure I-8– L'appareil de résistance à la flexion par traction.

I.3.5.2 Mesure De La Résistance A La Compression :

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

La machine utilisée pour l'écrasement uni axial des cylindres est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 1500 kN en compression (fig I-9).

La machine utilisée pour l'écrasement uni axial des spécimens prismatiques est une presse hydraulique Figure (I-9).

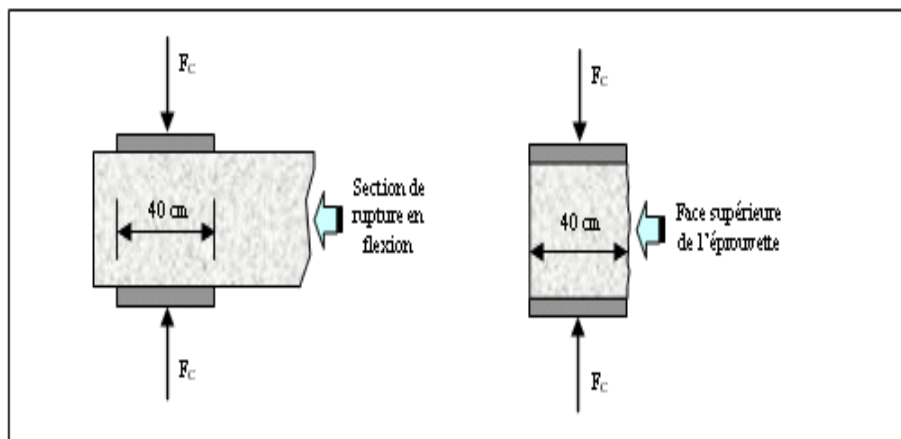


Figure I-9– Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.



Figure I-10– L'appareil de compression.

I.4 Sable :

I.4.1 Définition :

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

I.4.2 Choix du sable :

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

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

Les sables gros favorisent la résistance du mortier car ils permettent de travailler à des teneurs en eau plus faibles que les sables fins ; ceci permet en outre de réduire le retrait hygrométrique du mortier et le risque de fissuration tant du mortier frais que du mortier durci [21].

Les sables gros sont également favorables à la micro texture des revêtements et donc à leur rugosité. En revanche, une certaine quantité de sable fin peut permettre d'améliorer la continuité de la granularité du squelette d'un mortier qui ne serait composé que d'un sable gros manquant de fines. Il faut dans ce cas trouver le meilleur compromis. L'ajout d'une proportion limitée de sable moyen ou fin est donc parfois conseillé ; il améliorera la cohésion du mélange frais sans influencer défavorablement les propriétés finales du mortier [22].

I.4.3 Caractéristiques des sables :

Ils doivent être conformes aux normes NF EN 12-620 et NF EN 13-139. Le sable doit être sain, siliceux, silico-calcaire ou même calcaire à condition que les grains ne soient pas friables. Il doit être propre, c'est-à-dire dépourvu d'impuretés susceptibles de compromettre la qualité du mortier en œuvre (argile, vase, terre végétale, plâtre, sels minéraux). Le degré de propreté du sable est mesuré par l'essai d'équivalent de sable, il est préférable d'utiliser des sables roulés de rivière. Les sables de carrière conviennent s'ils ne renferment pas d'impuretés nocives. Les sables de mer doivent être lavés (sinon ils sèchent mal et peuvent donner lieu à des efflorescences en raison des sels qu'ils contiennent). La granulométrie des sables doit être limitée à 4 mm.

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

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

I.4.4 Classification des sables :

a. Selon son origine :

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

- **Naturel** : d'origine minérale, issus de roches meubles (alluvions des fleuves ou des rivières), de roches massives (sédimentaire, éruptives, métamorphique, etc.) ou de dunes. Le sable naturel n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).
- **Artificiel** : d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres.

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

b. Selon sa composition :

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

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

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

c. Selon sa densité :

Selon la densité de sable, on distingue trois types :

- **Léger** : de masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m³, et le plus usuel est à base d'argile expansée, de schiste expansés ou de laitier expansé.
- **Courant** : de masse volumique entre 2000 et 3000 kg/m³, et il est généralement les basaltes, quartzites, grès, porphyre, diorite, granites, schistes, laitier.
- **Lourd** : de masse volumique varie de 4000 à 8000 kg/m³, et le plus utilisé est la barytine (d'une densité absolue de 4,2 à 4,7), la magnétite (d'une densité absolue de 4,5 à 5,1), les riblons (d'une densité absolue de 7,6 à 7,8) et la grenaille (d'une densité absolue de 7,6 à 7,8).

d. Selon sa forme :

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

- **Roulé** : dont la forme a été acquise par l'érosion de roches meubles (alluvions des fleuves ou des rivières) ou des dunes.
- **Angulaire ou Concassé** : dont la forme a été obtenue par abattage et concassage de roches massives et dures.

I.4.5 Types De Sable :

I.4.5.1 Sable Alluvionnaire :

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

Ce sable, plus recommandé à la confection des bétons, doit présenter une granularité telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Cette granularité est caractérisée par le module de finesse (**Mf**).

Plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin.

- $1.8 \leq \mathbf{MF} \leq 2.2$: le sable convient bien pour obtenir une bonne ouvrabilité et une résistance satisfaisante.
- $2.2 \leq \mathbf{MF} \leq 2.8$: le sable convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégations limités.
- $2.8 \leq \mathbf{MF} \leq 3.2$: le sable convient bien pour obtenir une moins bonne ouvrabilité et une résistance élevée avec des risques de ségrégations.

I.4.5.2 Sable De Dune :

- Le sable de dune est un produit de la désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie etc. Les déserts de sable, ou ergs, se localisent dans les vastes cuvettes d'épandage ou des puissantes accumulations alluviales se sont concentrées par de grands écoulements liés aux périodes pluviales du début du quaternaire. Les grands ergs coïncident avec des zones où des vents saisonniers de directions variées se compensent [23].

- Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation). Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposer.
- Le sable de dune qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, forme la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir [24].

I.4.6 Module De Finesse (Mf) :

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

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

Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons (NF P18-540). [25]

$$M_f = \frac{\sum RC}{100}$$

Avec :

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

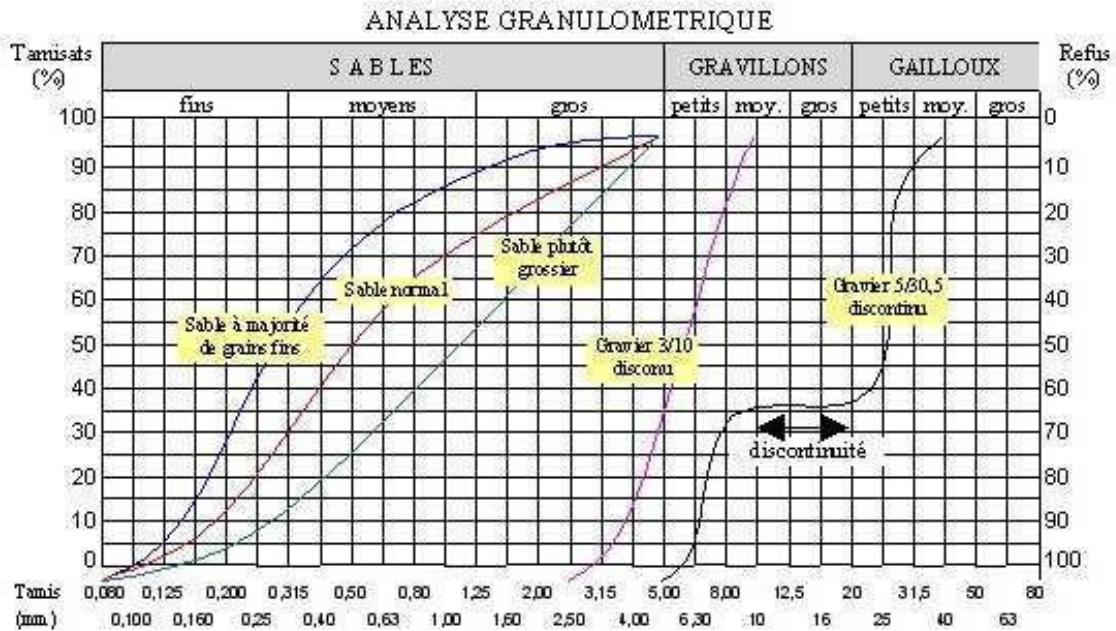


Figure I-11– courbe granulométrique des différents cas. [25]

I.5 Le Ciment :

I.5.1 Définition :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière minérale finement moulue qui, mélangée avec l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit à la suite du processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium. Dans les ciments, les aluminates peuvent également intervenir dans le processus de durcissement. La somme des proportions de l'oxyde de calcium (CaO) et du dioxyde de silicium (SiO₂) réactifs doit être d'au moins 50 % en masse.

I.5.2 Les constituants du Ciment :

Le ciment est constitué principalement de clinker Portland (K) qui est un matériau hydraulique. Il est obtenu à partir de la cuisson à haute température, supérieure à 1450°C, d'un mélange approprié de calcaire et d'argile en proportion moyenne de 80% et 20%. [26]

Les silicates et aluminates hydrauliques formés lors de cette cuisson (clinkérisation) sont :

- Le silicate tricalcique, 3CaO. SiO₂, que l'on écrit C₃S.

- Le silicate bi calcique, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, que l'on écrit C_2S .
- L'aluminate tricalcique, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, que l'on écrit C_3A .
- L'aluminoferrite tétra calcique, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, que l'on écrit C_4AF .

Suivant la carrière d'origine et les performances recherchées, le clinker est constitué de 62 % à 67 % de chaux combinée (CaO), de 19 % à 25 % de silice (SiO_2), de 2 % à 9 % d'alumine (Al_2O_3), et de 1% à 5 % d'oxyde de fer (Fe_2O_3).

Le ciment peut être constitué aussi de laitier de haut fourneau (S), de pouzzolane naturelle (Z), de cendres volantes siliceuses (V) ou calciques (W), de fumée de silice (D), de calcaire (L), de schistes calcinés (T), de constituants secondaires, de sulfate de calcium (gypse, héli hydrates, anhydrite) et d'additifs. [26]

Le ciment généralement utilisé pour la confection d'un béton auto plaçant est soit le ciment Portland CPA-CEM I 42,5 qui contient au moins 95 % de clinker et éventuellement un constituant secondaire, soit le ciment Portland composé CPA-CEM II/A et B 42,5 dont l'apport en clinker est de 65 à 94 %, le reste étant composé d'un ou de plusieurs ajouts. [26]

I.5.3 Les différents types de ciment :

Les ciments constitués de clinker et de constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principale. Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne (la notation française est indiquée entre parenthèse) : [19]

- ❖ CEM I: Ciment Portland (CPA).
- ❖ CEM II : Ciment Portland composé (CPJ).
- ❖ CEM III : Ciment de haut-fourneau (CHF).
- ❖ CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ).
- ❖ CEM V : Ciment composé (CLC).

I.6 L'eau De Gâchage :

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières

organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé.

Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. [27]

I.7 Adjuvants :

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

a) Adjuvants modificateurs de prise du béton :

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

Autres catégories normalisées d'adjuvants

- **Hydrofuges** : agissent par précipitation dans les pores des bétons (réaction avec la chaux libre naturellement issue de l'hydratation du ciment) ce qui forme des bouchons qui bloquent la pénétration des liquides dans le béton.
- **Entraîneurs d'air** : permettent d'entraîner des bulles d'air calibrées, réparties de manière homogène dans le béton et de façon durable. Leurs effets sur le béton sont : les bulles stabilisent les grains (correcteur granulaire), amélioration de la cohésion et de l'ouvrabilité (effet de réduction d'eau) et amélioration de l'aspect au décoffrage.

b) Adjuvants modificateurs de la rhéologie du béton:

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

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

I.8 L'ajout (La poudre de marbre) :

La poudre de marbre est une matière calcaire blanche pure , au grain légèrement plus gros que la craie .l'utilisation de cette poudre dans le béton comme addition pour améliorer sa qualité , sa perméabilité et sa résistance mécanique .

La poudre de marbre utilisé dans notre travail commercialise d'un atelier à Boussaâda. On l'utilise dans les deux cas : calciné et non calciné. (La calcination dans le four à 850° pendant une heure) avec un pourcentage 20% de liant.

I.9 Résumé des articles :

I.9.1 1^{ère} étude bibliographique :

Thèse de doctorat de MR Brahim NECERA
Université Mohamed Khider – Biskra

DÉVELOPPEMENT DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS
À HAUTES PERFORMANCES :
INFLUENCE DE LA COMPOSITION

La présente thèse a pour objectif de développer une série de BAPHP à base de sable de carrière, sable de dune, filler calcaire, pouzzolane naturelle, et laitier granulé, tout en étudiant les effets de leur incorporation sur les paramètres de la maniabilité (fluidité, déformabilité et stabilité), ainsi que les résistances mécaniques (résistances à la compression à 7, 28 et 90 jours et résistance à la traction à 28 jours) de BAPHP.

Résumé :

La thèse de doctorat de MR Brahim Necera présente un travail sur les bétons autoplaçants à haute performance. Il a montré l'influence de la composition, l'influence des

matériaux et des ajouts utilisés pour la confection de ces bétons autoplaçants sur ces performances (fluidité, déformabilité et stabilité), ainsi que les résistances mécaniques

Les matériaux utilisés pour la confection de ces BAPHP sont des matériaux locaux : sable de carrière, sable de dune, filler calcaire, pouzzolane naturelle, et laitier granulé.

Les résultats obtenus montre que la substitution de sable de rivière par l'incorporation de sable de carrière, avec dosage modéré ($\leq 40\%$), et de sable de dune, avec dosage faible ($\leq 20\%$), ayant un effet positif sur la compacité, les propriétés rhéologiques et les résistances mécaniques du BAPHP. Également, en remplaçant le ciment par les additions minérales, les teneurs volumiques de 30% filler, 30% pouzzolane et 20% laitier offrent des meilleures propriétés rhéologiques tout en assurant des hautes résistances mécaniques du BAPHP.

La thèse a étudié l'effet des additions minérales sur les paramètres de la maniabilité du BAPHP, sur la fluidité, sur la déformabilité, sur la stabilité, ainsi que sur les résistances mécaniques du BAPHP

Le BAPHP doit faire un compromis entre des propriétés contradictoires ; fluidité et déformabilité d'un côté, et stabilité et résistance mécanique de l'autre. Pour satisfaire ces exigences simultanément, sa formule doit comporter un squelette granulaire relativement fin et une quantité importante de pâte contenant un peu d'eau et adjuvantée par une forte dose de super plastifiant et parfois une autre dose d'agent de viscosité et/ou fumé de silice.

L'étude a montrée que :

- L'ajout de sable de carrière ou sable de dune dans les BAPHP diminue considérablement leur fluidité. Cependant, toutes les combinaisons des sables de carrière et de dune répondent au critère de la fluidité d'auto plaçant.
- L'ajout des sables de carrière et de dune dans les BAPHP diminue également leur déformabilité. Cette diminution est très importante à l'ajout de sable de carrière dans le sable de rivière ou de dune, où les bétons perdent le critère autoplaçant de la déformabilité lorsque la teneur en sable de carrière dépasse 40% et 20% dans les combinaisons (SC/SC+SR) et (SC/SC+SD) respectivement. Cependant, la diminution de la déformabilité est faible à l'ajout de sable de dune au sable de rivière, où la déformabilité reste adaptée au critère auto plaçant.

L'étude a montrée aussi que :

- Les additions minérales locales utilisées (filler, pouzzolane et laitier) exercent des effets différents, en fonction de leur nature et leur teneur, sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des matériaux cimentaires à hautes performances (pâte, mortier et béton).
- L'approche de la substitution du ciment par les additions minérales volume par volume a été adoptée dans notre étude expérimentale. Elle permet de préserver les mêmes volumes des constituants et par conséquent le volume total reste constant.
- Le mortier auto plaçant à hautes performances MAPHP, ayant des proportions volumiques (2 sable + 1 liant + 1 eau), a été développé comme un bon support au développement de la formulation du BAPHP.

Les résultats obtenus sont présentés comme suit :

- L'ajout de filler à teneur 20% donne des résistances à la compression à court et moyen terme (7 et 28 jours) comparables à celle de ciment, mais son efficacité d'augmenter cette résistance à long terme (90%) est disparue. En plus, l'ajout de filler calcaire ayant un effet bénéfique sur les résistances à la traction de BAPHP.
- l'ajout de pouzzolane entraîne une diminution des résistances à court terme et son incorporation à 10% peut stabiliser les résistances à moyen terme, mais son incorporation à 30% donne des résistances à long terme (90 jours) plus hautes que celles de BAPHP à base de ciment. La diminution des résistances est très marquée pour les BAPHP avec pouzzolane à 7 et 28 jours.
- L'ajout de laitier à 10% et à 20% peut stabiliser les résistances à court et moyen terme respectivement, tandis que son ajout à 40% apporte une grande amélioration aux résistances à long terme. L'effet du laitier sur les résistances est très notable surtout à 90 jours.
- L'incorporation des additions minérales à des teneurs volumiques bien déterminées dans le liant peut avoir un effet bénéfique sur les paramètres de la maniabilité et les résistances mécaniques. Les teneurs limites en additions minérales qui assurent tous les critères de BAPHP sont ; 30% de filler, 20% de pouzzolane et 30% laitier.

I.9.2 2^{ème} étude bibliographique :

THESE EN COTUTELLE
POUR OBTENIR LE DIPLOME DE DOCTEUR EN SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE
MOSTAGANEM ET DE L'UNIVERSITE CERGY-PONTOISE
SPECIALITE : GENIE CIVIL
Présentée par :
BELARJIBI Omar

**« DURABILITÉ DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS À BASE
DE VASE ET DE POUZZOLANE »**

Résumé :

En raison des spécificités relatives à la formulation des bétons autoplaçants (BAP) et en particulier celles concernant leur volume élevé en pâte et la présence d'ajouts et substituts minéraux en grande quantité, leur comportement à l'état frais et à l'état durci ainsi que leur durabilité sont fortement influencés par ces deux paramètres

La présente étude vise à apporter une contribution à la valorisation de la vase traitée du barrage de Chorfa et de Fergoug, (située à l'ouest algérien) en tant que substitut minéral partiel au ciment CPA CEMI 42.5 dans la composition des mortiers et des bétons autoplaçants. Il s'agit de comparer l'influence de l'incorporation de cette vase calcinée à celle de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf (situé, également à l'ouest algérien) dans les BAP sur leurs caractéristiques physico-mécaniques et sur leur durabilité à court, moyen et long terme.

L'étude est menée sur quatre BAP, le premier à base de 20 % de pouzzolane naturelle de Béni-Saf (BAP-PZ), le deuxième et le troisième incorporant 20 % de la vase calcinée issue des sédiments de dragage du barrage de Fergoug (BAP-VF) et de celui de Chorfa (BAP-VC) et enfin un BAP témoin sans ajouts pour le besoin de comparaison.

La technologie des bétons autoplaçants est capable de consommer d'énormes quantités d'additions, parce que la formulation du BAP comporte une grande quantité de

fines (*environ 500 kg/m³*). Ces dernières pourraient améliorer les caractéristiques et performances de ce type de béton. Parmi ces additions on note l'utilisation des fines calcaires, des laitiers, de la pouzzolane naturelle telle que celle de Béni-Saf (ouest algérien) et les pouzzolanes artificielles telles que le méta kaolin et la vase issue des dragages des barrages envasés

Dans ce chapitre sont exposés les différents critères qui caractérisent les BAP, à l'état frais, ainsi que l'influence des différentes additions sur les propriétés des BAP à l'état frais et durci.

- **Essai V funnel**

Cet essai permet d'évaluer la mobilité du béton en milieu non confiné comme celui de l'entonnoir en forme de V (V funnel)

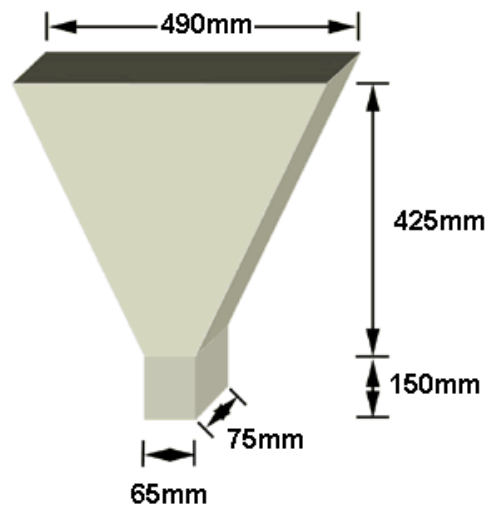


Figure I-12 L'essai V-funnel

- **Essai d'étalement (Slump flow)**

C'est l'essai le plus courant, car le plus facile à mettre en œuvre, permettant de caractériser la mobilité en milieu non confiné. L'essai d'étalement est utilisé pour caractériser la fluidité du béton. C'est une variante de l'essai d'affaissement sur cône d'Abrams qui consiste à mesurer (en utilisant le même matériel) le diamètre d'étalement

de la galette de béton sur deux cotés perpendiculaires. Les valeurs sont relevées en millimètres (Figure I.13).

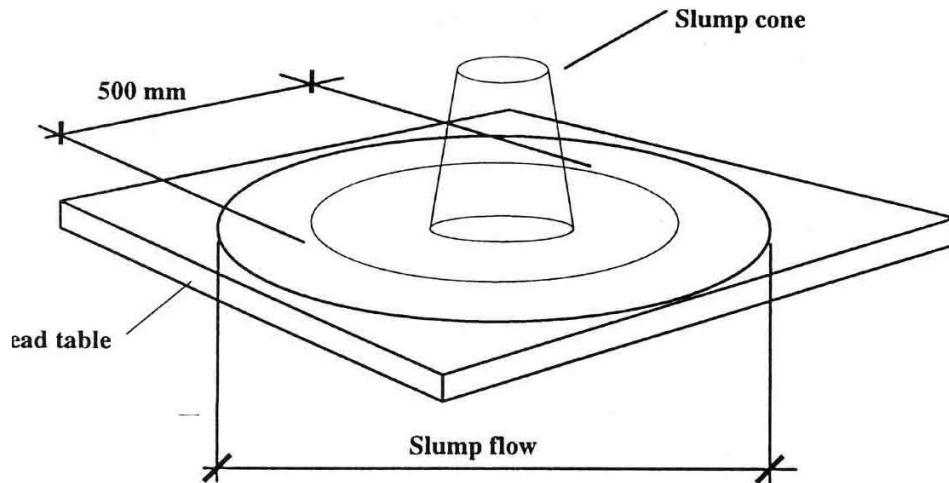


Figure I-13 Essai d'étalement au cône (slump flow)

- **Essai de ressuage**

Le ressuage est un type spécial de ségrégation où les particules solides ont un mouvement général inverse à celui du liquide. En fait, pendant la période dormante du béton, les particules solides qui sont plus denses que l'eau sédimentent. L'eau est ainsi chassée vers le haut dans le cas de coffrages imperméables.

Au niveau visuel, le ressuage s'observe par une mince pellicule d'eau à la surface du béton. Selon les conditions météorologiques, on assiste à une compétition entre le débit d'eau ressuée et le débit d'eau évaporée. Ainsi, si ce dernier est plus faible, le phénomène de ressuage est visible, sinon, la surface du béton au lieu d'être brillante, devient mate. La quantité d'eau ressuée sera de toute façon égale à la quantité d'eau stagnante ajoutée à celle déjà évaporée [11].

La tendance au ressuage dépend pour beaucoup des propriétés du ciment. Le ressuage est diminué par l'augmentation de la finesse du ciment, vraisemblablement parce que les particules fines s'hydratent plus rapidement et aussi parce que leur taux de sédimentation est plus faible. D'autres propriétés du ciment influencent également le ressuage à savoir : un fort

pourcentage d'alcalis présents dans le ciment, de fortes teneurs en C₃A ou par l'ajout du chlorure de calcium minimisant ainsi considérablement le ressuage [9].

Cependant les propriétés du ciment ne sont pas les seuls paramètres pouvant affecter le ressuage du béton. D'autres facteurs doivent aussi être considérés, en particulier la proportion d'éléments très fins (plus petits que 150µm), permet une réduction du ressuage. En réalité, lorsque les granulats fins concassés contiennent une quantité importante de matériaux très fins (plus de 15% passant au tamis 150µm), le ressuage est diminué, mais les matériaux très fins doivent contenir uniquement de la poussière de concassage et non des particules d'argile [11].

L'ajout de cendres volantes ou de fumée de silice dans le mortier réduit le ressuage de façon significative [12]. Cependant, de très basses températures peuvent faire augmenter le ressuage, probablement parce que le phénomène a plus de temps pour se développer puisque la réaction d'hydratation est ralentie [9].

Les super plastifiants permettent généralement une diminution du ressuage sauf pour le cas d'un étalement très élevé. Cependant, s'ils sont utilisés avec un retardateur de prise, une augmentation du ressuage peut être observée à cause du retard de prise qui donne plus de temps au phénomène de ressuage à se développer [9].

- **FORMULATION DES BAP**

Pour l'optimisation de la formulation des BAP, plusieurs approches ont été conçues à savoir : l'approche japonaise d'Okamora [4], l'approche française du LCPC [14], l'approche suédoise par Petersson et al. [15]. D'autres méthodes ont été développées telles que la méthode de Khayat et al. [16] qui est basée sur le plan d'expériences et celle d'Oh et al. [17] qui repose sur la théorie de l'excès de pâte [18].

Malgré les différentes méthodes de formulation existantes, certaines caractéristiques demeurent intrinsèques aux BAP mais peuvent légèrement varier d'une approche à l'autre.

Les super plastifiants permettent de dé flocculer 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.14). Il devient donc possible de fabriquer des bétons très fluides, même avec moins d'eau qu'il n'en faut pour hydrater le ciment, donc de fabriquer des bétons à faible rapport E/C, faciles à mettre en place [19].

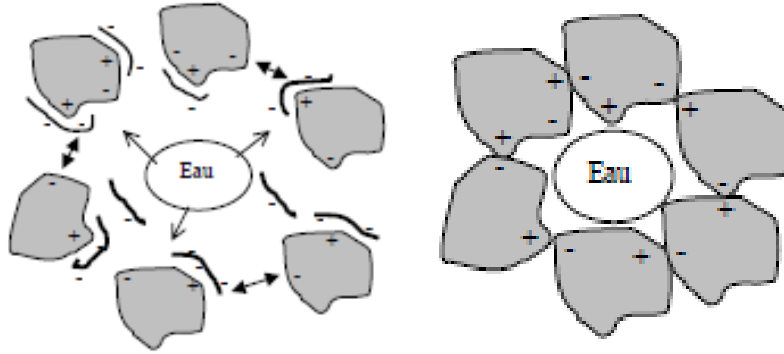


Figure I-14 Action des super plastifiants - Défloculation des grains de ciment [20]

L'ajout d'un super plastifiant permet ainsi d'augmenter significativement la fluidité des BAP que ce soit du point de vue de leur étalement ou du point de vue de leur seuil d'écoulement.

- **Influence des additions minérales sur les propriétés des BAP**

1/ Fillers calcaires

D'après certaines études, il s'est avéré que pour des teneurs en fillers de 10%, les performances mécaniques en compression des pâtes de ciment se trouvent augmentées, jusqu'à 10% pour les fillers les plus fins [24]. L'incorporation des fillers ayant des surfaces spécifiques élevées améliore sensiblement la résistance à la compression surtout pour des valeurs de substitution de l'ordre de 10%. Au-delà de cette valeur, on observe des chutes de résistances allant jusqu'à 45% à 40% de substitution massique du ciment par les fines calcaires [24].

2/ Cendres volantes

Les cendres volantes ont été utilisées avec succès dans les BAP [36]. Leur utilisation en général améliore la maniabilité. En termes de rhéologie, les cendres volantes réduisent le seuil de cisaillement, mais la viscosité plastique peut être augmentée ou diminuée. Par exemple, Sonebi [37] a constaté que l'utilisation de cendres volantes réduit ces deux paramètres dans le cas des BAP. Cependant, Park et al. [38] ont constaté que la cendre volante a une faible incidence sur le seuil de cisaillement et sur la viscosité de la pâte de ciment. Les cendres volantes peuvent aussi réduire la ségrégation et améliorer la stabilité [39]. Certains auteurs remarquent cependant que leur utilisation peut améliorer la fluidité, car leur forme sphérique

permet de réduire les frottements entre les grains de ciment. Ferraris et al. [40] montrent par ailleurs que le diamètre moyen des cendres volantes a une légère influence sur la valeur du seuil d'écoulement, les mélanges les plus fluides étant obtenus avec les particules les plus fines (diamètre moyen 3,1 μm). Associées à un super plastifiant, les cendres volantes permettent de réduire le dosage en adjuvant nécessaire à l'obtention d'une certaine fluidité (seuil de l'ordre de 20 Pa), mais le rapport E/C doit être suffisamment important (équivalent au rapport utilisé pour l'échantillon témoin), sinon la demande en adjuvant augmente fortement [40].

3/ Fumées de silice

L'influence des fumées de silice n'est pas très claire. Pour certains auteurs [38] [40] [48], les fumées de silice augmentent le seuil de cisaillement et la viscosité tout en améliorant la compacité des mélanges. Par contre, pour Carlswald et al. [49], elles ne modifient pas la viscosité. Par rapport à la rhéologie d'un mélange de référence, Ferraris et al. [40] montrent que l'utilisation de fumées de silice augmente la demande en eau et en super plastifiant que ce soit pour des pâtes de ciment ou bien pour des bétons.

Par ailleurs plusieurs études montrent que la présence de fumées de silice accélère la réaction d'hydratation du ciment portland (figure I.11). Cet effet accélérateur est important lorsque celles-ci sont utilisées avec un fluidifiant [49]. Cet effet accélérateur des fumées de silice sur l'hydratation du ciment, combiné à l'effet de remplissage dû à leur extrême finesse peut conduire à de meilleures résistances du béton à court terme [49].

Essai de ressuage

L'essai consiste à mesurer la quantité de liquide surnageant, remonté à la surface d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur, au bout de 3 heures (Figure I.15).

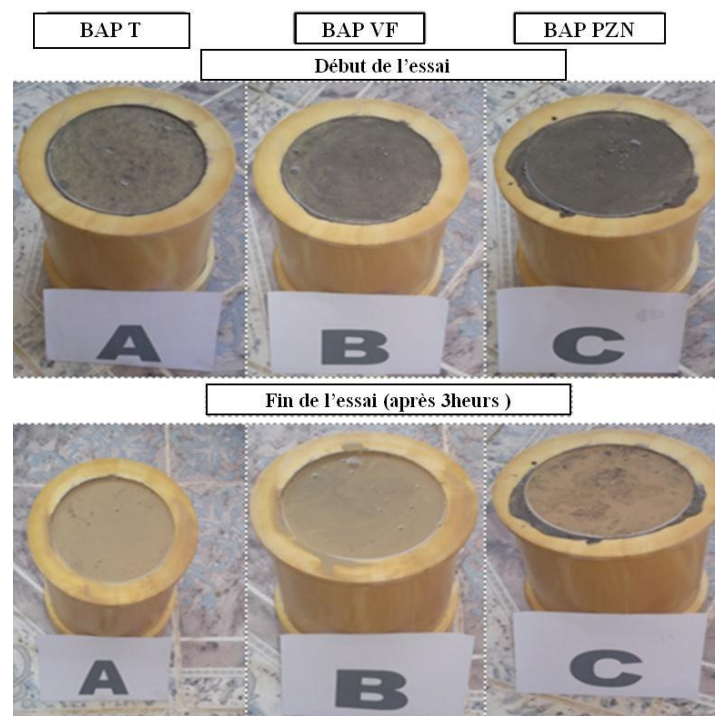


Figure I-15 La valeur limite conseillée est inférieure ou égale 3 % en volum

CONCLUSION

Ce travail expérimental a pour objectif en premier lieu de mettre en évidence l'influence des ajouts pouzzolaniques (vase de Fergoug et Chorfa et pouzzolane de Béni-Saf) sur le comportement physico – mécaniques (chaleur d'hydratation et résistance) des mortiers. Il vise en second lieu à caractériser les BAP à l'état frais conformément aux normes AFGC [6] et étudier leurs performances mécaniques et leur durabilité envers l'attaque des acides, des sulfates et du CO₂.

Nous avons adopté pour toutes les formulations le même rapport Eau/Ciment, le même squelette granulaire et le même volume de pâte.

Tous ces essais devraient permettre néanmoins dans un premier temps, la détermination des propriétés révélatrices, directe ou indirecte, de l'influence de la vase calcinée sur les performances des BAP et leur durabilité.

Les essais menés à l'état frais sur pâtes avaient pour objectif la détermination des valeurs des rapports E/C par l'essai de consistance qui a révélé que la présence de la pouzzolane naturelle et surtout la vase calcinée implique une augmentation du besoin en d'eau.

Les résultats des mesures de temps de prise des différentes pâtes ont montré que l'incorporation des ajouts, en particulier la vase calcinée, contribue à l'accélération de la prise.

Les essais de caractérisation des BAP à l'état frais ont montré qu'ils répondent aux spécifications de l'AFGC.

I.10 Conclusion :

Cette partie théorique nous permet de conclure que le MAP est un matériau hétérogène dont le choix des composants est en fonction des critères qui lui sont recherchés. Ces critères sont essentiellement les résistances mécaniques, la fluidité et l'étalement.

Chapitre II. Caractéristiques des matériaux

Chapitre II. Caractéristiques des matériaux

II.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les caractéristiques des matériaux qui ont été utilisés durant cette étude. Ensuite, nous décrirons la préparation des éprouvettes. Ainsi que les différents essais réalisés.

II.2 Matériaux utilisés :

Les matériaux utilisés pour ce travail sont :

- **Sable** : Nous avons utilisé deux types de sables :
 - **sable de dune** : Sable fin de Boussaâda.
 - **sable alluvionnaire** : de Boussaâda
 - **Ciment** : Le ciment CEM II/A-M (P-L) 42,5 NA 442/2013 provenant de la cimenterie de GICA ALGERIE.
 - **Ajout** : poudre de marbre
 - **Les adjuvants** : plastifiants (MEDAFLUID 40)
 - **Eau de gâchage** : l'eau de robinet.

II.3 Caractéristiques des matériaux:

II.3.1 Sable :

Nous avons utilisé deux types de sables de même classe granulaire 0/3 :

- sable alluvionnaire (SA), de Boussaâda
- sable de dune (SD), de Boussaâda.

II.3.1.1 Analyse granulométrique :

Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique (NF P 18-560).

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis [28].

➤ But de l'essai

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

A noter qu'il faut éviter la confusion entre la granulométrie qui s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité qui concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

➤ Principe de l'essai

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis. Afin d'éviter toute ambiguïté, un tamis et une passoire équivalent désigné par un même numéro de module et une dimension nominale normalisée des tamis.

➤ Préparation de l'échantillon

La quantité à utiliser doit répondre à différents impératifs qui sont contradictoires:

- Il faut une quantité assez grande pour que l'échantillon soit représentatif.
- Il faut une quantité assez faible pour que la durée de l'essai soit acceptable et que les tamis ne soient pas saturés et donc inopérants.

Dans la pratique, la masse à utiliser sera telle que : $M \leq 0,2 D \text{ max}$ avec M masse de l'échantillon en Kg et D max diamètre du plus gros granulat exprimé en mm.

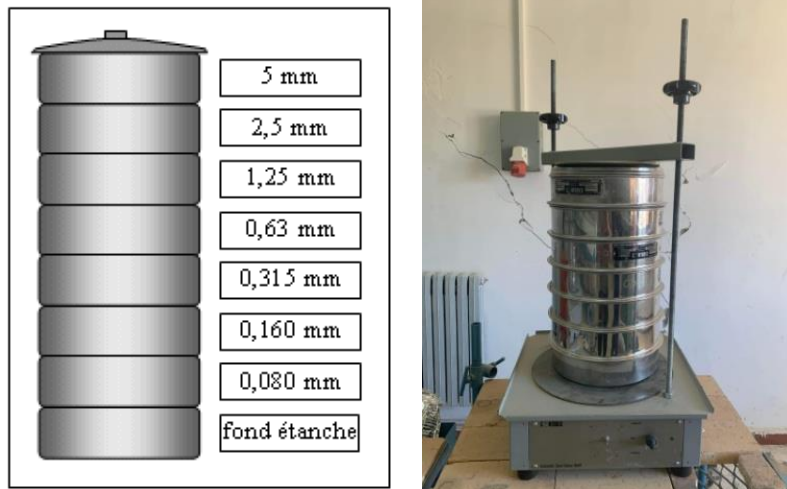


Figure II-1– Les tamis de l'analyse granulométrique.

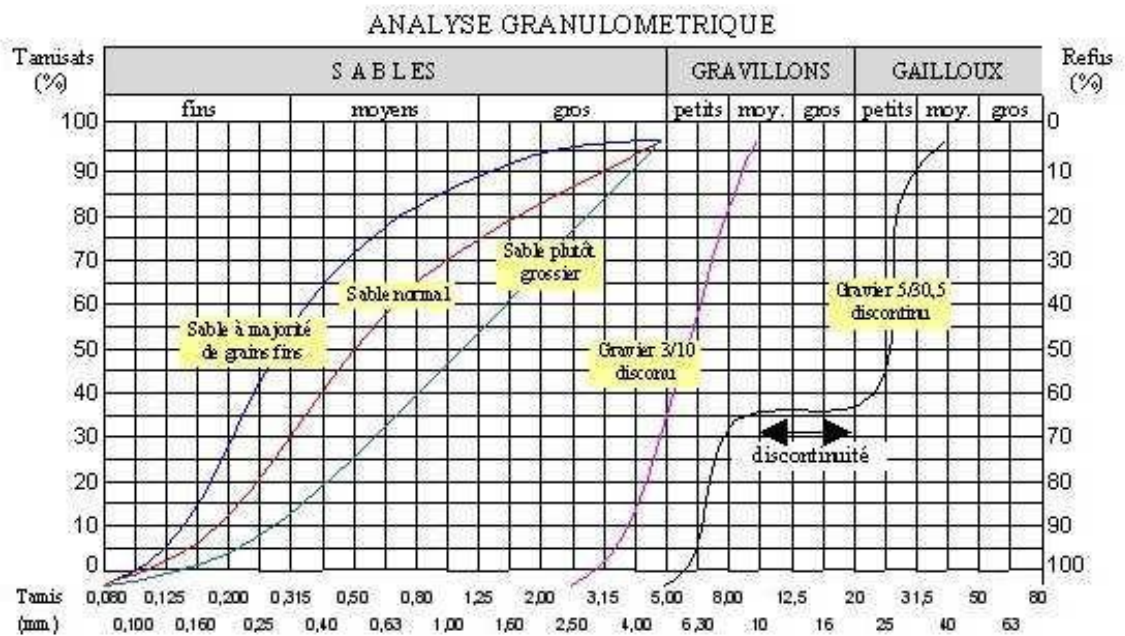


Figure II-2– Courbe granulométrique dans différents cas.

Le tableau suivant représente les résultats d'analyse granulométrique des sables :

Tableau II-1 L'analyse granulométrique des sables.

Tamis [mm]	SD		SA		(40%SA et 60% SD)	
	Refus [%]	Tamisât [%]	Refus [%]	Tamisât [%]	Refus [%]	Tamisât [%]
5	0	100	0	100	0	100
2.5	0	100	4,6	95,4	0,4	99,6
1.25	0	100	8,6	91,4	1,33	98,67
0.63	0	100	18,33	81,67	2,4	97,6
0.315	5,8	94,2	66,13	33,87	10,93	89,07
0.16	92,73	9,2	95,2	4,8	88,13	11,87
0.08	99,86	0,14	99,2	0,8	99,53	0,47
Font	100	0	99,46	0,54	99,86	0,14

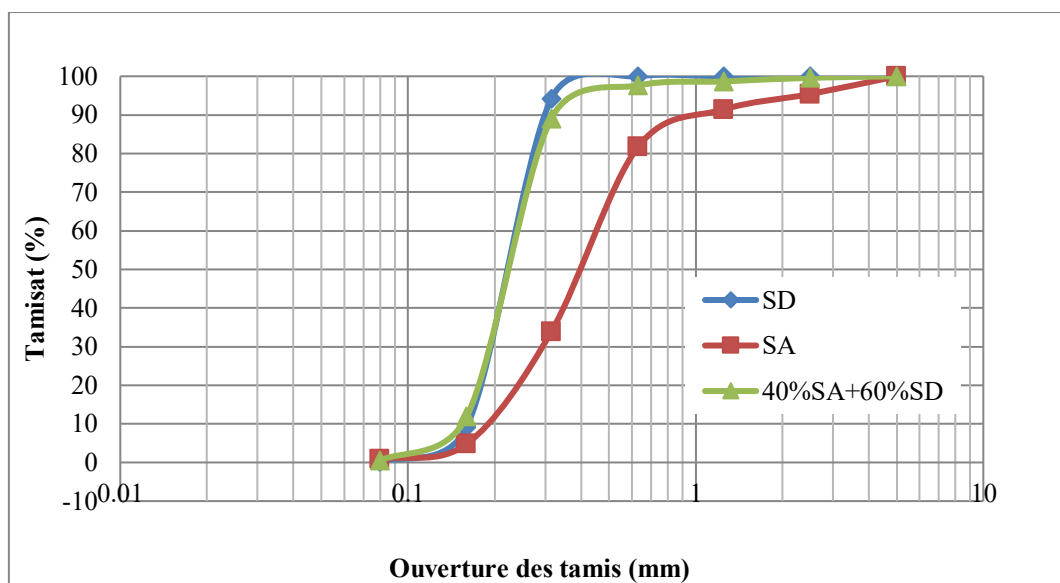


Figure II-3– Courbe d'analyse granulométrique des sables.

Remarque : Le mélange de sable avec 40% de sable alluvionnaire et 60% de sable de dune a une bonne compacité et une porosité minimale.

II.3.1.2 Module De Finesse : NF P 18- 540.

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Il est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée

en pourcentages sur une série de tamis (0,16 0,315 0,63 1,25 2,5 5).il est donné par la relation suivant :

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100}$$

Ou :

R_c : Refus cumulé.

Tableau II-2 Classement de sable.

Quantité de sable	Modèle de finesse
Gros	> 2.5
Moyen	2 à 2.5
Fin	1.5 à 2.0
Très fin	1.0 à 1.5

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant :

$M_f = 1.03$

Le sable utilisé est considère comme un sable Très fin.

II.3.1.3 Masse volumique absolue :

Cet essai est régi par la norme NFP 18-301; elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains [28].

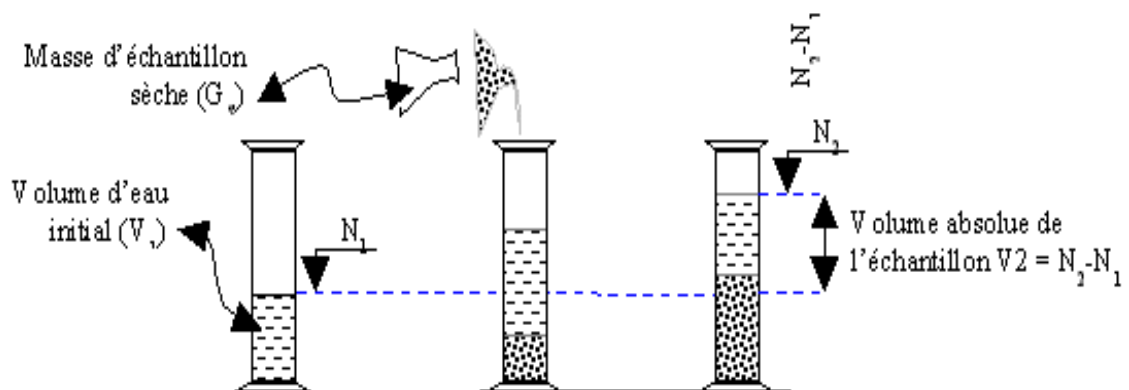


Figure II-4- Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau.

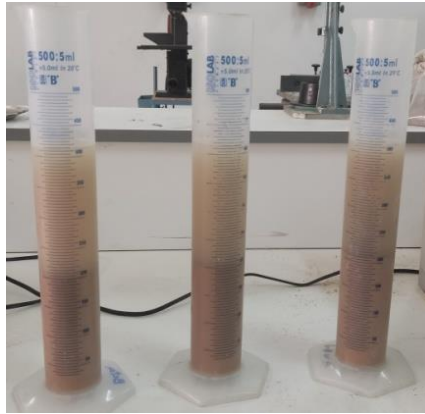


Figure II-5– Essai de la masse volumique absolue exécuté au laboratoire.

➤ **But de l'essai**

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un mortier dont les caractéristiques sont imposées.

Dans ce travail nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée, elle est Simple, rapide et utilise un matériel courant du laboratoire.

➤ **Mode opératoire**

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau.
2. Peser un échantillon sec M de sable (environ 1000 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
3. Lire le nouveau volume V2.

La formule qui nous permis la détermination de la masse volumique est :

$$MV = \frac{M}{V2 - V1}$$

Les tableaux suivants représentent les résultats de la masse volumique absolue :

➤ **Sable de dune :**

Tableau II-3 Masse volumique absolue du sable de dune.

N° d'essai	M(g)	V ₂ (ml)	V ₁ (ml)	ρ _{abs} (g/ml)	ρ _{moy} (g/ml)
01	300	415	300	2,60	2,62
02	300	414	300	2,63	
03	300	414	300	2,63	

➤ **Sable alluvionnaire :**

Tableau II-4 Masse volumique absolue du sable alluvionnaire.

N° d'essai	M(g)	V ₂ (ml)	V ₁ (ml)	ρ _{abs} (g /ml)	ρ _{moy} (g /ml)
01	300	415	300	2,60	2,61
02	300	415	300	2,60	
03	300	414	300	2,63	

➤ **Sable mixte :**

Tableau II-5 Masse volumique absolue du sable mixte.

Sable	ρ _{moy} (g/ml)
40% SA/60% SD	2,60

II.3.1.4 Masse volumique apparente : NF P 18-554.

Cet essai est régi par la norme NFP 18-554, elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient [28].

$$\rho_{app} = \frac{m_{mat}}{V_{app}}$$

Les tableaux suivants représentent les résultats de la masse volumique apparente :

➤ **Sable de dune :**

Tableau II-6 Masse volumique apparente du sable de dune.

N° d'essai	M(g)	V (ml)	ρ _{app} (g /ml)	ρ _{moy} (g /ml)
1	1292	900	1,435	1,441
2	1299	900	1,443	
3	1303	900	1,447	

➤ **Sable alluvionnaire :**

Tableau II-7 Masse volumique apparente du sable alluvionnaire.

N° d'essai	M(g)	V (ml)	ρ_{app} (g /ml)	ρ_{moy} (g /ml)
1	1299	900	1,443	1,447
2	1304	900	1,448	
3	1306	900	1,451	

➤ **Sable mixte :**

Tableau II-8 Masse volumique apparente du sable mixte.

Sable	ρ_{moy} (g /ml)
40% SA/60% SD	1,461

II.3.1.5 Equivalent de sable :

L'équivalent de sable (**norme NFP 18-598**) n'est intéressant que pour caractériser les sols sableux contenant une faible quantité de particules fines. Il est donc surtout utilisé pour les granulats routiers et les sables pour mortier [28].

➤ **Outils**

- ✓ trois éprouvettes en plexiglas avec deux repères, et leur bouchon.
- ✓ Entonnoir pour introduction du sable
- ✓ Bonbonne de 5 l pour la solution lavant avec son bouchon
- ✓ Tube laveur métallique plongeant.
- ✓ Machine agitatrice.
- ✓ Piston taré à masse coulissante de 1 kg, pour mesurer l'équivalent de sable sous piston.

➤ **Mode opératoire**

- ✓ On dispose de trois éprouvettes propres pour notre sable étudié et on prendra la moyenne des trois résultats obtenus.
- ✓ Emplir les éprouvettes avec la solution lavant jusqu'au premier trait repère.
- ✓ Verse la quantité de sable sec (120 g), en veillant à éliminer les bulles d'air, laisser reposer 10 min.

- ✓ Boucher les éprouvettes et les agiter : mouvement rectiligne et horizontal de 20 cm d'amplitude, 90 allers et retours en 30 s (effectués de manière automatique par la machine).
- ✓ Laver et remplir les éprouvettes avec le tube laveur.
- ✓ Sortir le tube laveur et fermer le robinet lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur puis laissé reposer 20 min en évitant toute vibration.

Les mesures sont effectuées à partir de la formule suivante :

$$ES(\%) = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

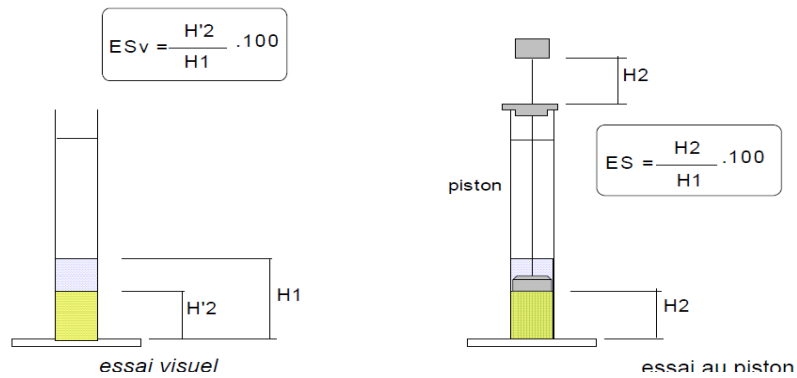


Figure II-6– Essai d'équivalent de sable.

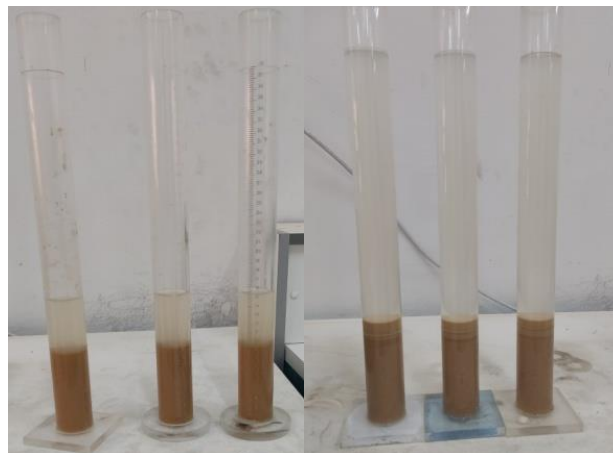


Figure II-7– Essai équivalent de sable exécuté au laboratoire.

ESV : on mesure la hauteur h2 visuellement

ESP : on mesure la hauteur h'2 à l'aide d'un piston

h1 : sable propre + éléments fins

h2 : sable propre seulement

Tableau II-9 Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable [29].

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
E.S < 65	E.S < 60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
65 < E.S < 75	65 < E.S < 70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait
75 < E.S < 85	70 < E.S < 80	Sables propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité
E.S > 85	E.S > 80	Sable très propre : l'absence totale de fine argileuses risque d'entraîne d'un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en eau

➤ **Sable de dune :**

Tableau II-10 Résultats obtenus pour l'équivalent de sable de dune.

N° d'essai	h ₁ (cm)	h ₂ (cm)	ESV(%)	Moy	H ₂ ' (cm)	ESP(%)	Moy
1	10	9.5	95	94.6	9.6	96	92.3
2	9.8	9.3	94		9	91	
3	10.3	9.8	95		9.3	90	

➤ **Sable alluvionnaire :**

Tableau II-11 Résultats obtenus pour l'équivalent de sable alluvionnaire.

N° d'essai	h ₁ (cm)	h ₂ (cm)	ESV(%)	Moy	h ₂ ' (cm)	ESP(%)	Moy
1	10.7	9	84	85.6	8.6	80	80.3
2	10.9	9.3	85		9	82	
3	11.2	9.9	88		8.9	79	

II.3.2 Le ciment :

Ciment Portland NA 442/2013 : est un ciment portland, contenant 95% clinker et 5% de gypse en tant que régulateur de prise.

II.3.2.1 Domaines d'application :

Utilisation courante de notre ciment :

- ❖ Fondations (béton de propreté et béton de semelle en milieux non agressifs).
- ❖ Ouvrage en béton armé (Murs, Linteaux, Poteaux et dalle de compressions).
- ❖ Dallage en béton, Montage de mure et maçonnerie et Scellements de carrelage (Dalles, pierres et carrelage).
- ❖ Chape (mortier de ciment).

II.3.2.2 Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé :

Les caractéristiques du CPJ sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau II-12 Caractéristiques Physico - Mécaniques

		Garanties NA 442	Mesures
P.S (g/cm ³) (NA231)			3.02
SSB cm ² /g (NA231)			3895
Temps de Prise (NA230)	Début	≥1h	2:13
	Fin		3:08
Expansion Mm (NA230)	A. Chaud	≤10mm	1.14
	A. Froid		
Refus %	45μ		13.40
Resistances a la flexion MPa	02 jours		3.0
	07 jours		4.5
	28 jours		7.1
Resistances a la compression MPa	02 jours	≥10	17.8
	07 jours		28.4
	28 jours	≥40	43.5

II.3.2.3 Analyses chimiques du ciment utilisé :

Tableau II-13 Caractéristiques chimiques du CPJ.

Eléments	Garanties NA 442	Teneurs%
SiO ₂ (NA5042)		21.35
Al ₂ O ₃ (NA5042)		4.48
Fe ₂ O ₃ (NA5042)		4.70
CaO (NA5042)		63.67
MgO (NA5042)	≤5%	1.18
SO ₃ (NA5042)	≤3.5%	1.95
CL	≤0.10%	0.002

II.3.3 L'eau De Gâchage :

L'eau de gâchage utilisée dans notre étude est une eau potable (eau de robinet) fourni au laboratoire de génie-civil à l'université de M'sila. On a effectué les analyses chimiques au laboratoire de chimie (M'sila).

Elle est donnée par: (Tableau II.14)

Tableau II-14 Caractéristiques chimiques de l'eau de gâchage

La mesure	Teneur en eau (mg/l)
Degré de température	24.7
PH	7.78
Conductibilité	1799
Chlore Cl ⁻	234.3
Sulfate SO ₄	351.6
Magnésium Mg ²⁺	110.8
Calcium Ca ²⁺	267.2
Sédiment sec	1412
Eligibilité d'oxydation en eau	1024

II.3.4 Les Adjuvants :

II.3.4.1 Description :

Le **MEDAFLUID 40** est un plastifiant réducteur d'eau.

Il est compatible avec tous les types de ciment.

Tableau II-15 Caractéristique de l'adjuvant «MEDAFLUID 40».

Aspect	Couleur	PH à 20°C	Densité	Chlorure	Extrait sec
Liquide	Marron	8 / 9	1,19 ± 0,01	< 0,1 g/l	40 %

II.3.4.2 Propriétés :

Tableau II-16 Propriétés de «MEDAFLUID 40» à l'état frais et durci.

à l'état frais	à l'état durci
<ul style="list-style-type: none"> •Diminuer le rapport E/C • Augmenter le slump • Faciliter la mise en œuvre du béton • Éviter la ségrégation 	<ul style="list-style-type: none"> •Augmenter les résistances mécaniques • Augmenter la compacité • Augmenter l'imperméabilité • Augmenter la durabilité • Éviter la formation de nids d'abeilles

II.3.5 La poudre de marbre :

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire et constituée principalement de cristaux de calcite.



Figure II-8- La poudre de marbre

Tableau II-17 Caractéristiques physiques du marbre

Propriétés Physiques	Fine Marbre
Masse volumique apparente (g/cm ³)	0.83
Densité	2.67
Surface spécifique de Blaine (cm ² /g)	448

Tableau II-18 Caractéristiques chimiques du marbre

Analyse chimique	Fines marbre
SiO ₂	1.47
CaO	55.3
MgO	0.01
Fe ₂ O ₃	0.14
Al ₂ O ₃	0.35
Na ₂ O ₃	0.12
K ₂ O	0.04
SO ₃	0.01
Perte au feu	42.56

Chapitre III. Résultats Et Discussions

Chapitre III. Résultats Et Discussions

III.1 Dénomination des différents mélanges :

❖ C1

C1-0%: {50% sable mixte, 50% ciment, 5% poudre de marbre, 0% adjuvant, E/L=0.5}.

C1-0.5%: {50% sable mixte, 50% ciment, 5% poudre de marbre, 0.5% adjuvant, E/L=0.5}.

C1-1%: {50% sable mixte, 50% ciment, 5% poudre de marbre, 1% adjuvant, E/L=0.5}.

C1-1.5%: {50% sable mixte, 50% ciment, 5% poudre de marbre, 1.5% adjuvant, E/L=0.5}.

❖ C2

C2-0%: {40% sable mixte, 60% ciment, 5% poudre de marbre, 0% adjuvant, E/L=0.5}.

C2-0.5%: {40% sable mixte, 60% ciment, 5% poudre de marbre, 0.5% adjuvant, E/L=0.5}.

C2-1%: {40% sable mixte, 60% ciment, 5% poudre de marbre, 1% adjuvant, E/L=0.5}.

C2-1.5%: {40% sable mixte, 60% ciment, 5% poudre de marbre, 1.5% adjuvant, E/L=0.5}.

❖ C3

C3-0%: {30% sable mixte, 70% ciment, 5% poudre de marbre, 0% adjuvant, E/L=0.5}.

C3-0.5%: {30% sable mixte, 70% ciment, 5% poudre de marbre, 0.5% adjuvant, E/L=0.5}.

C3-1%: {30% sable mixte, 70% ciment, 5% poudre de marbre, 1% adjuvant, E/L=0.5}.

C3-1.5%: {30% sable mixte, 70% ciment, 5% poudre de marbre, 1.5% adjuvant, E/L=0.5}.

III.2 Composition de mortier auto plaçant pour 1m³:

Sable mixte (40% sable alluvionnaire ,60% sable de Dune) fixé

- Ciment : CEM II A-L 42.5 N GICA
- Poudre de marbre (5% du poids de ciment) fixé.
- Adjuvant(Medafluid40) (0%,0.5%,1%,1.5%, en substitution au poids du ciment).
- E/L=0.5

Tableau III-1 pourcentage des matériaux pour les combinaisons C₁, C₂, C₃

Combinaison	Ciment	Sable mixte	Poudre de marbre (fixé)	adjuvant
C1	50%	50%	5%	0%,0.5%,1%,1.5%
C2	60%	40%	5%	0%,0.5%,1%,1.5%
C3	70%	30%	5%	0%,0.5%,1%,1.5%

Tableau III-2 Composition des mortiers pour les différentes combinaisons

Combinaison	Ciment (g)	Poudre de marbre (g)	Sable mixte (40%SA, 60%SD) (g)	Eau (g)	Adjuvant (g)
C1-0%	3800	200	4000	2000	0
C1-0.5%	3800	200	4000	2000	20
C1-1%	3800	200	4000	2000	40
C1-1.5%	3800	200	4000	2000	60
C2-0%	4560	240	3200	2400	0
C2-0.5%	4560	240	3200	2400	24
C2-1%	4560	240	3200	2400	48
C2-1.5%	4560	240	3200	2400	72
C3-0%	5320	280	2400	2800	0
C3-0.5%	5320	280	2400	2800	28
C3-1%	5320	280	2400	2800	56
C3-1.5%	5320	280	2400	2800	84

III.3 Essais Sur Mortier Auto Plaçant Frais :

III.3.1 Essai Au Mini Cône D'étalement :

Tableau III-3 L'étalement relatif au mini cône pour C1 (E/L=0.5)

Combinaison	Ciment (g)	Poudre de marbre (g)	Sable mixte (40%SA, 60%SD) (g)	Eau (g)	Adjuvant (g)	Etalement au mini cône (cm) D_{moy}	R_P (mm)
C1-0%	3800	200	4000	2000	0	10	0
C1-0.5%	3800	200	4000	2000	20	15	1.25
C1-1%	3800	200	4000	2000	40	22	3.84
C1-1.5%	3800	200	4000	2000	60	24	4.76

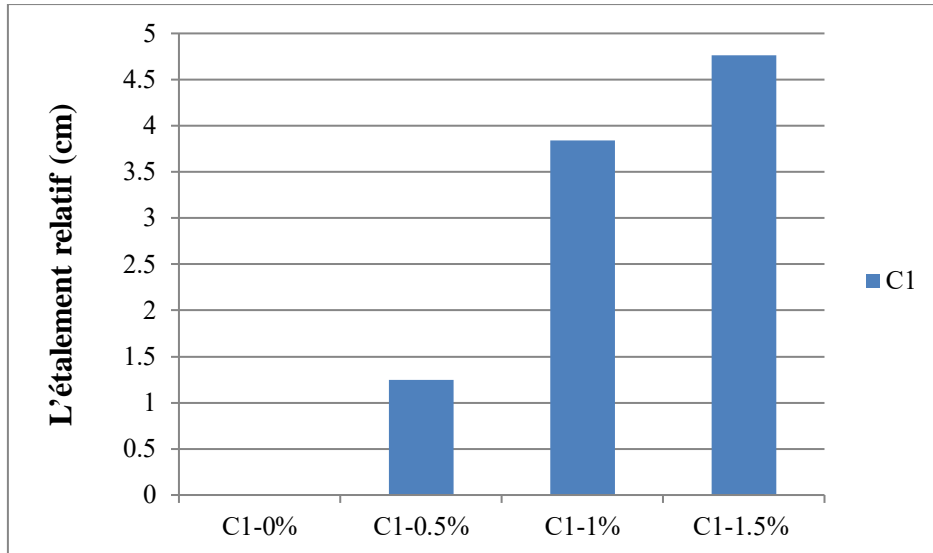


Figure III-1– Variation de l'étalement au mini cône pour C1

Tableau III-4 L'étalement relatif au mini cône pour C2 (E/L=0.5)

Combinaison	Ciment (g)	Poudre de marbre (g)	Sable mixte (40%SA, 60%SD) (g)	Eau (g)	Adjuvant (g)	Etalement au mini cône (cm) D_{moy}	R_p (mm)
C2-0%	4560	240	3200	2400	0	18	2.24
C2-0.5%	4560	240	3200	2400	24	24	4.76
C2-1%	4560	240	3200	2400	48	26	5.76
C2-1.5%	4560	240	3200	2400	72	27	6.29

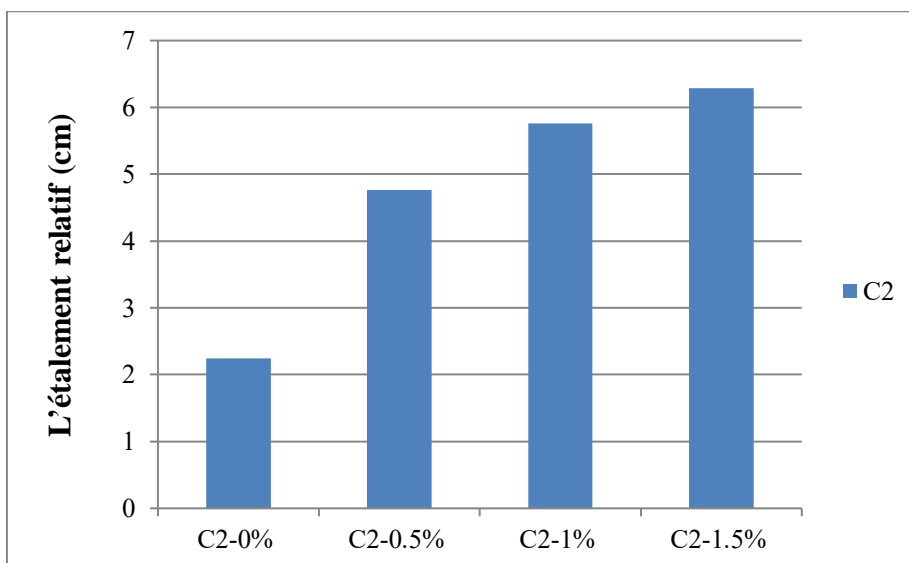


Figure III-2– Variation de l'étalement au mini cône pour C2

Tableau III-5 L'étalement relatif au mini cône pour C3 (E/L=0.5)

Combinaison	Ciment (g)	Poudre de marbre (g)	Sable mixte (40%SA, 60%SD) (g)	Eau (g)	Adjuvant (g)	Etalement au mini cône (cm) D_{moy}	R_p (mm)
C3-0%	5320	280	2400	2800	0	18	2.24
C3-0.5%	5320	280	2400	2800	28	25	5.25
C3-1%	5320	280	2400	2800	56	32	9.24
C3-1.5%	5320	280	2400	2800	84	36	11.96

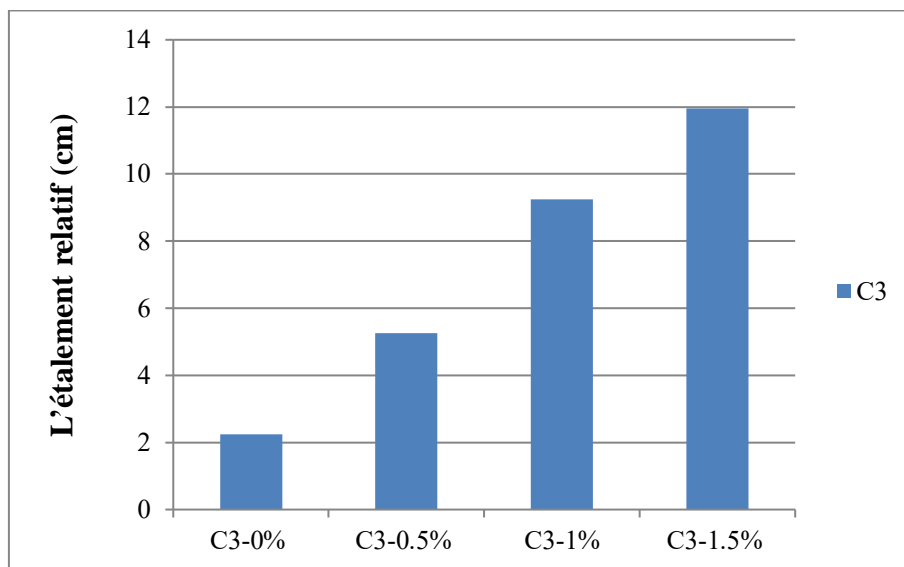


Figure III-3– Variation de l'étalement au mini cône pour C3

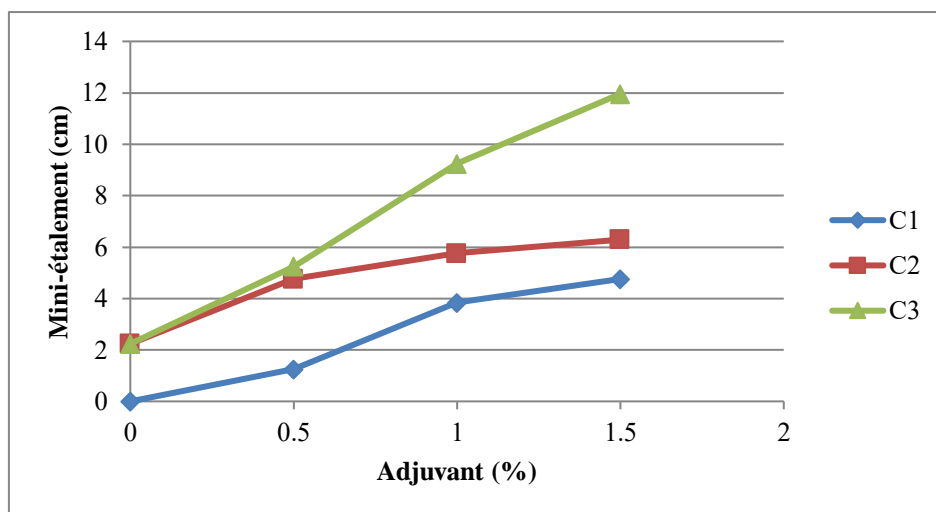


Figure III-4– L'étalement au mini cône en fonction du pourcentage d'adjuvant

On remarque que pour un pourcentage d'adjuvant supérieur a 1% on à un bon étalement au mini cône, la combinaison C₃ avec 70 % ciment et 30 % sable mixte donne le meilleur étalement au mini cône, mais il faut faire d'autre essais comme le V funnel et l'essai de ressuage qui a une grande importance si on veut confectionner un mortier auto nivelant.

III.3.2 Essai Au Mini V-Funnel :

Tableau III-6 Temps d'écoulement au mini V- Funnel pour C1 (E/L=0.5)

Combinaison	Ciment (g)	Poudre de marbre (g)	Sable mixte (40%SA, 60%SD) (g)	Eau (g)	Adjuvant (g)	Tempes d'écoulement au mini V Funnel (S)
C1-0%	3800	200	4000	2760	0	6.59
C1-0.5%	3800	200	4000	2120	20	4.22
C1-1%	3800	200	4000	2000	40	3.72
C1-1.5%	3800	200	4000	2000	60	2.4

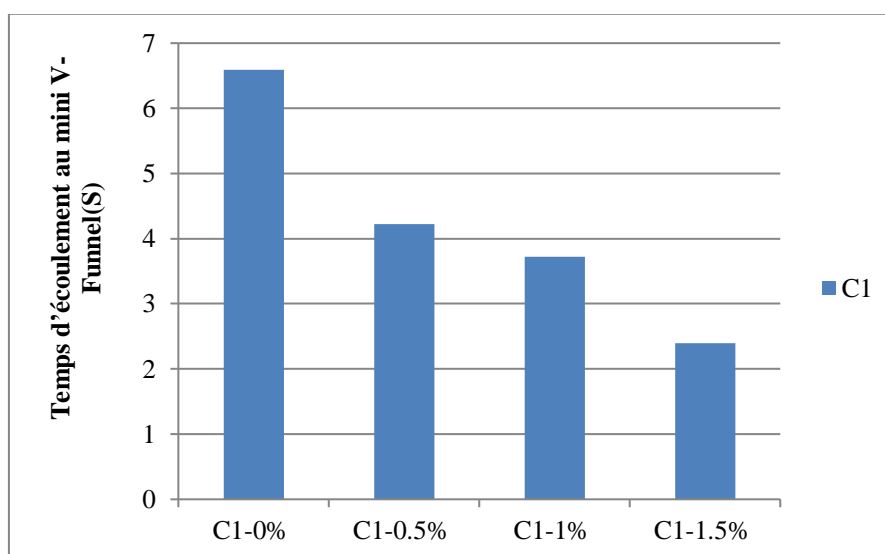


Figure III-5– Temps d'écoulement au mini V- Funnel pour C1

Tableau III-7 Temps d'écoulement au mini V - Funnel pour C2 (E/L=0.5)

Combinaison	Ciment (g)	Poudre de marbre (g)	Sable mixte (40%SA,60%SD) (g)	Eau (g)	Adjuvant (g)	Temps d'écoulement au mini V Funnel (S)
C2-0%	4560	240	3200	2400	0	4.6
C2-0.5%	4560	240	3200	2400	24	2.96
C2-1%	4560	240	3200	2400	48	1.93
C2-1.5%	4560	240	3200	2400	72	

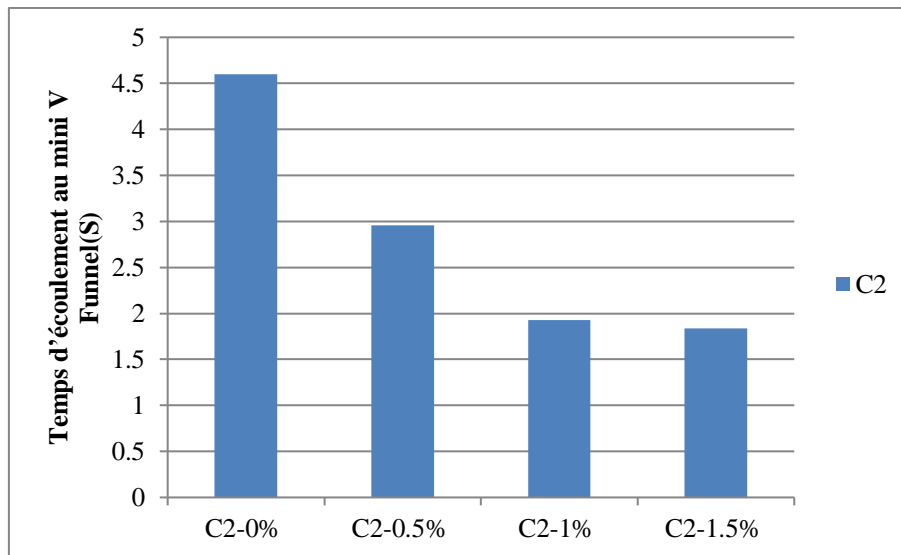


Figure III-6– Temps d'écoulement au mini V - Funnel pour C2

Tableau III-8 Temps d'écoulement au mini V - Funnel pour C3 (E/L=0.5)

Combinaison /les facteurs	Ciment (g)	Poudre de marbre (g)	Sable mixte (40%SA, 60%SD) (g)	Eau (g)	Adjuvant (g)	Temps d'écoulement au mini V- Funnel (S)
C3-0%	5320	280	2400	2800	0	2.88
C3-0.5%	5320	280	2400	2800	28	2.20
C3-1%	5320	280	2400	2800	56	1.65
C3-1.5%	5320	280	2400	2800	84	1.09

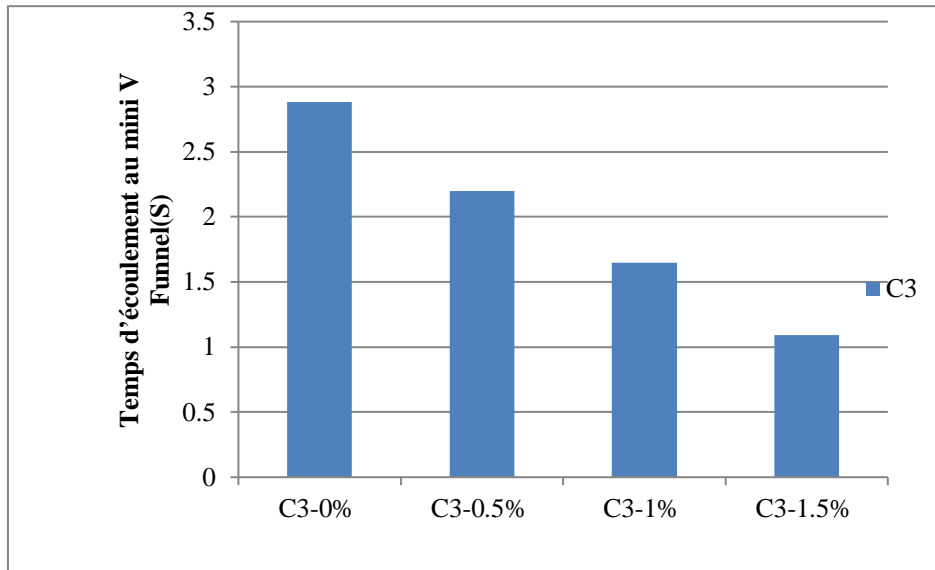


Figure III-7– Temps d'écoulement au mini V- Funnel pour C3 (E/L=0.5)

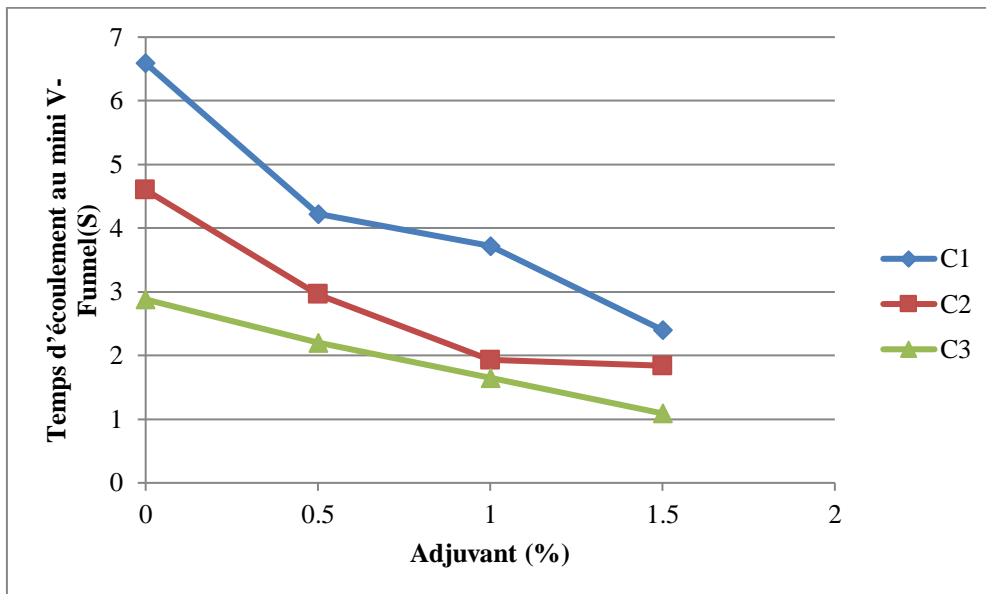


Figure III-8– Temps d'écoulement au mini V- Funnel en fonction du pourcentage d'adjuvant

III.3.3 Essai Au Bac En Plexiglas :

L'essai au Bac en plexiglas est un essai important surtout pour les MAP auto-nivelant, la surface supérieure du MAP (surface libre) doit être horizontale, d'où l'importance de cet essai.

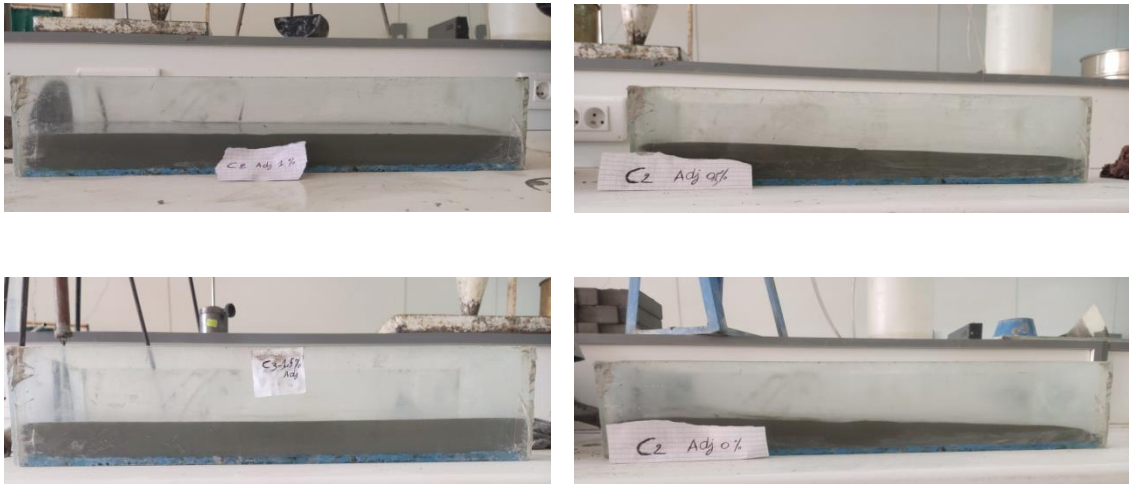


Figure III-9– Photos montrant la planéité de la surface libre des différentes combinaisons.

On note que le mélange MAP de combinaison C₃ avec 1.5% d'adjuvant donne le meilleur résultat concernant la planéité du mortier.

III.3.4 Essai de ressuage :

L'essai de ressuage est un essai très important, le ressuage est un inconvénient majeur pour les mortiers MAP, après coulage de ces mortiers des flaques d'eau se forme au-dessus de la surface libre de ces mortiers ce qui forme des concavités et des vides à la surface de ces mortiers et le mortier ne sera plus auto- nivelant.

Tableau III-9 Ressuage pour différents combinaison (0% d'adjuvant)

Combinaison	Ressuage %	Combinaison	Ressuage %	Combinaison	Ressuage %
C1-0%	0.75	C2-0%	0.75	C3-0%	1.25
C1-0.5%	1.25	C2-0.5%	1.75	C3-0.5%	1.75
C1-1%	3	C2-1%	2.25	C3-1%	6.75
C1-1.5%	0.5	C2-1.5%	3.25	C3-1.5%	5.75

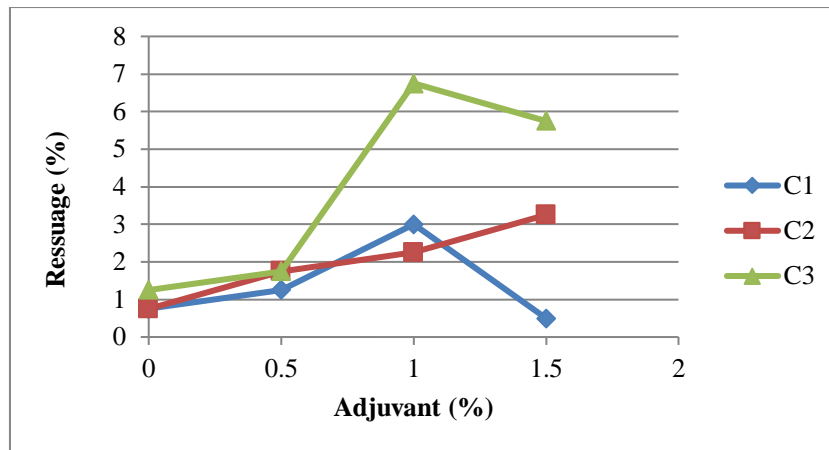


Figure III-10– Ressuage en fonction du pourcentage d’adjuvant

On remarque que le ressuage devient important pour des dosages supérieures à 0.5 à 0.8 % d’adjuvant

La combinaison C₁ avec 1.5% d’adjuvant donne un ressuage presque nul.

III.4 Essais sur mortier auto plaçant durci :

III.4.1 Résistance à la traction par flexion :

Tableau III–10 Résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différentes combinaisons (0% d’adjuvant)

Nomination	Résistance à la traction par flexion (MPa)		
	7jours	14jours	28jours
C1-0%	3,83	1.99	2.69
C2-0%	4.16	2.26	2.8
C3-0%	2.86	3.76	2.03

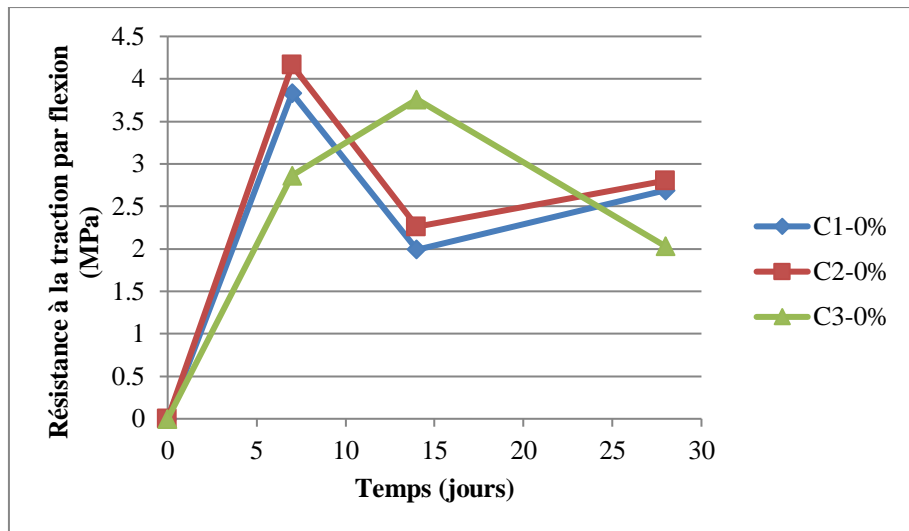


Figure III-11– Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différents combinaison (0% d'adjuvant)

Tableau III–11 Résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différents combinaison (0.5% d'adjuvant)

Nomination	Résistance à la traction par flexion (MPa)		
	7jours	14jours	28jours
C1-0.5%	3.78	2.83	4.72
C2-0.5%	2.84	2.6	2.6
C3-0.5%	3.22	2.95	2

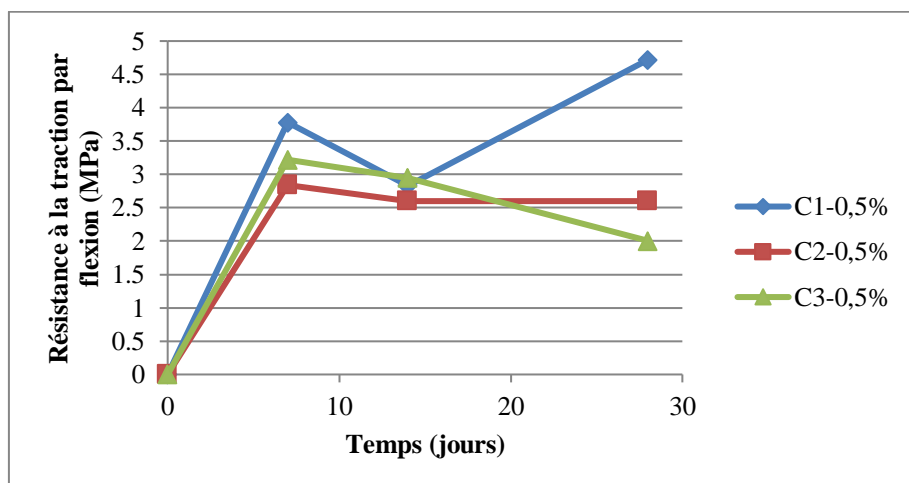


Figure III-12– Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différents combinaison (0.5% d'adjuvant)

Tableau III-12 Résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différents combinaison (1% d'adjuvant)

Nomination	Résistance à la traction par flexion (MPa)		
	7jours	14jours	28jours
C1-1%	2.66	2.79	3.32
C2-1%	2.35	2.46	2.25
C3-1%	2.43	2.8	2.38

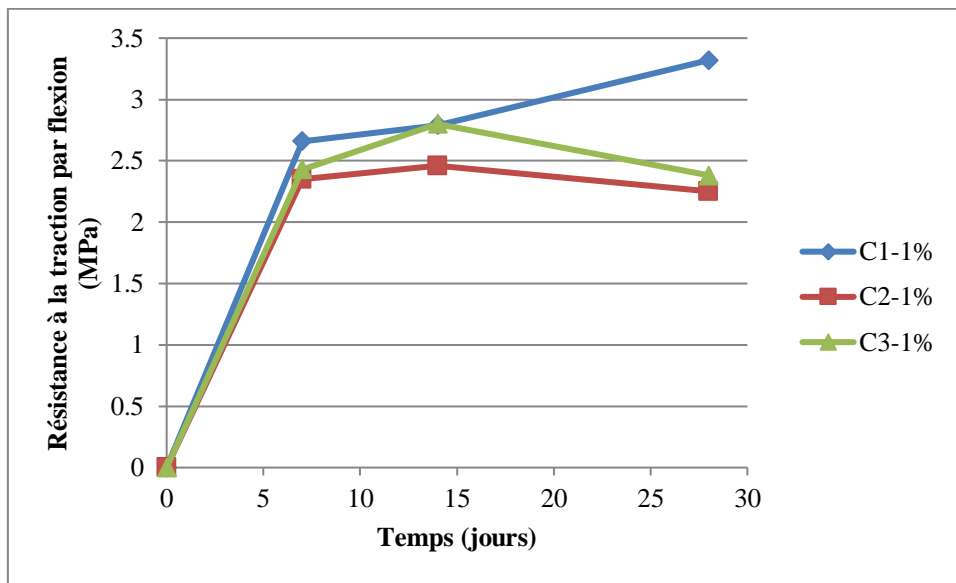


Figure III-13- Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différents combinaison (1% d'adjuvant)

Tableau III-13 Résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différents combinaison (1.5% d'adjuvant)

Nomination	Résistance à la traction par flexion (MPa)		
	7jours	14jours	28jours
C1-1.5%	2.26	2.61	3.72
C2-1.5%	2.38	4.04	3.98
C3-1.5%	3.22	2.76	2.55

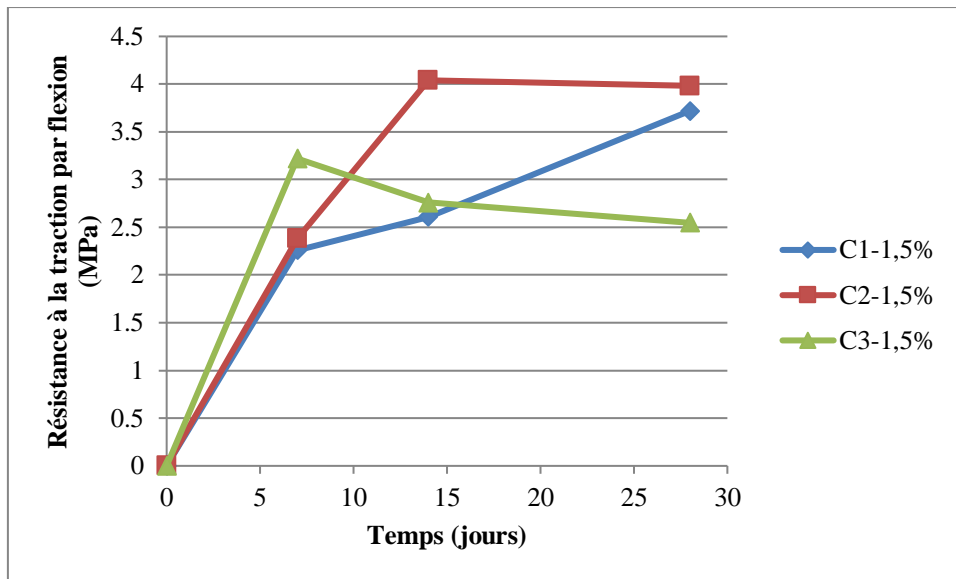


Figure III-14– Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de temps pour différents combinaison (1.5% d'adjuvant)

On remarque aussi une augmentation de la résistance à la traction par flexion par rapport au temps jours pour la combinaison c1 1.5%, pour la combinaison c3 1.5% on remarque une diminution de la résistance à la traction par flexion a 28 jours pour les mélanges avec l'adjuvant.

III.4.2 Résistance à la compression :

Tableau III-14 Résistance à la compression en fonction de temps pour différents combinaison (0% d'adjuvant)

Nomination	Résistance à la Compression (MPa)		
	7jours	14jours	28jours
C1-0%	18.13	21.43	25.31
C2-0%	23.85	29.66	42.63
C3-0%	29.6	32.94	38.73

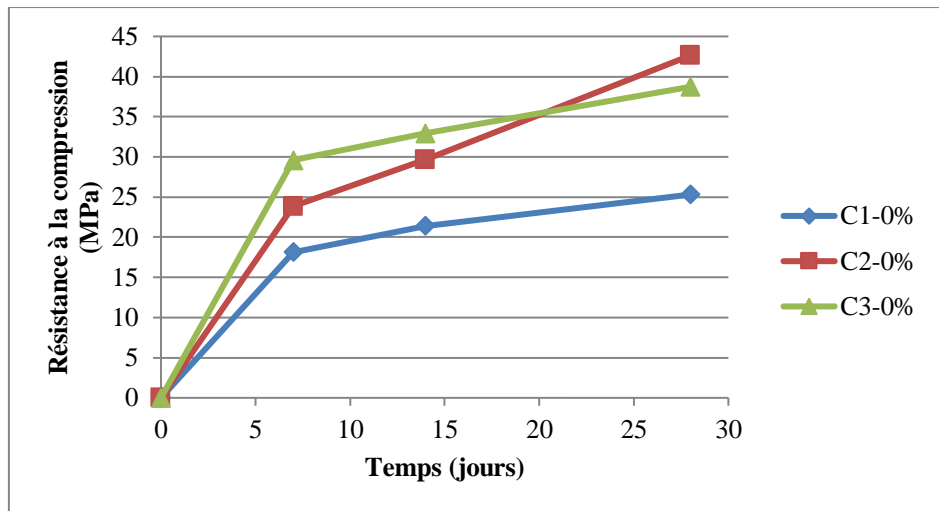


Figure III-15– Variation de la résistance à la compression en fonction de temps pour différents combinaison (0% d'adjuvant)

Tableau III-15 Résistance à la compression en fonction de temps pour différents combinaison (0.5% d'adjuvant)

Nomination	Résistance à la Compression (MPa)		
	7jours	14jours	28jours
C1-0.5%	23.05	30.99	41.7
C2-0.5%	25.59	30.62	47.75
C3-0.5%	26	46.42	43.17

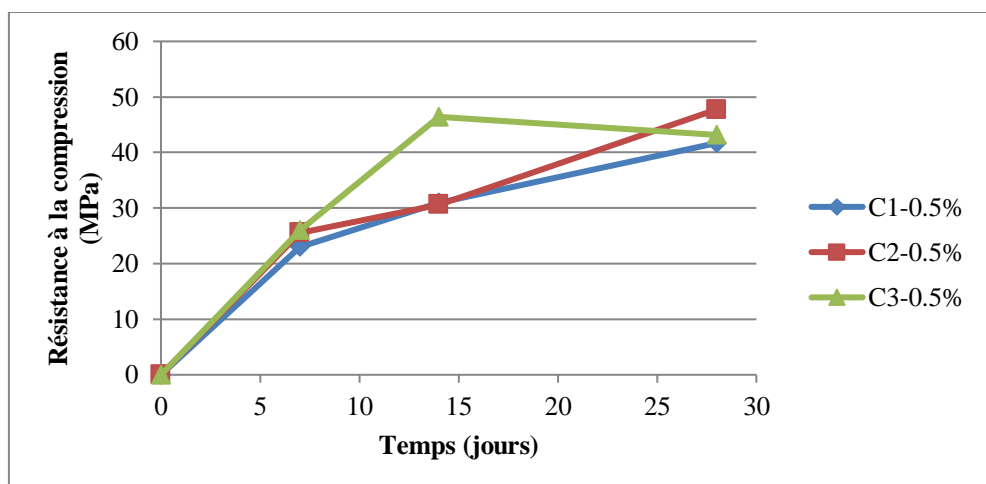


Figure III-16– Variation de la résistance à la compression en fonction de temps pour différents combinaison (0.5% d'adjuvant)

Tableau III–16 Résistance à la compression en fonction de temps pour différents combinaison (1% d'adjuvant)

Nomination	Résistance à la Compression (MPa)		
	7jours	14jours	28jours
C1-1%	28.9	34	52.01
C2-1%	25.25	38.59	48.95
C3-1%	31.92	45.28	39.55

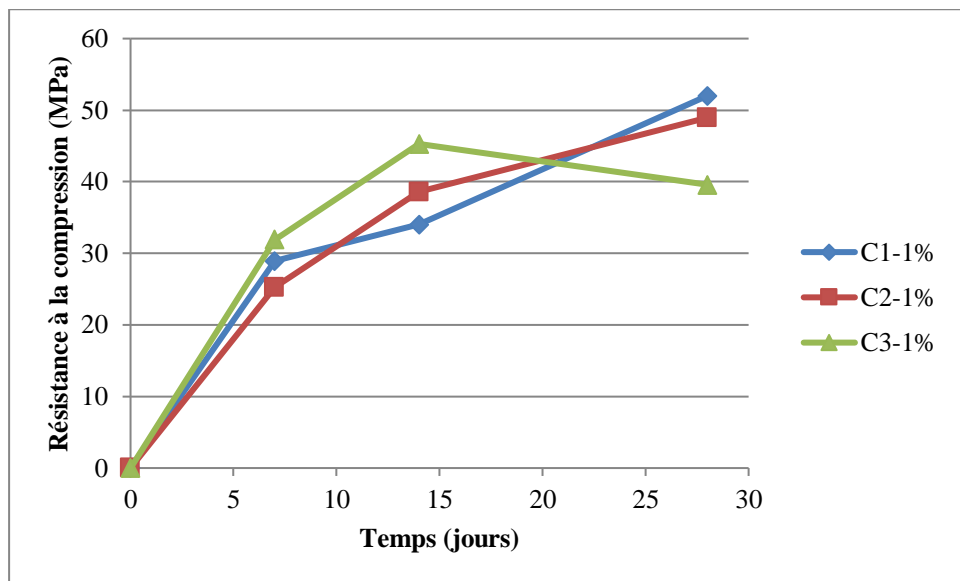


Figure III-17– Variation de la résistance à la compression en fonction de temps pour différents combinaison (1% d'adjuvant)

Tableau III–17 Résistance à la compression en fonction du temps pour différents combinaison (1.5% d'adjuvant)

Nomination	Résistance à la Compression (MPa)		
	7jours	14jours	28jours
C1-1.5%	31.52	36.76	51.61
C2-1.5%	26.67	34.5	43.49
C3-1.5%	32.5	46.95	48.02

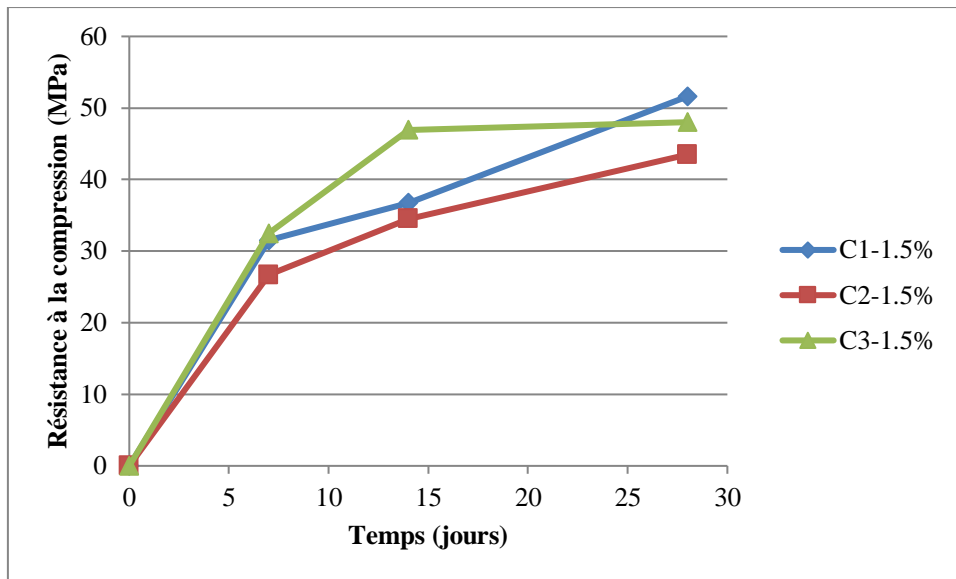


Figure III-18– Variation de la résistance à la compression en fonction du temps pour différents combinaisons (1.5% d'adjuvant)

On remarque une augmentation de la résistance à la compression par rapport au temps pour les deux combinaisons C_1 et C_2 , pour la combinaison C_3 on remarque une diminution de la résistance à la compression à 28 jours pour les mélanges avec adjuvant.

On remarque aussi d'après les graphes représentant la résistance à la compression que les mélanges avec un pourcentage d'adjuvant égale à 1% donne les meilleurs résultats.

III.5 Influence du pourcentage d'adjuvant sur la résistance mécanique :

Tableau III-18 Résistance à la traction par flexion à 28J en fonction du pourcentage d'Adjuvant

Adjuvant (%)	Résistance à la traction par flexion à 28J		
	C1	C2	C3
0 (%)	2.69	2.80	2.03
0.5 (%)	4.72	2.60	2.00
1 (%)	3.32	2.25	2.38
1.5 (%)	3.72	3.98	2.55

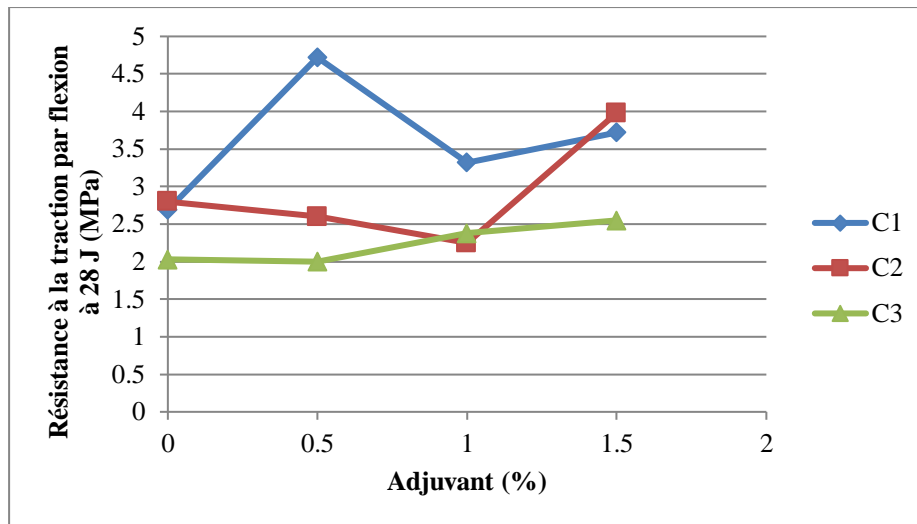


Figure III-19– Résistance à la traction par flexion à 28J en fonction du pourcentage d’Adjuvant (%)

Tableau III-19 Résistance à la compression à 28J en fonction du pourcentage d’Adjuvant.

Adjuvant (%)	Résistance à la Compression à 28J		
	C1	C2	C3
0(%)	25.31	42.63	38.73
0.5(%)	41.70	47.75	43.17
1(%)	52.01	48.95	39.55
1.5(%)	51.61	43.49	48.02

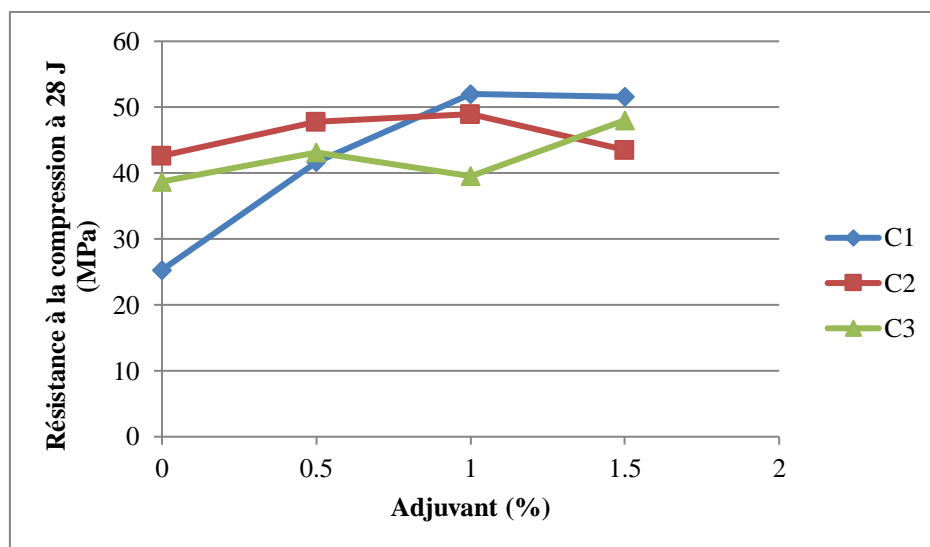


Figure III-20– Résistance à la Compression à 28J en fonction du pourcentage d’adjuvant (%)

Conclusion générale

Conclusion générale

Le mortier auto plaçant (MAP) est un mortier fluide. La superfluidité qu'on connaît si bien au mortier auto plaçant est tout à fait naturelle et elle est due à l'ajout d'un complément principal. Il s'agit d'un fluidifiant qui sert à garantir la fluidification du mélange avec une meilleure prise du mortier.

Dans le cadre de ce travail qui nous a été proposé, nous avons remarqué que :

- Une augmentation de la résistance à la compression par rapport au temps pour les deux combinaisons C₁ et C₂, pour la combinaison C₃ on remarque une diminution de la résistance à la compression à 28 jours pour les mélanges avec adjuvant.
- D'après les graphes représentant la résistance à la compression, les mélanges avec un pourcentage d'adjuvant égal à 1% donnent les meilleurs résultats.
- Le ressuage devient important pour des dosages supérieurs à 0.5 à 0.8 % d'adjuvant, la combinaison C₁ avec 1.5% d'adjuvant donne un ressuage presque nul.
- Le mélange MAP de combinaison C₃ avec 1.5% d'adjuvant donne le meilleur résultat concernant la planéité du mortier.
- Pour un pourcentage d'adjuvant supérieur à 1% on a un bon étalement au mini cône, la combinaison C₃ avec 70% ciment et 30% sable mixte donne le meilleur étalement au mini cône, mais il faut faire d'autres essais comme le V- funnel et l'essai de ressuage qui a une grande importance si on veut confectionner un mortier auto nivelant.
- On remarque aussi une augmentation de la résistance à la traction par flexion par rapport au temps pour la combinaison C₁- 1.5%, pour la combinaison C₃-1.5% on remarque une diminution de la résistance à la traction par flexion à 28 jours pour les mélanges avec adjuvant.
- Cette recherche nous a permis de dire que l'adjuvant (**MEDAFLUID 40**) donne une bonne maniabilité et un bon étalement avec une incursion élevée.
- En conclusion, pour un mortier auto plaçant auto nivelant il nous faut un bon étalement, très faible ressuage, avec une résistance acceptable.

Cette étude nous a permis d'acquérir plusieurs connaissances:

- Elle nous a permis de s'insérer dans le monde de la recherche scientifique.
- Savoir gérer les équipements de recherche scientifique.
- Savoir analyser, organiser et modéliser les résultats par la méthodologie des plans d'expériences.
- Savoir évaluer la fluidité du mortier auto plaçant par l'essai de V- Funnel et l'étalement au Mini Cône.
- Savoir formuler un mortier auto plaçant et auto nivelant.
- Savoir formuler un mortier auto nivelant à faible ressuage.
- Connaître les facteurs qui favorisent le ressuage et la fluidité.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]- **Tafraoui Ahmed**, doctorat de l'université de Toulouse, contribution à la valorisation de sable de dune de l'erg occidental (Algérie), année 2009.
- [2]- **Norme Française**, granulats et équivalent de sable, Torraca G., P71, Paris, France, septembre année 1998.
- [3]- **Dreux G., festa J.**, nouveau guide du béton et de ses constituants, Paris, France, année 1969.
- [4]- **Ecole d'Avignon**, techniques et pratiques de la chaux, Eyrolles, Paris, France, P187, année 1997.
- [5]- **Tournon J.**, construction en terre et tremblements de terre, revue n° 17 de l'hiver, publie le, 4 février année 2004.
- [6]- **Philippe Boudon et Philippe Deshayes**, le dictionnaire d'architecture, Bruxelles, P12, année 1979.
- [7]- **Adam J. P.**, la construction romaine, matériaux techniques, deuxième édition, Picard G. M., Paris, France, P 77, année 1989.
- [8]- **AbdelHamid RMILI** : Étude de formulation et de comportement des Bétons Auto-Plaçants : Incorporation du sable de concassage et du sable du désert 13 janvier 2010.
- [9]-**Mr. GUELLIL Mustapha Khadir** : formulation des betons autoplaçants par la methode de la pate en exces et soutenu le 2012
- [10]-**ASSOCIATION FRANÇAISE DE GÉNIE CIVIL AFGC 2008** : Groupe de Travail - Recommandations pour l'emploi es bétons autoplaçants. Documents scientifiques et techniques. 2ème Édition. Janvier 2008.
- [11]-**M. YURUGI, N. SAKATA, M. IWAI & G. SAKAI** 1993 : Mix proportion for highly workable concrete. Conference Concrete 2000. Dundee. 7-9 September 1993.
- [12]-**S. TANGTERMSIRIKUL, J. SAKAMOTO, T. SHINDOH & Y.H. MATSUOKA** 1991 : Evaluation of resistance to segregation of super workable concrete and role of a new type of viscosity agent. Taisei Technical Research Report. N° 24, pp 369-376. December 1991.
- [13]-**F. DE LARRARD, F. BOSC, C. CATHERINE & F. DE FLORENNE** 1996 : La nouvelle méthode des coulis de l'AFREM pour la formulation des bétons à hautes performances. Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées. N° 202, pp 61-69. Mars-Avril 1996
- [14]-**Sedran T. (1999)**, « Rhéologie et rhéométrie des bétons : Application à la formulation des bétons autonivelants », Thèse de Doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, Mars.

- [15]-**S.KUROIWA, Y. MATSUOKA, M. HAYAKAWA & T. SHINDOH** 1993: Application of super workable concrete to construction of a 20-story building. American Concrete Institute SP140 (High Performance Concrete in Severe Environments). Detroit, Michigan. pp 147-161. 1993.
- [16]-**T. SHINDOH, Y. MATSUOKA, S. TANGTERMSIRIKUL & J. SAKAMOTO** 1992 : Effect of variation of material quality on properties of super workable concrete. Transactions of Japan Concrete Institute. V 14, pp 71-78. 1992.
- [17]- **Okamura H. and Ouchi. M.**, “Self- compacting concrete, development, present use and future”, In Proceedings of the First International RILEM Symposium of Self- Compacting Concrete; RILEM,1999.
- [18]- **Okamura H., Ozawa K., and Ouchi M.**, “Self- compacting concrete.” Structural Concrete, (1):3_17, March2000.
- [19]- **Okamura H. and Ouchi M.**, “Self- Compacting Concrete”, Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, No. 1, 5- 15, April (2003).
- [20]- **Khayat, K.H., Assaad, J., Daczko J., (2004).** “Comparison of Field- oriented Test Methods to Assess Dynamic Stability of Self- Consolidated Concrete”, ACI Materials Journal, V. 101,No. 2, March –April 2004, pp. 168- 176.
- [21]- **M Maza ,S. Zitouni, A Nacéri , 2016,** Physico-mechanical properties of mortar made with binary natural fine aggregates (dune sand and crushed sand) with and without chemical admixture, ASIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING (BHRC) 17 (5), 663-682
- [22]- **M. MAZA, T Ayadat : 1995, Traitement des bétons et mortiers à base de sables concassés locaux par des adjuvants - Annales de l'Institut technique du bâtiment et des travaux publics. Numéro 539 Pages 93-116.**
- [23]- **[N. Tebbal, Z Rahmouni, M Maza] : 2017** Combined effect of silica fume and additive on the behavior of high performance concretes subjected to high temperatures,- Mining Science, 2017, volume 24, pages 129--145
- [24]-**BEN FETTACHA Mohamed Abdou:** de COMPACITÉ DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS AUX DIFFÉRENTS TYPES DE SABLES Soutenu le : 04/06/2016
- [25]-**J. Baron et J.P. Olivier "** les bétons : bases et données pour leur formulations "Edition,Eyrolles- Paris - 1999.
- [26]- **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,
- [27]- **R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN** «Granulat, sols, ciment et béton»Edition Casteilla-paris-2004.
- [28] **Ayachi Amor Mohamed,** Etude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes, mémoire de master Université Kasdi Merbah de Ouargla, année 2011.
- [29] **Slimane Zitoune,Chikh Dahmane Ahmed,**Amélioration de la durabilité du mortier du ciment exposé à la nappe phréatique,mimoire de master, université Kasdi Merbah,de ouargla, année 2011.

Annexes

Annexe A

المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر



المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر
GRUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE
 SOCIETE DES CIMENTS DE TEBESSA
 « S.C.T »

Groupes Industriels des Ciments d'Algérie

N° Identification Fiscale : 099 412 200 315 638 - N° Article d'imposition : 12 200 101 077 - N° Registre de Commerce : 98 805 82 093 00/12

Enreg : **FTC 13-1/PRO 05**
 Réf : **019/SceCQ/18**
 Mois de Novembre 2018

FICHE TECHNIQUE

CIMENT PORTLAND COMPOSE CEM II/A-M(P-L) 42,5 NA 442/2013

Conformément à la norme NA 442/2013

ANALYSES CHIMIQUES		
Eléments	Garanties NA 442	Teneurs%
SiO ₂ (NA 5042)		21,35
Al ₂ O ₃ (NA 5042)		4,48
Fe ₂ O ₃ (NA5042)		4,70
CaO(NA5042)		63,67
MgO (NA5042)	≤ 5%	1,18
SO ₃ (NA 5042)	≤3,5%	1,95
CL	≤0,10 %	0,002

ESSAIS PHYSIQUES			
		Garanties NA 442	Mesures
P.S (g/Cm ³)(NA231)			3,02
SSB cm ² /g (NA 231)			3895
Temps de Prise (NA 230)	Début	≥1h	2:13
	Fin		3:08
Expansion mm (NA 230)	A. Chaud	≤ 10 mm	1,14
	A.Froid		
Refus %	45μ		13,40

ESSAIS MÉCANIQUES(NA 234)			
Resistances	Échéance en jours	Garanties NA 442	Mesures
Résistance à la flexion MPA	02 JOURS		3,0
	07 JOURS		4,5
	28 JOURS		7,1
Résistance à la compression Mpa	02 JOURS	≥10	17,8
	07 JOURS		28,4
	28 JOURS	≥40	43,5

NB: Resistance âge de 28 jours est la moyenne de mois d'octobre 2018



Société des Ciments de Tébessa
 Filiale du GROUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE «Groupe GICA»

Siège Social: rue Belkacem Youcef, BP n°83 RP - Tébessa - Algérie
 Tél: +213(0)37 59 27 98 Fax: +213(0)37 59 25 84
 email: secretariat.dg.sct@gmail.com

www.sct.dz

Annexe B

NOTICE TECHNIQUE

2 1 2 3

MEDAFLUID 40

Conforme à la norme EN 934-2 : TAB 1 ET TAB 2 ET TAB 10. NA 774

Plastifiant / réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAFLUID 40** est un plastifiant réducteur d'eau. Il est compatible avec tous les types de ciment.

DOMAINES D'APPLICATION

Le **MEDAFLUID 40** est recommandé pour la confection des bétons suivants :

- Béton prêt à l'emploi
- Béton pompé sans forme de ségrégation
- Béton de masse
- Fabrication de dalles et pré-dalles
- Bétons BCR
- Bétons extrudés

PROPRIÉTÉS :

Grâce à ses propriétés physico-chimiques, le **MEDAFLUID 40** permet :

Sur béton frais :

- Diminuer le rapport E/C
- Augmenter le slump
- Faciliter la mise en œuvre du béton
- Éviter la ségrégation

Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques
- Augmenter la compacité
- Augmenter l'imperméabilité
- Augmenter la durabilité
- Éviter la formation de nids d'abeilles

Résistances mécaniques en compression (béton dosé à 350 kg/m³. E/C=0.42. Aff=11cm)

Désignation	Rc (MPa)	
Jours	7J	28J
Témoin	22,5	28,0
MEDAFLUID 40 (1,5%)	28,5	36,30

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect Liquide
- Couleur Marron
- pH 8 / 9
- Densité 1,19 ± 0,01
- Teneur en chlore < 0,1 g/l
- Extrait sec..... 40 %

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLUID 40** peut être ajouté dans la bétonnière ou dans les camions malaxeurs :

a) Dans la bétonnière il s'ajoute dans la deuxième partie de l'eau de gâchage et doit être suivi d'un malaxage d'environ 2 minutes.

b) Dans le camion malaxeur, le **MEDAFLUID 40** est introduit dans la toupie à l'arrêt et malaxé à grande vitesse pendant environ 1 minute par mètre cube de béton.

Ne pas ajouter le **MEDAFLUID 40** sur le béton sec.

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,8 à 2,0% du poids de ciment. Soit 0,67 L à 1,68 L d'adjuvant pour 100 kg de ciment.

Des dosages supérieurs à 1,5% du poids de ciment (soit 1,2 l d'adjuvant par 100kg de ciment) permettent d'obtenir un retard de début de prise du ciment.

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

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLUID 40** est conditionné en bidons de 12 et 24 kg, fûts de 265 kg, cubitenaire de 1200 kg.

La température dans l'entrepôt de stockage doit être comprise entre 5°C et 35°C.

Si le produit a gelé, le dégeler à 20°C et le remuer

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



95

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



Annexe B

MEDAFLUID 40

jusqu'à ce qu'il retrouve ses propriétés initiales.
Délai de conservation :
06 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel
et de la chaleur.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

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

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



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

