REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : matériaux en génie civil

Thème : Etude De L'influence De La Poudre De Marbre Sur Les Propriétés Des Mortiers Autoplacant

---

Présenté par

MEGATELI SAMIA et **TERRAS NASSIMA**

Proposé et Dirigé par

M^{Me} : boucherit dalila

Promotion Juin 2019

REMERCIEMENTS



On tient à remercier en premier lieu DIEU "Allah" Miséricordieux Qui nous a donné la force et la volonté d'achever ce modeste travail.

On adresse nos remerciements à notre promoteur M^m^ **BOUCHRIT Dalila**, on le remercie de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé pour la réalisation de ce travail.

On remercie également MAHMOUDI Elhadi et M^elle^. KHALFAOUI Maroua Amina à la fois pour sa patience, Sa disponibilités
Et surtout ses judicieux conseils.

Nous tenons à exprimer nos remerciements à tous les enseignants et les étudiants de la 2ème Année Master Matériaux en Génie civil pour leur esprit de groupe et leur solidarité

Et sans oublier à remercier nos familles pour leurs soutiens et leurs encouragements.

Finalement, merci pour toutes personnes qui nous ont aidées de près ou de loin, directement ou indirectement à l'élaboration de ce modeste travail.

Dédicace



Je tien à dédie ce travail

Sincèrement à :

- ✓ ***Tout d'abord je tiens à remercier le Dieu tout puissant qui m'adonné la force et la patience à achevé ce travail.***
- ✓ ***A mes chers parents, source d'affectation de courage et d'inspiration qui a autant sacrifié pour me voir atteindre ce jour.***
- ✓ ***Mon frère Mahfoud Eddine et sœurs *Asmaa, Marwa* qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité, et a tout ma famille.***
- ✓ ***Pour mon binôme nassima pour son encouragement.***
- ✓ **A tous mes amis(es) de spécialité de Génie CIVIL promotion 2019**

Megateli Samia

Dédicace



Je tien à dédie ce travail Sincèrement à :

- ✓ ***À mes très cher parent, Pour ceux qui portent son nom avec fierté…mon père et le secret de mon succès.. ma chère mère. Aucune dédicace, aucune mot ne serait exprimer ma gratitude, mon amour et mon profond respect votre affection et votre soutien m'ont permis d'atteindre mon but je prie Dieu, le tout puissant de sous protège et de vous procurer santé , bonheur et long vie.***
- ✓ ***À mes très cher sœurs , à ma nièce Amira et mon fiancé.***
- ✓ ***À tout ma famille sans exception , mes amis et mes collègues .***
- ✓ ***En fin je remercie mon binôme Samia pour son encouragement .***

Terras Nassima

ملـــخـــــص

في مجال البناء، تركز الأبحاث الحالية على إنتاج المواد البيئية من أجل تحقيق التنمية المستدامة .يجب أن يلبي هذا النوع الجديد من المواد
المتطلبات الاقتصادية والبيئية المزدوجة

الهدف من هذا البحث هو تقييم خصائص سلسلتين من الملاط المتموضع الذاتي ، مع استبدال الأسمنت (5٪ ، 10٪ ، 15٪ و 20٪) بمسحوق الرخام .يكمن الاختلاف بين السلسلتين في نوع الرخام المدمج.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن استبدال 10٪ من الأسمنت بمسحوق الرخام ذو درجة نعومة عالية SSB = 7600 سم 2 / جرام يحسن قوة الضغط والشد في MAP ويقلل من الامتصاص والمسامية .

الكلمات المفتاحية: مواد صديقة للبيئة ، رخام ، الملاط المتموضع الذاتي ، نقاط قوة ميكانيكية ، مسامية ، امتصاص ، متانة.

Résumé

Dans le domaine de la construction, les recherches actuelles visent la production des éco-matériaux afin de parvenir au développement durable. Ce nouveau type de matériau doit répondre aux doubles exigences économiques et écologiques.

L'objectif de ce travail de recherche consiste à évaluer les propriétés de deux séries de mortier autoplacant, avec la substitution du ciment (de 5%, 10%, 15% et 20%) par la poudre de marbre. La différence entre les deux séries réside dans le type de marbre incorporé.

Les résultats obtenus montrent que la substitution de 10% de ciment par la poudre de marbre avec une finesse SSB = 7600 cm^2/gaméliore la résistance à la compression et à la tractiondes MAP et diminue l'absorption et la porosité.

Mots clés : Eco-matériaux, marbre, mortier autoplacant, résistances mécaniques, porosité, absorption, durabilité.

Abstract

In the field of construction, currentre search focuses on the production of eco-materials in order to achieve sustainable development. This new type of materiel must meet the dual economic and ecological requirements.

The objective of this research is to evaluate the properties of two series of self-compacting mortar, with the substitution of cement (5%, 10%, 15% and 20%) by marble powder.The difference between the two series lies in the type of marble incorporated.

The results obtained show that the substitution of 10% of cement by marble powder with a fineness SSB = 7600 cm^2 / g improves the compressive and tensiles trength of MAPs, and decreases absorption and porosity.

Key words:Eco-materials, marble, , self-compacting mortar (SCM), comressive and tensilestrength, durability, bsorption and porosity.

Remerciements

Dédicaces

Résumés

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Notations et Abréviations

Introduction Générale…….3

Sommaire

Chapitre 01 : Recherche bibliographié

1.1. Ciment : 5

1.1.1. Introduction : 5

1.1.2. Aperçu historique : 6

1.1.3. Définition d'un ciment : 6

1.1.4. Les types de ciment : 6

1.1..5. Evolution de l'hydratation : 9

1.1.6. Les différents ajouts incorporés au ciment : 9

1.2.Classification des additions 10

1..2.1. Les fumées de silice 10

1.2.2. Les cendres volantes 10

1.2.3. Les laitiers de haut fourneau 11

1.2.4. Les fillers calcaires 11

1.2.5. Importance des additions dans l'industrie cimentière 11

1.3. Mortier 12

1.3.1. Introduction 12

1.3.2. Définition : 12

1.3.3. Les caractéristiques de mortier : 13

1.3.4. Les Composants du Mortier 13

1.3.5. Formulations des Mortiers 15

1.3.6. Types de Mortier 15

1.4. Mortier auto-plaçant : 17

1.4.1. Formulations : 17

1.4..2. Formulation du Mortier autoplacant……17

1.4.3. Rapport Sable / Mortier (S/M)…… 17

1.4.4. Ajustement des rapports Eau / liant(E/L) et Super plastifiant / Liant (SP/L)……..18

1.5. Les déchets : 19

1.5.1. Introduction : 19

1.5.2. Définition Des Déchets : 19

1.5.3. Origine de la production de déchets : 20

1.5.4. Différents types de déchets : 21

1.5.5. Déchets dangereux : 22

1.5.6. Classification des déchets 23

1.6. Déchets utilises en génie civil 23

1.6.1. Laitiers de haut fourneau : 23

1.6.2. Laitier d'acier 24

1.6.3. Cendres volantes 24

1.6.4. Mâchefer : 24

1.6.5. Boues rouges 25

1.6.6. Béton récupéré 25

1.6.7. Verre de récupération 26

1.6.8. Brique concassée : 26

1.6.9. Sciure de bois 27

1.6.10. Carrelage ; 28

1.6.11. Céramique 28

1.6.12. Marbre 29

1.7. Déchets de marbre : 29

1.7.1. Histoire de marbre : 29

1.7.2. Définition de marbre : 30

10.7.3. Les différents types de marbres 31

1.7.4. Quelque type des marbres en Europe : 32

1.7.5. Marbres algériens 34

1.8. Valorisation des déchets de marbre dans le mortier et le béton : 36

1.8.1. Sur Mortier : 36

1.8.2. Sur Béton : 39

Chapitre 02: Essai et Matériaux.

2.1. Introduction 45

2.2. Justification de choix des matériaux de base : .....**Error! Bookmark not defined.**45

2.3. Caractérisation des constituants : 46

2.3.1. Ciment 46

2.3.2. Le sable 47

2.3.3. Eau de gâchage 48

2.3.4. Adjuvant (Superplastifiant) 48

2.3.5. Déchets 48

2.4. Formulation des mortiers 51

2.5. les Essais et les procédure des mortiers élaborés : 52

2.5.1. Etat frais 52

2.5.2. Préparation et Conservation des Eprouvettes : 54

2.5.3. Etat durci 55

2.5.4. Indicateurs de durabilité : 56

2.5.5. Indicateurs thermique : 57

Chapitre 03: Analyse et Interprétation

3.1. INTRODUCTION 62

3.2. Ouvrabilité : 62

3.3. Résistance à la compression : 63

3.4. Résistance à la traction par flexion : 65

3.5. L'absorption capillaire : 67

3.6. La porosité : 70

3.7. Résistance au feu 72

3.8. perte en masses : 73

3.9. Conductivité thermique ; 74

Conclusion Générale……76

références bibliographes……77

Liste des figures :

Chapitre 01 : Recherche bibliographié

Figure-1.1: Clinker. 7

Figure 1-2: Composition chimique du clinker. 8

Figure 1-3 : dégagement de chaleur lors de l'hydratation du ciment en fonction du temps. 9

Figure 1-4 : Composants du mortier.. 13

Figure 1-5 :Laitier de haut fourneau. 23

Figure 1-6 :Laitier d'acier 24

Figure 1-7 :Cendre volante 24

Figure1-8 :Mâchefer. 25

Figure 1-9 : Boue rouge. 25

Figure 1-10 :Béton récupéré. 26

Figure 1-11 :Déchet de verre. 26

Figure 1-12 : Brique concassé. 27

Figure 1-13 : Sciure de bois. 27

Figure 1-14 : carrelage. 28

Figure 1-15 : Céramique. 28

Figure1-16 : Marbre. 29

Figure 1-17 :Mines et carrières: L'Algérie veut valoriser son marbre. 32

Figure 1-18 : les types du marbre. 33

Figure 1-19 : Étalement des différents MAP réalisés en fonction de la teneur et la finesse de la poudre de marbre. 36

Figure 1-20 : Temps d'écoulement des différents MAP réalisés en fonction de la teneur et la finesse de la poudre de marbre. 37

Figure 1-21 : Résistance à la compression des différents MAP réalisés en fonction de la teneur en poudre de marbre avec la finesse 1 et 2. 38

Figure1-22 : Absorption d'eau des différents MAP réalisés en fonction de la teneur en poudre de marbre avec la finesse1 et 2. 38

Figure 1-24 : Evolution de la résistance en compression en fonction de l'âge 39

Figure 1-25 : Comparaison entre l'étalement de de (BAP FC) et(BAP DM) 40

Figure 1-26 : Comparaison entre le temps d'écoulement de (BAP FC)et (BAP DM). 40

Figure 1.-27 : Comparaison entre la stabilité au tamis de (BAP Fc) et(BAP DM). 41

Figure 1-28: Comparaison entre l'air occlus de (BAP FC) et (BAP DM) 41

Figure 1-29 : Evolution de la résistance à la compression Comparaison en fonction du temps de (BAP FC) et (BAP DM). 43

Figure 1 -30 : évolution de la résistance de traction par flexion dans le temps de (BAP FC) et (BAP DM). 43

Figure 1-31: Influence du taux de substitution sur la résistance à la traction par flextion à 28j 44

Chapitre 02: Essai et Matériaux.

Figure 2-1: ciment utilisé CEM II/B. 46

Figure 2-2: Courbe granulométrique de sable. 47

Figure 2-3 :adjuvant utilisé 48

Figure 2-4: marbre Blanc 49

.Figure 2-5: marbre Beige 49

Figure 2- 6: Protocole d'obtention des finesses de déchets de marbre. 49

Figure2.7: Diffractogramme du marbre Beige 50

Figure2.8: Diffractogramme du marbre Blanc 50

Figure 2- 9 : Séquence de malaxage du mortier autoplaçant 52

Figure 2-10 : protocole de malaxage. 52

Figure 2-11: Protocole de l'essai d'étalement a mini cône. 53

Figure2- 12: Protocole de l'essai (V -Funnel) 54

Figure 2- 13: préparation et conservation des éprouvettes. 54

Figure 2- 14: l'essai de résistance à la traction. 55

Figure 2-15:Dispositif de rupture à la compression. 56

Figure 2-16: Essai d'absorption d'eau par capillarité sur mortier. 56

Figure 2-17 : protocole d'essai de porosité sur mortier. 57

Figure 2-18 : Essai Conductivité thermique sur mortier. 58

Figure 2-19 : l'essai de résistance au feu sur mortier…….. 59

Figure 2-20: Matériaux utilisée……...60

Chapitre 03: Analyse et Interprétation

Figure 3-1 : Variation de L'étalement des MAP a base de la poudre du marbre (beige et blanc) en fonction du taux de substitution. 63

Figure 3-2 : Variation de l'écoulement en fonction du taux substitution du marbres (beige et blanc). 63

Figure 3-3 : Variation de Résistance à la compression du MAP réalisé en fonction de taux substitution du poudre de marbre beige à différent âge (3, 7, 28, 56,90 jours)..... 64

Figure 3-5 : Variation de Résistance à la traction par flexion des différents MAP réalisés en fonction de taux substitution du poudre de marbre beige à différent âge (3 , 7 , 28 , 56 , 90 jours). 65

Figure 3-6 : Variation de Résistance à la traction par flexion du MAP réalisé en fonction de taux substitution de la poudre de marbre blanc à différent âge (3, 7, 28, 56,90 jours) 66

Figure 3-7 : Variation de l'absorption capillaire du MAP réalisés en fonction de taux substitution de la poudre de marbre Beige à l'âge de 28 jours. 66

Figure 3-8 : Variation de l'absorption capillaire du MAP réalisés en fonction de taux substitution de la poudre de marbre Blanc à l'âge de 28 jours. 67

Figure 3-9 : Variation de coéf l'absorption capillaire du MAP réalisés en fonction du taux de substitution de la poudre des marbres à l'âge de 28 jours. 68

Figure3-10 : Variation de l'absorption capillaire du MAP réalisés en fonction du taux de substitution de la poudre de marbre Beige à l'âge 56 jours. 68

Figure 3-11 : Variation de l'absorption capillaire du MAP réalisés en fonction du taux de Substitution de la poudre de marbre blanc à l'âge 56 jours. 69

Figure 3-12 : Variation de coéfficent l'absorption capillaire du MAP réalisés en fonction de taux substitution de la poudre des marbres à l'âge 56 jours. 69

Figure3-13 : Variation de la porosité du MAP réalisés en fonction de taux substitution de la poudre de marbre beige à l' âge 28,56 jours. 70

Figure3-14 : Variation de la porosité du MAP réalisés en fonction de taux substitution de la poudre de marbre blanc à l'âge 28,56 jour. 70

Figure3-15 :Variation de la résistance au feu du MAP réalisés en fonction de taux substitution de la poudre de marbre Beige à différentes températures. 71

Figure 3-16 : Variation de la résistance au feu du MAP réalisés en fonction de taux substitution de la poudre de marbre blanc à différentes températures. 71

Figure 3-17 : Figure 3-19 : variation de Perte de masse des mortiers (marbre beige) en fonction du temps. 72

Figure 3-18 : Perte de masse des mortiers(marbre blanc) en fonction du temps. ..... **Error! Bookmark not defined.** 72

Figure 3-19 : Variation de la conductivité thermique du MAP réalisés en fonction de taux Substitution de la poudre de marbre Beige et Blanc à 28 jours……73

Leste des Tableaux

Chapitre 01 : Recherche bibliographié

Tableau 1-1 :Composition chimique du clinker de ciment portland ordinaire 7

Tableau 1-2 : les Caractéristiques de marbre de la carrière de FIL-FILA 35

Chapitre 02: Essai et Matériaux.

Tableau2 -1 : Les caractéristiques du sable. 47

Tableau 2.-2 :les caractéristiques des poudres de marbre. 48

Tableau 2-3 : Composition des différents mortiers réalisés (V=1l) 49

LISTE DES ABREVIATIONS

CPJ	**ciment Portland composé.**
CPA	**ciment Portland artificiel.**
CEM II 42,5	**Ciment portland ordinaire de classe 42.5 MPa.**
MAP	**mortier autoplacant.**
BAP	**béton autoplacant.**
D	**Diamètre d'étalement au mini cône.**
E/C	**Rapport eau sur ciment.**
LCPC	**Laboratoire central des ponts et chaussées.**
Rc	**Résistance à la compression.**
NA	**Norme Algérienne.**
NB	**Norme Belgique.**
NE	**Norme Européenne.**
C	**Dosage du ciment.**
E	**Quantité d'eau efficace.**
G/S	**Rapport gravillon/sable.**
C	**la compacité.**
P	**la porosité.**
ρ	**Densité du constituant exprimée en g/cm3.**
λ	**la conductivité thermique .**
W	**Teneur en eau.**
ES	**Equivalent de sable à piston.**
ESV	**Equivalent de sable à vue.**
RC	**La résistance a compression.**
S/M	**le rapport Sable/Mortier.**
JSCE	**Japan society of civil engineers.**
AFGC	**Association française du génie civil.**
SSB	**Surface Spécifique de Blaine.**
MM_1	**mortier de marbre Beige.**
MM_2	**mortier de marbre Blanc.**
DIS	**Déchets industriels spéciaux.**
DMS	**Déchets ménagers spéciaux.**

Fc28	**Résistance souhaitée du béton a 28 jours.**
BSAP	**béton de sable autoplacant**
BAP DM	**béton autoplacant déchet de marbre .**
BAP FC	**béton autoplacant filière calcaire.**
MPA	MEGA PASCAL
W/m.k	WATTE/METRE.Kilvin.

Introduction Génirale

INTRODUCTION GENERALE

Le processus de fabrication du ciment constitue l'une des sources d'émission de CO_2 les plus importantes au monde. La libération du CO_2 par le ciment a lieu à deux niveaux : lors de la combustion d'énergies fossiles liée à la production de clinker et lors de la réaction chimique permettant de convertir le calcaire en oxyde de calcium et dioxyde de carbone. Afin de minimiser le taux d'émissions issues de la production de ciment, il convient donc de s'intéresser plus particulièrement à la production du clinker lui-même. Pour cette raison, l'une des solutions proposées consiste à faire substituer une partie de ciment par un matériau, qui peut être inerte, comme le calcaire, ou actif comme le laitier, la fumée de silice , les pouzzolanes ,et le marbre.

Actuellement dans le domaine de la construction, les recherches visent la production des éco-matériaux afin de parvenir au développement durable. Ce nouveau type de matériau qui peut être un béton ou un mortier de ciment doit répondre aux doubles exigences économiques et écologiques pour assurer la durabilité.

La gestion des déchets est depuis quelques années, l'une des préoccupations des organismes publics. Le recyclage en les intégrant dans des matériaux de construction peut être une solution au problème ce qui a pour conséquence la réduction, voir même la suppression à long terme de la mise en décharge.

Notre travail porte sur valorisation de la poudre de marbre qui peut servir comme addition au ciment dans la confection des mortiers autoplacant. L'utilisation de cette addition peut jouer un rôle pour la réduction des quantités de CO_2 émises dans la fabrication du ciment, ou comme elle peut réduire de cout de fabrication des matériaux par réduction de la quantité du ciment.

La valorisation de déchet de marbre dans le ciment en tant qu'ajout, nous a poussés à chercher son taux optimal de substitution. Et cela à travers une compagne expérimentale appropriée sur deux types de marbres. Cinq taux de substitution en poudre de marbre ont été fixé (0%, 5%, 10%, 15% et 20%) avec une finesse supérieure a celle du addition (7600 cm^2/g).

Cette étude sera présentée sous trois chapitres ;

Après une introduction générale où on a exposé les différents arguments, incitant à entamer cette étude, ainsi que l'objectif de notre étude ;

*Le premier chapitre est composé de deux volets dont la première est consacrée à la présentation des ciments et les ajouts les plus connues ainsi que leurs effets sur les matériaux cimentaires.

Dans le deuxième volet de ce chapitre on a exposé Les différents déchets surtout ceux utilisés en génie civil.les différents types de marbre et leur effet sur les matériaux cimentaire.

Dans le deuxième chapitre nous exposons en détail les caractéristiques des matériaux utilisés ainsi que les différentes étapes de l'étude expérimentale réalisée sur deux séries de MAP dont la substitution du ciment a été par deux types de marbre.

Les résultats obtenus ont été exposés, interprétés et analysés dans le troisième chapitre.

Nous clôturons le présent travail par une conclusion générale dans laquelle nous rappelons le but de cette étude, les principaux résultats obtenus.

Chapitre01 :

Recherche bibiographé

Partie A: ciment et mortier.

1.1.Ciment :

1.1.1. Introduction :

Le ciment est l'un des familles des liants hydraulique (qui durcit sous l'action de l'eau), utilisé dans la préparation du béton, et aujourd'hui le plus souvent employé dans la confection des dallages, des parpaings, des enduits et des mortiers. Les ciments sont actuellement classés sous la dénomination « CEM » suivi d'un chiffre romain allant de I à V suivi d'une lettre majuscule en fonction de leur teneur en clinker et d'autres composants (chaux, fumées de silice, pouzzolane, laitier de hauts fourneaux, etc.). Le terme « ciment Portland » est tombé en dés études depuis la fin des années 1970, remplacé par les termes CPA (ciment Portland artificiel) et CPJ (ciment Portland composé), termes abandonnés à leur tour lors du passage à la norme européenne mais qu'on trouve encore dans plusieurs pays. Le mortier de chaux existe depuis l'Antiquité mais le ciment et ses nombreuses applications est une invention du XIXe siècle.

Il est obtenue par, la réaction endothermique entre deux différents matériaux, le calcaire et l'argile qui, mélangé à de l'eau, fait prise et permet d'agglomérer entre eux des sables et des granulats. de nombreux autres éléments sont incorporés en fonction de l'utilisation du ciment, permettant ainsi de constituer de véritables roches artificielles ; les bétons et les mortiers.

En 2008, plus de deux milliards de tonnes de ciment étaient produites par an dans le monde, à 80 % produits et consommés dans les pays émergents, avec une croissance de plus de 5 % par an de 1991 à 2008. Cette production est très énergivore, et la production du clinker, son principal constituant.

1.1.2. Aperçu historique :

Le mot ciment vient du latin "caementum", qui signifie mortier, liant des maçonneries. Ce sens d'origine a été conservé en s'appliquant aux seuls liants hydrauliques, c'est-à-dire capables de durcir au contact de l'eau.

Les Grecs sont les premiers constructeurs à employer la chaux obtenue par cuisson du calcaire. Les Romains améliorent ce liant en y ajoutant des cendres volcaniques et des briques pilées et obtiennent ainsi un liant hydraulique, intermédiaire entre une chaux et un véritable ciment. Ce liant rend possible la construction de grands ouvrages tels les arènes, les thermes,

les amphithéâtres ou les aqueducs, dont certains sont encore parfaitement conservés vingt siècles plus tard.

C'est au 18ème siècle que sont produites les premières chaux hydrauliques proches des ciments modernes, principalement du fait des progrès réalisés dans les procédés de cuisson. En 1759, l'Anglais John Smeaton produit un mortier aussi dur que de la pierre en mélangeant des chaux hydrauliques et des cendres volcaniques.

Le Français Louis Vicat découvre en 1817 les principes chimiques des ciments et définit les règles de fabrication du ciment hydraulique. Il est considéré comme l'inventeur du ciment moderne, mais il publie ses travaux sans prendre de brevets.

C'est l'Anglais Joseph Aspidine qui fait breveter en 1824 le ciment "Portland", obtenu à partir d'un procédé de calcination combinant la cuisson de calcaire et d'argile dans des fours alimentés au charbon. La dénomination "Portland", due simplement à la similarité de couleur et de dureté avec la pierre de Portland (Sud de l'Angleterre), est à l'heure actuelle toujours employée dans l'industrie.

En Belgique, une première cimenterie voit le jour en 1872 (Messieurs Défaussez et Henry établirent la première usine de production de ciment Portland du pays à Confessât). Dès la fin du 19ème siècle, le béton moderne à base de ciment Portland devient un matériau de construction largement répandu.

De nombreux perfectionnements sont apportés au cours du 20ème siècle à la fabrication du ciment, notamment avec la production des ciments spéciaux, sans toutefois modifier les caractéristiques physico-chimiques et les propriétés fondamentales du ciment Portland **[1].**

1.1.3. Définition d'un ciment :

Le ciment est un liant hydraulique. C'est un matériau anhydre finement broyé par simple mélange avec l'eau, développe des hydrates dont l'imbrication rigidifie le matériau granulaire non cohésif de départ en matériau cohésif présentant des propriétés mécaniques élevées. **[2].**

1.1.4. Les types de ciment :

Il existe différents types de ciment **[3]** :

1.1..4.1. Ciments naturels

Obtenus par cuisson de roches calcaires contenant 20 à 40 % d'argile. Ils sont à prise rapide ou demi-lente et ne conduisent pas à des résistances finales élevées.

Exemple : les ciments prompts.

1.1..4.2. Ciments artificiels

Les liants les plus importants et les plus employés dans la construction actuelle.

Ils sont à prise lente et on distingue les catégories suivantes :

- CPA : Ciment Portland artificiel (97% clinker plus des fillers) ;
- CPJ : Ciment Portland composé (65% clinker plus des ajouts) ;
- CHF : Ciment de haute-fourneau (40% à 75% laitier plus du clinker) ;
- CLK : Ciment de laitier au clinker (80% laitier plus du clinker) .

1.1.4.3. Le ciment portland :

1.1.4.3.1. Constituants principaux du ciment :

Le clinker :

Produit obtenue par mélange de matières premières naturelles de composition chimique Adéquate. La préparation du cru consiste à mélanger de manière homogène du calcaire (80%) et des minéraux riches en cilice et alumine (20%) :l'argile ou le kaolin, le cru et ensuite calciné à 1450ºC pour former le clinker.

Les granules de clinker, d'un diamètre compris entre 5 et 40 mm, sont finement broyées avec addition de gypse ($CaSO_4$, $2H_2O$ de 3 à 5 % en masse) dont le rôle est de réguler la prise **[4].**



Figure 1-1: Clinker.

a) La composition chimique du clinker

Le clinker est principalement composé d'oxydes métalliques, les quatre principaux :

L'oxyde de calcium (CaO), de silicium (SiO_2), d'aluminium (Al_2O_3) et de fer (Fe_2O_3), représentant environ 95% en masse.

La composition chimique moyenne du clinker est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 1.1 : Composition chimique du clinker de ciment portland ordinaire **[2].**

Composante de clinker	sio_2	AL_2O_3	fe_2O_3	**Cao**	**Mgo**	So_2	K_2O	Na_2O
Notation cimentier	S	A	F	C	M	S	K	N
En masse %	19-25	2-9	1-5	62-67	0-3	1-3	0.6	0.6

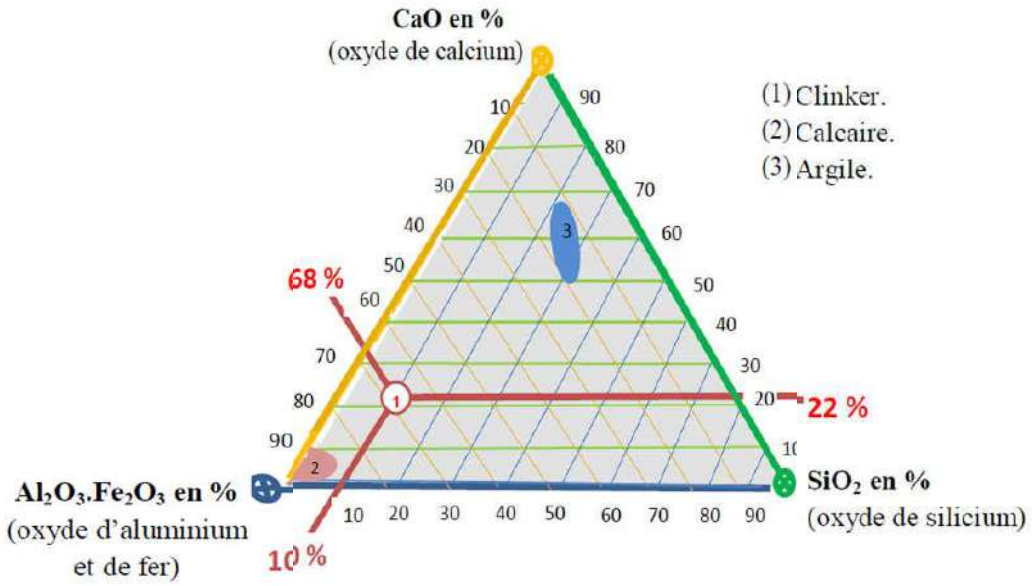


Figure 1-2: Composition chimique du clinker **[2].**

b) La Composition minéralogique :

Divers composés chimiques se forment, dont les principaux sont :**[5]**

- Le silicate tricalcique C_3S (alite) : 3CaO, SiO_2 [45 à 65 %] ;
- Le silicate bi calciqueC_2S (bélite): 2CaO, $SiO_2$2[10 à 30 %] ;
- L'aluminate tricalcique $C_3A\ (célite)$: 3CaO,AL_2O_3[5 à 15 %] ;
- L'alumina-ferrite tétra calciqueC_4AF (Aluminoferrite): 4CaO,AL_2O_3 ,Fe_2O_3 [5à 15%]

1.1.4.3.2. Hydratation du ciment Portland :

La plupart des propriétés du béton, et plusieurs aspects de sa durabilité dépendent des caractéristiques de la pâte de ciment durci. Il est donc important de comprendre la structure de la pâte de ciment hydraté.

La prise du ciment n'est pas un séchage de la pâte après ajout de l'eau ; il s'agit d'un ensemble de réactions chimiques d'hydratation permettant le passage de la pâte de ciment (ciment additionné d'eau) de l'état liquide à l'état solide.

La pâte de ciment hydraté est le résultat de réactions chimiques entre l'eau et les composés du ciment. Il s'agit d'un processus complexe dans lequel les principaux composés du ciment C_3S, C_2S, C_3A, et C_4AF réagissent pour former de nouveaux composés insolubles qui entraînent la prise et le durcissement progressif du matériau**.[6]**

1.1..5. Evolution de l'hydratation :

Le dégagement de chaleur qui accompagne les réactions d'hydratation peut être mesuré par calorimétrie. La chaleur dégagée donne une indication sur l'avancement du processus d'hydratation. La courbe du flux de chaleur d'hydratation présente généralement trois pics comme indique la **Figure 1.3. [7]**

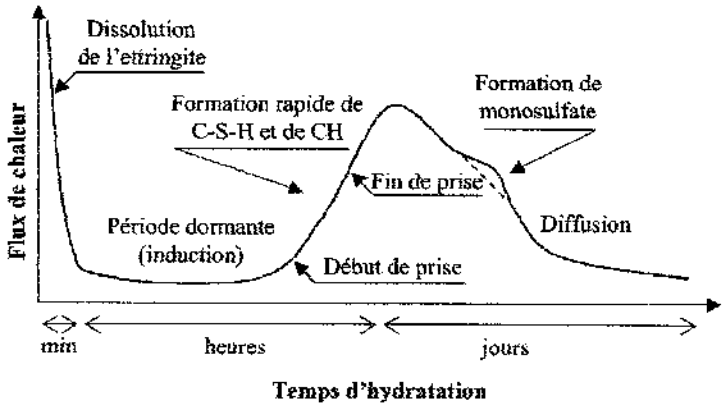


Figure1-3 : dégagement de chaleur lors de l'hydratation du ciment en fonction du temps **[7].**

Premier pic : Au cours de cette période, le C_3S et le C_3Aréagissent immédiatement avec l'eau, formant des C-S-H et de l'ettringite.

Durant cette le PH de la solution sera augmenter et un dégagement de chaleur faible.

Deuxième pic : La « période dormante » on à voire un accélération du dégagement de chaleur.

Les hydrates formés dans cette phase commencent à s'enchevêtrer et permettent alors la formation d'un solide d'un solide rigide.

Troisième pic : Pour comprendre les réactions qui se déroulent lors de l'hydratation du ciment, et faire un lien avec sa prise et le développement des résistances, il faut s'intéresser à :

- L'effet de l'hydratation de chaque phase du ciment sur la chaleur d'hydratation ;
- Les raisons des variations considérables du dégagement de chaleur dans le temps ;
- Le processus d'agglomération des produits d'hydratation pour remplir l'espace poreux;
- La nature des liens entre les produits d'hydratation dans la pâte durcie.

1.1.6. Les différents ajouts incorporés au ciment :

Ces ajouts jouent un rôle selon leur composition ; il peut être ajouté suivant le type de ciment:

Du calcaire ;

Du laitier de haut fourneau ;

Des cendres volantes ;

Des fines calcaires ;

De la pouzzolane naturelle ;

Des schistes calcinés ;

Des fumées de silice ;

Dans le but de modifier leurs propriétés et de proposer une gamme de produits capables de résoudre les différents problèmes qui se posent dans certains ouvrages, soit en raison des conditions d'environnement, ou de performances mécaniques.

1.2. Classification des additions

1..2.1. Les fumées de silice

Ce sont des sous-produits de la fabrication du silicium ou de ferre-silicium. Ils se présentent sous forme de microsphères de silice ayant des diamètres moyens de 0,1 µm. la surface spécifique varie de 20 à 25 m²/g. Les fumées de silice se caractérisent par une structure vitreuse (produit très réactif) avec une haute teneur en silice (de 75 à 95%) **[8].**

1.2.2. Les cendres volantes

Les cendres volantes utilisées dans les ciments et les bétons sont produits dans les centrales thermiques utilisant du charbon pulvérisé. Elles se présentent sous forme d'une poudre de couleur plus ou moins foncée suivant sa teneur en carbone et en impureté. Les cendres volantes sont sous forme de particules sphériques vitreuses, pleines ou creuses. La granulométrie s'échelonne de 1 à 200 µm et, en général, 50% des particules ont un diamètre inférieur à 30 µm. Leur surface spécifique Blaine varie entre 250 et 400 m²/kg

Selon Les normes on regroupe les cendres volantes en deux grandes classes suivant Leur composition chimique :

- La classe F riche en oxyde (SIO_2 + AL_2O_3 + Fe_2O> 70%) avec une teneur faible en chaux (CaO< 10%). Elle est qualifiée de silice-alumineuse avec un faible potentiel pouzzolanique.
- La classe C riche en chaux (CaO> 10%), avec une teneur en oxyde supérieur à 50%.Elle est qualifiée de silice-calcaire avec un potentiel pouzzolanique élevé **[6].**

1.2.3. Les laitiers de haut fourneau

Les laitiers sont des sous-produits de la fabrication de la fonte dans les hauts fourneaux des usines sidérurgiques. Ce sont des silice-aluminates de chaux traités de différentes façons à la Sortie du haut fourneau :

- Par refroidissement brusque dans l'eau ou dans l'air : ceci empêche la cristallisation et Permet son utilisation dans les ciments et les bétons comme pouzzolane,
- Par refroidissement lent à l'air : ceci donne un matériau cristallisé sans aucun pouvoir Liant qui est utilisé comme granulats pour les travaux routiers et dans les bétons.

En Europe, les laitiers sont en général ajoutés au ciment. On parle de ciment au laitier. En Amérique du nord, ils sont incorporés directement dans le béton **[6].**

1.2.4. Les fillers calcaires

L'utilisation des fillers calcaires dans l'industrie du ciment et du béton est assez récente. Les Additions calcaires dans les matrices cimentaires ont déjà fait l'objet de plusieurs études, Essentiellement en France et aux Etats-Unis d'Amérique **[8].**

Ils sont soit récupérés lors du concassage des granulats calcaires et peuvent alors contenir des résidus argileux et des matières organiques, soit obtenus par broyage du matériau cru. Leur composition chimique est celle du carbonate de calcium ($CACO_3$) mais ils peuvent contenir aussi du magnésium (sous forme CaMg $(CO_3)_2$, s'il réagit de calcaires dolomitique.

Les calcaires peuvent avoir des origines géologiques différentes, métamorphique (il s'agit de marbres) ou sédimentaire. Ils peuvent aussi exister sous plusieurs formes polymorphiques (calcite, aragonite, vatérite).

1.2.5. Importance des additions dans l'industrie cimentière

Dans le domaine des travaux publics et du bâtiment, le ciment Portland artificiel sans ajout ne répond plus à lui seul à toutes les exigences (mécaniques, durabilité, coût, …). De plus, dans une même cimenterie et pour répondre aux différentes demandes commerciales, on a tendance à ne plus fabriquer qu'un seul clinker et à le broyer plus ou moins finement avec des additions minérales de provenances diverses pour fabriquer des ciments composés (CEM II).

Si l'on se fie aux recueils de normes produits, d'après Von Euw, **[9],** de nombreux pays autorisent ce type d'addition : 35 pays prévoient l'utilisation des ciments au laitier, 14 pays celle des ciments aux cendres, 31 pays celle des ciments à la pouzzolane et 15 pays celle des

ciments aux fillers calcaires. en Algérie, le développement de ciment utilisant des fillers calcaires n'a commencé qu'à partir de 1990.

1.3.Mortier

1.3.1 Introduction

Les mortiers sont présents dans tous les secteurs d'activité du bâtiment et des Travaux publics.

A chaque domaine d'application correspond un type de mortier pouvant être dédié à:

- la protection et la décoration (sous-enduits, enduits de parement colorés, enduits mono couche), la pose des carrelages (mortier colles et mortier des joints),
- la préparation des sols (chapes, ragréages, enduits de lissage, d'égalisation),
- les assemblages (élément de maçonnerie, fixation des éléments de cloisons et de doublage), l'isolation et l'étanchéité (système d'isolation thermique par l'extérieur, d'imperméabilisation, d'étanchéité, d'isolation phonique, d'ignifugation),
- les travaux spéciaux (gunitage, épations d'ouvrage d'art et de génie civil, scellement et calages, coulis d'injection, cuvelages) **.**

1.3.2 Définition :

Classiquement, on appelle mortier les matériaux obtenus en gâchant dans un malaxeur des proportions convenables de ciment, d'eau et de sable. Néanmoins, de nos jours, l'emploi d'adjuvants et de différentes additions minérales est obligatoire pour atteindre des propriétés souvent antagonistes et ainsi obtenir un comportement adéquat en fonction de l'application désirée et des performances souhaitées.

Le mortier se diffère du béton par la dimension D du plus gros granulat, on a $D \leq 4mm$ pour mortier et $D \geq 4$ mm pour béton **[10].**

Liant (ciment) + sable + Eau + adjuvent

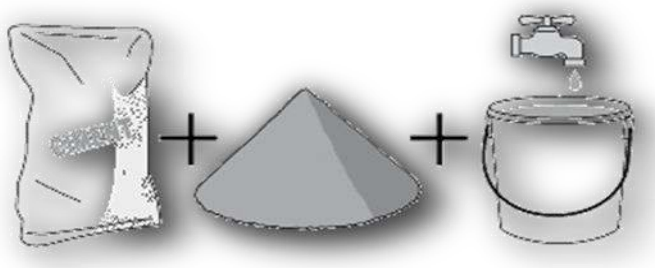


Figure 1-4 : Composants du mortier **[10].**

1.3.2.1 Les caractéristiques de mortier :

Les caractéristiques principales du mortier se traduisent comme suit **[11]** :

- L'ouvrabilité ;
- La prise ;
- La résistance mécanique ;
- Le retrait et le gonflement, etc**.**
- Etre compact : pour éviter l'infiltration des eaux dans les ouvrages, et accroitre la résistance mécanique ;
- Etre imperméable : pour obtenir un maximum d'étanchéité des joints de maçonnerie, et des enduits ;
- Adhérer aux matériaux : pour mieux transmettre les charges, ou créer un écran durable contre les intempéries ;
- Résister aux agents agressifs d'une atmosphère ou d'un sol pollué ;

1.3.2.2. Les Composants du Mortier

Le mortier est un des matériaux de construction, qui contient du ciment ; de l'eau ; du sable ; des adjuvants et éventuellement des additions. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure **[11].**

1) Les liants (Ciment)

Généralement, on peut utiliser le ciment seul ou ciment avec additions selon les exigences.

2) Le sable

Les sables utilisés sont le plus souvent des sables naturels. Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide **[3].**

Ils peuvent être :

- Naturels et roulés (de rivières, de sablières, ..), de nature siliceuse ou silico-calcaire ;
- Naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites. Ils sont anguleux et durs ;

- Spéciaux (lourds, réfractaires, légers) ;
- Sable de laitier ;
- Sable d'oxydes de fer, de chromite ;
- Corindon ;
- Sable de briques concassés ;
- Liège torréfié ;
- Polystyrène expansé ;
- Vermiculite, perlite.

Certains sables sont à éviter, notamment les "sables à lapin", généralement très fins, les sables crus qui manquent de fines et les sables de dunes ou de mer qui contiennent des sels néfastes pour les constituants des ciments **[3].**

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est :

- Extra-fins : jusqu'à 0,8 mm (en tamis) ;
- Fins : jusqu'à 1,6 mm ;
- Moyens : jusqu'à 3,15 mm ;
- Gros : jusqu'à 5 mm.

3) Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (tout dépend de la plage recommandée dans la fiche technique). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants :

- les super plastifiant.
- Les plastifiants (réducteurs d'eau) ;
- Les entraîneurs d'air ;
- Les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) ;
- Les hydrofuges.

Dans tous les cas des soins particuliers doivent être pris afin d'obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d'une gâchée à l'autre **[3].**

4) Eau

Nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton (Maniabilité à l'état frais) dans la mesure où on n'abuse pas de cette influence par un excès

d'eau qui diminue les résistances et la durabilité du béton. L'eau de gâchage doit être propre et ne doit pas contenir plus de 5 grammes par litre de matières en suspension (vases, limons, etc.).**[12]**

1.3.2.3. Formulations des Mortiers

Les mortiers composés de chaux et de ciment portland sont définis en deux étapes **[13].**Le mortier doit d'abord être défini en fonction de la résistance requise pour l'application. Ensuite, il faut décider si on spécifie les proportions ou les propriétés énumérées dans la norme Américaine **[14]**.La norme ASTM C270 **[12]** (Mortar for Unit Masonry) fournit une base pour la définition des mortiers de ciment et de chaux. Cette norme fournit une base pour cinq types de mortier différents en fonction de la résistance du mortier requise pour l'application.

La norme ASTM C270 **[12]** fournit une spécification de proportion et de propriété pour chaque type de mortier

1.3.2.4. Types de Mortier

Dans les travaux publics et les Travaux de bâtiment on utilise plusieurs types de mortier selon l'ouvrage à réaliser et de son environnement :

a) Mortier du ciment

Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35 Les dosages courants sont de l'ordre de 300 a 400 kg de ciment pour 1m³de sable **[14].**

b) Mortier de chaux hydrauliques

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments **[14].**

c) Mortier fabriqués sur chantier

C'est encore le cas très souvent pour des menus travaux ; le plus grand soin doit être apporte tant au stockage qu'au mélange des constituants qui seront choisis en fonction de

l'ouvrage à réaliser : type et classe du liant, nature et granulométrie du sable, dosage en eau, nature des adjuvants.

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu.

On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner.

Le sable est le plus souvent roulé (nature silice-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie.

Le sable est généralement dosé en poids, soit en volume.

Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables **[14].**

d) Mortier de hourdage de maçonnerie

On utilise des sables dont les grains les plus gros n'excèdent pas 5 mm, le dosage le plus usuel est de 1 volume de liant pour trois volumes de sable. La quantité d'eau qui joue un rôle important ne peut être fixée à priori, en règle générale on adopte une valeur voisine de la moitié du poids du liant qui peut être réduite lorsqu'on utilise un plastifiant **[14].**

e) Mortier colle

Le mortier colle regroupe la famille des mortiers adhésifs destinés à coller un revêtement comme **[14]:**

- le carrelage.
- le dallage.
- certains blocs de maçonnerie.

Si le mortier colle est parfaitement adapté pour le collage des céramiques, il est tout de même possible de les coller à l'aide de mortier-ciment ou de mortier chaux sous certaines conditions

f) Mortiers et coulis de réparation

Comme son nom l'indique, ce type de mortier est utilisé pour le reprofilage du béton, la reconstitution de la protection des armatures, et le rétablissement de l'étanchéité. Illustre en gros une partie du cas pratique **[14].**

1.4.Mortier auto-plaçant :

1.4.1. Formulations

La formulation du béton est une étape très importante dans le but d'obtenir un béton ouvrable, résistant et durable. En général, la formulation du béton dépend des caractéristiques souhaitées à l'état frais et à l'état durci. Pour les BAP, la formulation semble plus complexe, puisque les BAP possèdent des propriétés spécifiques et contradictoires à l'état frais : une grande déformabilité, une grande capacité de passage et une grande résistance à la ségrégation. Ces propriétés doivent être en balance pour obtenir un bon BAP.

Du moment que le mortier occupe un volume important dans les BAP (presque 70% du volume du BAP), et que la rhéologie du BAP est fortement liée à celle du mortier autoplaçant(MAP), les résultats d'essais sur le MAP seront concluants et peuvent donner une grande idée sur le comportement rhéologique du BAP.

Selon Jin et Domone **[15]** , des tests sur les mortiers sont indispensables car :

Le BAP a un volume en gros granulats moins important que le béton ordinaire, et donc les propriétés du mortier sont dominants.

L'évaluation des propriétés du mortier est une partie intégrale de la formulation des BAP, et donc la connaissance des propriétés du mortier est utile.

Tester un mortier est beaucoup plus commode et simple que tester un béton.

1.4.2. Formulation du Mortier autoplacant

Afin de déterminer les quantités des matériaux : ciment, granulats, eau et adjuvant, nous sommes basés sur la méthode Japonaise (méthode générale) proposée par OKAMURA, avec quelques modifications sont apportées au niveau de la teneur en sable dans le mortier (S/M), le rapport eau/ciment (E/C) ainsi que le rapport superplastifiant/ciment (S_P/C)et ceci dans le but de s'adapter avec les exigences des matériaux locaux et d'obtenir de bonnes caractéristiques du BAP à l'état frais.

1.4.3. Rapport Sable / Mortier (S/M)

Les auteurs de la méthode générale ont limité le volume du sable à 40% (Sable/Mortier= 0,4) de celui du mortier pour obtenir un meilleur MAP à base de matériaux locaux japonais **[16]**. Or, ceci est loin d'être toujours le cas, puisque l'utilisation du BAP à travers le monde a montré qu'il est nécessaire de modifier ce volume, pour qu'on puisse produire un MAP de grande déformabilité **[17]**.Domone **[18]** a analysé 68 cas de BAP ayant été utilisé dans divers pays du monde. Cet auteur a rapporté

que dans plus de 80% des cas étudiés le volume du sable utilisé est compris entre 41 et 52%. En Algérie, Boukendakdji **[17]** a formulé des BAP à base de matériaux locaux. Cet auteur a montré qu'un rapport S/M égal à 0,5 est adéquat pour obtenir un bon BAP.

Afin de minimiser le nombre de variables pour le mortier autoplaçant de référence, nous avons jugé judicieux de maintenir fixe le rapport S/M. Dans notre étude, nous nous sommes basés sur les travaux de BOUKENDAKDJI **[17]**. Le rapport S/M a été fixé à 0,5.

1.4.4. Ajustement des rapports Eau / liant(E/L) et Superplastifiant / Liant (SP/L)

En général, les BAP sont caractérises par un faible rapport Eau/Poudre (E/L<0,5) **[19]**, pour limiter la quantité d'eau libre et améliorer par conséquent leurs résistances à la ségrégation. Certains auteurs ont trouvé que des rapports E/L variant entre 0,84 et 1,07 en volume ou entre 0,28 et 0,45 en masse sont convenables pour produire un BAP de bonnes caractéristiques à l'état frais et à l'état durci. Des valeurs prises en dehors de ces plages peuvent causer un blocage ou une ségrégation du BAP **[20]**.

Boukendakdji **[17]** a rapporté qu'il faut aller jusqu'à un rapport E/L égale à 0,4 pour obtenir un MAP satisfaisant ayant un étalement supérieur à 27 cm.

Le rapport E/L est gouverné donc par les propriétés des BAP à l'état frais plutôt que la résistance ou la durabilité. Ces dernières sont prises en considération d'une manière indirecte, puisque les BAP possèdent un faible rapport E/L et un volume de pate élevé, ce qui contribue à l'amélioration de leurs résistances et durabilités.

La sélection du rapport E/L et du rapport Sp/L est ajustée par l'essai d'étalement, dont le diamètre de la galette obtenu doit être compris entre 270 mm $\leq$ d $\leq$330 mm, et par l'essai de l'entonnoir en V (V-funnel), dont le temps d'écoulement obtenu doit être compris entre 2 sec $\leq$ t $\leq$ 10 sec**[21]**. Ces rapports sont déterminés comme suit : pour chaque rapport E/L, on fait varier le dosage en SP de 1,2 à 1,8%. Les rapports optimaux E/L et SP/L sont ceux qui peuvent donner simultanément un bon MAP. Il faut noter ici que le mélange de mortier ne comportera aucune addition minérale.

Partie II :

1.5.Les déchets :

1.5.1. Introduction :

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, ces caractériser, son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité. Il s'agit donc de mesurer pour connaître et connaître pour agir. L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir.

Dans cette partie du chapitre, nous décrivons le contexte de la gestion des différents types de déchets et les principales techniques de traitement ou d'élimination à travers le monde ; ainsi le recyclage et la réutilisation des déchets dans le domaine des travaux publics.

En Algérie, le processus d'industrialisation et de développement urbain du pays s'est effectué jusqu'à récemment sans que les précautions environnementales ne soient réellement prises en considération **[22].**

1.5.2. Définition Des Déchets :

Les déchets peuvent être abordés de manière différente en fonction de leurs propriétés. Leur classification peut notamment se faire en fonction de leur état physique (solide, liquide, gazeux), de leur provenance (déchets ménagers, déchets industriels, déchets agricoles), de leur traitement (primaires, secondaires, ultimes) ou encore de leur dangerosité (déchets inertes, déchets banals, déchets spéciaux).

La variété de ces propriétés et des points de vue que l'on peut adopter lorsque l'on s'intéresse aux déchets amène la plupart des auteurs à dire qu'il n'existe pas de définition satisfaisante du déchet. Cette définition est différente en fonction du point de vue réglementaire, environnemental, économique ou encore fonctionnel **[22].**

1.5.2.1.Définition réglementaire

Selon la loi du 15 juillet 1975, est considéré comme constituant un déchet : « Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit, ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que le détenteur destine à l'abandon » selon l'article L.541-1-1 du Code de l'environnement **[23].**

Donc par définition, le déchet est complétée par la **notion de déchet ultime** (loi du 13 juillet 1992) : « un déchet résultant ou non d'un traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible

d'être traité dans des conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux », et précisée par la circulaire d'avril 1998 « les déchets ultimes sont les déchets dont on a extrait la part récupérable ainsi que les divers éléments polluants comme les piles et accumulateurs ».

1.5.2.2.Approche environnementale puis sanitaire :

Le déchet est représenté comme une menace, un risque dès que l'on envisage son contact, direct ou après traitement, avec l'environnement. La diffusion des polluants dans le milieu s'accompagne souvent d'un risque sanitaire. L'évaluation des nuisances sanitaires associées aux déchets et à leurs modes de gestion est un champ complexe de la santé environnementale qui, peut-être plus que tout autre champ, requiert une approche scientifique multidisciplinaire.

L'approche environnementale et sanitaire a fortement influencé la réglementation relative aux déchets, le premier objectif de gestion étant de prévenir ou réduire la production et la nocivité des déchets.

1.5.2.3.Approche économique

Le déchet est de plus en plus considéré comme une richesse potentielle dont on peut, grâce à des techniques novatrices, extraire une nouvelle valeur apte à réintégrer le circuit économique.

1.5.2.4.Approche fonctionnelle

Dans ce cadre, le déchet est considéré comme un flux de matière issu d'une « unité fonctionnelle» représentée par une activité ou un ensemble d'activités. Cette unité fonctionnelle a pour but de fabriquer un produit (matériel ou immatériel) et, pour ce faire, fonctionne avec des flux d'entrée (matières premières, eau, énergie) et de sortie (le produit recherché et les sous-produits non désirés).Parmi ces flux de sortie, non assimilables directement par le milieu naturel, on retrouve les déchets proprement dits, mais également les éléments perturbés du milieu naturel affectés par l'activité, regroupés sous le nom d'effluents **[24].**

1.5.3. Origine de la production de déchets :

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes **[22] :**

• **biologiques** : tout cycle de vie produit des métabolites ;

• **chimiques** : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième ;

• **technologiques** : tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;

• **économiques** : les produits en une durée de vie limitée ;

• **écologiques** : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;

• **accidentelles** : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets.

1.5.4. Différents types de déchets :

1.5.4.1.Déchets ultimes :

Tous résidus résultant ou non du traitement d'un déchet, et tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le refus de tri, le déchet industriel banal issu des ménages et des déchetteries ainsi que les boues de stations d'épuration **[22].**

1.5.4.2.Déchets inertes :

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction Ce sont notamment les déchets suivants : Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux **[22].**

1.5.4.3.Déchets ménagers et assimilés :

Déchets issus de l'activité domestique des ménages ou déchets non dangereux provenant des entreprises industrielles, des artisans, commerçants, écoles, services publics, hôpitaux, services tertiaires et collectés dans les mêmes conditions que les déchets des ménages **[25].**

1.5.4.4.Déchet urbains ;

Les déchets urbains sont tous les déchets provenant des ménages (ordures, verre, emballages, plastiques, carton, papier, bois, déchets de cuisine, etc.) ainsi que tous les autres déchets de composition analogue (notamment provenant des industries et de l'artisanat) **[26].**

1.5.4.5.déchets banals :

Ce sont des déchets qui ne contiennent pas de substances toxiques ou dangereuses. Ce sont des déchets ménagers et les déchets qui leur sont assimilables et peuvent être traités de la même façon. Ce sont les emballages, les déchets de bois, de plastiques **[27].**

1.5.4.6.Déchets toxiques :

Un déchet toxique est un déchet, qui peut s'avérer nuisible à la santé d'un être vivant. Les déchets toxiques sont généralement rejetés par les usines ou les puissances industrielles **[27].**

1.5.5. Déchets dangereux :

1.5.5.1.Déchets industriels spéciaux (DIS) :

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc.… **[22].**

1.5.5.2.Déchets ménagers spéciaux (DMS) :

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé **[25].**

1.5.5.3.Déchets spéciaux dangereux :

Sont considérés comme déchets dangereux les déchets de matériaux de construction suivant **[28]** :

- Mélange de béton, briques, tuiles et céramiques contenant des substances dangereuses
- Verres contenant des substances dangereuses ou contaminés par de telles substances
- Bois contenant des substances dangereuses ou contaminés par de telles substances : traités à la créosote ou aux cuivre-chrome –arsenic ou revêtu de peinture au plomb
- Mélange bitumeux contenant de goudron .
- Matériaux d'isolation contenant de l'amiante.

1.5.6. Classification des déchets

1.5.6.1.Selon l'origine. [28]

- Déchets industriels
- Déchets urbains

1.5.6.2. Selon leur mode de traitement

Les chercheurs s'accordent à regrouper les déchets solides en quatre grandes familles, selon :

- Déchets inertes
- Déchets banales
- Déchets spéciaux
- Déchets dangereux.

1.5.6.3. Selon leurs effets sur l'environnement

A ce titre on distingue :

- Déchets inertes
- Déchets fermentescibles
- Déchets toxiques.

1.6.Déchets utilises en génie civil

1.6.1. Laitiers de haut fourneau :

C'est un résidu issu de la fabrication de la fonte au haut fourneau, où il correspond au mènerai de fer, isolée de la fonte liquide où il flotte par différence de densité. Ils sont utilisés comme matériaux de construction depuis assez longtemps dans l'industrie du ciment, dans la construction des couches de base. Les laitiers expansés sont utilisés pour la production des granulats légers et les laitiers refroidis à l'air, sont concassés et utilisés comme granulats pour les bétons **[28].**



Figure 1-5 : Laitier de haut fourneau.

1.6.2. Laitier d'acier

Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute .Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bi calcique métastable ; il est donc utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes. Normalement, ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé **[29].**



Figure 1 -6 :Laitier d'acier

1.6.3. Cendres volantes

Est un produit provenant de la combustion des charbons dans les centrales thermiques, peuvent être utilisées à la fabrication des ciments, à l'exécution des bétons, où elles remplacent en partie le ciment portland, à la production des granulats légers et d'autres matériaux de construction, ainsi qu'à l'exécution des remblais dont elles ont un effet favorable grâce à leur faible poids. Notant que les cendres volantes sont sensibles au gel, du fait de leur composition granulométrique **[30].**



Figure 1 -7 : Cendre volante

1.6.4. Mâchefer :

C'est les résidus de la combustion de la houille, dans les centrales électriques anciennes. Il contient une proportion considérable de charbon non brûlé et d'autres impuretés. Il est utilisé principalement pour la fabrication de blocs de béton. Étant donné que le mâchefer

contient des sulfates et des chlorures, il n'est pas recommandé pour le béton armé. Ce matériau risque de devenir de plus en plus rare à mesure que les centrales électriques anciennes passent à la combustion de charbon pulvérisé **[31].**



Figure1-8 :Mâchefer.

1.6.5. Boues rouges

Les boues rouges proviennent de l'extraction de l'alumine de la bauxite. Elles sont de consistance assez plastique pour être formées en boules. Chauffées à des températures de 1260 à1310°c),elles sont transformées en granulats denses et résistants pouvant entrer dans la composition de bétons de résistances convenables **[31].**



Figure 1-9 : Boue rouge.

1.6.6. Béton récupéré

Le béton constitue presque 75%, en poids, de tous les matériaux de construction, Il s'en suit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton. Par ailleurs, les sinistres fournissent des millions de tonnes de débris de béton. L'épuisement des sources courantes de granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs qui favorisent l'usage du béton récupéré. Les débris de chaussées en béton sont déjà utilisés pour la construction de la couche de fondation de nouvelles chaussées **[32].**



Figure 1-10 :Béton récupéré.

1.6.7. Verre de récupération

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année .En général, la résistance du béton contenant du verre est inférieur à celle du béton contenant du gravier. La résistance est particulièrement faible lorsqu'un ciment à teneur alcaline élevée est utilisé.

La réutilisation du verre dans divers domaines s'est accrue. Les déchets de verre sont utilisés comme matières premières pour la production d'abrasifs au jet de sable, comme substitut d'agrégat dans le béton, les chaussées et les parkings. Quant à la poudre de verre, elle peut être utilisée comme lubrifiant, additifs de la base dans la fabrication de fonderie de métaux et dans l'industrie céramique. En agriculture, une incorporation du verre pilé, apporte des modifications chimiques, physiques et biologiques au sol **[33].**



Figure 1-11 :Déchet de verre.

1.6.8. Brique concassée :

Les débris de terre cuite sont, généralement, classés parmi les déchets de démolition, que ce soit du point de vue recyclage ou réutilisation comme granulat léger.

Les débris de briques contenus dans les déchets de démolition, sont désignés sous le nom collectif de « débris de terre cuite » **[34] .**

Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent de sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton.

Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel **[32].**



Figure 1-12 : Brique concassé.

1.6.9. Sciure de bois

Le bois est utilisé dans l'industrie, la menuiserie, les charpentes ou le chauffage. Dans tous les cas, il génère une grande quantité de déchets. Ces matériaux ne peuvent être mis en décharge directement à cause de la pollution que cela engendrerait. C'est pourquoi, l'utilisation de copeaux de bois dans la fabrication de bétons légers contribue à valoriser certains sous-produits de l'industrie du bois.

Le béton à base de sciure de bois est très peu utilisé à cause de sa faible résistance. On peut augmenter cette dernière en ajoutant du sable. Le béton à base de sciure de bois a de bonnes propriétés isolantes, une bonne souplesse et une faible conductivité thermique et peut être scié et cloué **[32].**



Figure 1-13 : Sciure de bois.

1.6.10. Carrelage ;

Le carrelage est un revêtement de sol et de mur formé de carreaux de céramique, terre cuite ou ciment ,juxtaposés et collés .Il est couramment utilisé pour la finition et la décoration des sols et des murs pour les habitations et autres locaux ,aussi bien à l'intérieur qu'en extérieur. Le terme désigne à l'origine l'action de poser des carreaux, puis, par métonymie, le résultat de cette action **[29].**



Figure 1-14 : dechét de carrelage.

1.6.11. Céramique

Un matériau céramique est solide à température ambiante et n'est ni métallique, ni organique. Lés objets en céramique sont réalisés par solidification à haute température d'une pate humide plastique (verre minéraux), ou frittage (agglutination par chauffage) d'une poudre sèche préalablement comprimée, sans passer par une phase liquide (céramique poly cristalline); par assimilation, on désigne sous le terme «céramique» les objets ainsi fabriqués **[22].**



Figure 1-15 : Céramique.

1.6.12. Marbre

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire. Le déchet du marbre a été recyclé avec succès dans la confection des bétons hydrauliques en substitution du sable ou du gravier et ce à des différentes proportions. Les résistances obtenues restent raisonnables à celles données par les granulats naturels **[22].**



Figure1-16 : Marbre.

1.7.Déchets de marbre :

1.7.1. Histoire de marbre :

En marbrerie et en histoire de l'art, « marbre » désigne plus largement une pierre calcaire compacte (non poreuse et imperméable), ferme et solide, difficile à tailler (ne se taille pas avec une scie à dents), et surtout qui peut recevoir un beau poli. Dans ce cas il ne s'agit pas uniquement de roches métamorphiques, mais aussi de nombreuses roches calcaires sédimentaires non métamorphisées.

Le groupe du Laocoon est l'un des chefs-d'œuvre de la sculpture hellénistique sur marbre.

À la suite de sa redécouverte à Rome en 1506, il a eu une profonde influence sur l'art de la Renaissance.

Longtemps, de l'Antiquité (Pline l'Ancien) au XVIIIe siècle, il a été cru que le marbre était une matière vivante qui, même, recomblait les excavations des carrières2 et toutes les roches destinées à la sculpture étaient appelées improprement marbres.

Depuis la plus haute Antiquité, l'utilisation du marbre est liée à l'art et à la volonté des hommes. C'est en effet une matière rare, lourde, fragile et précieuse que seuls des maîtres savent travailler. « Inventé » par la Grèce antique et d'abord sculpté en rigides idoles funéraires par la Civilisation des Cyclades, il est ensuite utilisé en blocs massif pour de prestigieuses réalisations architecturales religieuses (statues de divinités, temples, tombeaux) ou politiques (stades).

Les Romains, qui partagent l'engouement pour ce matériau, en systématisent la recherche, et développent les techniques d'extraction et de transformation. Le marbre fait alors partie des trésors que ramènent les généraux victorieux des provinces nouvellement conquises au même titre que les métaux précieux, les épices ou les esclaves. L'aura de prestige, d'exclusivité et de luxe ne quitte désormais plus cette matière qui s'illustre dans les réalisations architecturales et artistiques les plus marquantes de l'histoire humaine (l'Acropole d'Athènes, la ville de Rome, la basilique Sainte-Sophie de Constantinople, les cathédrales de Pise, Sienne, Florence, le David de Michel Ange, le Château de Versailles de Louis XIV, les temples jaïns et le Taj Mahal en Inde, l'Arche de la Défense à Puteaux, le Palais du Parlement à Bucarest, entre autres.) C'est l'une des trois roches officielles de l'état du Vermont, aux États-Unis, les autres étant le granite et l'ardoise **[35].**

1.7.2. Définition de marbre :

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris, pouvant présenter des veines, ou marbrures (veines et coloris sont dus à des inclusions d'oxydes métalliques, le plus souvent).

Certains types de marbres portent des noms particuliers, par exemple le cipolin ou la griotte.

Le marbre désigne un carbonate de calcium à tissu compact ou cristallin qui se laisse rayer et réagit aux acides plus ou moins siliceux ou argileux, il se présente en épaisseur homogène ou diversement mélangée à d'autres matières, sa densité est élevée en moyenne de 2,7.

La classification des marbres est fondée sur les teintes ou les dessins : outre le blanc ils existent des variétés, beiges, bleues, roses, gris, jaunes, rouges, vertes, violettes ou noires.

La production marbrière en France est faible et on constate une régression par rapport à des pays comme l'Italie, le Portugal et la Grande-Bretagne.

Les produits marbrières algérienne sont extraits et transformés conformément aux normes européennes : Italienne et françaises en particuliers. Les procèdes utilisés en Algérie pour le travail du marbre sont ceux utilisés dans le monde :

-Sciage des masses au fil hélicoïdal, au fil diamanté et la haveuse pour l'abatage et le tranchage des masses brutes de marbres naturels en carrières.

-Transformation en produits finis au moyen de lames et disques, débitages secondaires et ponçage avec des pierres ponces.

Le marbre en Algérie est exploité par l'entreprise nationale du marbre «ENAMARBRE» par dix unités de production dans cinq wilayas.

"L'objectif primordial fixé par le ministère de l'énergie et des mines et d'en finir définitivement, et à court terme, avec les importations. Les différentes carrières de l'ENA marbre ont acquis les équipements nécessaires pour l'exploitation des importantes réserves du pays", a-t-il indiqué. Les importations de l'Algérie en matière de produits finis sont estimées à près de 60 millions de dollars par an, a-t-il affirmé, ajoutant qu'une exploitation idoine des réserves permettra de satisfaire "pleinement" les besoins du marché national et d'exporter d'importantes quantités à l'étranger. A travers son plan de développement, l'Enamarbre veut atteindre en 2016 une production de 36.000 m3 de blocs (9.500 m3 en 2011), et 31.500 m2 de dalles (11.900 m2 en 2011), a indiqué son DG. La production de granulats a également enregistré une augmentation substantielle ces dernières années, passant de 9.000 tonnes en 2010 à 11.900 tonnes en 2011, a indiqué le Directeur général de l'Entreprise nationale de granulats (ENG), Djelil Mohamed Sayah. "En 2013, nous allons porter notre production à 9.000 m3 de blocs (matière brute), 50.000 m2 de dalles et nous comptons aussi ouvrir de nouvelles unités de production à Chaabet L'hem (Ain Témouchent) et à Thénia (Sidi Bel-Abbès)", a-t-il précisé. Cette entreprise publique, dont le chiffre d'affaire annuel est estimé à cinq milliards de dinars, ambitionne, selon M. Sayah, d'atteindre à l'horizon 2016 une production de 70.000 m2 de dalles et 12.000 m3 de blocs **[36].**

1.7.3. Les différents types de marbres

Il existe différentes variétés de marbres classés selon les catégories suivantes **[37]** :

- **Le marbre simple uni** : se compose d'une seule couleur homogène nettement décidée. Son grain serré donne un des marbres les plus durs. Les marbres blancs comme le carrare sont appelés marbres statuaires.
- **Le marbre veiné :** est soit simple lorsqu'il présente une seule couleur traversée de veines, soit riche lorsqu'il bénéficie de plusieurs couleurs. Les marbres Campan ont par exemple des veines caractéristiques vertes.
- **Le marbre brèche :** est un marbre formé d'une multitude de débris cassés et anguleux, juxtaposés et de couleurs différentes. Ces cailloux sont joints et agglomérés par un ciment calcaire. La brèche d'Alep est un exemple de marbre bréchique.
- **Le marbre brocatelle :** est une brèche composée de morceaux entremêlés donnant l'aspect du tissu de même nom.

- **Le marbre cipolin :** présente des veines de serpentines ou de mica noir formant un dessin végétal et l'apparence de feuilles. Il s'agit d'un marbre assez rare.
- **Le marbre griotte tient :** sa nom de la couleur brun ou rouge de la cerise du même nom.
- **Le marbre lumachelle :** ou marbre en limaçon, est principalement composé de débris organiques, de coquilles, de mollusques fossilisés et de madrépores, tous cimentés par une pâte plus ou moins uniforme.
- **L'Onyx :** est une variété d'agate aux bandes colorées régulières. Les marbres Onyx sont des albâtres blancs gris ou jaunâtres. L'albâtre calcaire diffère de l'albâtre ordinaire qui n'est qu'une variété de gypse.
- **Le granit :** est une roche de grains cristallins réunis sans l'apparence d'un ciment.
- **- Le porphyre :** est une roche analogue au granit contenant des grains et des cristaux de diverses substances minérales aussi empâtées dans un ciment naturel. Le nom de porphyre est donné aux pierres claires veinées ou tâchées d'aspect très cristallin.
- **- Le jaspe :** est un oxyde de silicium du genre quartz ou cristal de roche. Il présente généralement un aspect opaque et de couleur variées.
- **- Le stuc :** est un marbre artificiel créé à partir d'une pâte facilement malléable.



Figure 1-17 : Mines et carrières: L'Algérie veut valoriser son marbre.

1.7.4. Quelque type des marbres en Europe :

a) Marbres algériens

- **marbre blanc - marbre gris - marbre réséda vert** : carrière de marbre de fil-fila
- **marbre rouge - marbre jaune et** rose : gisement de marbre de krystel
- **marbre mahouna** : la carrière de marbre de mahouna
- **marbre onyx dore** : filon d'onyx de ainsmara
- **marbre onyx jaune** : carrière de bouhnifia
- **travertin** : carrière de sidi m'barek
- **marbre blanc et vert**: carrière de honaine (Tlemcen)

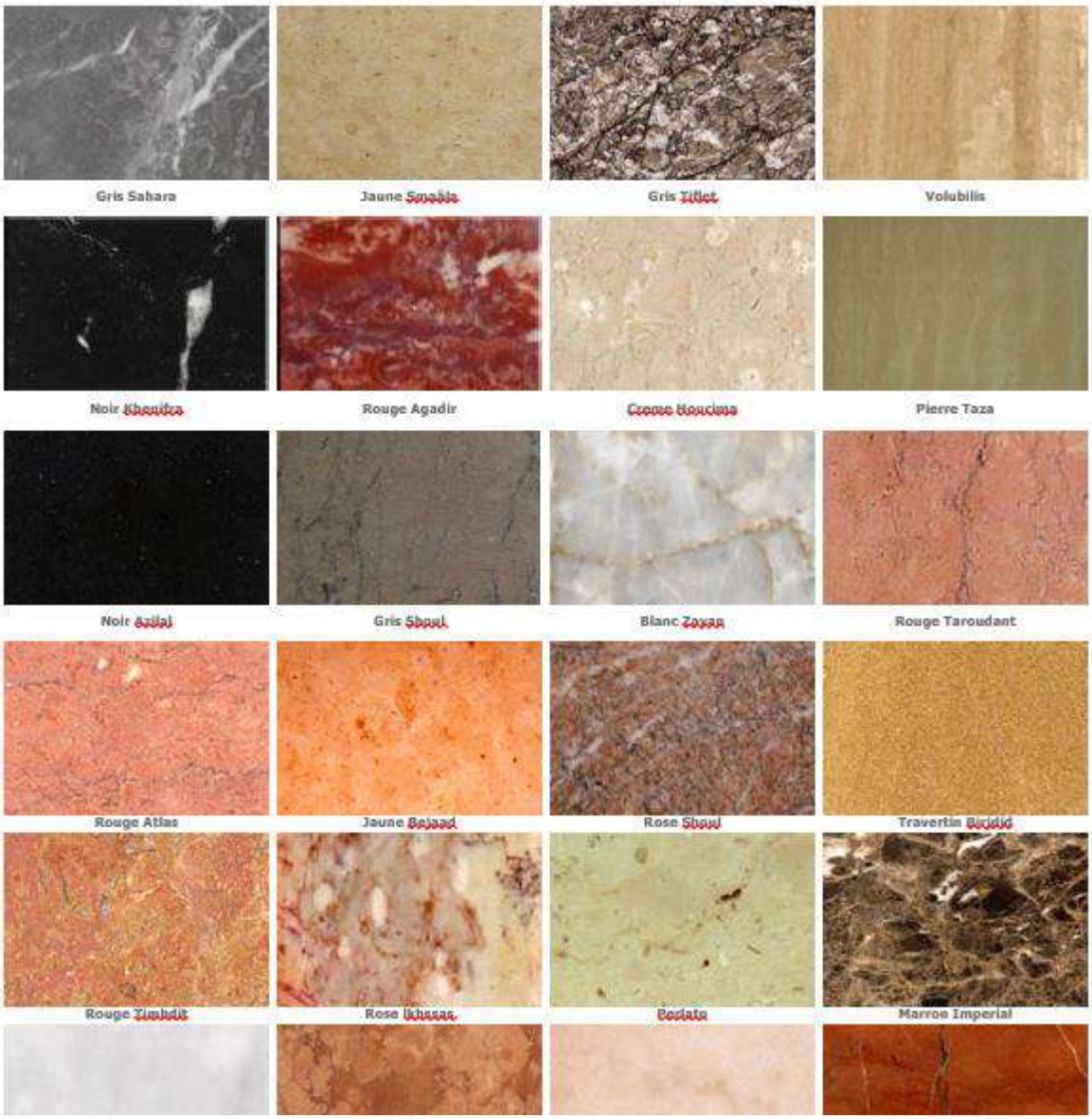


Figure 1-18 : les types du marbre **[38].**

b) Marbres d'Espagne : on à citer quelque type de marbre en Espagne comme suite **:**

- **Marbre violet de Tortosa**, violet taché et moucheté de jaune éclatant, reçoit un beau poli.
- **Marbre brèche de Valence**, jaune plus ou poins clair, d'une qualité secondaire, employé pour l'ameublement des appartements.

c) Marbres du Portugal : on à citer quelque type de marbre en Portugal comme suit :

- **Marbre de Vila Viçosa**, dans l'Alentejo moucheté gris.
- **Marbre de Troncao**, jaune pâle veiné gris **[39].**

1.7.5. Marbres algériens

L'idée a commencé à germer il y a quatre années. Après études et consultations, nous avons opté dans un premier temps pour une unité de 1000 m2/j au niveau de la zone de Sidi Ali Benyoub, à 23 km de Sidi Bel Abbés. Nous avons ainsi procédé à la création de la filiale Alpostone et à l'installation des équipements nécessaires au niveau de la carrière de Sidi Ali Benyoub. Puis nous sommes entrés en contact avec l'Enamarbre pour assurer l'approvisionnement de la nouvelle unité en blocs de marbre.

Vu que le produit brut n'était pas disponible en quantité suffisantes sur le marché, nous avons commencé par l'importer d'Espagne avant d'aller prospecter vers le Sud. A Tamanrasset, où nous nous sommes lancés d'abord sur la piste du granit, nous avons constaté qu'il existait des variétés de marbre de grande qualité : du marbre blanc translucide, du vert pistache, du marron…

A partir de là, le projet Granittam a commencé à se dessiner. Il faut cependant reconnaître que les débuts n'ont pas été faciles **[40].**

1.7.5.1.Le marbre de la carrière de FIL-FILA :

Provenance :

la carrière de Fil-Fila qui se trouve à 25 Km à l'est de la ville de Skikda.

La carrière de Fil-Fila est divisée en deux carrières suivant **[22]:**

a) Carrière à blocs
b) Carrière dérivée

a) Carrière à blocs :

Le principe de fabrication :

L'exploitation se fait par sciage des masses par fils diamantés qui sont débités pour obtenir des blocs bruts naturels de marbre.

Les blocs bruts sont traités pour avoir une forme régulière (enlèvement de tranche extérieure) et transformer à l'usine en dalle et carreaux.

Le marbre de la carrière à blocs de Fil-Fila est divisé selon leurs caractéristiques en trois types :

-Marbre blanc

-Marbre gris

-Marbre réséda vert

Tableau 1.2 : les Caractéristiques de marbre de la carrière de FIL-FILA **[22].**

Caractéristiques	Type de marbre		
	Blanc	Gris	Réséda vert
Caractéristiques pétrographiques-minérologiques			
Nature pétrographique	Calcaire microcristalin	Calcaire microcristalin	Calcaire microcristalin
Couleur	Blanche	Gris sombre	Gris avec veinules vertes
Aspect	Homogène	Non Homogène	Non Homogène
Texture	Massive	Massive	-
Structure	Microcristalin	Microcristalin	-
Composition minéralogique			
Calcite	100%	96%	94%
Quartz	-	3%	3%
Oxyde de fer	-	0,1%	-
Caractéristiques physico-mécaniques			
Masse volumique en g/cm^3	2,736	2,746	2,752
Compacité en %	98,03	99,70	98,70
Porosité en %	1,96	0,30	1,30
Coefficient d'absorption d'eau en %	0,39	0,11	0,16
Coefficient de saturation en %	0,87	0,50	0,77
Résistance à la compression à l'état sec en kg/cm^2	961	1378	949
Résistance à la compression après refroidissement en kg/cm^2	966	1026	1047
Résistance à l'usure en g/cm^2	1,82	0,719	0,996
Résistance au choc en kg/cm^2	40	56	83,50
Caractéristiques chimiques			
$Caco_3$	99,05	97,73	97,22

Granulats de rebuts de masse et de blocs de marbre :

Obtenu par concassage et broyage des bloquais et de chutes de blocs. La répartition granulométrique en mm : 0/5- 5/10- 10/20.

Les granulats utilisés comme matière première pour la fabrication du carrelage et revêtement des surfaces. Poudre de marbre de dimensions standards en mm : 0/5- 0/0 et de 30 à 02 microns.

b) Carrière dérivée :

Le principe de fabrication :

L'exploitation de la carrière dérivée de Fil Fila se fait par abattage à l'exploitation, des moellons de dimension variant de (80-100cm), qui sont concassées, broyés pour obtenir des granulats dont la granulométrie varie de 0-18mm.

Poudre de marbre : obtenue après broyage et pulvérisation du marbre de dimension variant de 30 à 02 microns.

Les dérivés de marbre sont deux types :

-Dérivés de marbre blanc.

-Dérivés de marbre gris (à l'arrêt) **[22].**

1.8. Valorisation des déchets de marbre dans le mortier et le béton :

1.8.1. Sur Mortier :

a) A l'état frais :

- ✓ Khalfaoui M A et Chellali S **[41].** (2017) a remarqué que pour l'étalement, la fluidité du MAP augmente en fonction des pourcentages de substitution en marbre pour deux finesses.

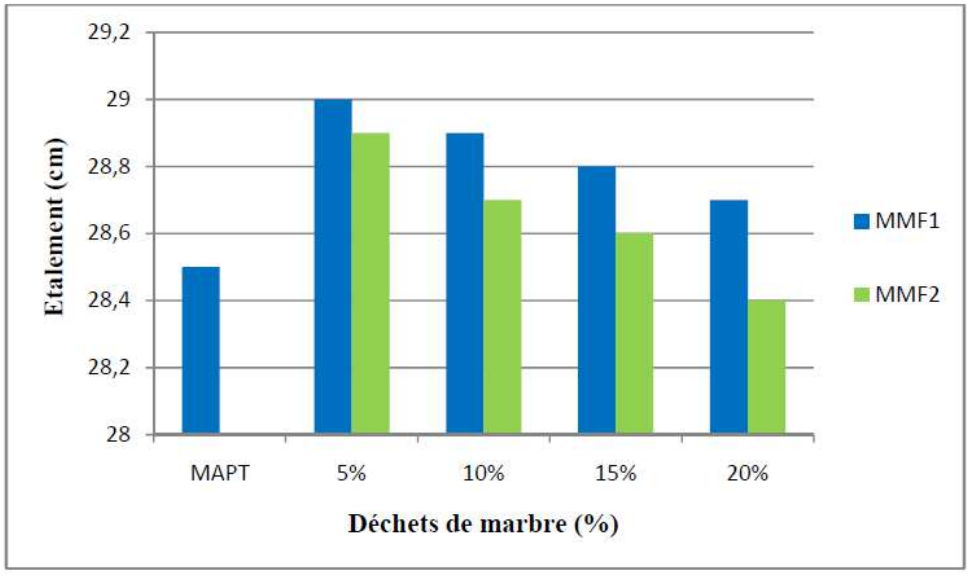


Figure 1-19 : Étalement des différents MAP réalisés en fonction de la teneur et la finesse de la poudre de marbre**.[41]**

- ✓ Khalfaoui M A et Chellali S **[41],** les résultats trouvés sur le temps d'écoulement sont montré que la poudre de marbre augmente la fluidité du MAP.

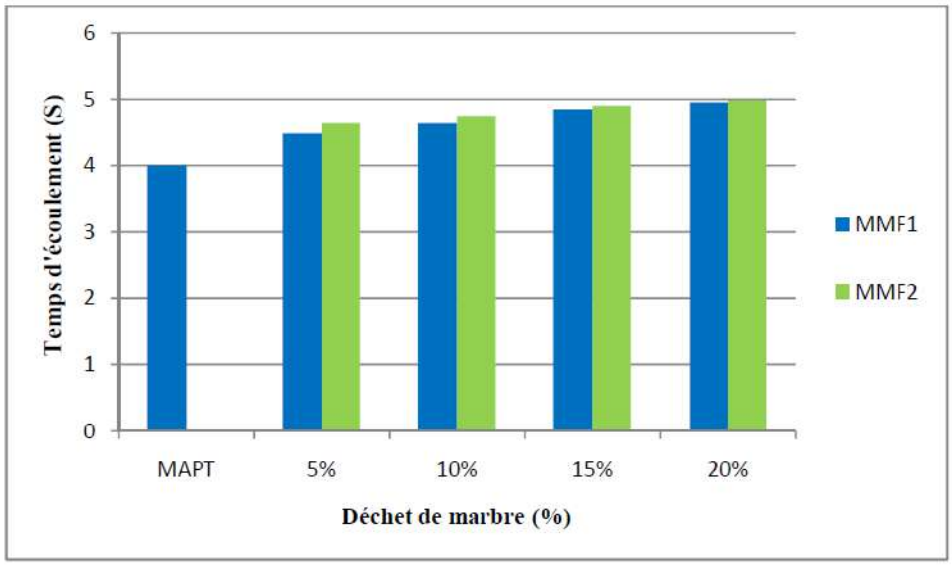


Figure 1-20 : Temps d'écoulement des différents MAP réalisés en fonction de la teneur et la finesse de la poudre de marbre**.[41]**

b) A l'état durci :

Effet de la poudre de marbre sur les propriétés mécanique

- ✓ D'après les résultats d'Aliabdo et al **[42],** La résistance à la compression du mortier de ciment augmente grâce à l'utilisation de la poussière de marbre comme substitut du ciment. Une réduction de la résistance à la compression du mortier atteinte 5% a été observée sur le mortier de volume de replacement de ciment de 15% par poussière de marbre. Une amélioration significative de la résistance à la traction du béton est enregistrée grâce à l'utilisation de la poussière de marbre comme remplacement du ciment
- ✓ Khalfaoui M A et Chellali S **[41],** ont montré que la poudre de marbre augmente la résistance à la compression du MAP avec les deux finesses utilisées par contre la poudre de la brique.

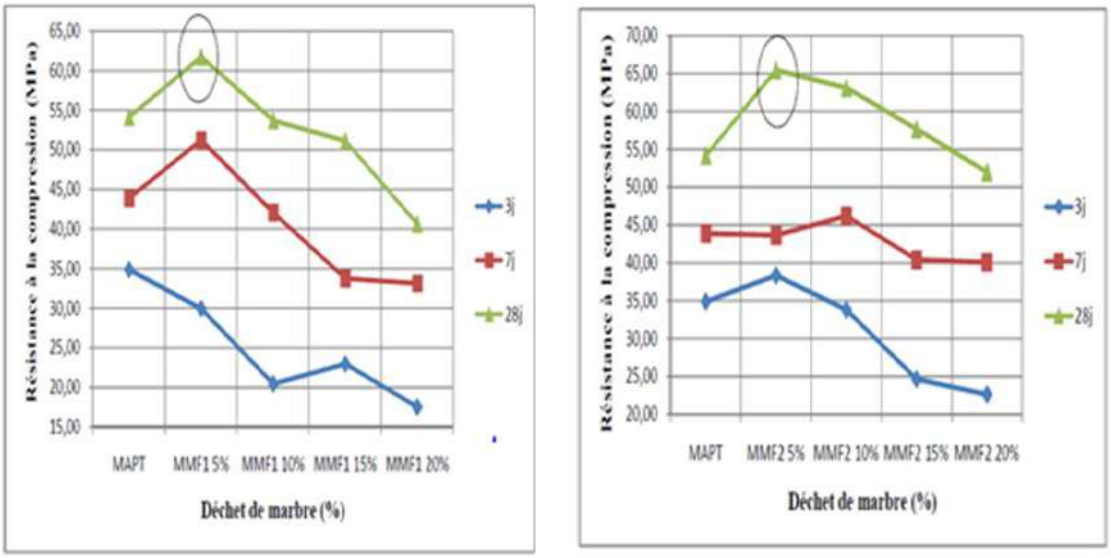


Figure 1-21 : Résistance à la compression des différents MAP réalisés en fonction de la teneur en poudre de marbre avec la finesse 1 et 2**.[41]**

✓ Khalfaoui M A et Chellali S **[41],**on constate l'essai d'absorption d'eau par capillarité de marbre, les deux types de poudre absorbent de l'eau plus que le MAP Témoin.

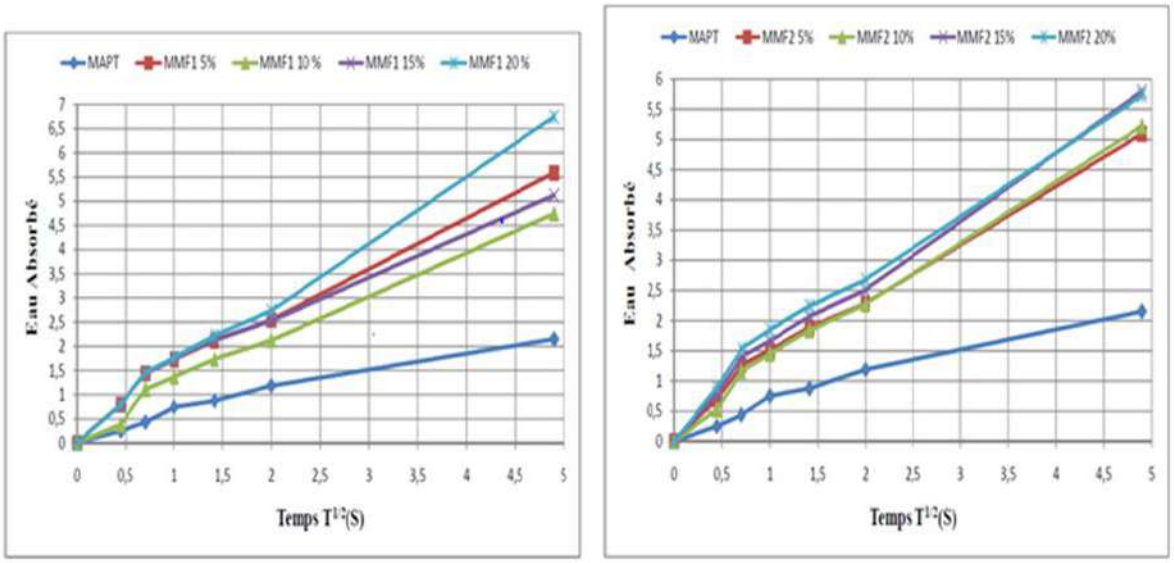


Figure1-22 : Absorption d'eau des différents MAP réalisés en fonction de la teneur en poudre de marbre avec la finesse1 et 2 **[41].**

✓ A.H. Med Belhadj et A. Mahi **[43]** ont démontrée que la présence de la pouzzolane avec l'adjuvant BV40 (mortier G2) a fait augmenter la résistance à la compression par rapport au mortier de référence G1 d'environ 30%.

L'ajout de la pouzzolane et de la poudre de marbre engendre des modifications significatives sur les propriétés des mortiers à l'état frais et durci. L'ajout de la

poudre de marbre et la pouzzolane avec l'adjuvant BV40 (mortier G4) a donné une amélioration de la résistance à la compression d'environ 74%. Le mortier avec de la poudre de marbre et adjuvant BV40 (mortier G3) affiche une résistance de 62% par rapport au mortier de référence (mortier G1). L'adjuvant Sika BV40 est le mieux adapté pour cette étude parce qu'il donne les meilleures résultats par rapport aux autres adjuvants utilisés.

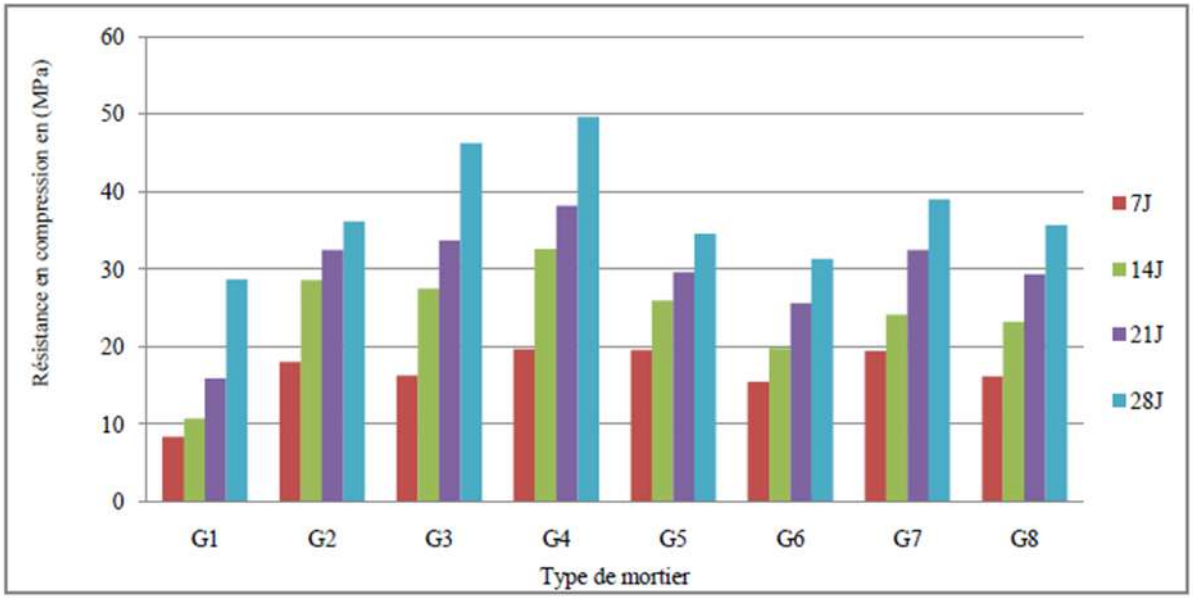


Figure 1-23 : Evolution de la résistance en compression en fonction de l'âge **[43].**

1.8.2. Sur Béton :

a) Etat frais :

➢ L'étalement

- CHIBANI et HOUARI.H **[44]** L'étalement de béton auto plaçant à base déchets de marbre (BAP DM) diminue de (10%) par rapport à l'étalement de béton auto plaçant à base des fillers calcaires (BAP FC). Cette différence est la conséquence de présence des fillers calcaires réduisant la demande en eau qui conduit à une diminution de la viscosité du BAP, et augmente son diamètre d'étalement. Notons que les travaux antérieurs des différents auteurs ne précisent pas la valeur limite de la finesse du calcaire pour que les résultats soient observés.

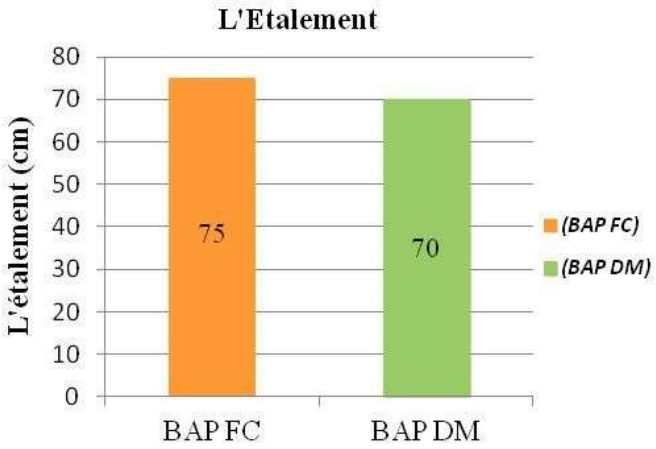


Figure 1-24 : Comparaison entre l'étalement de de (BAP FC) et(BAP DM) [44].

➢ Essai de l'entonnoir

Le temps d'écoulement mesuré par l'entonnoir est (24,75s) ci concerne le béton (BAP DM), donc cela peut être considéré comme satisfaisant et à la limite du domaine de la spécificité autobloquante. Nous remarquons sur l'histogramme de la **figure 1.25** que le temps d'écoulement de béton (BAP DM) est plus élevé de (60%) que celui de béton (BAP FC). Donc les fillers calcaires peuvent avoir une influence sur la fluidité des BAP par rapport aux fines des déchets de marbre, en d'autres termes ces fines des déchets de marbre freinent l'écoulement de béton. **[44]**

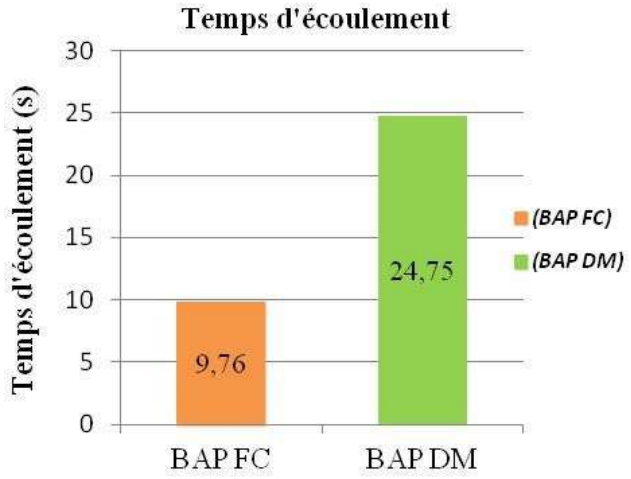


Figure 1-25 : Comparaison entre le temps d'écoulement de (BAP FC)et (BAP DM) [44].

➢ Stabilité au tamis

Sur l'histogramme de la **figure 1.26**, on observe que le béton(BAP DM) au milieu non confiné est plus stable que le béton (BAP FC), donc le (BAP DM) à un taux de stabilité plus élevé de(50%) par rapport au béton (BAP FC) (4,10%<8,36%). A partir de ce résultat on peut distinguer deux points.

Donc le BAP à base des fines des déchets de marbre (BAP DM) répond aux exigences d'une bonne fluidité, une Stabilité accrue et une capacité de remplissage satisfaisante.**[44]**

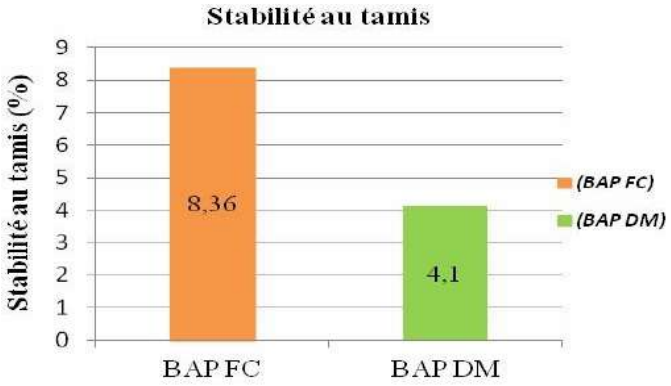


Figure 1-26 : Comparaison entre la stabilité au tamis de (BAP Fc) et(BAP DM**) [44].**

➢ L'air occlus :

D'après l'histogramme de la **figure 1.27** , on remarque que le béton à base des fillers calcaires(BAP FC) contient plus d'air que le béton à base des déchets de marbre (BAP DM), donc l'ajout des fines des déchets de marbre diminue de (10%) l'air occlus par rapport aux fillers calcaires. En d'autre terme, l'introduction d'ajout des fines des déchets de marbre entraîne une modification de la porosité de la matrice cimentaire (donnent au BAP une microstructure plus dense**). [44].**

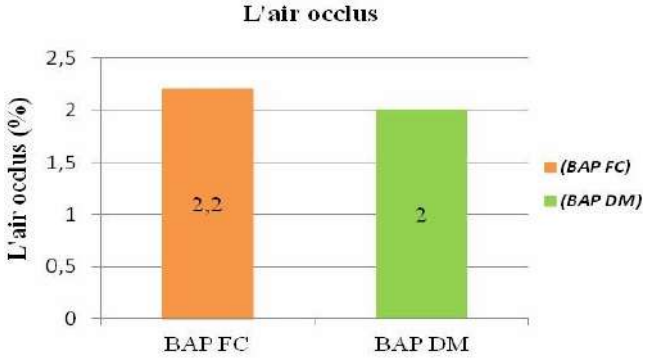


Figure 1-27: Comparaison entre l'air occlus de (BAP FC) et (BAP DM) **[44].**

b) état durci :

- ✓ Soliman **[45]** a constaté que l'augmentation du taux de substitution du ciment par la poudre de marbre de 5% et 7,5%, entraînant une augmentation de la résistance à la compression de béton d'environ 25% et 8%.
- ✓ Vaidevi **[46]** a observé une que le replacement de ciment par 10% de la poussière de marbre dans le béton de ciment offrent la meilleure résistance à la compression et à la traction.
- ✓ les essais de Tayeb et al **[47]** sur BAP a montré que la résistance à la compression déterminée à l'âge de 28 jours diminue avec une augmentation de volume de la poudre de marbre.
- ✓ Aliabdo et Singh **[42],[48]** ont noté une diminution de la porosité du béton fabriqué avec du marbre en remplacement du ciment ou du sable.

Uysal et Yalmaz(2011) **[49]**ont examiné l'effet de la poussière de marbre, poudre de basalte, et la poudre de calcaire sur le béton auto-compactant à l'état frai et durci. Les résultats montrent que la résistance à la compression la plus élevée avec poudre de calcaire sur le béton auto-compactant(self-compacting Concrete) SCC qui contient de la poudre de marbre. Le module d'élasticité statique le plus élevé a été déterminée dans le CCP avec 20% de marbre, et le module d'élasticité dynamique la plus élevée a été déterminée dans le SCC avec 10%de marbre.

✓CHIBANI.N et HOUARI.H **[44]** ont trouvé que les résistances des bétons en fonction du temps sont quasiment croissantes. Elles présentent la même allure quelle que soit le type de béton.

La résistance initiale au jeune âge (3jours) de béton (BAP DM) atteint (40%) par rapport à la résistance à 28 jours, et à 7 jours l'hydratation de béton (BAP DM) affiche une augmentation de résistance de 8MPa. En d'autre terme le béton (BAP DM) atteint presque (59%) ce qui montre que plus de la moitié de la résistance est acquise pendant les 7 premiers jours.

Et entre 28 jours et 90jours, la résistance obtenue de béton (BAP DM) n'enregistre pas une . En d'autres termes une augmentation de (3%) par rapport à 28 jours.

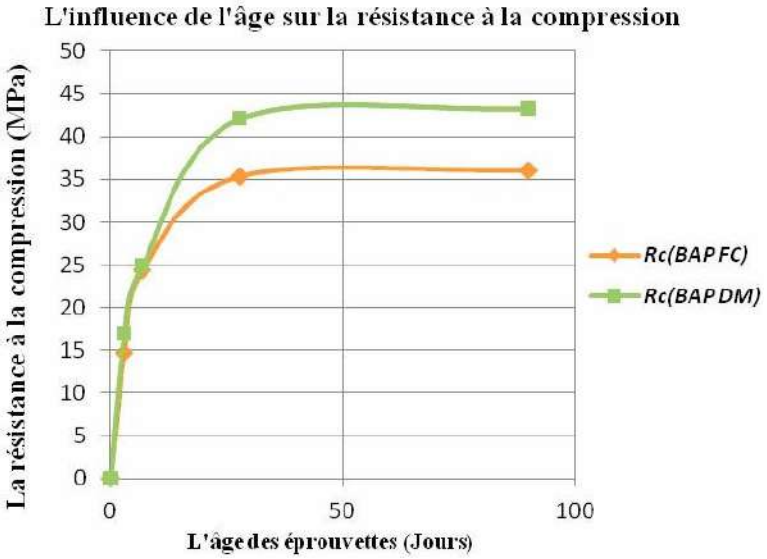


Figure 1-28 : Evolution de la résistance à la compression
Comparaison en fonction du temps de (BAP FC) et (BAP DM) **[44].**

- CHIBANI.N et HOUARI.H **[44]** on a trouvée aussi ce qui concerne la résistance à la traction par flexion de béton (BAP DM) que l'augmentation de cette résistance entre 3 jours et 7 jours atteint 81% et 97% respectivement par rapport à la résistance à 28 jours, ce qui montre que plus de 80% de la résistance à la traction par flexion est acquise pendant les 7 premiers jours. Entre 28 jours et 90jours, l'hydratation de béton (BAP DM) affiche un gain de 6MPa en plus. En d'autres termes, une augmentation de (55%) par rapport à 28 jours, ce qui montre que l'hydratation du ciment est perturbée par l'introduction des fines des déchets de marbre.

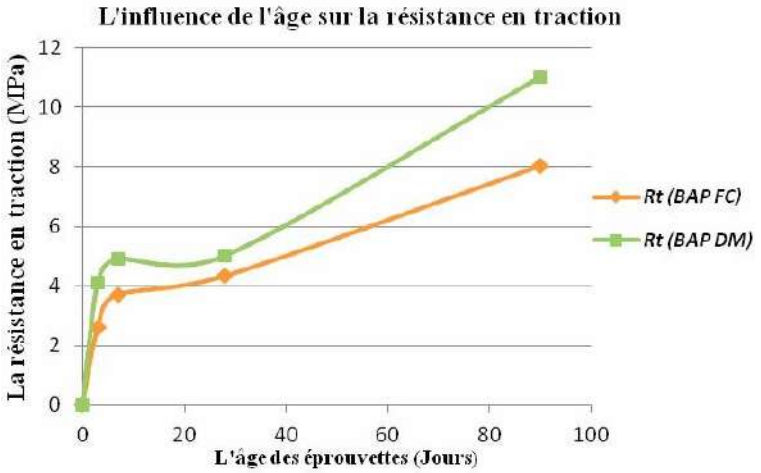


Figure 1-29 : évolution de la résistance de traction par flexion dans le temps de (BAP FC) et (BAP DM) **[44].**

- Houria Hebhoub, Mouloud Belachia **[50]** remarqué que La valeur maximale de la résistance en traction à 28 jours est obtenue avec le béton de 50% de taux de substitution. Les résultats obtenus montrent que les déchets de marbre peuvent être techniquement utilisés comme substituant dans les bétons hydrauliques

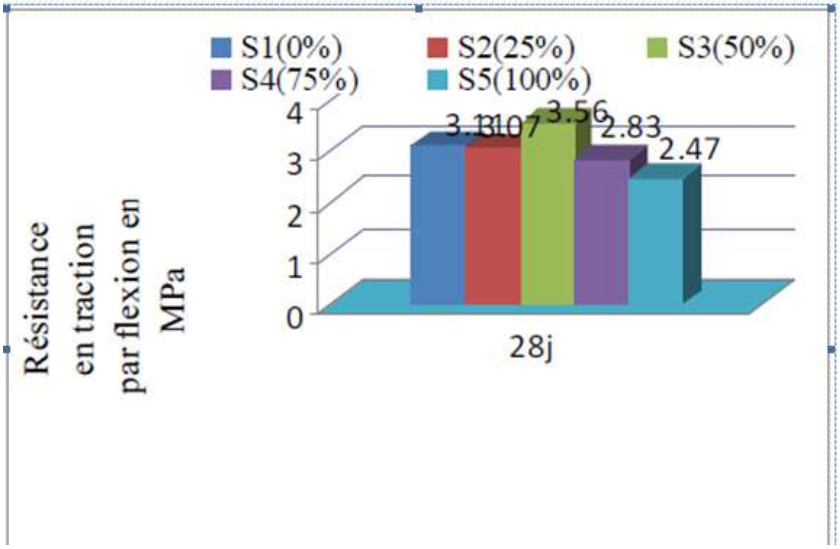


Figure 1-30: Influence du taux de substitution sur la résistance à la traction par flextion à 28j**[50].**

Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté les différents matériaux, ajouts et additions entrant dans la fabrication du matériaux cimentaire, avec l'importance des différents déchets inutilisable en bondons dans la nature, on notant le déchet de marbre et la possibilité de l'utilisé comme liant et l'analyse de ces utilisation vis-à-vis les autres chercheurs.

Donc, actuellement dans le domaine de la construction, les recherches visent la production des éco-matériaux afin de parvenir au développement durable. Ce nouveau type de matériau qui peut être un béton ou un mortier de ciment doit répondre aux doubles exigences économiques et écologiques pour assurer la durabilité.

Chapitre02:
matéraux et essai

2.1.Introduction

Dans ce chapitre on va présenter les matériaux de construction utilisés pour la confection des mortiers étudies avec leurs caractéristiques et les essais faites au laboratoire, en outre le choix des matériaux utilisés dans la composition d'un mortier autoplacant joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances ultérieures. En effet, les propriétés essentielles du mortier sont largement influencées par les caractéristiques de ses constituants.
Nous avons présenté dans cette première partie l'ensemble des matériaux utilisés dans le cadre de ce travail, à savoir : le ciment, sable, le déchet recyclé de marbre, l'adjuvant et l'eau de gâchage. Dans une seconde partie, nous décrivons les formulations adoptées et nous présenterons par la suite les différents essais réalisés au cours de notre étude.

Les caractérisations des mortiers avec le déchet de marbre, à l'état frais et à l'état durci, nécessite de définir les corps d'épreuve sur lesquels seront mesurées les grandeurs spécifiques du matériau et les techniques d'essai. Les différents essais effectués au cours de ce travail sont:

❖ **Essais sur Mortier Autoplacant :**

✓ **Etat frais**

- L'étalement
- V-Funnel.

✓ **Etat durci**

- Traction par flexion sur éprouvettes 4x4x16 cm.
- Compression
- L'absorption d'eau par capillarité.
- La porosité.
- Conductivité thermique.
- Résistance au feu

2.2.Justification de choix des matériaux de base :

2.2.1. Pourquoi étudier les mortiers :

Le mortier est un des matériaux de construction, qui contient du ciment, de l'eau, du sable, des adjuvants et éventuellement des additions. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure.

La majorité des études ont été effectuées sur des mortiers, représentant essentiellement la friction des bétons, pour mieux mettre en évidence les modifications engendrées par l'utilisation de fines minérales et l'adjuvant.

On le documente bien que les mortiers frais, comme le béton frais, se comporte comme corps de Bingham, et les chercheurs ont montré que les effets de différents adjuvants et additions sur les performances des mortiers sont semblables à ceux observés avec le béton et des essais faits sur des mortiers peuvent être employés pour choisir le système ciment-adjuvant- addition, compatible et pour prévoir le comportement du béton dans différentes conditions technologiques.

Bien que cette étude ait été faite dans un système de mortier, il est raisonnable de penser que les tendances qui ont été observées pourraient être prolongées au béton. **[6].**

2.3.Caractérisation des constituants :

2.3.1. Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est un CEM II/B 42.5 N El Mâtine, c'est un ciment Portland composé CPJ fabriqué à la cimenterie M'Sila Mâtine présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme Algérienne NA 442 et Européenne EN197-1

- **Masse volumique absolue (g/cm^3) = 3.15**
- **Surface Spécifique de Blaine (cm^2/g)= 3800**



Figure 2 -1: ciment utilisé CEM II/B.

2.3.2. Le sable

Dans cette étude, on a utilisé un seul type de sable (0/3) naturel provenant de la carrière d'Oued Souf située au SUD-EST Algérien, ses caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau2 -1 : Les caractéristiques du sable.

Caractéristique	Sable d'oued Souf	La norme
Le module de finesse	**1.88**	**NF EN 933-1 [51].**
La masse volumique absolue (g/cm3)	**2.56**	**NF EN 1097-6[51].**
La masse volumique apparente (g/cm3)	**1.59**	**NF EN 1097-6[51].**
Equivalent de sable à vue (%)	**91.12**	**NF EN 933-8[52].**
Equivalent de sable à piston (%)	**87.34**	**NF EN 933-8[52].**
Taux d'absorption d'eau (%)	**0.5**	**NF EN 1097-6[51].**

L'analyse granulométrique de sables utilisés est présentée sur la **Figure 2.2** suivante :

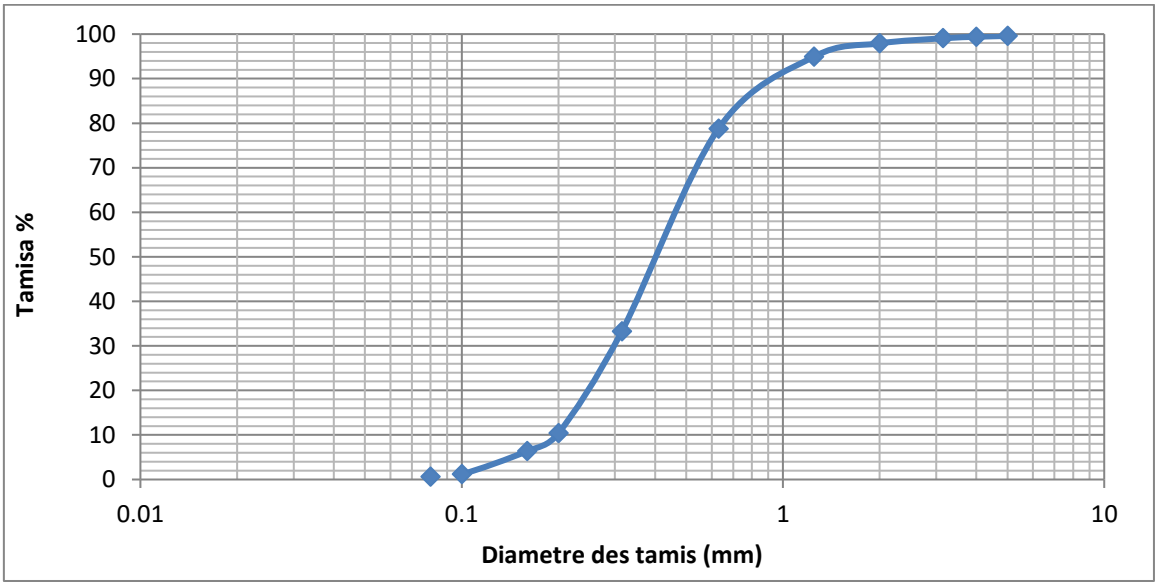


Figure 2 -2: Courbe granulométrique de sable.

2.3.3. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des mortiers est celle du robinet considérée comme potable, exempte de toute impureté nuisible au mortier et conforme à la norme NF EN 1008 **[53]**. Sa température est comprise entre 18 et 20°C.

2.3.4. Adjuvant (Super plastifiant)

Pour assurer une ouvrabilité satisfaisante, on a employé un adjuvant(Superplastifiant – Haut réducteur) d'eau à base de poly carboxylate d'éther formulé à base de polymère de synthèse combinée commercialisé par la société Granitex, sous le nom « MEDAFLOW 145 » (**Figure 2.3**) .Voir la fiche technique en annexe pour avoir plus de détail sur ce adjuvant.



Figure 2- -3: Adjuvant utilisé « MEDAFLOW 145 »**[42].**

2.3.5. Déchets

Comme nous avons vue dans le chapitre précédant qu'il existe plusieurs ajouts introduits comme substituant dans le mortier autoplacant. Dans ce travail on a utilisé un type de déchets (Déchets de marbre).

Les déchets de marbre une fois réceptionnés, ils ont fait l'objet d'un broyage par los angles et un broyeur à disque pour les transformer en poudre fine, des finesses supérieur du ciment utilisé (7600 cm^2/g).

2.3.5.1. Déchets de marbre

La poudre de marbre utilisé dans ce travail proviennent de fabriquant de marbre dans la wilaya de Médéa .



Figure 2-4: marbre Blanc.



Figure 2 -5: marbre Beige



Figure 2 -6: Protocole d'obtention des finesses de déchets de marbre.

- Les essais réalisés sur cette poudre de marbresont résumés dans le **Tableau 2.2** :

Tableau 2- -2 :les caractéristiques des poudres de marbre**.**

Caractéristiques	**Marbre blanc**	**Marbre beige**	**Normes**
Masse Volumique absolue (g/cm^3)	**2.73**	**2.77**	**NF EN 196-6 [54]**
Finesse de Mouture (Surface Spécifique de Blaine) (cm^2/g)	**7600**	**7600**	**NF EN 196-6 [54]**

Les résultats de la diffraction des rayons X sont représentés par les **figures2.7 et 2.8** :

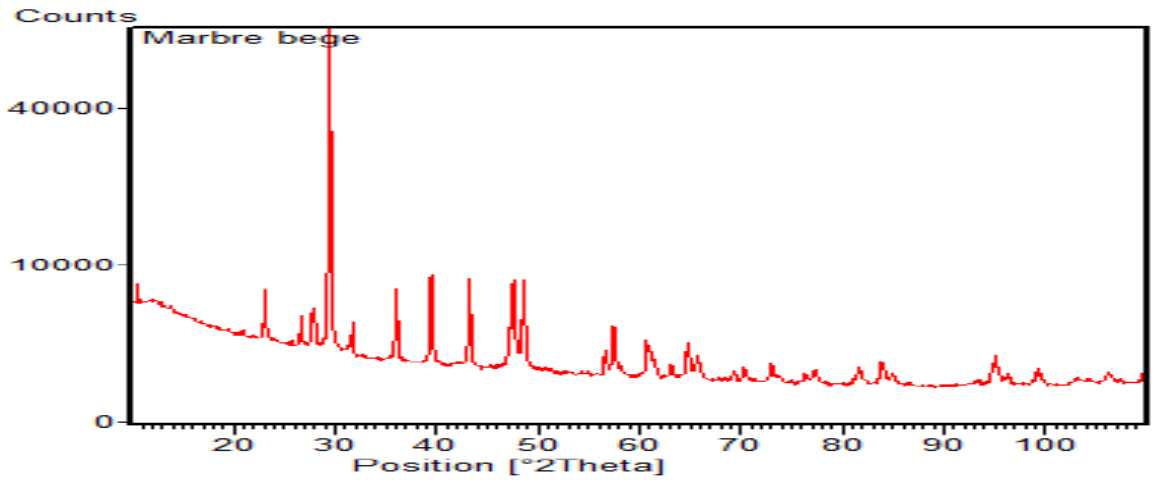


Figure2.7: Diffractogramme du marbre Beige.

Marbre Beige : il contient 97% de calcite « $CaCO_3$ »et 3% de silice « SiO_2 ».

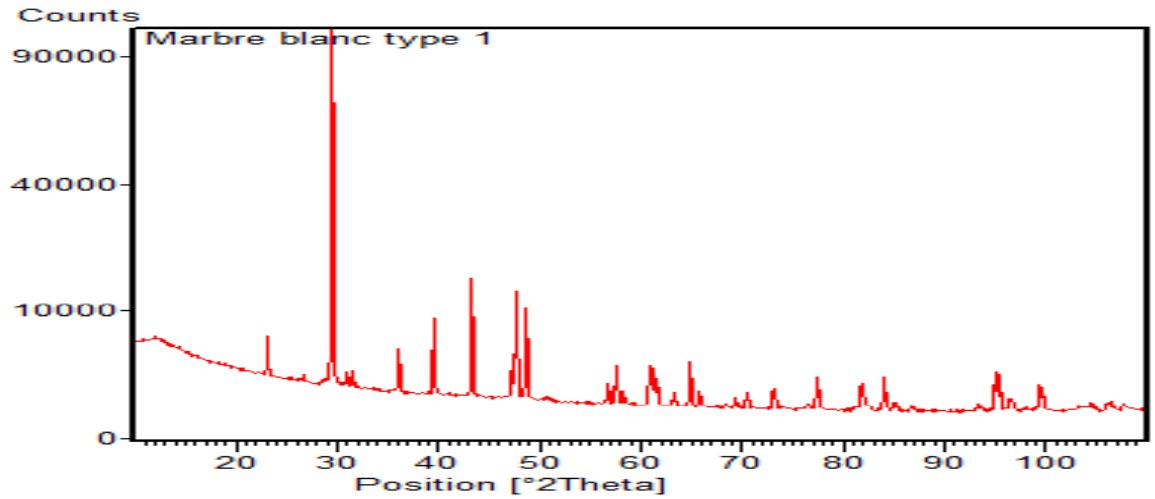


Figure2.8: Diffractogramme du marbre Blanc.

Marbre Blanc : il contient 99% de calcite « $CaCO_3$ »et 1% de silice « SiO_2 ».

2.4.Formulation des mortiers

L'objectif de la formulation est de déterminer la quantité nécessaire pour chaque matériaux du gâchée, afin d'obtenir un mortier avec des propriétés souhaitées. Notre étude est focalisée sur l'influence de taux de substitution de fraction de ciment par poudre de marbre sur les caractéristiques à l'état frais et durci d'un mortier autoplacant.

Afin de déterminer les quantités des matériaux : sable, ciment, eau et adjuvant, la formulation du MAP est basée sur la méthode japonaise (JSCE)**[55],** en assurant un rapport **S/M=0.50**, un rapport **E/C= 0.37** et un dosage en superplastifiant**Sp/L=1.3%** pour toutes les familles des mortiers, les différentes compositions sont présentées dans le **tableau (2.3).**

Tableau 2-3 : Composition des différents mortiers réalisés (V=1l)

	finesses	Substitutions (%)	ciment	Sable	$\frac{E}{C}$	eau	sp(%)	sp(g)	Déchet de marbre
MT		0	680	1320	0.37	161.5	1.3	8.84	0.00
MM_1	F_1	5	646	1320	0.37	161.5	1.3	8.398	29.90
		10	612					7.956	59.80
		15	578					7.514	89.70
		20	544					7.072	119.59
MM_2	F_1	5	644.1					8.398	29.47
		10	612					7.956	58.93
		15	578					7.514	88.40
		20	544					7.072	117.87

2.4.1. Séquence de malaxage du mortier

Pour la confection du mortier, la séquence de malaxage décrite dans la **Figure 2.7** suit les étapes suivantes **[56]** :

- Malaxer à sec le ciment et le sable afin d'homogénéiser le mélange pendant 30 seconde (On a utilisé un malaxeur à mortier de capacité de 5 litres) à vitesse lente.
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (E_1 = 60% Eau).

- Ajouter pendant 1 minute le restant de l'eau de gâchage (E_2= 40% Eau) mélangé avec le superplastifiant.
- Malaxer le mélange pendant 3 minutes à vitesse rapide.
- Laisser reposer le mélange pendant 3 minutes.
- Redémarrer le malaxage pendant 90secondes à une vitesse rapide.

La séquence de malaxage est la même pour tous les mélanges du mortier. Pour assurer une meilleure incorporation, La quantité dela poudre de marbre a été prise en fractions de volumede ciment et ajouté d'un seul coup.

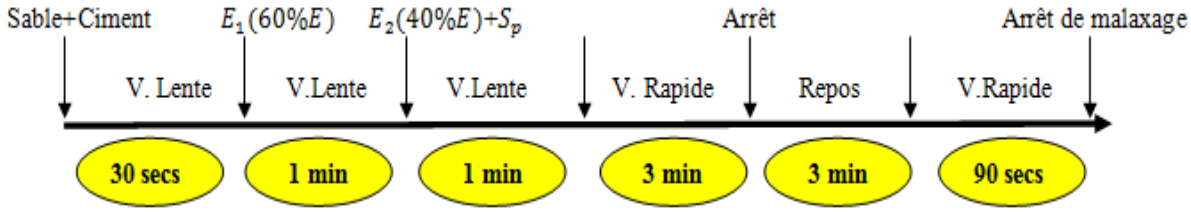


Figure 2-9: Séquence de malaxage du mortier autoplaçant **.**



Figure 2-10: protocole de malaxage.

2.5.les Essais et la procédure des mortiers élaborés :

Les premiers essais sur mortiers frais que nous présentons sont des essais classiques qui s'effectuent traditionnellement sur des bétons. Les essais réalisés sur mortier sont :

2.5.1. Etat frais

Dans cette étude, deux essais ont été effectués pour caractériser l'ouvrabilité des mortiers autoplacant formulés selon les recommandations de l'AFGC.

a) Essais d'étalement au mini-cône

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique place sur une surface horizontale lisse, une fois le moule soulève, le diamètre d'étalement du mortier est mesure suivant deux directions perpendiculaire, la moyenne est retenu. La **Figure 2.9** montre les étapes de l'essai d'étalement mini cône.



Figure 2-11: Protocole de l'essai d'étalement a mini cône.

b) Essai d'entonnoir en V (V-Funnel)

L'entonnoir est destiné à imposer un écoulement du même type que celui impose entre deux armatures parallèles. L'entonnoir est rempli de mortier et le temps pour lequel le mortier prend pour couler à travers le dispositif est mesuré. Ce temps mesuré indique la fluidité et caractérise la capacité du mortier à se déformer à travers des zones confinées par son passage par l'ouverture du col du dispositif. par l'ouverture du col du dispositif. La **Figure 2.10**



Figure2 -12: Protocole de l'essai (V -Funnel) .

2.5.2. Préparation et Conservation des Eprouvettes :

- La préparation des éprouvettes (40X40X160) mm du mortier autoplaçant est effectuée selon la norme EN196-1 **[57].**
- La conservation des éprouvettes du mortier se fait à l'air libre.



Figure 2 -13: préparation et conservation des éprouvettes.

2.5.3. Etat durci

Les essais mécaniques effectués sur les éprouvettes des mortiers autoplacant étudiés, ont été réalisés selon les normes préconisées pour les mortiers. La résistance à la traction par flexion sur les éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm (03 éprouvettes) et après l'essai de flexion, le demi de chaque éprouvette est utilisée pour la détermination de la résistance à la compression.

a) Résistance à la traction par flexion

Selon la norme [EN 196-1] **[58]** c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) ,Dans notre étude, cet essai ce effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à 3, 7, 28, 56 et 90jours.

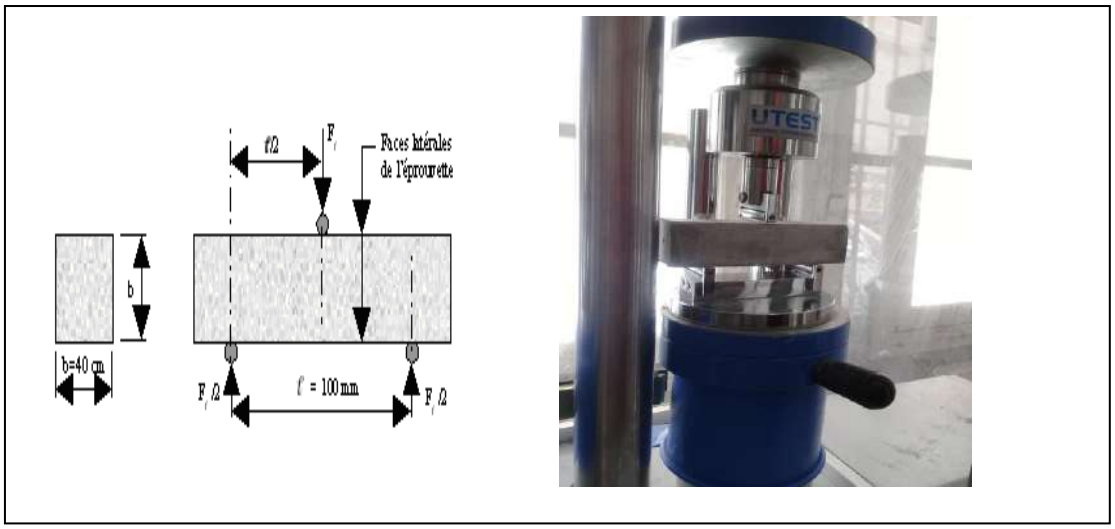


Figure 2-14: l'essai de résistance à la traction.

b) Résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme NF EN 196-] **[59]** par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16)cm, à 3, 7, 28,56et 90 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 250 KN Pendant l'essai la vitesse de chargement estconstante, La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et lasection transversale de l'éprouvette correspond à la contrainte moyenne d'écrasement surtrois éprouvettes à chaque âge d'essai (3.7.28 ,56 et 90jours).

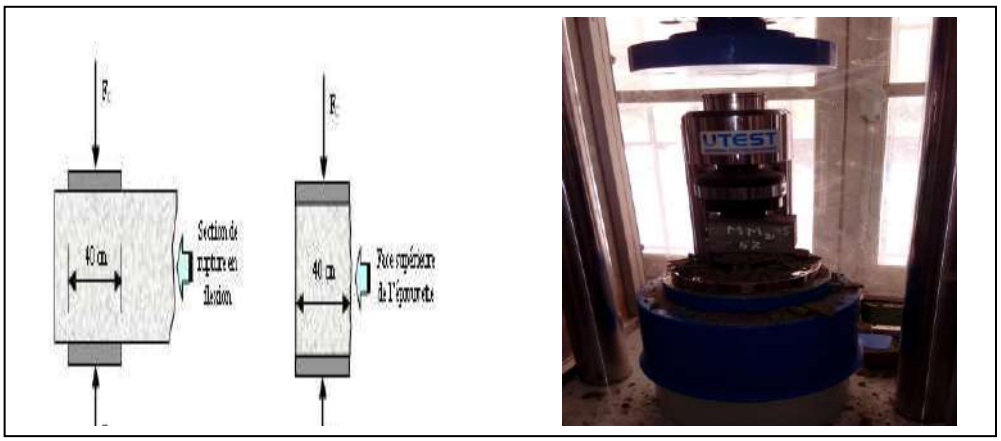


Figure 2 -15: Dispositif de rupture à la compression.

2.5.4. Indicateurs de durabilité :

a) Absorption d'eau par capillarité :

Conformément à la norme NF EN 1015-18**[60]**, dans cet essai, on prend une demi prisme d'éprouvette de mortier déjà utilisé puis séché .On le pèse (m_0) au début, après on l'introduire dans un bac remplit d'un film d'eau (5 mm d'eau) (**Figure 2.14**) et pendant chaque intervalle de temps (12min, 30min, 1h, 2h, 4h, 24h) on ressort les morceaux du bac et on les pèse (m_1).La différence de poids entre $m_1$et m_0 est le poids de l'eau absorbée (m_1-m_0).

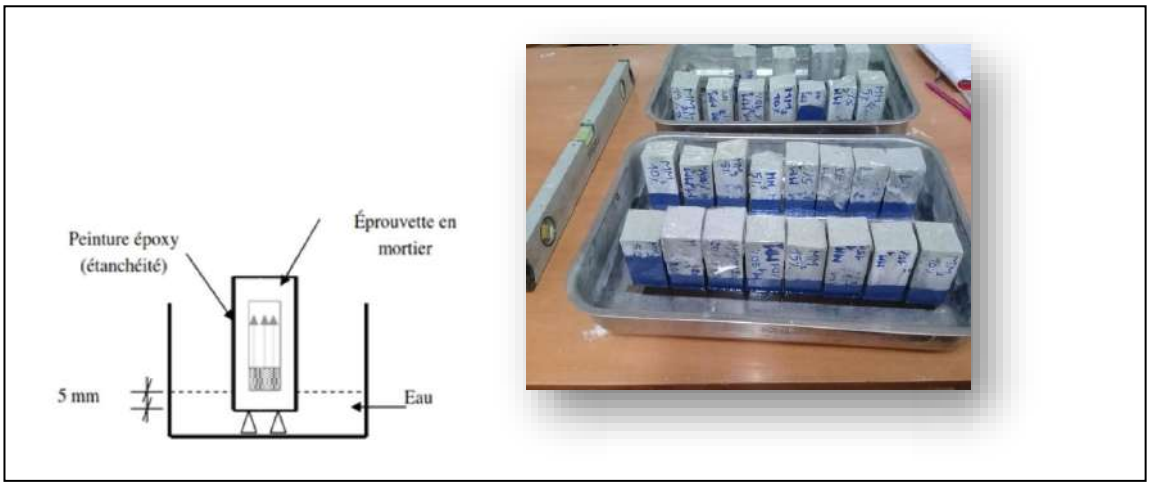


Figure 2 -16: Essai d'absorption d'eau par capillarité sur mortier.

b) Porosité :

Les échantillons sont séchés dans une étuve ventilée à 105 °C durant 2 heures, puis pesés pour déterminer la masse de chaque échantillon sec,puis passé ensuite à imbibition sous vide pendant 4 heures; ensuite ont les prolongés dans l'eau jusqu'à saturation et pesés une notre fois avec deux manière ; une à la sortie d'eau (M_{air})et une autre dans l'eau pour (M_{eau}).

La porosité volumique accessible à l'eau **ε** exprimée en pourcentage, est donnée

par l'équation :

$$\varepsilon\ (\%) = \frac{Mair - Msec}{Mair - Meau} \times 100$$

ε (%) : La porosité totale.

Mair: La masse d'éprouvette imbibée pesé dans l'air .

Msec: La masse d'éprouvette sèche .

Meau: La masse d'éprouvette immergée dans l'eau.



Figure 2-17: protocole d'essai de porosité sur mortier.

2.5.5. Indicateurs thermique :

a) Conductivité thermique :

La conductivité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction. Notée **λ**, elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par une unité de temps sous un gradient de température de 1 degré par mètre. Elle s'exprime en W/m°C. Cette valeur permet de

quantifier le pouvoir isolant de chaque matériau. Plus elle est faible, plus le matériau sera isolant. Dans notre cas la conductivité thermiques des différents bétons a été mesurée à l'aide d'un CTM ètre conformément la norme NF EN 993sur des échantillons de (4 ×16×16 cm)**[61].**



Figure 2 -18: Essai Conductivité thermique sur mortier.

b) Résistance au feu :

L'essai consiste à sécher les éprouvettes dans l'étuve durant 2 heures .

Ensuite, elles sont chauffées dans un four à moufle à différentes température200°C, 400°C et 600°C durant deux heures conformément à la norme ISO 834.

Tous les demi-prismes d'éprouvettes sont ensuite refroidis à l'air (en dehors du four) pendant 24 heures puis écrasés. Pour chaque température, des mesures de pertes de masse ont été effectuées.

Le degré de déshydratation (Perte de masse (%)) est évalué par la relation suivante :

Perte de masse (%) = $\frac{(M1-M2)}{M1}$x 100

Avec : M1, M2 les masses des éprouvettes avant et après le chauffage respectivement**[61].**



Figure 2-19:l'essai de résistance au feu sur mortier.

c) Variation des masses des mortiers (pert de masse) :

L'objectif du suivi effectué sur les prismes de mortier conservés à l'air ambiant est de mesurer, en fonction du temps, leurs pertes de masse due aux effets de l'hydratation et de la dessiccation des matériaux cimentaires.

L'essai est effectué sur des prismes de(4×4×16 cm).

Variables Etudiées

Les variables étudiées du travail expérimental accomplit sont résumées dans les figures suivantes

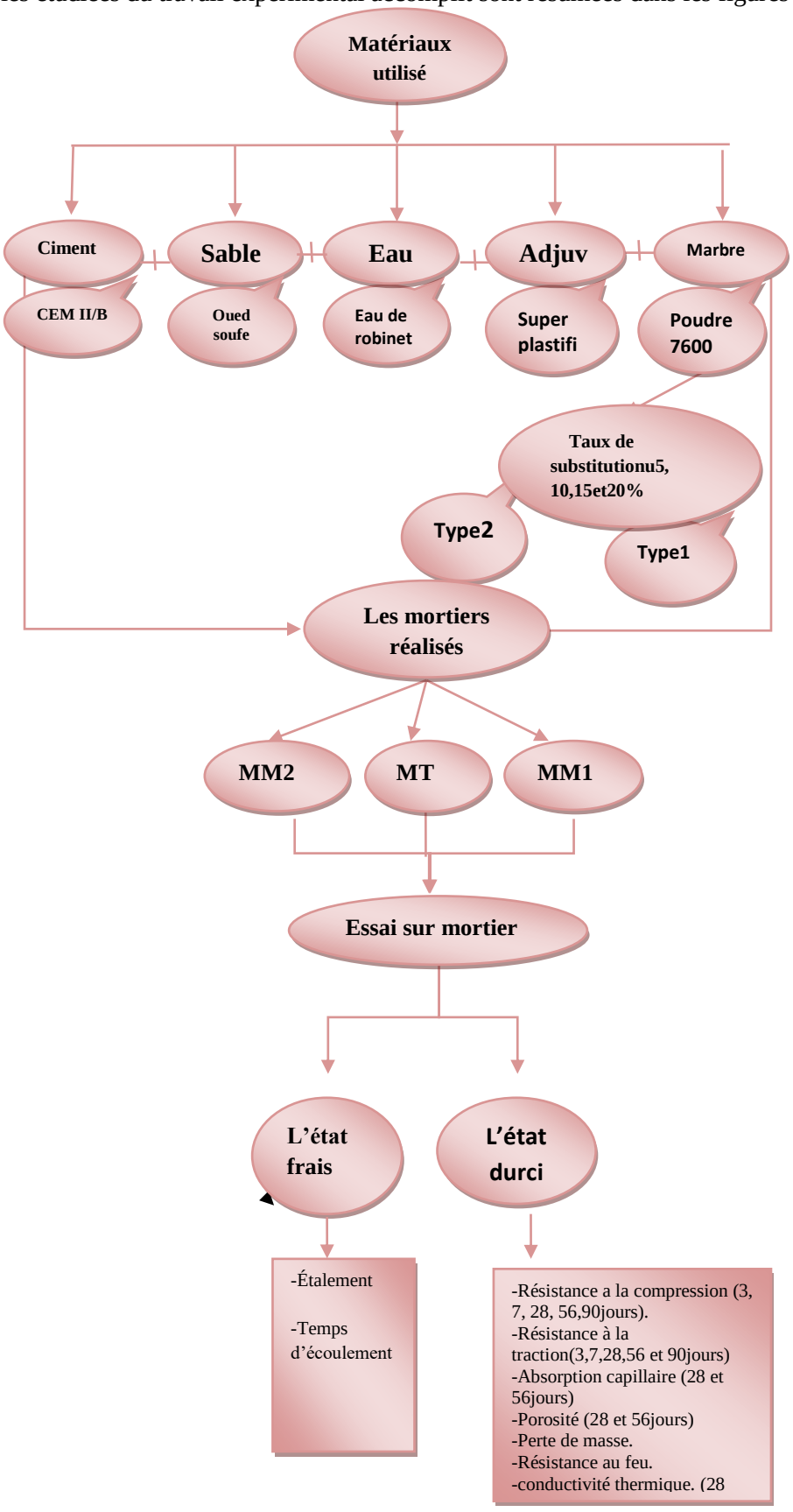


Figure 2-20 : Matériaux utilisée

Conclusion :

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles sur le Marché Algérien (le ciment, les granulats, les super plastifiant). ainsi que le déchet de marbre.

Les essais menés au cours de cette étude ont été effectués sur le mortier autoplaçant, Pour déterminer leurs caractéristiques à l'état frais (ouvrabilité), ensuite, des essais relatifs au domaine mécanique et physique(compression, traction, absorption d'eau, porosité …)

Des essais menée au domaine thermique ont été réalisés et qui ont servi pour déterminer les propriétés de l'isolation est de transfert de chaleur .Pour reconnaitre l'effet de marbre sur le MAP que ce soit à l'état frais ou durci.

Chapitre 03 :

Analyses et interprétations

3.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre on va procédé a l'analyse des différents résultats des essais expérimentaux effectués sur les mortier autoplacant (MAP) a base du poudre de marbre à l'état frais et durci.Deux séries de MAP ont été réalisées avec 4 proportions de taux de substitution en marbre (5%, 10%, 15% et 20%) la différence entre les deux séries réside dans le type de marbre incorporé (Beige et Blanc). Les caractéristiques étudiées sont :

- Ouvrabilité
- Résistance à la compression
- Résistance à la traction
- Perte en masse
- Absorption capillaire
- porosité
- Résistance au feu
- Conductivité thermique

3.2. Ouvrabilité :

Les résultats des essais réalisés sur les MAP à l'état frai (étalement et temps d'écoulement) sont présentés dans la **figure 3.1** et **3.2** respectivement. Il semble que le remplacement des fractions de volume du ciment par marbres améliore l'ouvrabilité des mortiers.En comparaison avec le mortier témoins il est clair que l'augmentation du taux de substitution en marbre de 5% à 20% conduit à l'augmentation de l'étalement sur la série MM2, et diminution du temps d'écoulement sur la deuxième série (MM2).

Ces résultats sont en accord avec les constatations d'autre chercheurs **[42].** La comparaison entre les propriétés des deux séries de MAP (MM1 et MM2) à l'état frai, montre que le marbre Blanc a un effet positif mieux que le marbre Beige. Et cela peut être lié à la différence de la porosité de deux marbre, notons que le marbre blanc est un peu plus léger que le marbre Beige.

Ce résultat approuve les constatations de Khalfaoui et Chellali **[40].**

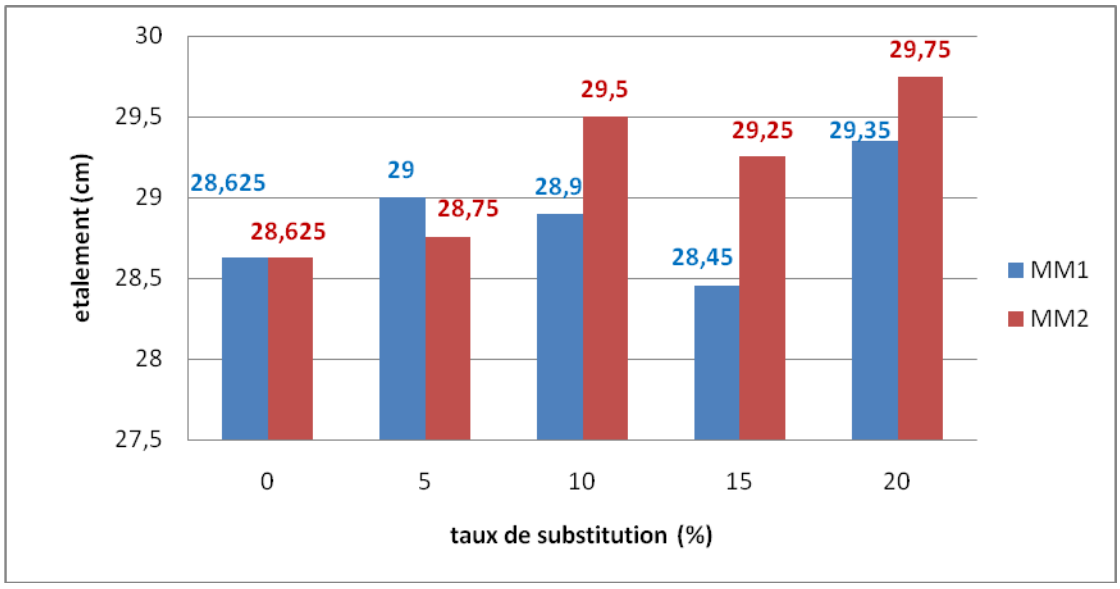


Figure3-1 : Variation de L'étalement des MAP à base de la poudre du marbres (beige et blanc) en fonction du taux de substitution.

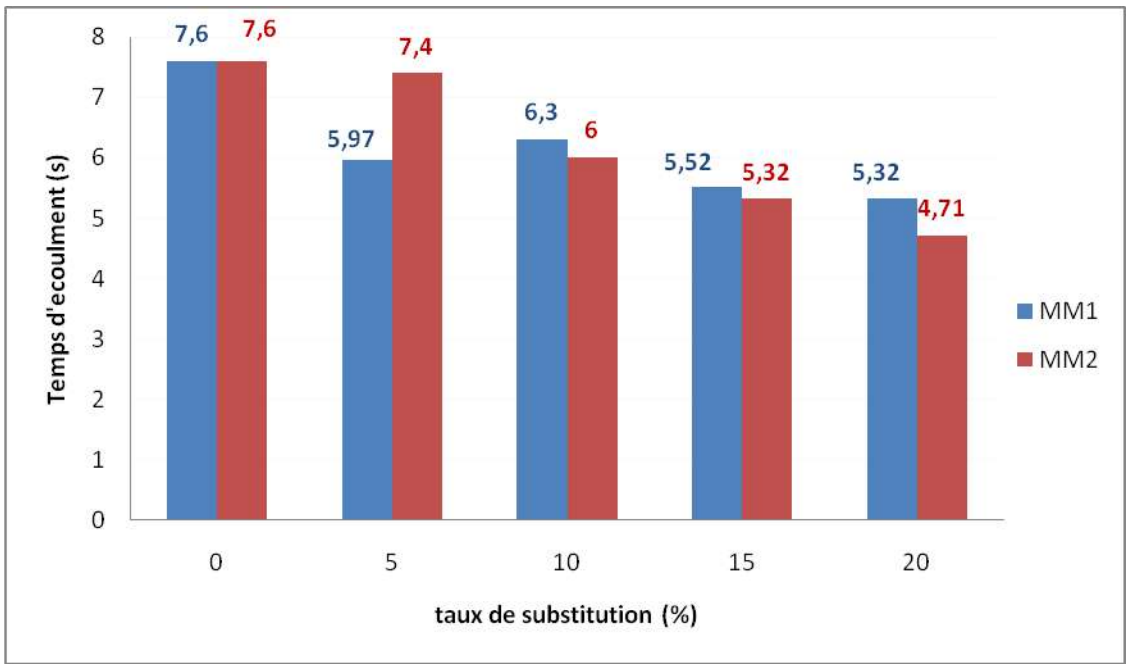


Figure 3-2: Variation de l'écoulement en fonction du taux de substitution du marbres (Beige et Blanc).

3.3. Résistance à la compression :

Les **figures 3.3 ,3.4** montrent la variation de la résistance à la compression des différents MAP réalisés en fonction de pourcentage de substitution en poudre de marbre (blanc et beige) à différent âge (3, 7, 28, 56,90 jours) .

A travers ces résultats on peut conclure que :

- La substitution du ciment par la poudre de marbre améliore la résistance à la compression si le volume de la poudre de marbre ne dépasse pas 10%.
- La comparaison entre les différents MAP montre que le remplacement de 10% de ciment par les deux types de marbre améliore les résistances en compression à court et à long terme, avec le marbre Beige (Série MM1) cette amélioration atteint 4.33 %, 6.34 4.03% et 2.93 % à 7, 28 et 56 et 90 jours respectivement. Et avec le marbre Blanc l'augmentation atteint -13.38 %, -5.41 % 2.25 et 1.88 % pour les mêmes âges.
  - L'amélioration a été observée aussi sur la résistance à court terme(3, 7 jours) des mortiers de deux séries.
  - La comparaison des résistances de deux séries montre que le marbre beige améliore la résistance à la compression mieux que le marbre blanc.

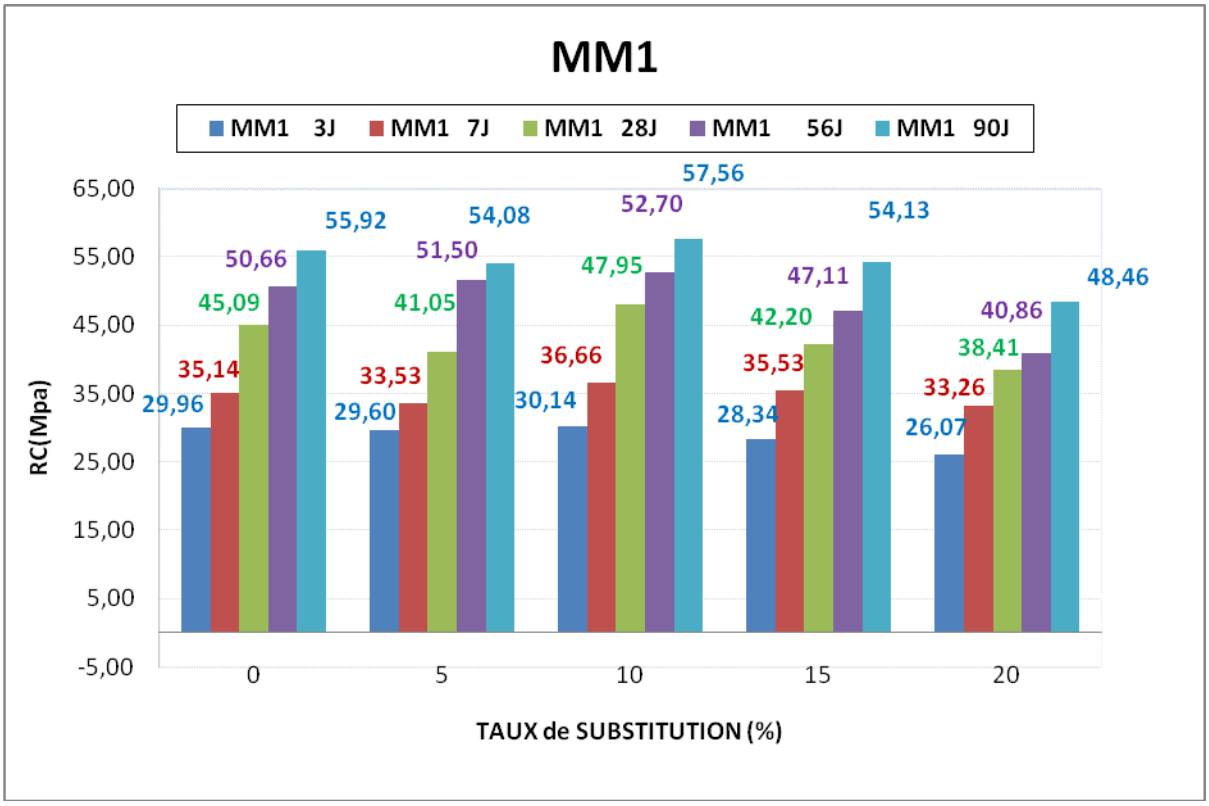


Figure 3-3: Variation de Résistance à la compression du MAP réalisé en fonction du taux de substitution du poudre de marbre beige à différent âge (3, 7, 28, 56,90 jours)

.

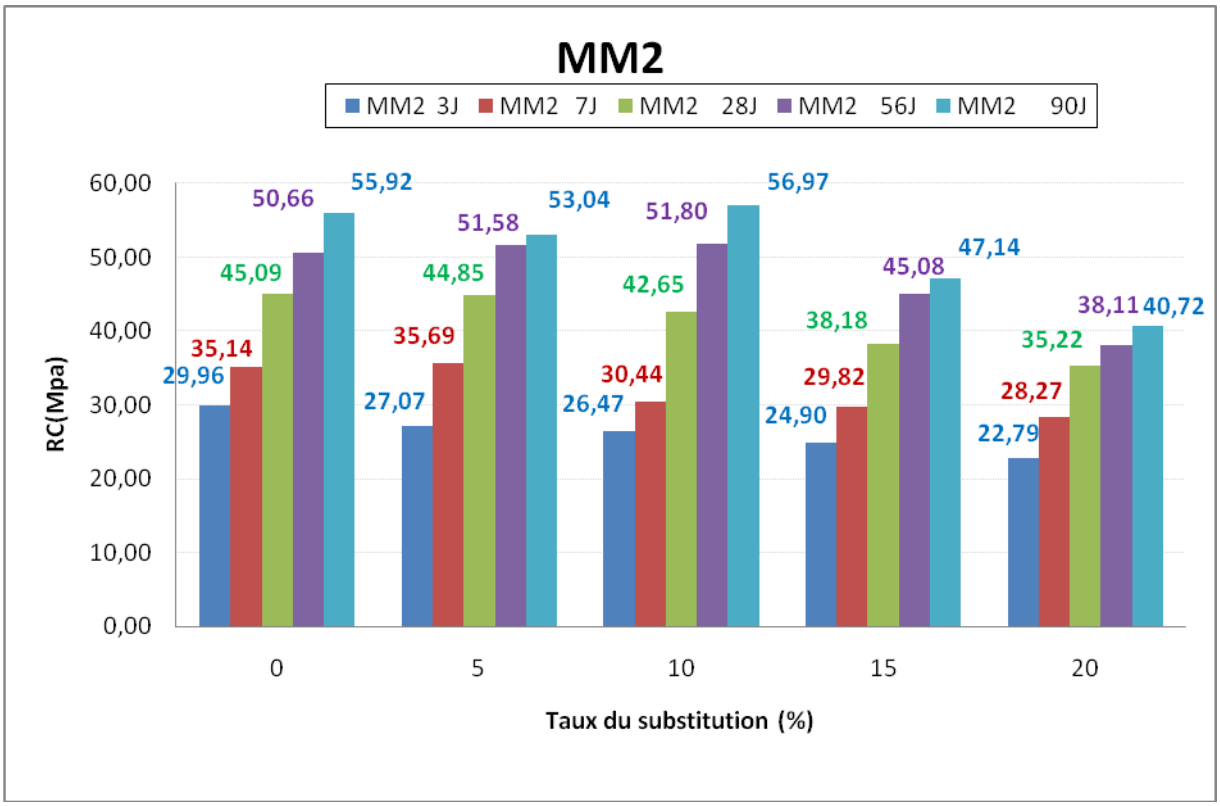


Figure 3-4: Variation de Résistance à la compression du MAP réalisés en fonction du taux de substitution de la poudre de marbre blanc àdifférent âge (3, 7, 28, 56,90 jours).

3.4. Résistance à la traction par flexion :

Les résistances à la traction par flexion des différents MAP réalisés en fonction du taux de substitution de la poudre de marbre à différents âges (3,7 ,28 ,56 ,90 jours) présentés dans les deux **Figures 3.5 – 3.6**. montrent que la résistance à la traction augmente avec l'augmentation du taux de substitution jusqu'à 10% ,où nous avons obtenue l'optimum des résistances à 28, 56 et 90 Jours pour les deux séries de MAP. Sur les MAP de 15% et 20 de marbre nous remarquons une faible réduction de la résistance par rapport au MAP témoin. Cela implique qu'on peut aller jusqu'à 15% de substitution de ciment par marbre sans réduction notable de la résistance.

Ces résultats coïncide avec ceux de Vaidevi **[46]**et Aliabdo et al **[42]** qui ont conclu que l'incorporation de 5 % à 10% de la poussière de marbre offrent la meilleure résistance à la traction.

La comparaison des résistances de deux séries montre que le marbre Beige améliore légèrement la résistance à la traction que le marbre Blanc.

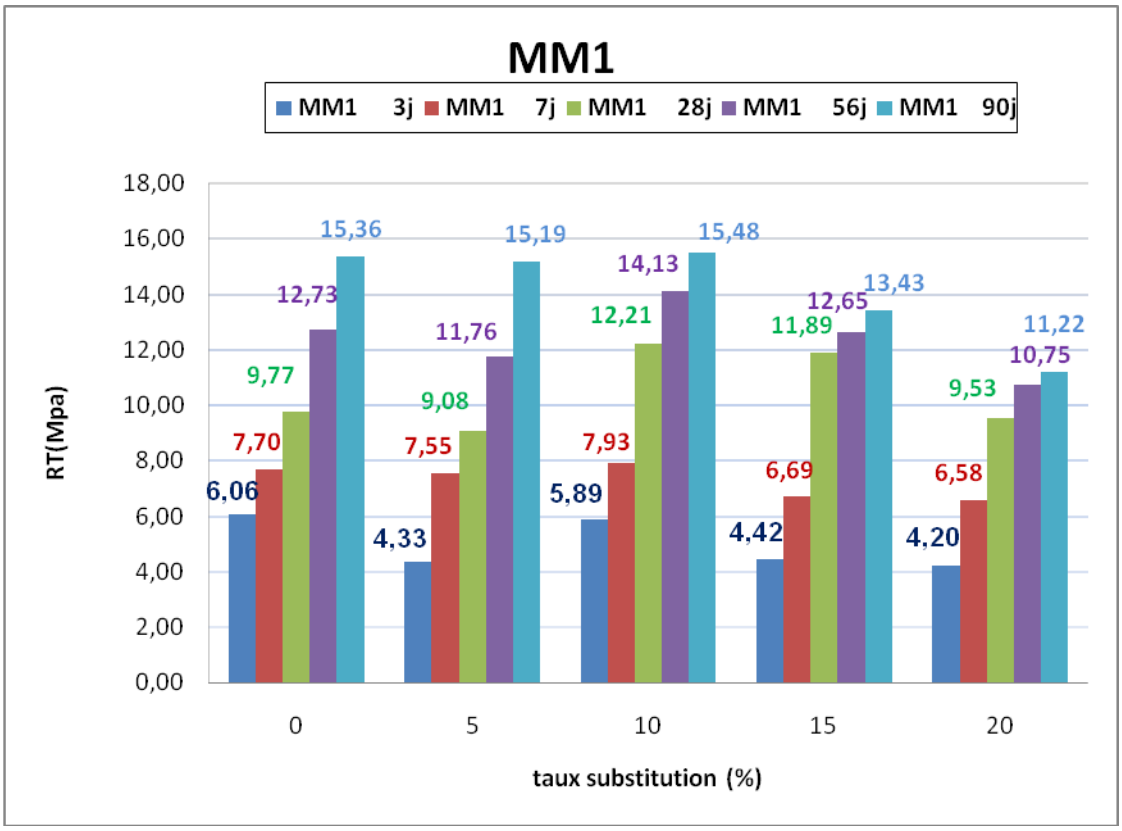


Figure 3-5: Variation de Résistance à la traction par flexion des différents MAP réalisés en fonction du taux de substitution du poudre de marbre beige à différent âge (3 , 7 , 28 , 56 , 90 jours).

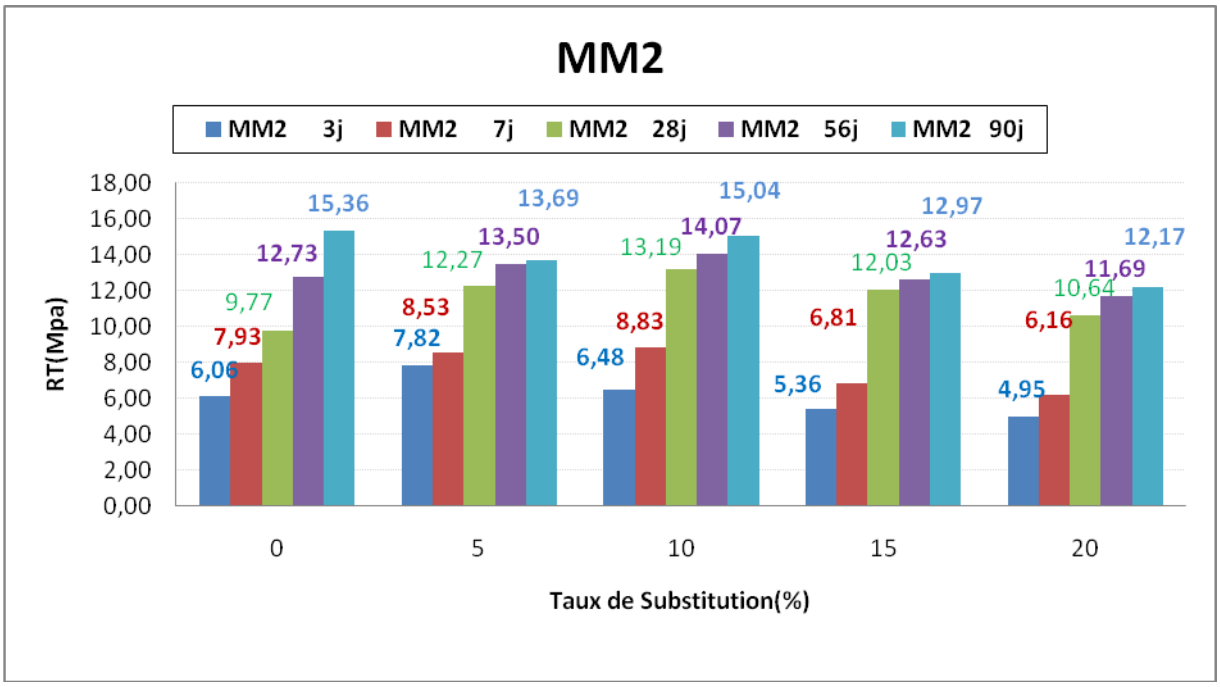


Figure 3-6: Variation de Résistance à la traction par flexion du MAP réalisé en fonction de taux de substitution de la poudre de marbre blanc à différent âge (3, 7, 28, 56,90 jours)

3.5.L'absorption capillaire :

Les essais d'absorption d'eau par capillarité ont été effectués à deux âges (28 et 56 jours), et les résultats sont présentés sous deux manières ; une sous forme de courbe qui exprimes la variation d'absorption d'eau dans le temps en fonction du taux de substitution, et la deuxième par des histogrammes qui regroupes les coefficients de sorptivité. Les résultats sont groupés dans les **Figures 3.7-12** en fonction de l'âge de MAP, taux de substitution et le type de marbre.

Pour chaque série de MAP ; le taux d'absorption augmente avec l'augmentation de l'âge de mortier, et avec l'augmentation de la quantité de marbre substitue. Sur la série MM1 le faible degré d'absorption a été observé sur le mortier contenant 10% de marbre beige. Par contre dans la deuxième série (MM2) la substitution du ciment par 5% de marbre Blanc qui diminue l'absorption. Les résultats de calcul de coefficient de sorptivité de chaque mortier présentés dans les **figures 3.9** et **3.12** approuve ces constatations.

Entre les deux marbres il semble que le type MM1 et avec 10% de substitution, améliore l'imperméabilité du MAP.

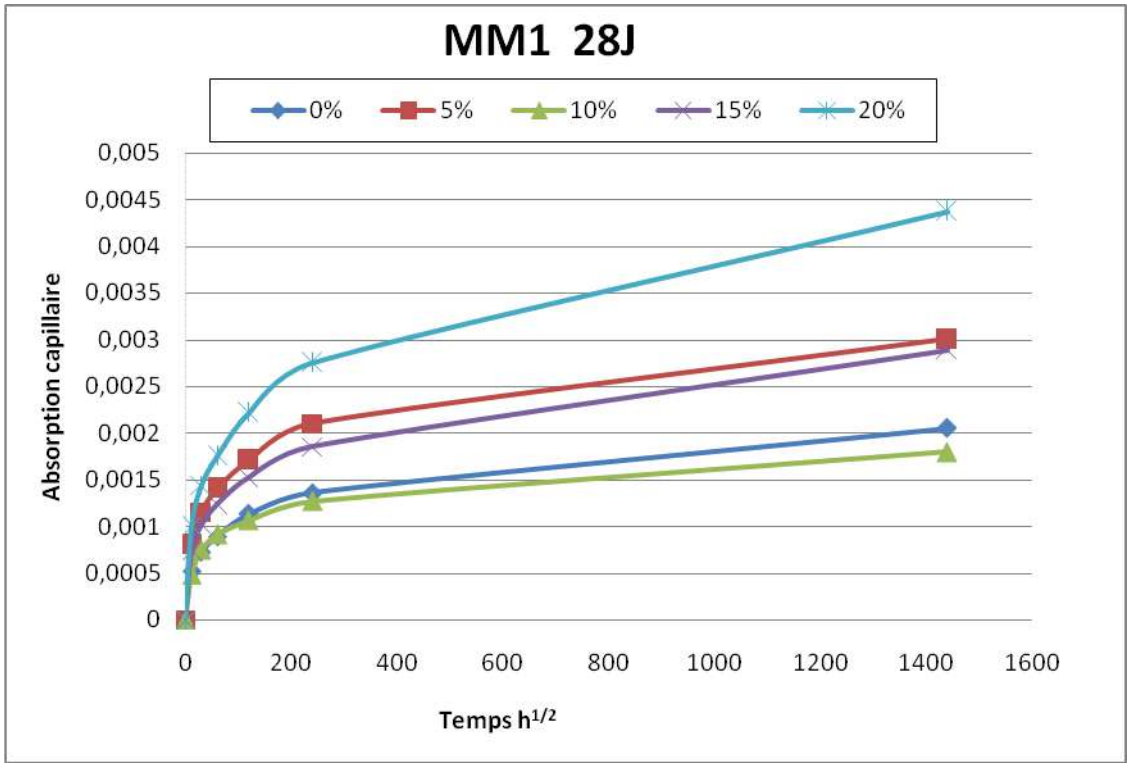


Figure 3-7: Variation de l'absorption capillaire du MAP réalisés en fonction du taux de substitution de la poudre de marbreBeige à l'âgede 28 jours.

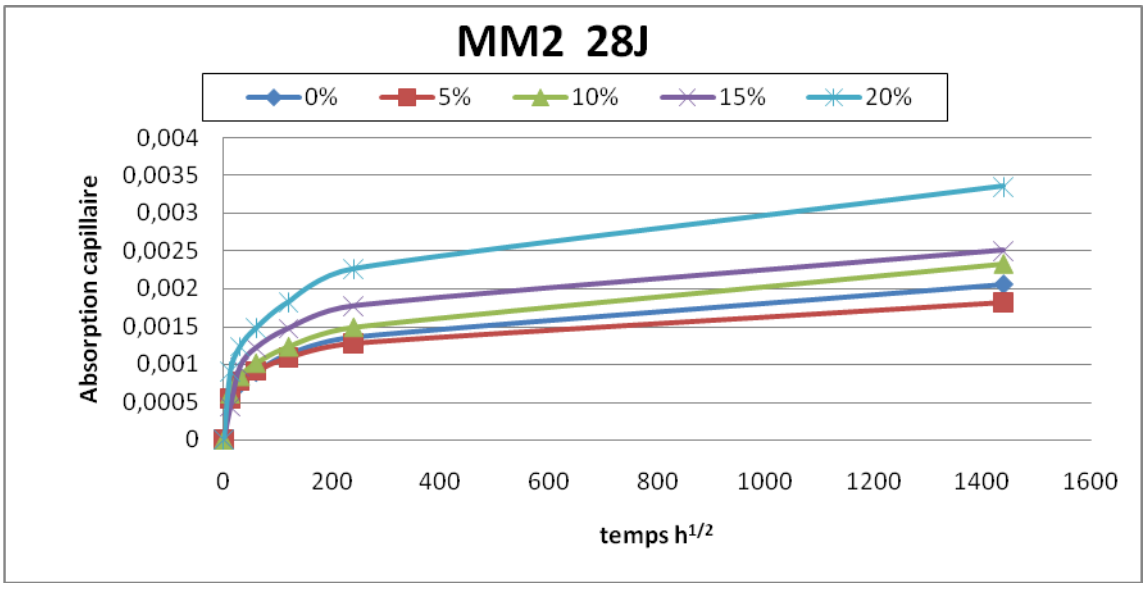


Figure 3-8: Variation de l'absorption capillaire du MAP réalisés en fonction de taux substitution de la poudre de marbre Blanc à l'âge de 28 jours.

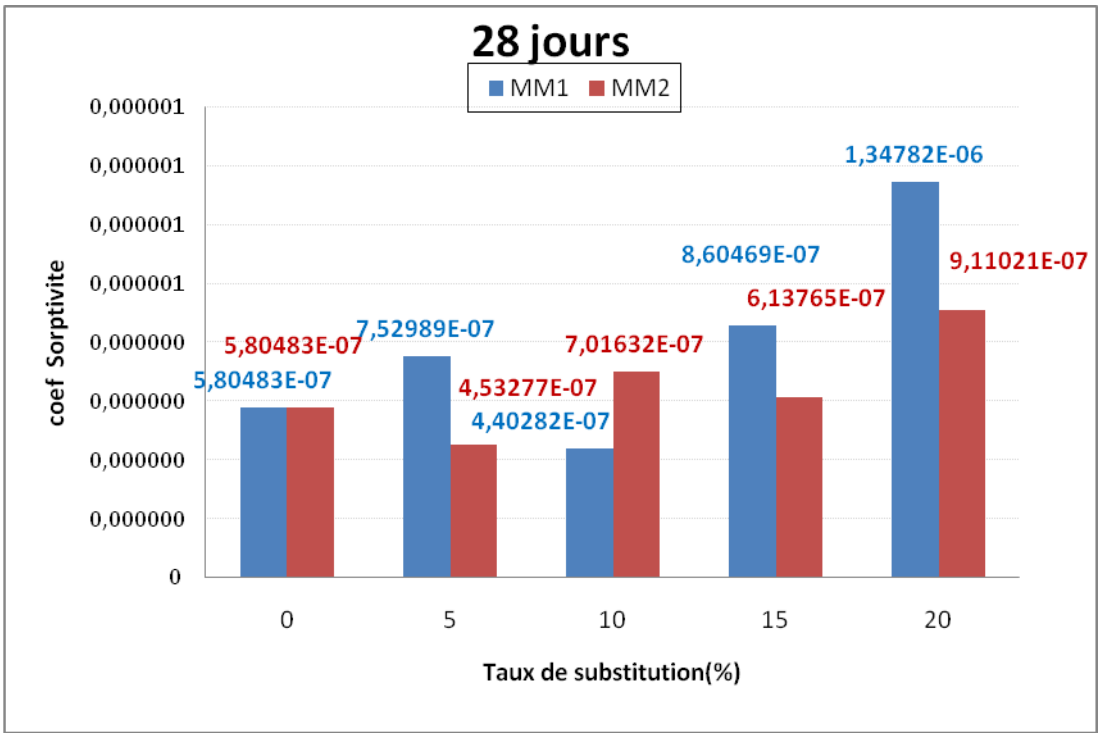


Figure 3-9: Variation de Coefficient de l'absorption capillaire du MAP réalisés en fonction de taux du substitution de la poudre des marbres à l'âge de 28 jours.

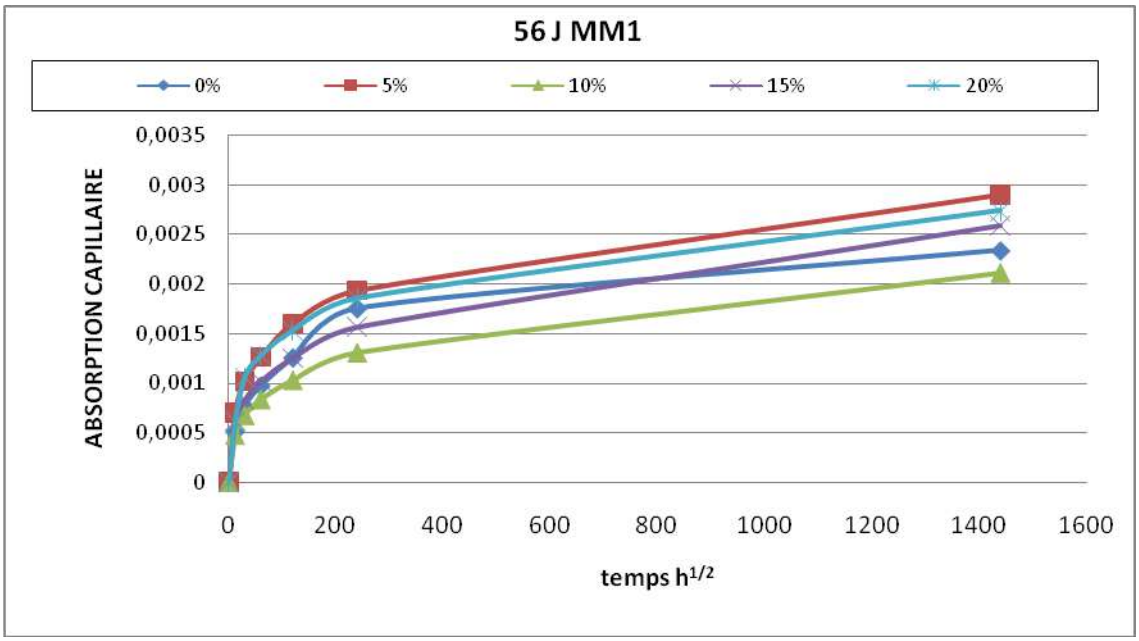


Figure3-10: Variation de l'absorption capillaire du MAP réalisés en fonction du taux de substitution de la poudre de marbre Beige à l'âge 56 jours.

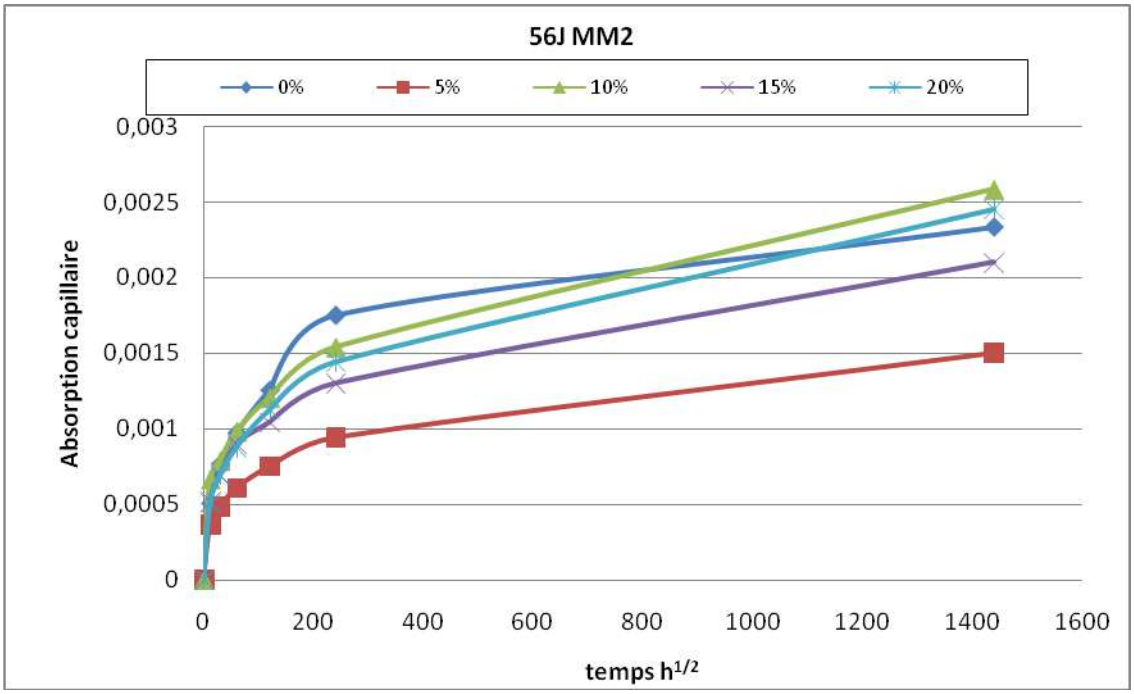


Figure3-11: Variation de l'absorption capillaire du MAP réalisés en fonction du taux de Substitution de la poudre de marbre blanc à l'âge 56 jours.

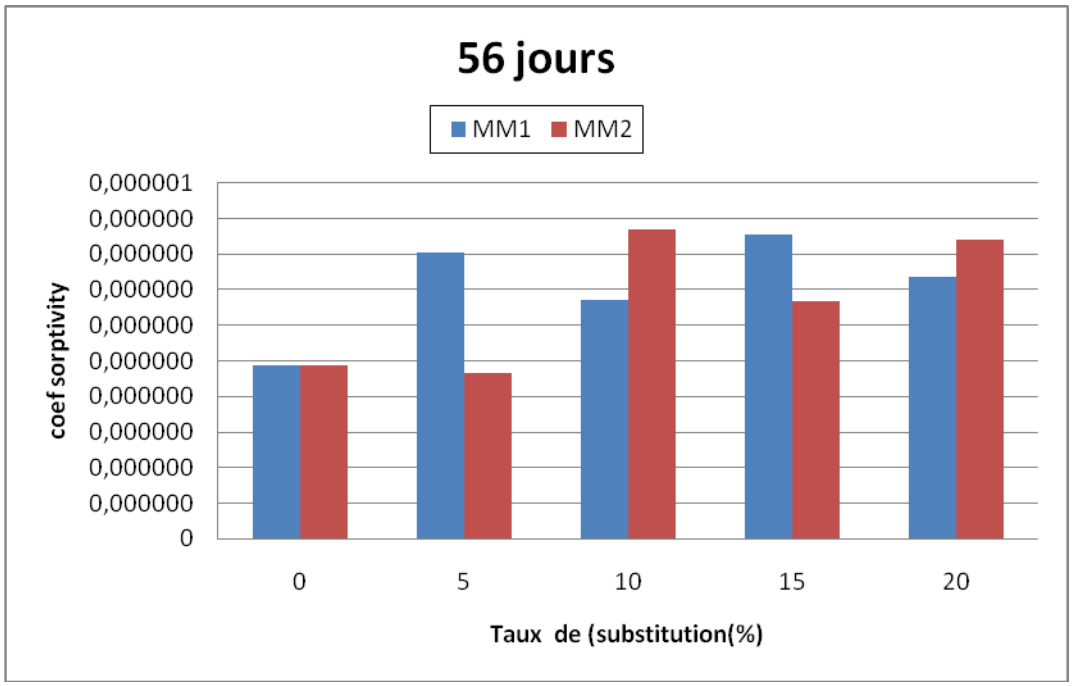


Figure 3-12: Variation de Coefficient l'absorption capillaire du MAP réalisés en fonction de taux de substitution de la poudre des marbres à l'âge 56 jours.

Après analyse et exploitation des résultats des **figures3.7 à 3.12,** on a constaté que le marbre beige absorbe trop d'eau a l'âge de 28 jours a pour un 20 % du taux de substitution, par contre en 56 jours absorbe trop dans un taux de substitution de 5%

Pour le marbre blanc la grande absorbation d'eau à 28 jours est équivalent à 20% du taux de substitution, par contre à l'âge de 56 jours est de 10% du taux de substitution.

Khalfaoui M A et Chellali S **[40]** se trouve aussi que touts les pourcentages de MAP à base de déchet de marbre absorbant plus d'eau que le MAP témoin.

3.6. La porosité :

La **figure 3.13, 3.14** illustre les résultats de la porosité des différents MAP étudiés en fonction du pourcentage de substitution en marbre.

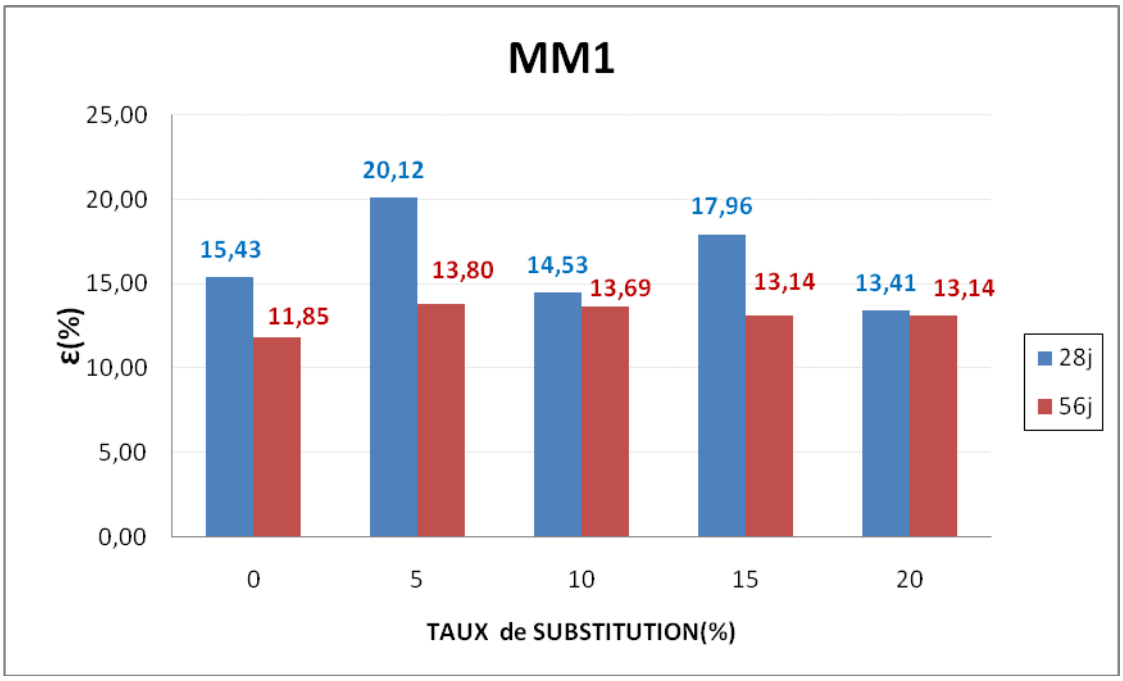


Figure3-13: Variation de la porosité du MAP réalisés en fonction de taux du substitution de la poudre de marbre beige à l' âge 28,et56 jours.

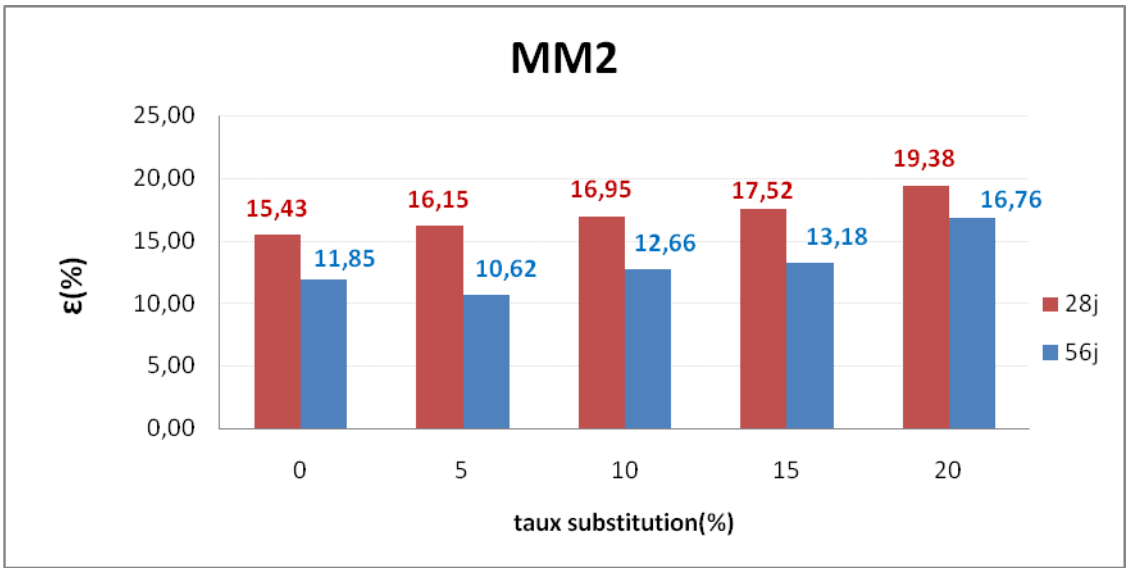


Figure3-14: Variation de la porosité du MAP réalisés en fonction de taux substitution de la poudre de marbre blanc à l'âge 28,56 jour.

Il est clair que l'augmentation de l'âge diminue la porosité des mortiers. A l'âge de 56 jours, l'augmentation de volume de marbre n'a pas un effet considérable sur la porosité des MAP-MM1, et cela peut être lié à l'effet de la finesse du marbre. Une légère augmentation de la porosité est observée en comparaison avec le mortier témoin. Par contre, sur la série MAP-MM2 et à partir de 5% de substitution, la porosité varie linéairement avec la quantité

de marbre Blanc. En comparaison avec le MAP témoin, le remplacement du ciment par 5% de ce marbre diminue la porosité d'environ 10%.

3.7. Résistance au feu :

La **figure 3.15, 3.16** illustre les résultats de la résistance au feu des différents MAP étudiés en fonction du pourcentage de substitution en marbre.

La résistance au feu a été déterminée par essai d'écrasement des éprouvettes après chauffage et refroidissement. Sous les trois températures nous n'avons pas observé l'endommagement ou la variation de forme pour cette raison nous avons passé à l'essai de compression. Les résultats sont présentés dans les **figures 3.15** et **3.16** .En effet, Il semble que la substitution du ciment par marbre donne une matrice cimentaire qui résiste moins au feu. Cette constatation est valable pour les deux series de marbre. Sous 200°C ; la plus grande résistance a été observé sur les MAP de deux séries contenants 5% de marbre (40.55 MPA sur MM1 et 53.46 sur MM2). Et sous température élevée (400°C) la meilleure résistance est obtenue sur et MAP-MM2-10% (41.74MPA).

A 600°C les résistances diminue de façon remarquable.

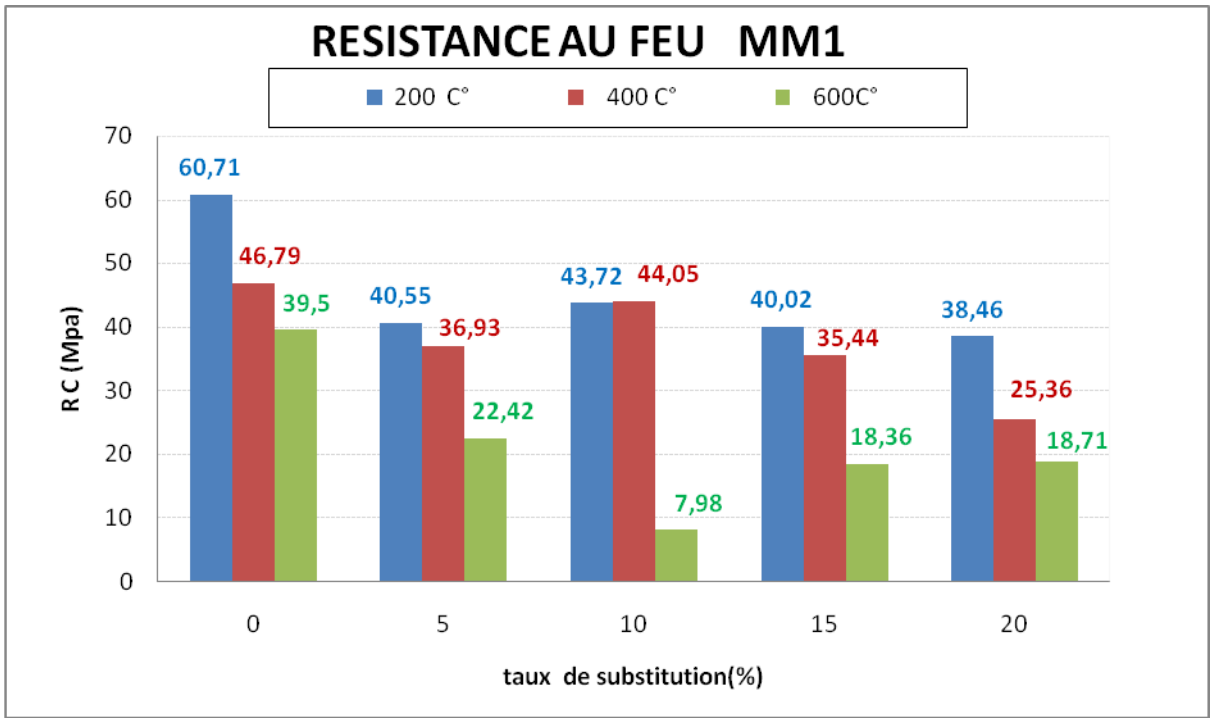


Figure3-15: Variation de la résistance au feu du MAP réalisés en fonction du taux de substitution de la poudre de marbre Beige à différentes températures.

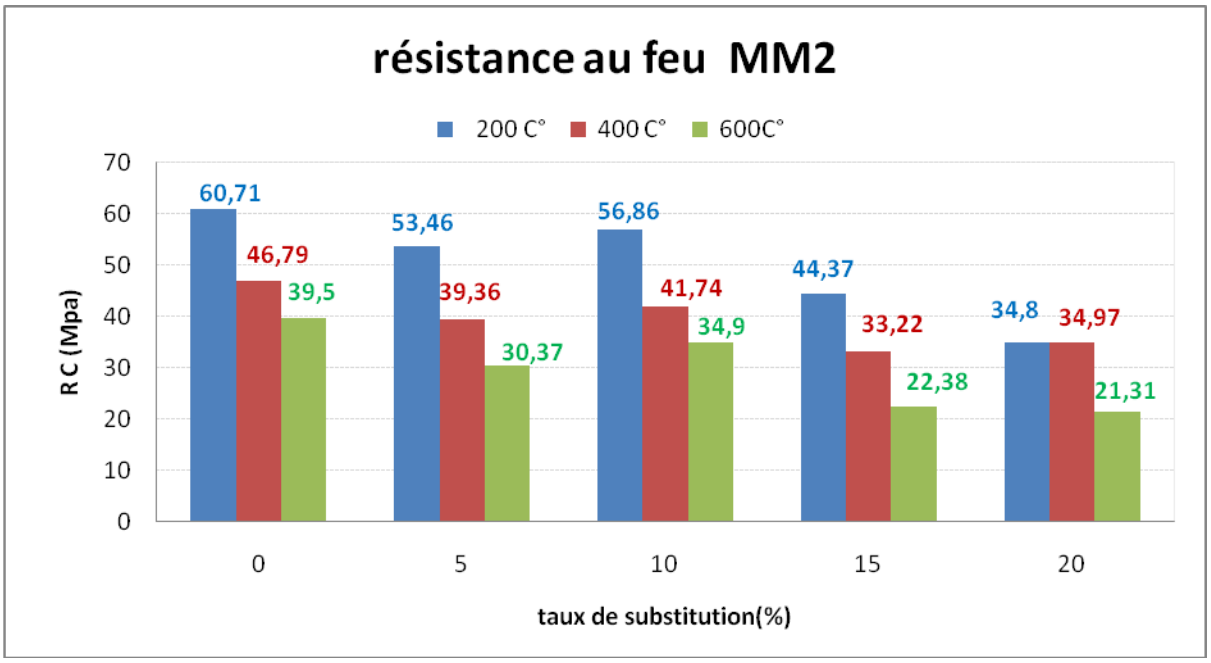


Figure 3-16: Variation de la résistance au feu du MAP réalisés en fonction de taux substitution de la poudre de marbre Blanc à différentes températures.

3.8. Perte en masse :

Les figures 3.17 et **3.18** suivante illustre le pourcentage de la perte en masse de de différents MAP.

La variation dimensionnelle des mortiers au cours du temps est accompagnée d'une perte de masse due à l'évaporation de l'eau. Cette variation dépend de type et de la quantité de la poudre de marbre incorporée

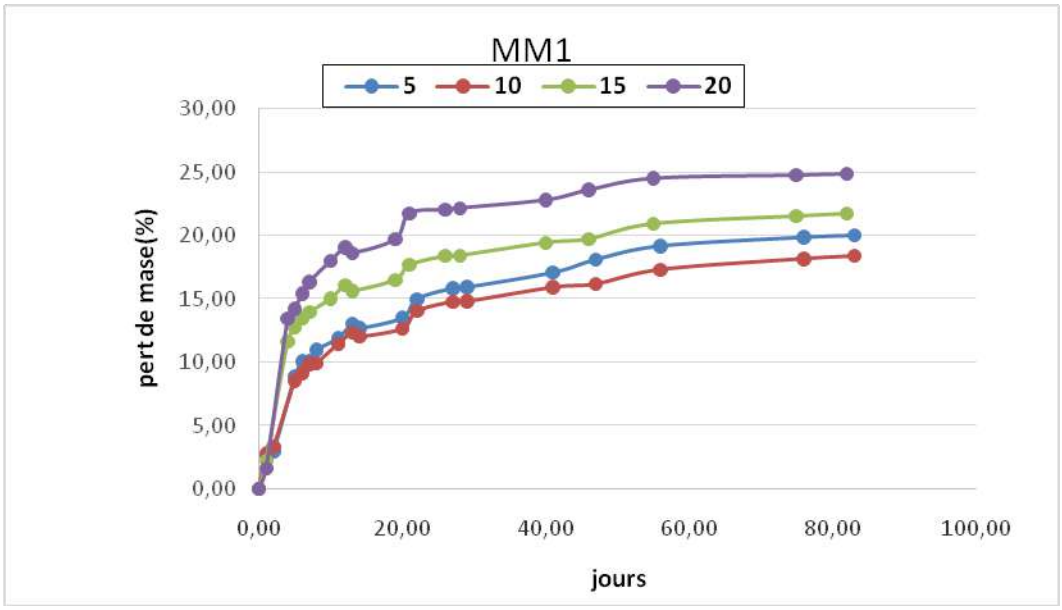


Figure 3-17: variation de Perte de masse des mortiers (marbre beige) en fonction du temps.

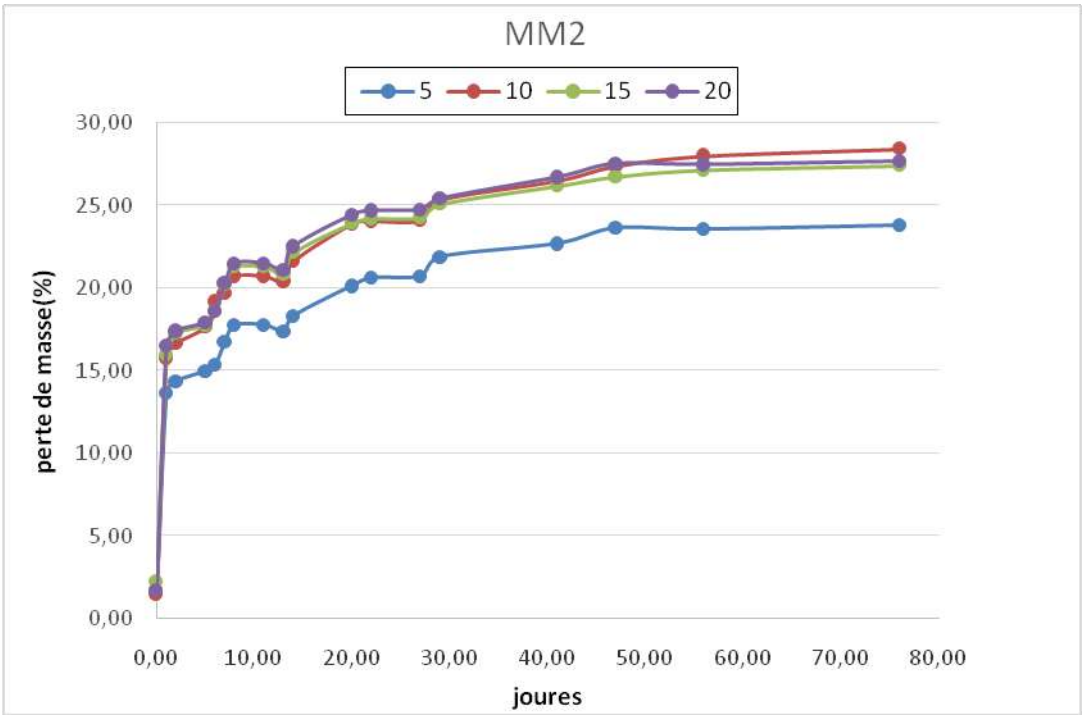


Figure 3-18: Perte de masse des mortiers (marbre Blanc) en fonction du temps.

L'analyse des **figures 3.17**et **3.18** nous a permet de constater que :

- la perte de masse des déférents mortiers aux jeunes âges est importante, dessiccation élevée, avant que les réactions de l'hydratation soient assez avancées.
- Après l'âge de murissement, les matériaux se dessèchent de plus en plus et en grande partie par le départ de l'eau avec une vitesse assez faible.
- A longe terme on à remarquer que la perte de masse variant lentement.

La comparaison des résultats de deux figures montre la différence du comportement des MAP de deux séries. Sur les MAP-MM2, le développement de la perte en masse est rapide par rapport au deuxième MAP-MM1, Les mortiers perdent les grandes quantités d'eau dans les premières 7 jours (presque 80%). Pour la série MAP de marbre, la plus faible perte est enregistrée sur le MAP-MM1 avec 10% de marbre, tandis que pour la deuxième série (MM2), la faible valeur est enregistrée sur le MAP-5%. Donc on peut conclure que le la poudre de marbre Blanc réduit la diffusion d'eau mieux que la poudre de marbre Beige.

3.9. Conductivité thermique ;

A travers les résultats de l'essai de conductivité thermique illustrés dans la **figure 3.19**, il semble que le remplacement des fractions de volume de ciment par la poudre de marbre Blanc

réduit la conductivité thermique, contrairement au marbre beige qui augmente cette propriété. Avec un taux de substitution de 20% de la poudre de marbre beige la conductivité thermique diminue de 9% en comparaison avec le MAP témoin.. Les meilleures valeurs (faibles) sont obtenues à partir des taux de substitution de 15% pour les deux séries.

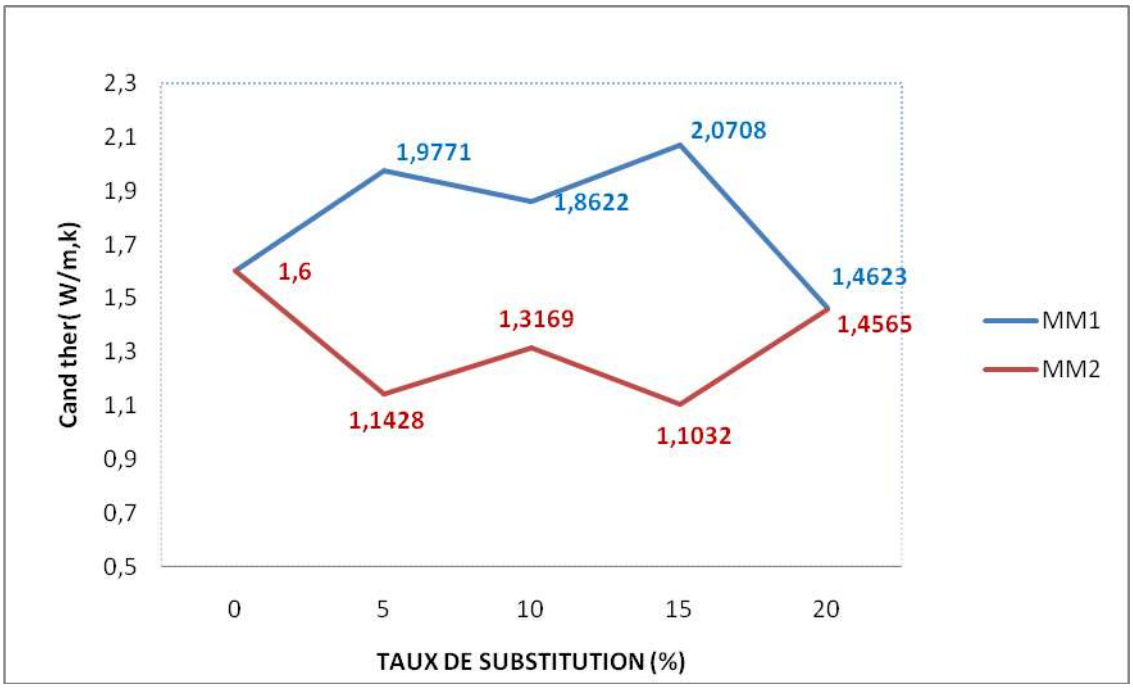


Figure 3-19: Variation de la conductivité thermique du MAP réalisés en fonction du taux de Substitution de la poudre de marbre Beige et Blanc à 28 jours.

Conclusion :

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles sur le marché Algérien (le ciment, les granulats, les super plastifiant) ainsi que le déchet de marbre.

Les essais menés au cours de cette étude ont été effectués sur le mortier autoplacant, Pour déterminer leurs caractéristiques à l'état frais (ouvrabilité), ensuite, des essais relatifs au domaine mécanique et physique (compression, traction, absorption d'eau, porosité …)

Des essais menée au domaine thermique ont été réalisés et qui ont servi pour déterminer les propriétés de l'isolation est de transfert de chaleur .Pour reconnaitre l'effet de marbre sur le MAP que ce soit à l'état frais ou durci.

Et dans ce sens nous avons résumé que le marbre blanc ayant une effet importante dans l'ouvrabilité , par contre le marbre beige résiste mieux à la compression et à la traction, et ce dans un taux de substitution de 10% pour les deux types de marbre.

Conclusion Génirale

Conclusion Générale

La disponibilité et le coût du béton en fait le matériau de prédilection pour répondre à la forte croissance des pays en développement.

Contrairement à ce qu'on croit, le béton dispose de nombreux atouts pour répondre intelligemment à la forte demande de logements dans les pays en voie de développement. D'abord en raison de la large disponibilité de la roche calcaire qui sert de matière première à la fabrication du ciment. Ensuite en raison de son coût de fabrication qui reste bas comparé à celui d'autres matériaux. L'impact environnemental du béton en termes de CO2 peut en outre être réduit par l'utilisation des substituant. Cependant, le potentiel de substitution du ciment reste limité par rapport au volume de ciment à l'échelle mondiale.

L'objectif de ce travail de recherche consiste à l'étude de la possibilité d'élaboration d'un mortier autoplacant (un éco-matériau) avec la substitution du ciment (de 5%, 10%, 15% et 20%) par la poudre de marbre.

A travers les constatations tiré dans le deuxième chapitre nous vous conclure que la substitution de ciment par poudre de marbre conduit à :

- Amélioration l'ouvrabilité des MAP. Le marbre Blanc a un effet positif mieux que le marbre Beige.
- Augmentation des résistances en compression et en traction pour un taux de substitution de 10 %. Entre les deux marbres : le marbre beige favorise mieux les résistances.
- Réduction du taux d'absorption sur les MAP composé de 10% de marbre Beige et les MAP de 5% de marbre blanc.
- Diminution de la conductivité thermique des mortiers contenant marbre beige.
- Diminution de la porosité des mortiers contenant marbre blanc.
- Conservation de la masse a température élevée

Pour notre recommandation on souhaitent de prendre en charge l'utilisation de ce déchet comme un ajout supplémentaire dans les matériaux de construction

[1] : (**www.febelcem.be/fr/ciment-applications/historique-du-ciment/**)

[2]:H.F.W. Taylor, ‘’Cement chemistry’’, 2nd edition, University of Aberdeen, 2007.

[3] : Bessa A, Philippe J. B. & Gallias J. L, 2004**,** « Évaluation de la contribution liante des additions minérales à la porosité, à la résistance en compression et à la durabilité des mortiers », 22iemes Rencontres universitaires de Génie Civil, Université de Cergy-Pontoise, France,

8p.

[4] : A, Govin,"Aspects Physico -Chimique de l'interaction bois-ciment modification de l'hydratation du ciment par le bois" thèse de Doctorat de l'université de Limoges ,2004.

[5] : Ahmed Abdo Al-Eyani.Valorisation du déchet de marbre et de verre comme additif dans la production du mortier. Universite Mohamed Boudiaf - M’s il a.
2016 /2017

[6] : AMOURI Chahinez. Contribution à l’étude de l’influence des différents ajouts sur les

propriétés des matrices cimentaires

(Caractérisation, Performances, Durabilité). UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE

[7] : Neville A.M**.,** Propriétés des bétons, traduction CRIB, p. 229-253, Edition Eyrolles, 2000.

[8] : Manai K**.** Etude de l’effet d’ajouts chimiques et minéraux sur la maniabilité,la stabilité et les performances des bétons autonivelants, Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, Sherbrooke, Canada, 1995.

[9] : Von Euw V**.,** Ciment contenant des additions minérales, Preceding of the 8éme Congrès

International de la Chimie des Ciments. RIO de Janeiro-Brasil, V7 pp 170-177, 1986.

[10] : Étienne B. et Georges-Bernard D., 1837, Règlements sur les arts et métiers de Paris, rédigés au 13e siècle, et connus sous le nom du Livre des métiers d'Étienne Boileau. Crapelet.

[11] : Jean FESTA, Georges DREUX, nouveau guide du béton et ses constituants, 8ème édition, EYROLLES, 2007.

[12] : **Centre** D'information Sur Me Ciment Et Ses Applications: **«**Les bétons: formulation, fabrication et mise en oeuvre , France, 2006.

[13] : ASTM C270, ≪ Standard Specification for Mortar for Unit Masonry ≫, Norme

Americaine, January 1999.

[14] : Groupe des ingénieurs, ≪ Mortiers et bétons hydraulique, matériaux de construction ≫,

Edition Eyrolles, Paris, 1997.

[15] : DOMONE P.L.J., JIN J., 1999 « Properties of mortar for Self-Compacting Concrete »Proceedings of RILEM International Symposium on Self-Compacting Concrete,Stockholm, RILEM Proceedings PRO 7, Paris, pp. 109–120.

[16] : KHAYAT K. H., 1999 « Workability, Testing, and Performance of Self-Consolidationg

Concrete, ACI Materials Journal, Vol. 96, No. 3

[17] : BOUKENDAKDJI O., 2010« Etude de l'influence des paramètres de formulation sur les propriétés d'un béton autoplaçant : optimisation des conditions opératoires », Thèse de Doctorat, Département de Génie Civil, Université de Saad Dahleb, Algérie.

[18] : DOMONE P.L., CHAI H.W., JIN J. , 1999 « Optimum mix proportioning of self-compacting concrete »Proceeding on international conference on 'innovation in concrete structures: design and construction,University of Dundee, ed. Dhir RK and Jones MR, Thomas Telford, London, pp. 277-285.

[19] : MORTSELL E., RODUM E.,2001« Mechanical and durability aspects of SCC for road structures », Proceedings of 2nd International Symposium on Self-Compacting Concrete, Tokyo, Japon, pp. 459-468.

[20] : FELEKOGLU B., 2007 « Utilization of high volumes of limestone quarry wastes in concreteindustry (self-compacting concrete case) », Resources, Conservation and Recycling, Volume 51, Issue 4, p770-791.

[21] : XIONG X., VAN BREUGEL K., 2003 « Hydration processes of cements blended with limestonepowder -Experimental study and numerical simulation » , Proceedings of the 11th ICCC , Durban.

[22]: Saadani Sabrina.Comportement des béton SA base de granulats recycles. UniversiteMentouri Constantine.

[23] : https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticleL.541-1-1.

[24] : Observation Régionale de la Santé Nord-Pas-de-Calais : observation inattendues et capricieuses de la santé : Les déchets et la s anté. Disponible sur : **http://www.orsnpdc.org/observation/228815_1dechetsa.pdf**. Année 2010.

[25] : Les déchets :les classer pour mieux les connaitre,les réduire pour mieux les maitriser,Disponible sur :
http://www.eduquer-au-developpement-durable.com/wpcontent/uploads/2011/04/Fiche_enseignant_1_petite_histoire_dechets.pdf

[26] : https://www.vd.ch/themes/environnement/dechets/dechets-urbains/

[27] :Larbi Aissa Islam &KadriZakaria.l'influence des déchets de marbre de verre sur les caractéristique physico mécaniques et thermiques d'un béton de sable fluide.Université Dr Yahia Farès De Médéa.juin 2017.

[28] :BouremaMoufida **.**Etude des caractéristiques d'un BHP à base de déchet de brique rouge à l'état frais et durci. L'Université 20 Aout 1955 Skikda. Juin 2015.

[29] : Boussaoui.W. : « Valorisation des sous-produits Caractérisation de bétons à base des granulats issus de recyclage des matériaux de construction ».
Master en génie civil Option : Structures et Matériaux .Constantine : Université Mentouri,

2010-2011.

[30] : Nicolescu L, « Généralités :Rapport Général Colloque International sur l'utilisation des sous-produits et Déchets dans le Génie Civil »,Recueil des communications,Volume III,ENPC,Paris,1978,p15.

[31] : MEKHERMECHE Abdessalam. « Contribution à l'etude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes ».
Magister en Génie Civil Option : Géo-Matériaux.Ouargla : universitekasdi merbah,2012.

[32] : Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton,CBD-215-F,juin

1981.

[33] : N.de Louvigny, « Conséquences de l'apport de verre pilé à la surface du champ et de son incorporation dans la couche travaillée ».Thèse de doctorat,université Montpellier II,2001.

[34] : BARKAT ABDEREZZAK. : « valorisatioon des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton ». Magister en génie civil Filière : Aménagement Hydraulique et Génie Civil.Ouargla:Université KASDI MERBAH ,05/11/2006.

[35] : https://www.meubliz.com/marbres_arts_mobilier/

[36] : http://www.made-in-algeria.com/news/marbre-rouge-18083.html

[37] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_marbres_modernes

[38] : https://www.tsgeniecivil.download/2017/04/types-marbre.html

[39] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_marbres_modernes

[40] : https://www.elwatan.com/archives/economie-archives/granittam-exportera-du-marbre-de- tamanrasset-a-partir-de-fin-2017-2-16-10-2017

[41] : KHALFAOUI Maroua Amina et CHELLALI Sara. Élaboration d'un éco-matériau à base de poudres de marbre et de brique cuite. Université YAHIA FARES DE MEDEA.2017

[42] Aliabdo A A, Abd Elmoaty A E M, Auda E M. Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete. Construction and Building Materials. 2014; 50: 28–41. **[43]** ; A.H. Mohammed Belhadj1*, A. Mahi2, M.Z. Kazi Aouel1, R. Derbal1, H. Abdelhadi2. Valorisation du déchet de marbre et de la pouzzolane naturelle dans les mortiers. 1Smart Structures Laboratoire (SSL) Univocité of Ain T'émouchent, Po Box 284, 46000, Alegria. 2Civil Engineering Département, Faculté of Architecture and Civil Engineering, USTO (Mohamed Boudiaf), BP. 1505, El Menouar, 31000 Oran, Alegria.

J. Mater. Environ. SCI. 7 (2) (2016) 429-437. ISSN : 2028-2508. CODEN: JMESCN.

[44] : : Nawel Chibani ; Hacène Houari. Valorisation des fines de déchets de marbre recyclées dans la formulation d'un béton autoplacant (BAP). Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions – Faculté des Sciences de la Technologie Université des Frères Mentouri Constantine, Algérie. B – N°40, (Décembre 2014), pp 15-21

[45] : Soliman M N. Effect of using Marble Powder in Concrete Mixes on the Behavior and Strength of R.C. Slabs. International Journal of Current Engineering and Technology. 2013; 3: 1863-1870.

[46] : Vaidevi C. Study on marble dust as partial replacement of cement in concrete. Indian Journal of Engineering. 2013; 4: 14-16.

[47]:

[48] : Singh M, Srivastava A, Bhunia D. An Investigation on Effect of Partial Replacement of Cement by Waste Marble Slurry. Construction and Building Materials. 2017: 134:471-488.

[49] :: Journal de gestion de l'environnement 231 p88 . Recyclage des déchets de marbre: Un examen fondé sur la force de contenir les déchets de marbre en béton. Université Firat, Faculté de génie, Département de génie civil, 23100, Elazig, Turquie.

[50]:NF P18-555, (déc.1990). « Granulats- Mesures des masses volumiques, de la porosité,du coefficient d'absorption et teneur en eau des sables ».

[51]: NF P 18-598, (Oct. 1991). « Granulats- Équivalent de sable »

[52] : NF EN 196-6 Avril 2012 Méthodes d'essai des ciments - Partie 6 : détermination de la finesse.

[53] : NF EN 1097-6, 2001, « Ess ais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau », AFNOR.

[54] : TECHNIQUE DE L'INGENIEUR ., Do c. C3370, 198 9-1991.

[55] : NF EN 933-8, 1999, « Ess ais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 8: Evaluation des fines. Equivalent de sable », AFNOR.

[56] : P.L. Domone, J.Jing, « Properties of Mortar for Self Compacting Concrete

»,Proceedings of RILEM International Symposium on SCC, Stockholm, September 1999, RILEM Proceedins PRO 7, Paris pp109-120.

[57] :NormeFrancaise, NF EN EN 196-1« Méthodes des essais des ciments – partie 2 : analyse chimique des ciments», avril 2006, (indice de clacement : P15 - 471 – 1) .
[58] :Adam M. Neville, propriétés des Bétons, Traduit par le CRIB, Editions Eyrolles, Paris,2000.

[59] : DUPAIN et LanchonR., 2000, «Granulats, sols, ciment et béton: Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de labo ratoire»,2emeédition CASTEILLA,Paris, France.

[60] : DUPAIN et LanchonR., 2000, «Granulats, sols, ciment et béton: Caractérisation des matériaux de génie civil par l es essais de laboratoire»,2emeédition CASTEILLA,Paris, France.

[61] : RAHMOUNE.M. Elaboration d'un eco –materiaux allégé par du polystyrène**.** Université YAHIA FARES de MEDEA. Juin 2018

Annexe

Fiche technique du MEDAFLOW 145

NOTICE TECHNIQUE 1101

MEDAFLOW 145

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

Super plastifiant – Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 145** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvants. Il est conçu à base de poly carboxylates d'éther modifiés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité.
Le **MEDAFLOW 145** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la quantité d'eau de gâchage du béton d'une façon remarquable.
Le **MEDAFLOW 145** ne présente pas d'effet retardateur.

CARACTERISTIQUES

- Forme ..... Liquide
- Couleur ..... brai clair
- pH ..... 5 – 6
- Densité ..... 1.065 ± 0,015
- Teneur en chlore ..... < 1g/L
- Extrait sec ..... 30±1.5%

PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 145** permet :

Sur béton frais :

- l'obtention d'un E/C très bas
- Béton plastiques à fluides
- une très bonne maniabilité
- un long maintien de l'ouvrabilité
- de faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- bonne résistances initiale et finales .
- de diminuer la porosité
- bel aspect de parement au décoffrage
- de diminuer le retrait

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - nivelant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons avec ferraillage dense

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,3 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.33 à 1.8 litre pour 100 Kg de ciment.
Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 145** est introduit dans l'eau de gâchage.
Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 60% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.
Il est recommandé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage fournissant les résultats recherchés.
Par temps chaud, le **MEDAFLOW 145** peut être combiné à un retardataire de prise **MEDARETARD GR** .

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLOW 145** est conditionné en bidons de 10 l et fûts de 210 et 240 kg.et cubitainer 1100 kg
Délai de conservation :
12 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

Précaution d'emploi:
Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur notre site web : www.granitex.dz

Fiche technique du ciment



LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A 42.5 R NA 442

FICHE TECHNIQUE

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°c. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94 .

Domaine d'utilisation :

MATINE est utilisé pour tous les projets courants qui nécessitent des hautes résistances mécaniques mais ne présentent pas un besoin spécifique dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) :
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .ect) :
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de désallement,..ect) ;
- Secteur industriel.

Algerian Cement Company (SPA)
33, Rue des Pins. Hydra. Alger, Algérie
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71